



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

RODRIGO TADEU DINIZ BEZERRA DE ALBUQUERQUE

**SISTEMA HIDROMETEOROLÓGICO PARA GESTÃO DE RISCOS DE
CHEIAS**

RECIFE
2015

RODRIGO TADEU DINIZ BEZERRA DE ALBUQUERQUE

**SISTEMA HIDROMETEOROLÓGICO PARA GESTÃO DE RISCOS DE
CHEIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, Área de Ecossistemas e impactos ambientais.

Orientador: Prof. Ranyére Nóbrega, D.Sc.

Coorientador: Prof. Eber José de A. Pinto, D.Sc.

RECIFE
2015

Catálogo na fonte

Bibliotecária Helena Azevedo, CRB-4 1737

A345s Albuquerque, Rodrigo Tadeu Diniz Bezerra de.
Sistema hidrometeorológico para gestão de riscos de cheias / Rodrigo
Tadeu Diniz Bezerra de Albuquerque. – Recife: O autor, 2015.
100 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Sc. Ranyére Nóbrega.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2015.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Meio ambiente. 3. Ecossistemas e impactos ambientais. 4. Enchentes. 5. Estatística hidrológica. I. Nóbrega, Ranyére, (Orientador). II. Título.

910 CDD (22.ed.)

UFPE (BCFCH2015-106)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



RODRIGO TADEU DINIZ BEZERRA DE ALBUQUERQUE

“SISTEMA HIDROMETOROLÓGICO PARA GESTÃO DE RISCOS DE CHEIAS”

Dissertação defendida e **aprovada** pela banca examinadora:

Orientador: _____
Dr. Ranyére Silva Nóbrega (UFPE)

2º Examinador: _____
Dra. Werônica Meira de Souza (UFRPE)

3º Examinador: _____
Dr. Luiz Eugênio Pereira Carvalho (UFCG)

RECIFE
2015

Dedico este
trabalho à
minha filha
linda, Laís,
motivo de
tudo! Amor
maior!

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por todas as oportunidades que recebi na vida, mesmo não sendo merecedor, pela saúde e coragem de levantar todos os dias para fazer acontecer.

A minha família: minha mãe, D. Juacira; meus irmãos, Renata, Emanuelle e Cláudio e em especial ao grande amigo, de ontem, hoje e sempre, **Rafael Diniz**.

Ao amor do passado e presente, **Juliana Gusmão**. Juli, obrigado também pela correção.

Ao **Professor Ranyére Nóbrega**, meu orientador, por ter recebido, compreendido e colaborado para que minha proposta se tornasse, de fato, algo concreto.

Ao **Professor Eber José de Andrade Pinto**, pesquisador da CPRM e professor do EHR/UFMG, por aceitar entrar no barco no meio da viagem.

Ao **professor Luiz Eugênio Pereira de Carvalho** que foi grande exemplo durante minha formação acadêmica.

Aos **professores e funcionários** do Departamento de Geografia e do Programa de Pós Graduação em Geografia da UFPE.

Aos colegas da CPRM, **Douglas Luna, Jackson Almeida** e em especial ao *Brother*, **Carlos Eduardo de Oliveira Dantas**, pesquisador da CPRM e colaborador direto da minha pesquisa.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo geral dar suporte para a previsão de inundações pontuais em bacias hidrográficas de pequeno e médio porte, auxiliando as defesas civis municipais e estaduais na mitigação dos efeitos gerados por eventos naturais extremos. O banco de dados montado para a bacia do rio Capibaribe, contou com dados de precipitação média das estações localizadas na bacia e dados de cota da estação São Lourenço da Mata. Posteriormente foi feito o cálculo da precipitação média da bacia. O tempo de concentração foi calculado em sete dias, utilizando-se a metodologia desenvolvida por Ventura e citada por Araújo *et. al.* (2001). Posteriormente determinou-se a cota de alerta em 300 cm e então foi aplicado cálculo da probabilidade condicional, da cota em função da chuva acumulada dentro do tempo de concentração, para determinar a probabilidade de o rio atingir ou não a cota de alerta. Nos cinco registros onde essa cota foi atingida o modelo indicou uma probabilidade alta (>50%) em quatro eventos, atingindo assim 80% de acerto.

Palavras-chave: Previsão e controle de inundações. Enchentes. Estatística hidrológica.

ABSTRACT

This study has the general objective to provide support to predict occasional flooding in small and medium sized hydrographic basins, helping municipal and state civil defence with mitigation of the effects of extreme natural events. The database used had average rainfall data of stations located in the basin and data of the quota from São Lourenço da Mata station. The average rainfall data of the basin was calculated. The seven day concentration time was calculated, using Ventura's methodology, Araújo (2001). Then the 300 cm warning quota was determined and a conditional probability calculation was applied to the quota as a function of rain accumulated in the concentration time, to determine the probability of the river reaching the warning quota. In the five records where the quota was achieved the model indicated a high probability (>50%) in four events, reaching 80% accuracy.

Keywords: Weather and flood control. Floods. hydrological Statistics

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aumento da incidência das inundações no período de 1950 a 2000. Fonte: Dantas, 2012.....	17
Figura 2 – Enchente, inundação e alagamento. Fonte: Dantas, 2012.....	27
Figura 3 – Hidrograma de área urbanizada x área não urbanizada Fonte: PERNAMBUCO (1998).....	30
Figura 4 – Estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Capibaribe Fonte: PERNAMBUCO (1998).....	31
Figura 5 – Ilustração da variável aleatória discreta tempo de recorrência Fonte: PERNAMBUCO (1998).....	46
Figura 6 – Representação gráfica do método de Thiessen Fonte: CRPM (2011b).....	48
Figura 7 – Representação gráfica do método das isoietas Fonte: CRPM (2011b).....	49
Figura 8 – Localização da bacia do rio Capibaribe (UP2) em Pernambuco Fonte: CRPM (2011b).....	50
Figura 9 – Fisiografia da bacia do rio Capibaribe em territorial brasileiro Fonte: CRPM (2012).....	51
Figura 10 – Vegetação da bacia do rio Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	55
Figura 11 – Rede hidrográfica da bacia do rio Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	58
Figura 12 – Estações fluviométricas na bacia do rio Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	61
Figura 13 – Estações pluviométricas na bacia do rio Capibaribe Fonte: PERNAMBUCO (1998).....	61

Figura 14 – Diagrama unifilar da bacia do rio Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	62
Figura 15 – Municípios inseridos na bacia do rio Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	65
Figura 16 – Precipitação média (mm) da estação São Lourenço da Mata Fonte: CRPM (2011b).....	67
Figura 17 – Precipitação média (mm) da estação Paudalho Fonte: CRPM (2011b).....	67
Figura 18 – Precipitação média (mm) da estação Santa Cruz do Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	67
Figura 19 – Isoietas da bacia do rio Capibaribe Fonte: CRPM (2011b).....	69
Figura 20 – Altimetria da bacia do rio Capibaribe Fonte de dados: CRPM (2013).....	70
Figura 21 – Perfil longitudinal da bacia do rio Capibaribe Fonte de dados: CRPM (2012).....	71
Figura 22 – Geologia da bacia do rio Capibaribe Fonte de dados: CRPM (2011b).....	73
Figura 23 – Solos da bacia do rio Capibaribe Fonte de dados: CRPM (2011b).....	75
Figura 24 – Vista de montante da estação São Lourenço da Mata. Fonte: Jackson Almeida (2013).....	80
Figura 25 – Vista de jusante da estação São Lourenço da Mata Fonte: Jackson Almeida (2013).....	81
Figura 26 – Vista da seção de réguas da estação São Lourenço da Mata Fonte: Jackson Almeida (2013).....	81
Figura 27 – Perfil transversal da estação São Lourenço da Mata Fonte: CPRM (2013).....	82

Figura 28 – Relação entre precipitação média e cota em São Lourenço da Mata entre os anos de 1966 e 1975 Fonte: CRPM (2013).....	84
Figura 29 – Tela de cadastro de ponto de controle.....	87
Figura 30 – Tela de cálculo de tempo de concentração	88
Figura 31 – Tela de entrada diária de cota e chuva média	89
Figura 32 – Tela inicial do sistema.....	89
Figura 33 – Tela de histórico de dados.....	90
Figura 34 – Tela de estatística da série histórica.....	90
Figura 35 – Previsão para o dia 21/07/1970.....	92
Figura 36 – Previsão para o dia 11/08/1970.....	92
Figura 37 – Previsão para o dia 17/07/1975.....	92
Figura 38 – Previsão para o dia 18/07/1975.....	92
Figura 39 – Previsão para o dia 19/07/1975.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – As ações e os recursos necessários para socorro em desastres.....	22
Tabela 2 – Características das maiores cheias no rio Capibaribe.....	32
Tabela 3 – Características das bacias-base das fórmulas.....	39
Tabela 4 – Fórmulas empíricas para cálculo do tempo de concentração.....	40
Tabela 5 – Principais reservatórios na bacia do rio Capibaribe	57
Tabela 6 – Usos dos principais reservatórios.....	59
Tabela 7 – Rede hidrometeorológica utilizada	62
Tabela 8 – Municípios inseridos na bacia do rio Capibaribe	63
Tabela 9 – Usos do solo na bacia do rio Capibaribe	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNOS	Departamento de Obras de Saneamento
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Seca
EM-DAT	Emergency Disasters Data Base
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITEP	Instituto Tecnológico de Pernambuco
LAMEPE	Laboratório de Meteorologia de Pernambuco
NEB	Nordeste do Brasil
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
WGS 84	World Geodetic System 1984

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
Capítulo 1	15
INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	15
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. OBJETIVO GERAL	18
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.3. ESTRUTURA DO TEXTO	19
Capítulo 2	20
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1. O CONCEITO DE DESASTRES	20
2.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES	21
2.1.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES QUANTO À ORIGEM	21
2.1.1.2. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES QUANTO À INTENSIDADE	21
2.2. O CONCEITO DE RISCO	22
2.3. ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÕES	26
2.3.1. INUNDAÇÕES GRADUAIS	27
2.3.2. INUNDAÇÕES BRUSCAS	28
2.4. INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	29

2.5. RETROSPECTO HISTÓRICO DAS INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE E DAS AÇÕES MITIGADORAS JÁ ADOTADAS.....	31
2.6. ALGUNS CONCEITOS HIDROLÓGICOS.....	36
2.6.1. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	36
2.6.2. PROBABILIDADE CONDICIONAL	41
2.6.3. TEMPO DE RETORNO	45
2.6.4. CHUVA MÉDIA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA	46
Capítulo 3	50
MATERIAIS E MÉTODOS	50
3.1. REGIÃO DE ESTUDO: A BACIA DO RIO CAPIBARIBE	50
3.1.1. LOCALIZAÇÃO	50
3.1.2. VEGETAÇÃO.....	52
3.1.3. POTAMOGRAFIA	56
3.1.4. ESTRUTURAS HIDRÁULICAS EXISTENTES E USOS DA ÁGUA	59
3.1.5. REDE HIDROMETEOROLÓGICA UTILIZADA.....	60
3.1.6. ÁREA E DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA	63
3.1.7. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	65
3.1.8. RELEVO	69
3.1.9. GEOLOGIA.....	71
3.1.10. SOLOS.....	73
3.1.11. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	76
3.1.12. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	77
3.2. DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS	78
3.3. COTA MÍNIMA E COTA DE ALERTA.....	80
3.4. PRECIPITAÇÃO MÉDIA DA BACIA	82
3.5. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	83
Capítulo 4	84
RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
4.1. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	84
4.2. O SOFTWARE	85
Capítulo 5	93
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

REFERÊNCIAS

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

No período de 1992 a 2001, os desastres naturais de todo o mundo foram relacionados, contabilizando 622.000 mortes e dois bilhões de pessoas afetadas de alguma forma, cerca de 90% dos desastres naturais estão relacionados ao tempo, clima e água. As perdas econômicas decorrentes desses desastres hidrometeorológicos foram estimadas em 446 bilhões de dólares (JARRAUD, 2006 *apud* ALBUQUERQUE, 2010).

O ano de 2004 foi marcado por muita severidade, em termos de desastres naturais. Em particular, no dia 26 de dezembro de 2004, a devastação, pelo tsunami do Oceano Índico, alcançou um nível excepcional, em termos de perdas humanas, de número de países afetados e dos esforços de reconstrução (JARRAUD, 2006 *apud* ALBUQUERQUE, 2010).

No ano de 2005 foram registradas secas prolongadas em partes da África, partes da Europa e Ásia, Austrália e Brasil. A Malásia sofreu a sua pior seca da década. Fortes chuvas, em alguns casos, causaram extensivas inundações em várias partes do mundo. Número recorde de furacões devastadores foi observado no Oceano Atlântico. Nesse mesmo ano, o buraco na camada de Ozônio, da Antártica, foi o terceiro maior já registrado. Também, ocorreu a maior diminuição de Ozônio, no Ártico (JARRAUD, 2006 *apud* ALBUQUERQUE, 2010).

Em 2011, os municípios da bacia do Itajaí, em Santa Catarina, foram atingidos por inundações. Neste evento, no dia 31/08, o nível do rio chegava a 8,7m e com essa medida diversas edificações residenciais e comerciais já eram atingidas. O nível máximo, alcançado nove dias depois foi de 12,8m e, praticamente, parou as

atividades cotidianas da cidade, assim como em outros municípios da bacia do Itajaí (CEOPS, 2012).

O aumento na intensidade da precipitação pluviométrica, a ocupação urbana desordenada, o assoreamento dos rios e o desmatamento nas áreas de mata ciliar também contribuíram de forma intensiva para a maior frequência de eventos de cheias e estes condicionantes também se refletem nas principais bacias hidrográficas do Brasil e em especial nas bacias do Estado de Pernambuco.

Na última década o Estado de Pernambuco sofreu muito com eventos naturais, as inundações ocorridas na Zona da Mata Sul de Pernambuco nos anos de 2000, 2004, 2010 e 2011 e na bacia do Capibaribe no ano de 2011 deixaram prejuízos econômicos e perdas de vidas humanas (ALBUQUERQUE, 2010).

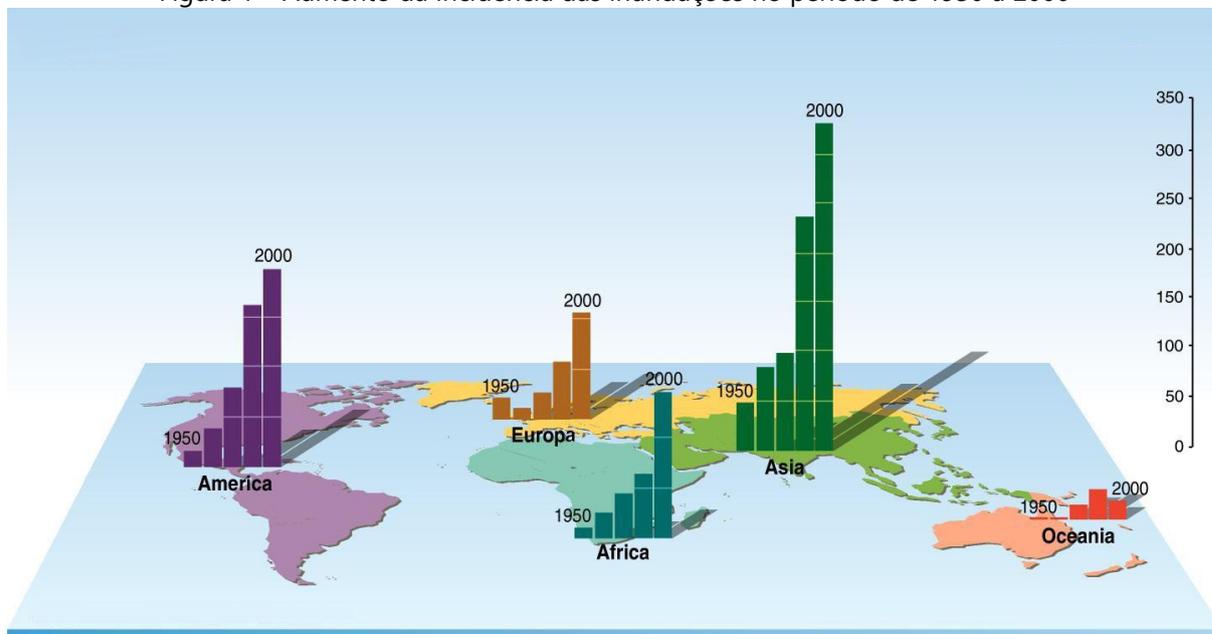
Localizado no Estado de Pernambuco, o rio Capibaribe tem fundamental importância para a economia de vários municípios inseridos em sua bacia, que dependem diretamente do rio, a saber: no alto Capibaribe, o polo de jeans localizado no município de Toritama, a cana-de-açúcar, uma das principais fontes de renda no médio e parte do baixo Capibaribe, e muito embora o Capibaribe não exerça, nos dias de hoje, um papel fundamental na economia da capital pernambucana ele ainda faz parte do cotidiano das pessoas, quer seja por sua beleza, que faz Recife ser conhecida como a Veneza pernambucana, ou pelo assombro que ainda causa às pessoas no período de inverno.

Existe, no atual governo do Estado, um programa chamado *Rios da gente*, que atualmente está em fase de execução e transformará o Capibaribe em um rio navegável, desafogando o trânsito de Recife.

Mesmo causando muitas mortes, doenças e perdas econômicas, os eventos meteorológicos e hidrológicos extremos não causam muito interesse aos órgãos governamentais e parece ser comum, ainda nos dias de hoje, a política de agir depois que o problema já aconteceu, dessa forma é deixada de lado uma das bases fundamentais para situações que envolvem riscos associados às inundações, enchentes e alagamentos: as ações preventivas.

A Figura 1 apresenta o aumento dos eventos de inundações no mundo, entre os anos de 1950 e 2000.

Figura 1 – Aumento da incidência das inundações no período de 1950 a 2000



Fonte: Dantas (2012)

Um dos maiores desafios da humanidade até os dias de hoje é tentar prever eventos naturais e aleatórios como as chuvas, tempestades e furacões. Eventos extremos como os acontecidos na Zona da Mata Sul de Pernambuco em 2010 e 2011 ainda hoje são difíceis de prever com muita antecedência, mas alguns dias, ou mesmo horas, podem ser suficientes para que as defesas civis municipais e estaduais possam alertar a população e reduzir o número de mortes e os impactos econômicos. Sendo assim o desenvolvimento de uma ferramenta de banco de dados hidrometeorológico que integre situações passadas, presente e futuras e que possa ser facilmente manipulado por prefeituras, defesa civil e pela sociedade civil em geral é de fundamental importância.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Criar um banco de dados hidrometeorológico que integre informações históricas na bacia do rio Capibaribe, e desenvolver um software que identifique possíveis eventos de inundações para mitigar os impactos para a sociedade.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Aliados ao objetivo geral são objetivos específicos deste trabalho:

- Determinar as variáveis mais importantes para comparações de eventos passados e presentes
- Criar um banco de dados hidrometeorológicos com as variáveis determinadas
- Programar e validar o software estatístico

1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho foi organizado em cinco capítulos:

- O Capítulo 2 reúne a revisão da bibliografia sobre o tema. Neste capítulo também é feito um retrospecto histórico das inundações na bacia do rio Capibaribe e das ações mitigadoras já adotadas;
- O Capítulo 4 descreve os materiais e métodos para a pesquisa, incluindo descrição da região escolhida para o estudo de caso, a bacia do rio Capibaribe;
- O Capítulo 4 traz os resultados e discussão relevantes aos objetivos da dissertação, com a apresentação do software proposto como suporte aos projetos e ações de contenção de cheias, ao planejamento urbano, ao monitoramento de inundações e aos alertas para a população;
- Por fim, o Capítulo 5 ressalta os principais pontos dos resultados obtidos, bem como aponta possibilidades de futuros trabalhos a serem desenvolvidos na continuidade desta pesquisa.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O CONCEITO DE DESASTRES NATURAIS

TOMINAGA *et. al.* (2009) mostra que quando fenômenos naturais atingem áreas ou regiões habitadas pelo homem, causando-lhe danos, passam a se chamar desastres naturais.

Desastre pode ser definido como uma grave perturbação do funcionamento de uma comunidade ou de uma sociedade envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas ou ambientais de grande extensão, cujos impactos excedem a capacidade da comunidade ou da sociedade afetada de arcar com seus próprios recursos (UN-ISDR, 2009 *apud* TOMINAGA, 2009).

Não devemos considerar apenas as enchentes, terremotos ou os furacões como causadores de desastres. As cheias ocorridas em Pernambuco (anos de 2010 e 2011) devem ser tratadas como desastres, evidentemente, mas o período de estiagem que grande parte do Nordeste do Brasil - NEB vem passando desde 2012 também deve ser olhado com atenção pelas autoridades, e deve ser classificado como um desastre.

Segundo TOMINAGA *et. al.* (2009) os critérios objetivos adotados no Relatório Estatístico EM-DAT (*Emergency Disasters Data Base*) sobre Desastres de 2007 consideram a ocorrência de pelo menos um dos seguintes critérios:

- 10 ou mais óbitos;
- 100 ou mais pessoas afetadas;
- declaração de estado de emergência;
- pedido de auxílio internacional.

2.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES

ALCÂNTARA-AYALA (2002) mostra as classificações mais utilizadas distinguindo-se os desastres quanto à origem e à intensidade.

2.1.1.1. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES QUANTO À ORIGEM

Quanto à origem, os desastres podem ser classificados de duas formas: naturais ou humanos (antropogênicos). Desastres Naturais são os causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza que atuam independentemente da ação antrópica. Em geral, considera-se como desastre natural todo aquele que tem em sua formação inicial um fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana. Exemplo: as chuvas intensas que provocam inundação, erosão e escorregamentos; ventos fortes formando vendaval, tornado e furacão; etc. Desastres antropogênicos são aqueles resultantes de ações ou omissões humanas e estão relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor. Exemplos: acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminação de rios, rompimento de barragens (ALCÂNTARA-AYALA, 2002).

Os desastres naturais podem ser ainda originados pela dinâmica interna e externa da Terra. Os decorrentes da dinâmica interna são terremotos, maremotos, vulcanismo e tsunamis. Já os fenômenos da dinâmica externa envolvem tempestades, tornados, inundações, escorregamentos, entre outros (ZONSEIN, 2007).

2.1.1.2. CLASSIFICAÇÃO DOS DESASTRES QUANTO À INTENSIDADE

A avaliação da intensidade de desastres é muito importante para facilitar o planejamento da resposta e da recuperação da área atingida. As ações e os recursos necessários para socorro às vítimas dependem da intensidade dos danos e prejuízos provocados (Tabela 1).

Tabela 1 - As ações e os recursos necessários para socorro em desastres

Nível	Intensidade	Situação
I	Pequena intensidade, também chamados de acidentes, pouco importantes, prejuízos pouco vultosos. (Prejuízo menor que 5% PIB municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
II	Média intensidade e de alguma importância, prejuízos significativos e não vultosos. (Prejuízos entre 5% e 10% PIB municipal)	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração especial.
III	De grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos. (Prejuízos entre 10% e 30% PIB municipal)	A normalidade pode ser restabelecida com recursos locais complementados com recursos estaduais e federais. (Situação de Emergência – SE)
IV	Muito grande intensidade, impactos muito significativos e prejuízos muito vultosos. (Prejuízos maiores que 30% PIB municipal)	Não superável pelo município, sem que ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional. (Estado de Calamidade Pública – ECP)

Fonte: TOMINAGA *et. al.* (2009)

2.2. O CONCEITO DE RISCO

Segundo ZONSEIN (2007) o conceito de risco possui significado variável, de acordo com o contexto em que está inserido, seja ele um risco social, econômico ou ambiental. A diversidade de definições pode gerar interpretações errôneas, dificultando a tarefa de análise de risco. A busca por uma definição única, aplicável em todas essas esferas, é desaconselhável, devido às dificuldades em se abordar aspectos tão distintos e específicos de cada uma delas. No entanto, é necessário que a interpretação particular adotada seja esclarecida previamente a qualquer análise, devendo também ser coerente com o tema abordado.

Na estatística, o risco normalmente é usado como sinônimo da probabilidade de um evento indesejável. Do ponto de vista econômico, o risco é entendido como a variabilidade ou volatilidade inesperada do retorno financeiro, ou como a possibilidade de um investimento perder seu valor. No campo da engenharia, o risco

está relacionado tanto à probabilidade de ocorrência de um evento, quanto à expectativa de perdas causadas por ele (ZONENSEIN, 2007).

De acordo com a última definição, o risco estaria, portanto, dividido em dois componentes básicos: um que se refere à probabilidade de ocorrência de um evento e outro, relativo às suas consequências (ZONENSEIN, 2007). Em se tratando do risco de cheia, em particular, esta é a definição tradicionalmente utilizada e aceita, sendo, portanto, adotada doravante.

Para TOMINAGA *et. al*, (2009) o risco expressa a possibilidade de perdas materiais ou sociais, através da ocorrência de um acidente. Para existir o risco, é necessário que haja alguma ocupação do espaço. Os processos geológicos naturais só criam situações de risco quando as pessoas ocupam os locais onde eles ocorrem. Deslizamentos, erosões e inundações já ocorreram em várias partes do mundo, alterando as paisagens e os materiais terrestres, sem causar danos às pessoas, e algumas vezes não sendo sequer detectados, caracterizando, portanto, um evento natural.

É comum que os termos risco e perigo (do inglês *risk* e *hazard*, respectivamente) sejam confundidos na linguagem cotidiana. Ainda que estes conceitos estejam de fato relacionados, eles não devem ser utilizados como sinônimos na terminologia técnica (ZONENSEIN, 2007).

Perigo é definido como à situação que tem potencial para causar danos e ameaça à existência ou os interesses de pessoas, propriedades ou meio ambiente (CETESB, 2003). Sendo assim, pode-se concluir que o perigo é um evento inerente a determinada situação e não pode, portanto, ser controlado ou reduzido. Por outro lado, pode-se gerenciar o risco, de inundação, por exemplo, em determinada área reduzindo suas consequências e os danos sociais e econômicos.

Tão importante quanto conhecer as definições de termos como risco e perigo é entender o conceito de vulnerabilidade social de uma população. Esse conceito tem sido utilizado para a caracterização de grupos sociais que são mais afetados por eventos de natureza ambiental, inclusive aqueles ligados ao clima. As principais

abordagens conceituais sobre vulnerabilidade têm vindo da comunidade científica que estuda os efeitos e a prevenção de impactos dos chamados desastres naturais.

A vulnerabilidade foi definida por BLAIKIE *apud* CONFALONIERI (2003) como as características de uma pessoa ou grupo em termos de sua capacidade de antecipar, lidar com, resistir e recuperar-se dos impactos de um desastre climático.

Também PELLING & UITTO (2002) a definiram como o produto da exposição física a um perigo natural e da capacidade humana para se preparar e recuperar-se dos impactos negativos dos desastres.

A vulnerabilidade é um produto da pobreza, ou seja, quando mais pobre, maior a tendência do indivíduo ser vulnerável à fenômenos naturais. LEONE E VINET (2006) exemplificam esta ideia usando o IDH (Índice de Desenvolvimento Econômico), onde países mais pobres e com o IDH menor que 0,8 (México, por exemplo) registraram 96% dos óbitos mundiais relativos aos fenômenos naturais ocorridos entre 1973 e 2002.

MENDONÇA (2011) mostra que as vulnerabilidades socioambientais urbanas, estão associadas aos riscos, contingências sociais, políticas econômicas, políticas culturais e mostram diferentes condições de exposição e fragilidade de grupos sociais aos riscos, ou melhor, “a vulnerabilidade socioambiental urbana evidencia a heterogeneidade dos impactos advindos dos riscos que se abatem sobre uma dada população, constituindo ambos – risco e vulnerabilidade socioambiental urbana – uma seara de alta complexidade para compreensão a gestão urbana”.

Para RIBEIRO (2010) vulnerabilidade é a capacidade de um grupo humano prever e preparar-se para um desastre. Isso depende de uma série de fatores, como a percepção do risco, a capacidade de prever o desastre e a possibilidade de adotar medidas eficazes para proteger o grupo social do desastre, que é efêmero e pode ocorrer de modo surpreendente. A vulnerabilidade pode ser aferida à luz desses parâmetros e faz sentido para avaliar o estágio do grupo social sujeito ao risco e para organizar uma intervenção do Estado, que passa a ter uma medida que permite

dimensionar carências e planejar ações preventivas ao evento que gera uma catástrofe.

O estudo da vulnerabilidade social em ambientes sujeitos aos efeitos do clima é de fundamental importância para a orientação de ações preventivas (CONFALONIERI, 2003).

Já com relação às pesquisas sobre percepção de riscos de inundações, o primeiro trabalho brasileiro foi o de PASCHOAL (1981), que investigou a percepção dos moradores do bairro Cambuci, localizado no município de São Paulo, que sofriam com inundações desde a década de 1960.

O estudo revelou importantes aspectos, tais como a percepção sobre a área de influência das inundações; os episódios mais lembrados; a consciência com relação aos danos e às perdas econômicas causadas; a sensibilidade dos moradores com relação ao tempo meteorológico; e as atitudes adotadas para a convivência com o risco. Outro aspecto evidenciado por PASCHOAL (1981) foi quanto à ausência de organização coletiva por parte dos moradores, o que poderia fortalecer as suas reivindicações junto ao poder público municipal de São Paulo.

POMPÍLIO (1990) também desenvolveu pesquisa sobre a percepção dos riscos de inundações na bacia hidrográfica do rio Itajaí, no Estado de Santa Catarina. Os atributos pesquisados pela autora foram: a consciência sobre inundações; a memória sobre os eventos e os prejuízos, dentre outros tópicos. A pesquisa mostrou como as pessoas e os diferentes grupos socioculturais entendem e assimilam os eventos e suas consequências.

Os desastres naturais mataram uma média de 60.000 pessoas por ano, entre 1992 e 2001. Para o mesmo período os desastres afetaram diretamente 200 milhões de pessoas e causaram prejuízos em torno de US\$ 69 bilhões por ano. Os danos provocados por desastres naturais aumentaram cerca de três vezes desde a década de 1960, deixando mais de três milhões de mortos e 800 milhões de desabrigados. O Banco Mundial, entre os anos de 1980 e 2003, fez empréstimos emergenciais relacionados a desastres de aproximadamente US\$ 14,4 bilhões. Deste montante,

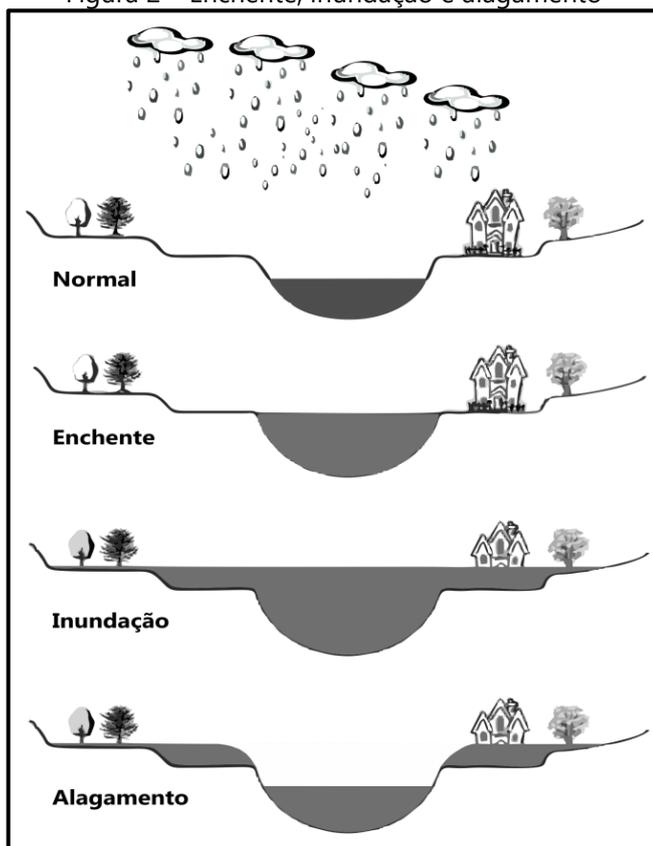
US\$ 12 bilhões foram destinados para apenas 20 países, que possuem cerca de metade de sua população em áreas de alto risco (GOERL *et. al.*, 2009).

2.3. ALAGAMENTOS, ENCHENTES E INUNDAÇÕES

Existem diversos termos relacionados ao fenômeno das inundações e enchentes, muitos destes termos são usados erroneamente em virtude de traduções equivocadas e adaptações mal feitas de termos provenientes de línguas estrangeiras, principalmente do inglês e espanhol. As palavras cheia e enchente têm como origem o verbo encher, do Latim *implere*, que significa ocupar o vazio, a capacidade ou a superfície de; tornar cheio ou repleto. Para melhor entender o que realmente caracteriza uma enchente, tem-se o exemplo de um copo. Quando se coloca uma quantidade de água até a sua máxima capacidade diz-se que o copo está cheio. Esta situação também ocorre com os rios. Quando as águas do rio elevam-se até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação. A Figura 2 demonstra a diferença entre as enchentes e inundações.

A partir deste transbordamento, ocorrem diversos tipos de inundações, das quais os tipos mais comuns são as inundações costeiras, graduais e bruscas (KRON, 2002). Enquanto a primeira é relacionada ao local específico, isto é, a zona costeira, as duas últimas estão ligadas à velocidade do próprio fenômeno e podem ocorrer em quaisquer locais (GOERL & KOBAYAMA, 2005). Para este trabalho as mais importantes são as inundações graduais e as inundações bruscas.

Figura 2 – Enchente, inundação e alagamento



Fonte: Dantas (2012)

2.3.1. INUNDAÇÕES GRADUAIS

As inundações graduais são aquelas que, como o próprio nome diz, ocorrem gradualmente, ou seja, a elevação do nível das águas e o conseqüentemente transbordamento ocorrem lentamente. Na língua inglesa é denominada *flood* ou *flooding* (GOERL & KOBIYAMA, 2005).

Elas ocorrem nas áreas adjacentes às margens dos rios que por determinados períodos permanecem secas, ou seja, na planície de inundação. Geralmente são provocadas por intensas e persistentes chuvas e a elevação das águas ocorre gradualmente. Devido a esta elevação gradual das águas, a ocorrência de mortes é menor que durante uma inundação brusca, contudo, devido a sua área de abrangência, a quantidade total de danos acaba sendo elevada (GOERL & KOBIYAMA, 2005).

Segundo KOBAYAMA (2005) esta inundação está associada a grandes rios, como o Nilo, o Amazonas, o Mississipi-Missouri. Conseqüentemente, esse tipo de inundação acaba possuindo uma sazonalidade e uma sazonalidade previsível. Contudo, nota-se que não são todas as inundações graduais que possuem sazonalidade, como no Amazonas e no Pantanal. Este foi o caso das inundações ocorridas em 1983 no Estado de Santa Catarina, onde devido a persistentes e excessivas chuvas provocadas pelo fenômeno El Niño houve inundações em todo o Estado de Santa Catarina (GOERL & KOBAYAMA, 2005).

A cidade de Manaus, localizada no baixo rio Negro, na confluência com o rio Solimões, é um bom exemplo para inundações graduais, a análise de frequência dos níveis do rio Negro em Manaus feita por OLIVEIRA *et. al.* (2006) indica como características a ocorrência de um pico anual e um tempo de ascensão longo, por volta de 234 dias.

2.3.2. INUNDAÇÕES BRUSCAS

As inundações bruscas são aquelas que ocorrem repentinamente, com pouco tempo de alarme e alerta para o local de ocorrência. Em Santa Catarina, este tipo de inundação geralmente está associado a sistemas convectivos de mesoescala ou sistemas convectivos isolados, de acordo com MARCELINO *et. al.* (2004) *apud* GOERL & KOBAYAMA, (2005). Na língua inglesa é conhecida como *flash flood*, e no Brasil são conhecidas popularmente como enxurrada.

A enxurrada é definida por TOMINAGA *et. al.*, (2009) como sendo o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não, estar associado às áreas de domínio dos processos fluviais, segundo ele, é comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural.

As inundações bruscas possuem características muito diferentes das inundações graduais. Como o próprio nome diz, elas são bruscas, ou seja, devem ocorrer no tempo próximo da ocorrência do evento que as causam. Outra característica particular deste tipo de inundação é o pouco ou nenhum tempo de alerta. Por elas se desenvolverem bruscamente, geralmente atingem as áreas susceptíveis a ela de surpresa, não havendo tempo hábil para os moradores tomarem os devidos procedimentos para se protegerem ou salvar os seus bens (GOERL & KOBIYAMA, 2005). As inundações bruscas só podem ser previstas a partir da previsão de precipitações sobre a bacia

2.4. INFLUÊNCIAS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O desenvolvimento econômico e agrícola do Brasil tem sido caracterizado, nas últimas décadas, pelo uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento, o que, aliado às características de solo e clima, promoveu grandes perdas de solo por erosão (VANZELA *et. al.*, 2010).

As consequências desses fatores são o carreamento de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas para o leito dos cursos d'água no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais (VANZELA, *et. at.*, 2010).

Esse carreamento de sedimentos para o leito dos rios provoca uma diminuição da profundidade e uma perda de área para escoamento dos rios, aumentando assim o risco de inundações.

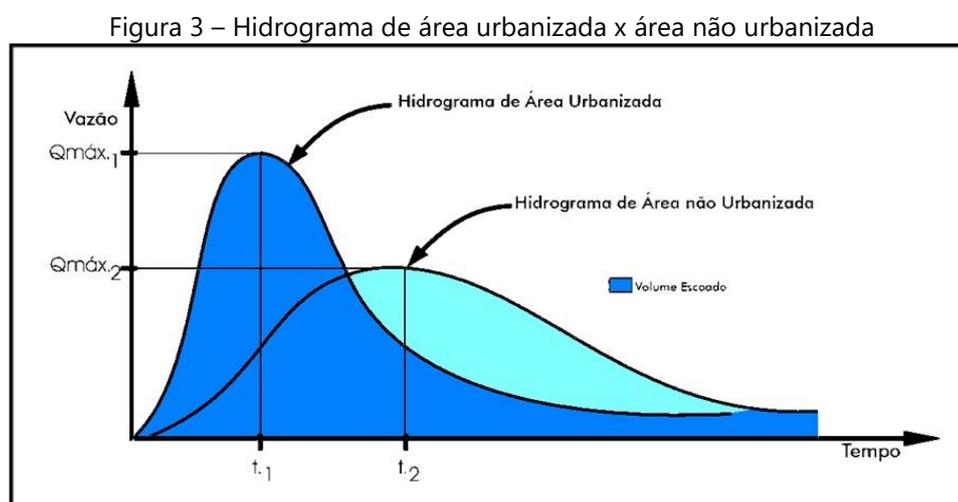
O processo de urbanização é outro fator que traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração, o que tem como consequência direta o aumento na ocorrência de inundações urbanas (JUSTINO *et. al.*, 2011).

Um das causas das inundações urbanas é a quase total impermeabilização dos solos nas zonas urbanas, os sistemas de drenagem de águas pluviais ineficientes,

acúmulo de lixos e outros detritos em bocas de lobo e corpos d'águas que impedem o escoamento normal das águas e a gerência inadequada ou a não existência de planejamento de drenagem de águas pluviais pelos municípios (JUSTINO *et. al.*, 2011).

A impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros vai reter a parcela da água que antes infiltrava, essa parcela passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. O hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na Figura 3. Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial (TUCCI, 2007).

A influência direta da impermeabilização dos solos é tratada quase como um consenso nas publicações sobre eventos de enchentes e alagamentos. As citações de TUCCI (2007) e JUSTINO *et. al.* (2011) feitas no texto acima são apenas uma pequena amostra dos artigos e trabalhos que tratam dos efeitos e das consequências que a urbanização e a impermeabilização trazem aos grandes centros urbanos.

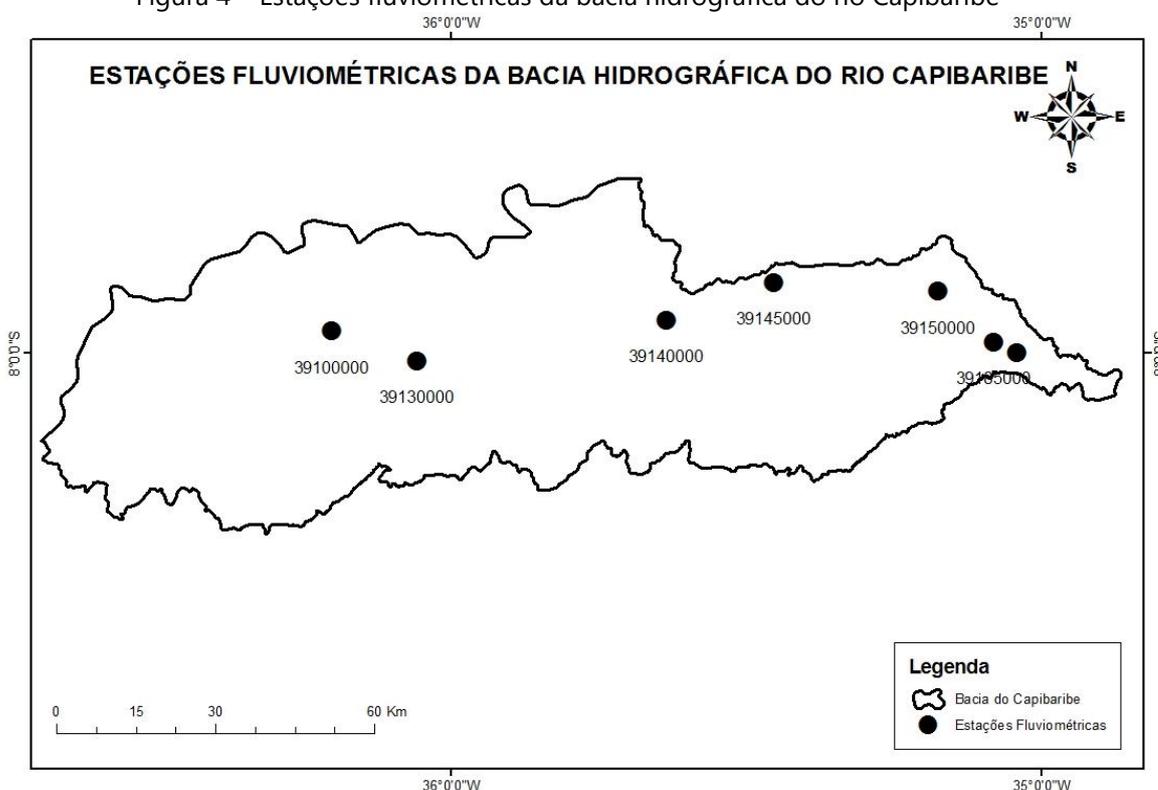


Fonte: TUCCI (1995)

2.5. RETROSPECTO HISTÓRICO DAS INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO CAPIBARIBE E DAS AÇÕES MITIGADORAS JÁ ADOTADAS

A bacia do Capibaribe, que corresponde à Unidade de Planejamento Hídrico UP-2, está localizada a Norte Oriental do Estado de Pernambuco, entre os paralelos -7°04'20" e -8°19'30" e os meridianos de longitude -34°51'00" e -36°41'58", limita-se ao Norte com o Estado da Paraíba, a bacia do rio Goiana e grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 1 - GL1, ao Sul com a bacia do rio Ipojuca e o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 2 - GL2, a Leste com o Oceano Atlântico e os grupos GL1 e GL2 e, a Oeste, com o Estado da Paraíba e a bacia do rio Ipojuca (PERNAMBUCO, 1998). A Figura 4 mostra a distribuição das estações fluviométricas instaladas no curso principal da bacia.

Figura 4 – Estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Capibaribe



Fonte: CRPM (2011b)

Cronologicamente, embora existam registros de cheias catastróficas que remontam ao ano de 1842, algumas características das maiores cheias ocorridas no rio Capibaribe, em épocas recentes, estão referenciadas na Tabela 2, realçando-se a contribuição dos trechos alto, médio e baixo dessa bacia para a formação das enchentes em Recife (ANDRADE, 2006).

Tabela 2 - Características das maiores cheias no rio Capibaribe

Data da enchente	Vazão medida (m ³ /s)		Contribuição das partes da bacia na formação de enchentes no Recife (%)	
	Limoeiro	São Lourenço	Alta e Média	Baixa
03/1960	1.350	1.300	54	46
06/1965	640	1.420	27	73
06/1966	1.450	2.200	44	56
03/1969	780	850	66	34
07/1970	820	1.650	33	67
08/1970	395	900	22	78
07/1975	2.300	3.400	45	55

Fonte: ANDRADE (2006)

Embora os registros indiquem que a maior enchente registrada nos últimos cem anos tenha sido em 1975, com uma vazão estimada de 3.400 m³/s, informações indicam que a enchente em 1869 atingiu níveis provavelmente superiores a que ocorreu em 1975 (PAIVA *et. al.*, 2007).

A cheia de 1975, considerada a maior calamidade do século, ocorreu entre os dias 17 e 18 de Julho, deixando 80% do perímetro urbano do município de Recife sob as águas. Causando a morte de 107 pessoas e desabrigando outras 350 mil, a cheia atingiu outros 25 municípios da bacia do Capibaribe. Na capital e interior, 1.000 km de ferrovias foram interditados, pontes desabaram, casas foram arrastadas pelas águas (ANDRADE, 2006).

Só no Recife, trinta e um bairros, trezentas e setenta ruas e praças ficaram submersos; 40% dos postos de gasolina da cidade foram inundados, o sistema de energia elétrica foi cortado em 70% da área do município, e quase todos os hospitais recifenses ficaram inundados. Por terra, o Recife ficou isolado do resto do País

durante dois dias. Nessa época só existia a barragem de Tapacurá, concluída no ano de 1973, operando na atenuação das cheias do rio Tapacurá (ANDRADE, 2006).

Os problemas causados pela enchente de 1975 e o histórico de dados mostrando que os trechos médio e baixo do rio Capibaribe contribuem de forma substancial para as cheias, fez com que Governo Federal, à época, através do Departamento de Obras de Saneamento - DNOS, projetasse e executasse obras hidráulicas para a defesa do Recife contra as inundações (PEREIRA, 1976 *apud* ANDRADE, 2006).

As maiores intervenções foram: i) a construção da barragem Carpina, no rio Capibaribe (concluída em 1978), que permite laminar uma vazão efluente máxima de $300 \text{ m}^3/\text{s}$; ii) a construção da barragem Goitá (concluída em 1978), para controle de cheias do rio Goitá, afluente da margem direita do rio Capibaribe, permitindo laminar uma vazão efluente máxima de $100 \text{ m}^3/\text{s}$; iii) intervenções no leito do rio Capibaribe, no Recife, visando aumentar a capacidade de escoamento da calha urbana, de modo a comportar uma descarga de $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$, o que não foi ainda efetivado (atualmente a capacidade da calha fica em torno de $700 \text{ m}^3/\text{s}$); iv) melhorias na operacionalidade da barragem Tapacurá, projetada para laminar uma descarga máxima de $150 \text{ m}^3/\text{s}$ (ANDRADE, 2006). No ano de 1998, o Departamento Nacional de Obras contra Seca - DNOCS construiu a barragem de Jucazinho, para usos múltiplos, incluindo o controle de cheias da parte alta da bacia do rio Capibaribe (ANDRADE, 2006).

Os dados apresentados na Tabela 02 mostram eventos em tempos recentes, mas é fácil encontrar registros de cheias mais antigas publicadas em matéria de jornais de grande circulação em Pernambuco, como a entrevista com o professor Alex Maurício Araújo, Coordenador do Grupo de Mecânica dos Fluidos da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, que mostrou uma pesquisa histórica de dados com abrangência de 158 anos registrando diversos eventos de enchentes na bacia do rio Capibaribe, são eles: no século 19 (1842, 1854, 1869, 1884, 1894, 1897, 1899); no século 20 (1914, 1920, 1924, 1965, 1966, 1970 e 1975). O professor Alex Maurício

Araújo também analisa a frequência de eventos distribuída por meses, onde se tem: Fevereiro (1 evento), Abril (3 eventos), Junho (7 eventos) e julho (3 eventos).

Em 2004, um evento chuvoso excepcional ocorreu no Alto Capibaribe e em uma parte do médio Capibaribe. Estima-se que a bacia de Jucazinho, produziu um volume escoado de mais de 292.500.000 m³ entre 24/01/2004 e 09/02/2004. No dia 06 de fevereiro ocorreu o maior vertimento do reservatório de Jucazinho com uma vazão estimada em 621 m³/s. Estima-se também que a bacia não controlada de Carpina produziu um volume de 50 milhões m³. A barragem de Carpina mostrou-se eficiente como controladora de cheia, já que não foi registrada enchente na cidade do Recife (PAIVA *et. al.*, 2007).

As recentes chuvas de junho de 2010 causaram sérios danos em várias cidades do Estado de Pernambuco, várias delas na bacia do Capibaribe. Esse evento foi resultado de uma precipitação de seis dias (14 a 19 de junho de 2010), totalizando 347,7mm. Vale ressaltar que essa medição foi advinda de posto pluviométrico de Recife operado pelo Laboratório de meteorologia de Pernambuco – LAMEPE.

Neste evento foram registrados: 33 municípios em situação de emergência e 11 em estado de calamidade Pública. Neste contexto, foram registradas 12.638 pessoas desabrigadas e 7.991 desalojadas.

Durante o mês de abril de 2011 o Estado de Pernambuco estava superando todas as médias históricas de chuva em várias regiões, inclusive na bacia do rio Capibaribe e na tarde do dia 05 de maio de 2011 o fantasma de uma inundação voltou a assombrar a cabeça dos recifenses deixando a cidade em grande caos, com órgãos públicos e o comércio em geral fechando as portas por conta de um boato que o rio Capibaribe havia subido 12,5 m (FONSECA, 2011).

As chuvas deste período foram ocasionadas pela atuação conjunta de alguns sistemas atmosféricos tais como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), do Anticiclone do Atlântico Sul e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (CABRAL *et. al.*, 2013).

Naqueles dias o alerta vermelho estava ligado para a cidade de Recife, as barragens de Jucazinho e Tapacurá já haviam ultrapassado sua capacidade de acumulação e vertiam livremente. O papel de defesa da cidade de Recife passara à Barragem de Carpina, no município de Lagoa do Carro, a cerca de 60 km de Recife.

Em uma velocidade impressionante o nível do reservatório rapidamente chegou a 80% de sua capacidade de acumulação. No dia 03/05/2011 a barragem acumulava 27,51% de seu volume total, passando, em um intervalo de apenas três dias, para 83,08%, esse aumento se deu em uma proporção geométrica e graças à operação eficiente da barragem de Carpina realizada pela APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima não ocorreu realmente uma grande enchente em Recife (FONSECA, 2011).

A barragem de Carpina, inaugurada em 1978, opera na maioria do tempo em 20% de seu volume, de modo a armazenar uma grande cheia à montante, é uma barragem utilizada exclusivamente para contenção de enchentes, tendo se mostrado eficiente na redução dos impactos das cheias à jusante. Caso Carpina não existisse a cheia ocorrida em 2011 teria sido duas vezes maior que a cheia de 1975, segundo FONSECA (2011).

Embora o rio Capibaribe seja hoje um rio controlado e não ofereça grandes riscos ao município de Recife, a bacia como um todo ainda sofre, de forma pontual, com inundações, os municípios de São Lourenço da Mata, Paudalho, Limoeiro e Toritama ainda têm pontos com riscos de inundações.

FONSECA (2011) em seu livro Tapacurá: viagem ao planeta dos boatos trata do imaginário da população acerca do medo de que uma grande enchente no rio Capibaribe pudesse ter dimensões catastróficas iguais à enchente do ano de 1975.

2.6. ALGUNS CONCEITOS HIDROLÓGICOS

Os processos hidrológicos determinísticos são aqueles que resultam da aplicação direta de leis da física, química ou biologia. Em hidrologia, são raríssimas as ocorrências das regularidades inerentes aos processos puramente determinísticos, nos quais as variações espaço-temporais podem ser completamente explicadas por um número limitado de variáveis, a partir de relações funcionais ou experimentais unívocas (NAGHETTINI *et. al.*, 2007).

Quase todos os processos hidrológicos são considerados estocásticos, ou governados por leis de probabilidades, por conterem componentes aleatórias as quais se superpõem a regularidades eventualmente explicitáveis, tais como as estações do ano ou às variações da radiação solar no topo da atmosfera ao longo da órbita da Terra em torno do Sol (NAGHETTINI *et. al.*, 2007).

Sendo assim a estatística passa a ser uma ferramenta útil na busca pelo entendimento dos processos hidrológicos, em especial para determinação das possíveis causas de eventos extremos relacionados às chuvas e enchentes.

2.6.1. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração é parâmetro fundamental para a caracterização tanto do pico como do formato do hidrograma e, portanto, é primordial na estimativa de vazões máximas e previsão de desastres naturais (FARIAS JÚNIOR & BOTELHO, 2011).

O conceito de tempo de concentração (T_c) traduz importantes características fisiográficas da bacia, como comprimento do rio principal e densidade de drenagem. A rugosidade da superfície da bacia e o tipo de uso e cobertura do solo também são importantes variáveis para a estimativa do tempo de concentração (FARIAS JÚNIOR & BOTELHO, 2011).

Segundo (SILVEIRA, 2005) o tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que surge da hipótese que a bacia hidrográfica responde como sistema linear para o escoamento superficial direto. Define-se como tempo de concentração o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica esteja contribuindo com a água sobre ela precipitada, desde o início da chuva, para uma determinada seção do curso de água ou da superfície da bacia objeto de análise. Dessa forma, o conhecimento do tempo de concentração é fundamental para a determinação da máxima vazão que estará contribuindo para um determinado local da bacia após o início da chuva (SILVA *et. al.*, 2007). Nesta condição hipotética de resposta linear da bacia, o tempo de concentração é o tempo de equilíbrio quando se estabelece o regime permanente entre uma chuva efetiva de intensidade constante e o escoamento superficial direto dela decorrente (SILVEIRA, 2005).

O tempo de concentração, como parâmetro hidrológico invariável, pode ser definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até o seu exutório (McCuen *et al*, 1984 *apud* SILVEIRA, 2005).

Os fatores que influenciam o tempo de concentração de uma dada bacia são: a forma da bacia, a sua declividade média, a sinuosidade e a declividade do seu curso principal, entre outros. Há diversas metodologias para se calcular o tempo de concentração (T_c); a grande maioria leva em conta apenas a declividade do curso principal e a área da bacia, a mais adequada depende das condições específicas para as quais foram geradas. Para tanto é preciso identificar a origem dos estudos, experimentais de campo ou laboratoriais, para que possam ser identificadas suas limitações e aplicabilidade (ARAÚJO *et. al.*, 2011).

McCUEN *et al.* (1984) *apud* FARIAS JÚNIOR & BOTELHO (2011) afirmam que o tempo de concentração pode ser estimado a partir do intervalo temporal entre o fim da precipitação efetiva e o fim do escoamento superficial, proveniente da precipitação. Devido à dificuldade da estimativa da precipitação efetiva, algumas variações deste método são adotadas, como optar por utilizar o fim do evento de

precipitação, fim da precipitação útil, em vez do fim da precipitação efetiva, ou seja, a parcela da precipitação total que efetivamente gera escoamento superficial.

SILVEIRA (2005) fez um apanhado das principais características de algumas fórmulas, sendo as principais:

- A fórmula de *Ven te Chow* é originalmente uma fórmula de tempo de pico e as fontes bibliográficas consultadas que a publicaram corretamente foram DAEE (1978) e MOPU (1987), com as respectivas escolhas de unidades.
- Na publicação de *Prusky e Silva* (1997) a fórmula de tempo de pico de *Ven te Chow* é publicada como sendo uma fórmula de tempo de concentração, não tendo sido aplicado um fator corretivo para tal, assim seu uso subestima o T_c . No presente artigo foi aplicado o fator 1,67, conforme sugerido por *McCuen et al*, 1984.
- A equação de *Dooge* foi divulgada no Brasil por Porto (1995). No boletim técnico do USDA (1973) encontra-se a mesma fórmula, com outras unidades de medida, sem discrepâncias com a adaptação de Porto (1995). Entretanto, em *Prusky e Silva* (1997) há um erro de grafia (Dodge no lugar de *Dooge*) e uma indicação errônea da unidade da declividade (m/km quando o certo seria m/m).
- As outras fórmulas italianas, de *Pasini e Ventura*, foram divulgadas no Brasil por *Pfafstetter* (1976). Há uma pequena diferença no coeficiente da fórmula de *Pasini* (0,107 contra 0,108 da internet italiana) que é irrelevante.
- Sobre a fórmula de *Picking*, a referência primária no Brasil parece ser a de *Pinto et al* (1976), que infelizmente não citou explicitamente a fonte e uma procura bibliográfica dessa fórmula em outras fontes revelou-se infrutífera.

A Tabela 3 mostra as características das bacias-base usadas para o desenvolvimento das principais metodologias para cálculo de tempo de concentração, usadas por SILVEIRA (2005).

Tabela 3 - Características das bacias-base das fórmulas

Nome	Local	N.º de Bacias	Área Km²	Declividade (%)	Extensão (Km)	Tipo
Izzar	EUA	-	-	< 4	< 0,02	Parcela
Kerby	EUA	-	< 0,05	< 1	< 0,37	Parcela
O. Cin. EUA	EUA	-	-	-	<0,03	Parcela
FAA	EUA	-	-	-	-	Parcela
Kirpich	EUA	6/7	< 0,45	3/10	<1,2	Rural
SCS Lag	EUA	-	< 8,1	-	-	Rural
Simas	EUA	168	< 15	-	-	Rural
Chow	EUA	20	1,1/19	-	-	Rural
Dooge	Irlanda	10	140/9	-	-	Rural
Johnst.	EUA	19	65/42	-	-	Rural
C. Eng.	EUA	25	<12000	<14	<257	Rural
Giondotti	Itália	-	-	-	-	Rural
Pasini	Itália	-	-	-	-	Rural
Ventura	Itália	-	-	-	-	Rural
Pickng	-	-	-	-	-	Rural
DNOS	EUA	6	< 0,45	3/10	< 1,2	Rural
G. Ribeiro	EUA/Índia	8	< 19000	1/10	<250	Rural
Schaake	EUA	19	< 0,7	< 7	< 1,8	Urbana
McCuen	EUA	48	0,4-16	< 4	< 10	Urbana
Carter	EUA	-	< 21	< 0,5	< 12	Urbana
Eagleson	EUA	-	< 21	-	-	Urbana
Desbordes	França	21	< 51	< 7	< 18	Urbana
Espey	EUA	17	< 91	-	-	Urbana

Fonte: SILVEIRA, 2005

A maioria dessas fórmulas é restrita a áreas pequenas. ARAÚJO *et. al.* (2011) também desenvolveu uma tabela com fórmulas e comentários que podem ser vistos na Tabela 4. O tempo de concentração será utilizado neste estudo como o valor temporal onde ocorrerá o acúmulo de chuva que irá influenciar (ou não) no regime de cotas do rio Capibaribe em São Lourenço da Mata, sendo assim o primeiro conceito de estatística hidrológica compor o trabalho.

Tabela 4 - Fórmulas empíricas para cálculo do tempo de concentração

Método	Equação	Termos da equação	Comentários
Ventura	$T_c = 240,0 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}}$	T_c = Tempo de concentração [min.], A = Área da bacia [km^2], L = Comprimento de talvegue [km] e H = Diferença de cotas do talvegue entre o ponto mais afastado e a seção de referência da bacia [m].	Recomendado para qualquer tamanho de bacia
Temez	$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{i^{0,25}}\right)^{0,76}$	T_c = Tempo de concentração [h], L = Comprimento da linha de água principal [km], i = declividade média da linha de água principal da bacia [m/m].	Recomendado para bacias com área até 3.000 km^2
Kirpich I	$T_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385}$	T_c = Tempo de concentração [min.], L = Comprimento de talvegue [m] e ΔH = Diferença de Cota [m]	Recomendado para bacias rurais (0,0005- 0,45 Km^2) com canais definidos e declives entre 3 a 10%
Kirpich II	$T_c = 57 \cdot \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0,385}$	T_c = Tempo de concentração [min.], L = Comprimento de talvegue [Km] e S = Declividade média da linha de água principal da bacia [Km/m].	Recomendado para bacias rurais (0,0005- 0,45 Km^2) com canais definidos e declives entre 3 a 10%
Pasini	$T_c = 0,108 \cdot \frac{(A \cdot L)^{1/3}}{i^{0,5}}$	T_c = Tempo de concentração [h], L = Comprimento do talvegue principal [km], A = Área da bacia [km^2], e i = Declividade média da linha de água principal da bacia [m/m].	Recomendado para bacias pequenas, e com pouca declividade
Picking	$T_c = 5,3 \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0,333}$	T_c = Tempo de concentração (min.); i = declividade média do talvegue principal (m/m); L = Comprimento do talvegue principal (km).	Área de drenagem superior a 45 km^2
Ven Te Chow	$T_c = 0,8773 \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0,64}$	T_c = Tempo de Concentração [h], L = Comprimento de talvegue [km], e i = Declividade média da linha de água principal da bacia [m/Km].	Recomendado para pequenas bacias hidrográficas (0,01 – 18,5 km^2) com pouca declividade (9 – 0,51%)
Dodge	$T_c = 21,88 A^{0,77} S^{-0,17}$	T_c = Tempo de Concentração [h], A = Área da Bacia [km^2], e S = Declividade média da linha de água principal da bacia [m/m].	Área de drenagem entre 140 e 930 km^2

Fonte: Adaptada de ARAÚJO *et. al.* (2011)

2.6.2. PROBABILIDADE CONDICIONAL

Intuitivamente a probabilidade é a medida relativa da ocorrência de um evento, entre os extremos de 0 (*impossibilidade*) e 1 (*certeza*). A definição de probabilidade registra uma evolução histórica lenta e gradativa. Atualmente, a moderna teoria das probabilidades utiliza a definição axiomática apresentada por Kolmogorov (1933). A definição axiomática é a seguinte:

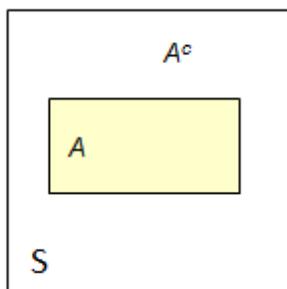
A probabilidade de um evento A , contido em um espaço amostral S (*o conjunto que contém todos os resultados possíveis ou esperados do experimento*), é um número não negativo, denotado por $P(A)$, que satisfaz as seguintes condições:

- i. $0 \leq P(A) \leq 1$
- ii. $P(S) = 1$
- iii. Para eventos disjuntos (a ocorrência de um evento implica na não-ocorrência do outro, ou seja, os eventos não podem ocorrer simultaneamente)

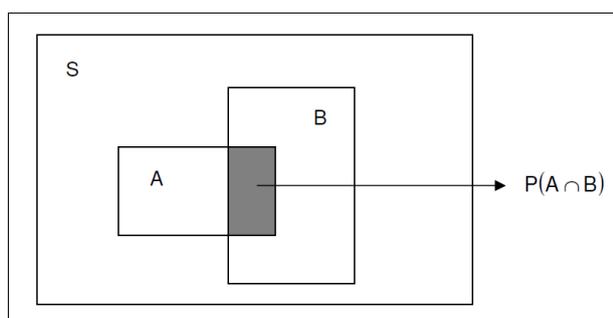
$$E_1, E_2, \dots \rightarrow P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} E_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(E_i)$$

Em decorrência da definição axiomática, temos:

- a) $P(A) \leq 1$
- b) $P(\emptyset) = 0$
- c) $P(A^c) = 1 - P(A)$, onde $P(A^c)$ é a probabilidade de ocorrer o evento complementar ao evento A . O esquema abaixo ilustra o conceito de evento complementar.



- d) Se A e B são dois eventos em S , isto implica que $P(A) \leq P(B)$
- e) $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$, esta é a regra da adição e pode ser facilmente compreendida no partir do esquema abaixo.



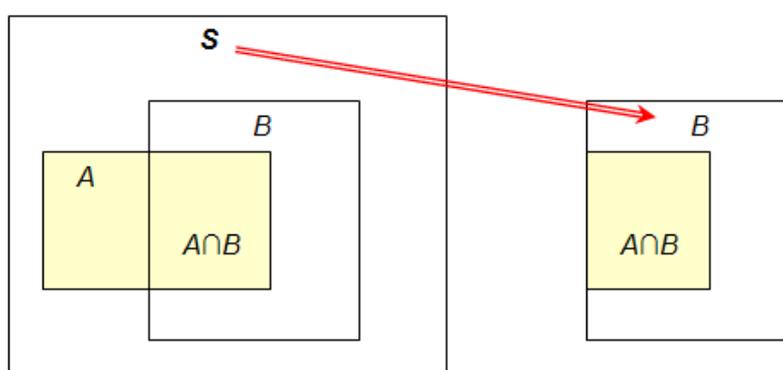
- f) Para eventos A_1, A_2, \dots, A_k em S tem-se $P\left(\bigcup_{i=1}^k A_i\right) \leq \sum_{i=1}^k P(A_i)$

De um modo geral, o objetivo da teoria das probabilidades é encontrar modelos matemáticos que descrevam certos fenômenos naturais em que se supõe intervir o acaso, ou seja, fenômenos para os quais não é possível, a partir do passado, prever deterministicamente o futuro. Estes fenômenos tem a designação de fenômenos aleatórios (MARTINS *et. al.*, 2010).

Quando se têm definidos o espaço amostral e os eventos aleatórios, a etapa seguinte é a de associar uma "probabilidade" a cada um desses eventos, ou seja, uma medida relativa de sua chance de ocorrer, entre os extremos de 0 (impossibilidade) e 1 (certeza). Apesar de tal medida ser algo intuitiva, sua definição matemática teve

uma evolução histórica lenta, incorporando modificações graduais, necessárias à acomodação das diferentes noções e interpretações do conceito de probabilidade.

Segundo NAGHETTINI *et. al.* (2007) a probabilidade de ocorrência de um determinado evento A pode ser influenciado pela ocorrência de outro evento B, uma vez que haverá redução do espaço amostral S para a realização do evento A quando B ocorre. O esquema abaixo ilustra esta situação.



Neste caso, tem-se a seguinte definição:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Nesta equação, $P(A | B)$ significa a probabilidade do evento A, associada (ou condicionada) ao evento B, $P(A \cap B)$ significa a intersecção dos eventos A e B no plano amostral S e $P(B)$ é a probabilidade de ocorrência do evento B.

As propriedades da definição da probabilidade condicional são as seguintes:

- i. Se $P(B) \neq 0$, isto implica que para qualquer evento A, $0 \leq P(A|B) \leq 1$
- ii. Se os eventos A_1 e A_2 são disjuntos em B e se $P(B) \neq 0$, então $P(A_1 \cup A_2|B) = P(A_1|B) + P(A_2|B)$
- iii. Como particularidade de (ii), segue-se que $P(A|B) + P(A|B^c) = P(A)$
- iv. Se $P(B) \neq 0$, $P(A_1 \cup A_2|B) = P(A_1|B) + P(A_2|B) - P(A_1 \cap A_2|B)$

Desta forma quando temos uma informação adicional sobre um experimento ou evento, podemos ser forçados a reavaliar as probabilidades dos eventos a ele associados.

DALLEDONNE (2011) cita o método Bayesiano de Coelho (2005) e Stephenson *et. al.* (2005) como sendo um procedimento de atualização da informação prévia quando novas informações tornam-se disponíveis. A informação prévia pode ser representada matematicamente pela função densidade de probabilidade $p(y)$. Se houver uma ideia sobre a forma de $p(y)$ de uma variável y (chuva observada, por exemplo) para a qual se deseja fazer uma previsão e uma informação adicional x (um conjunto de previsões climáticas, por exemplo) se tornar disponível, então é possível atualizar $p(y)$ para obter a função de densidade de probabilidade condicional posterior $p(y|x)$, através do teorema de Bayes:

$$p(y|x) = \frac{p(y)p(x|y)}{p(x)}$$

Se usarmos o teorema de Bayes exemplificado por DALLEDONNE (2011) e considerarmos a informação prévia $p(y)$ como sendo a cota da estação de controle em centímetros e a nova informação como sendo a precipitação (x) média acumulada da bacia em milímetros dentro do tempo de concentração da bacia estudada teremos a função correta para determinar a probabilidade condicional de a cota atingir o valor de alerta em função de uma determinada chuva acumulada.

DALLEDONNE (2011) em seu trabalho cita Coelho *et. al.* (2005) e a metodologia de assimilação Bayesiana de forma bem sucedida para a conversão de escalas (downscaling) do conjunto de previsões produzidas por diferentes modelos climáticos dinâmicos para as escalas regionais (previsão de chuva) e locais (previsão de vazão). Além disso, demonstra bons resultados para combinar e calibrar o conjunto de previsões climáticas fornecidas pelos quatro modelos climáticos dinâmicos utilizados e pelo modelo empírico.

ARAÚJO *et. al.* (2012) usa a probabilidade condicional para determinar a possibilidade um dia com chuva ser seguido por outro dia chuvoso ou por um dia seco e classifica a precipitação com sendo um processo não contínuo e suas características probabilísticas sendo fortemente dependentes das escalas de tempo e espaço.

2.6.3. TEMPO DE RETORNO

Outra ferramenta estatística que pode auxiliar na determinação da ciclicidade dos eventos extremos é o tempo de retorno (T) que conforme NAGHETTINI *et. al.* (2007) e pode ser entendido como uma medida de tendência central dos 'tempos cronológicos' τ (recorrências) sendo o *tempo médio necessário* (em anos) *para que o evento recorra, em um ano qualquer, e é igual ao inverso da probabilidade de que tal evento de referência ocorra.* Assim, no caso de vazões máximas,

$$T(\text{anos}) = \frac{1}{P(Q \geq Q_T)}$$

Em hidrologia, o conceito de tempo de retorno é empregado com muita frequência no estudo probabilístico de eventos máximos anuais, tais como enchentes ou alturas diárias de precipitação máximas anuais (NAGHETTINI *et. al.*, 2007).

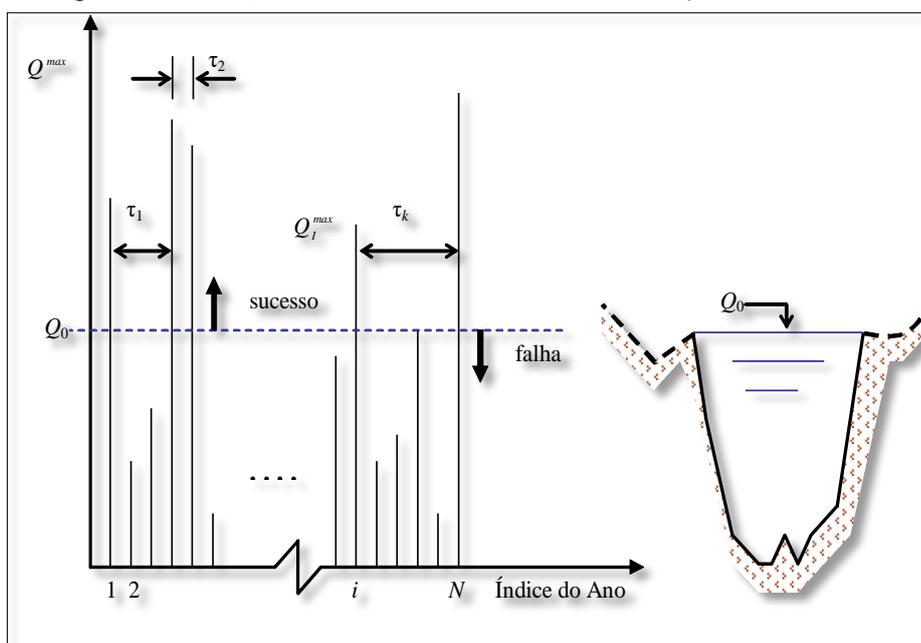
Para compreender melhor a definição de tempo de retorno é necessário entender os conceitos associados aos processos de Bernoulli e a distribuição Geométrica NAGHETTINI *et. al.* (2007).

Os processos de Bernoulli são aqueles nos quais os experimentos apresentam apenas dois resultados possíveis e dicotômicos, ou seja, 'sucesso' (S) e 'falha' (F). Analisando as vazões máximas, o sucesso está associado a valores superiores a um limiar, Q_0 , como está ilustrado a Figura 5. Neste caso, a falha estaria associada às

vazões inferiores a Q_0 . Assim, o espaço amostral de um processo de Bernoulli é o conjunto $\{S,F\}$ e a probabilidade de ocorrer um sucesso é p .

A Figura 5 apresenta, no gráfico a esquerda, uma sequência hipotética de vazões máximas anuais e um limiar de vazões, Q_0 , o qual define o limite de sucesso e falha. Nesta mesma figura, no lado direito, é apresentada uma ilustração da vazão limiar na seção transversal do rio. Analisando o gráfico da Figura 5 podemos definir a variável aleatória discreta tempo de recorrência, a qual será representada por τ . Esta variável aleatória representa o número de anos entre a ocorrência de dois sucessos, ou seja, $Q \geq Q_0$. Assim, podemos ver $\tau_1=3$ anos, $\tau_2=1$ ano até $\tau_k=5$ anos. Se, por exemplo, em 50 anos de observações ocorreram 5 'sucessos', então a recorrência média é de 10 anos (50 anos/5), ou que, em média, a vazão Q_0 é superada uma vez a cada 10 anos.

Figura 5 – Ilustração da variável aleatória discreta tempo de recorrência



2.6.4. CHUVA MÉDIA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA

O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui, portanto, fator importante para os processos de

escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios e outros SARMENTO (2011).

Coulibaly e Evora (2007) *apud* SARMENTO (2011) comentam que os totais diários de precipitação são provavelmente os dados mais importantes para se modelar uma previsão, determinar a qualidade da água, bem como a simulação do impacto das alterações climáticas sobre sistemas de recursos hídricos, sistemas meteorológicos e agrícolas.

A precipitação média numa área é considerada como a altura de água uniforme interceptada por essa área num período de tempo. Para calcular a precipitação média de uma superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dos postos dentro dessa superfície e/ou nas suas vizinhanças. Os métodos mais comumente utilizados são: O método da média aritmética, o método de Thiessen, e o método das Isoietas (BERTONI E TUCCI, 2002).

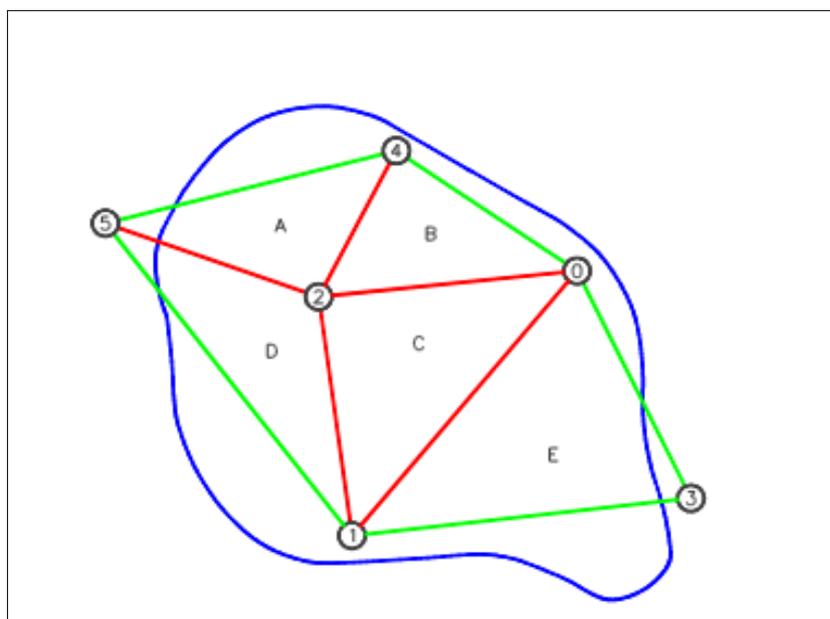
O método da média aritmética é o mais simples e consiste na média dos registros dos valores de precipitação, é influenciado pelos valores extremos e apresenta-se satisfatório quando a distribuição da amostra é uniforme.

O método dos polígonos de Thiessen foi empregado na meteorologia pelo meteorologista americano Alfred H. Thiessen e também está relacionado ao diagrama de Voronoi. Segundo VILLELA (1975) este método se caracteriza pela atribuição de pesos relativos (Figura 6) aos postos considerados mais representativos para uma área específica da bacia.

O método de Thiessen assume que em qualquer ponto da bacia o valor da precipitação é igual à medida no posto pluviométrico mais próximo. O método de Thiessen pode ser descrito matematicamente pela seguinte equação:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i P_i}{A}$$

Figura 6 – Representação gráfica do método de Thiessen



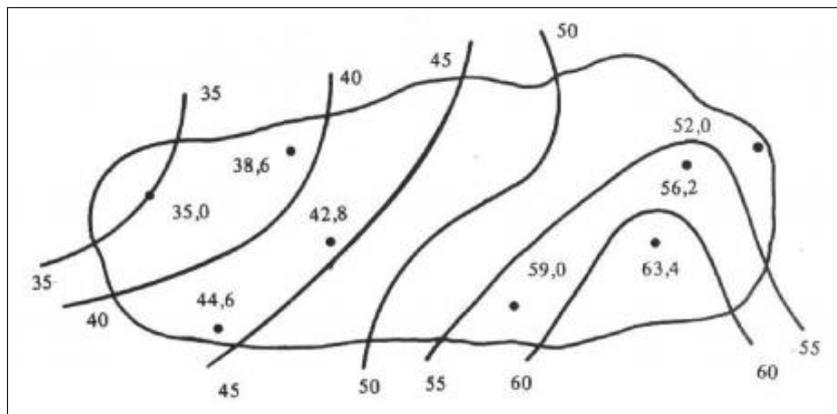
Onde a variável i representa o i -ésimo posto com dados de precipitação em milímetros, A_i é a área de influência de cada posto dada em km^2 e A é a área total.

O método das isoietas é mostrado por SARMENTO (2011) como o mais preciso, este método utiliza curvas que unem pontos de igual precipitação (Figura 7), as chamadas isoietas. Segundo SARMENTO (2011) a precipitação média sobre uma bacia hidrográfica pode ser calculada ponderando-se a precipitação média entre isoietas sucessivas pela área entre estas, posteriormente totaliza-se este produto e divide-o pela área total (área da bacia), de acordo com a Equação:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_1 + h_{i+1}}{2} \right) A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

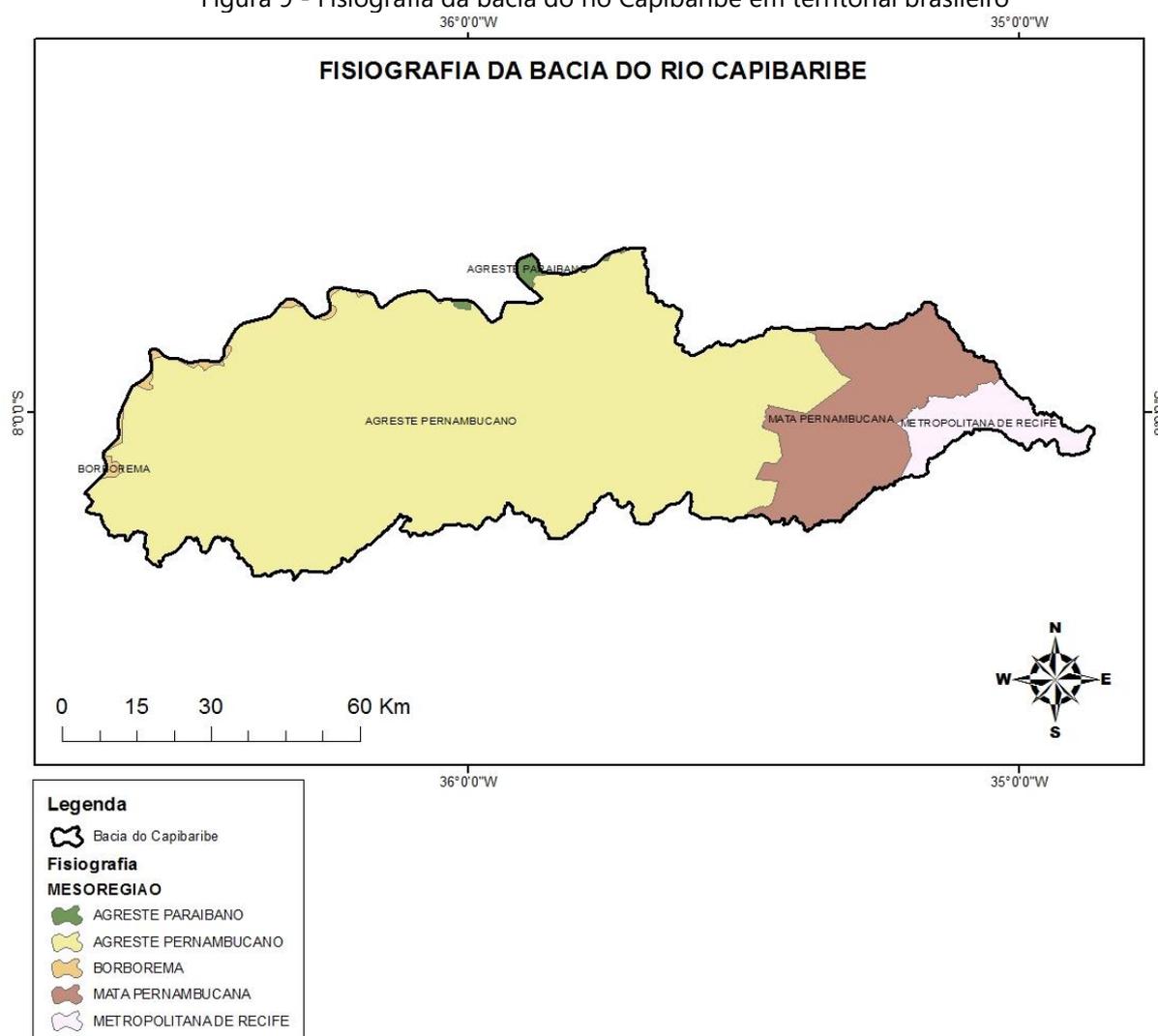
Em que, h é precipitação média na bacia hidrográfica (mm), $\left(\frac{h_1 + h_{i+1}}{2} \right)$ é a média entre as isoietas e A_i é área entre isoietas (mm).

Figura 7 – Representação gráfica do método das isoietas



Por sua configuração, estende-se desde a região Agreste até o litoral do Estado (Figura 9). Esta unidade hídrica faz parte de áreas de duas Mesorregiões (Agreste Pernambucano e Mata Pernambucana), de seis Microrregiões (Recife, Médio Capibaribe, Alto Capibaribe, Vitória de Santo Antão, Vale do Ipojuca e Mata Setentrional Pernambucana) e de cinco Regiões de Desenvolvimento (Metropolitana do Recife, Mata Norte, Mata Sul, Agreste Central e Agreste Setentrional), (PERNAMBUCO, 1998).

Figura 9 - Fisiografia da bacia do rio Capibaribe em territorial brasileiro



Fonte: PERNAMBUCO (1998)

3.1.2. VEGETAÇÃO

Segundo PERNAMBUCO (2010), da nascente a foz do rio, a bacia apresenta os biomas Caatinga e Mata Atlântica, o que resulta numa elevada diversidade de ambientes. As formações, diretamente correlacionadas às condições edáficas, climáticas e hidrológicas apresentam, associativamente, importante papel na diversificação da população faunística. Na área de estudo, verifica-se 05 (cinco) grandes tipos de vegetação, dispostas em (09) nove formas, expostas na Figura 10, de acordo com as descrições a seguir:

- **Floresta Ombrófila**

Neste domínio são consideradas duas fisionomias, correspondentes aos subgrupos de formações definidos pelo Projeto RADAMBRASIL: **Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta**.

A Floresta Ombrófila é uma formação constituída por árvores de grande porte, com folhagem permanente, associada a condições climáticas sem déficit hídrico, ou com um déficit associado a curto período de tempo.

As duas fisionomias demarcadas têm composição florística similar. A formação Aberta tem o dossel interrompido por espaços que ressaltam fisionomias típicas (faciações florísticas).

A região de Floresta Ombrófila reveste grande parte da superfície dissecada em colinas e relevos tabulares, apresentando diferenciações fisionômicas em função da altitude, latitude, grau de umidade do solo e condicionantes edáficos.

Apesar da escala significativa das atividades agrícolas, ainda permanecem neste domínio extensas áreas, afastadas das zonas de ocupação que, juntamente com as áreas legalmente protegidas, mantêm-se aparentemente em condições próximas das naturais.

A Floresta Ombrófila Densa é caracterizada por fanerófitos, justamente pelas subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações. Porém, a

característica ecológica principal reside nos ambientes ombrófilos que marcam muito bem a "região florística florestal". Assim, a característica ombrotérmica da Floresta Ombrófila Densa está presa a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25°) e de alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período biologicamente seco. Além disso, dominam, nos ambientes destas florestas, latossolos distróficos e, excepcionalmente, eutróficos, originados de vários tipos de rochas.

- **Floresta Estacional**

Neste domínio estão incluídas, conforme o subgrupo delimitado no Projeto RADAMBRASIL:

- **Floresta Estacional Semidecidual.**

O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado pela dupla estacionalidade climática definidas: uma chuvosa, outra seca, ou a uma acentuada variação térmica, cuja alternância determina uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes.

Esta formação apresenta fisionomias diferenciadas, de acordo com variações edáficas, climáticas, de balanço hídrico e de altitude, ocorrendo em sua composição florística espécies de alto valor comercial.

- **Áreas de Tensão Ecológica**

As áreas de tensão ecológica, divididas em 05 (cinco) subclasses pelo Projeto RADAMBRASIL, foram objeto de agrupamento, na presente escala de trabalho, em 02 (duas) tipologias definidas como:

Contato Estepe/Floresta Estacional.

Contato Savana/Floresta Estacional.

As áreas de tensão correspondem a zonas de contato entre duas ou mais formações, que podem se interpenetrar ou se misturar.

- **Áreas de Formações Pioneiras**

Correspondem às comunidades vegetais que recobrem, na área de estudo, as zonas costeiras. São áreas pedologicamente instáveis, devido ao contínuo aporte de material proveniente das deposições aluviais, em diferentes níveis de colmatação.

A vegetação que se desenvolve nestes ambientes é de caráter pioneiro, apresentando diversas fases sucessionais, iniciadas normalmente num estágio alagado (hidrossere) e passando pelos estágios graminoso-herbáceo e arbustivo, podendo atingir o arbóreo. As fisionomias variam em função da quantidade de água e da duração do período de inundação.

Ao longo do litoral, bem como nas planícies fluviais e mesmo ao redor das depressões aluviais, há, frequentemente, terrenos instáveis cobertos por uma vegetação, em constante sucessão, de terófitos, criptófitos (geófitos e/ou hidrófitos), hemicriptófitos, caméfitos e nanofanerófitos. Trata-se de uma vegetação de primeira ocupação de caráter edáfico.

Na área de estudo, encontramos duas variações desse tipo de vegetação: a de atividades agrícolas e a com influência fluvio-marinha (manguezal). O manguezal é a comunidade microfanerofítica de ambiente salobro, situada na desembocadura de rios e regatos no mar, onde, nos solos limosos, cresce uma vegetação adaptada à salinidade das águas.

Os manguezais do estuário do Capibaribe há muito deram espaço aos aterros da cidade de Recife, restando estreitas faixas em áreas inteiramente urbanizadas, em parte resultado de replantios realizados com propósitos conservacionistas, onde se encontram principalmente *Laguncularia racemosa* e *Avicennia spp* (PERNAMBUCO 2010).

- **Estepe**

Vegetação muito típica de áreas com clima temperado continental, constituída, basicamente, de gramíneas. Recebe nomes diferentes nas regiões onde aparece. Na bacia do Capibaribe pode ser vista na área de transição vegetativa e climática do Alto Capibaribe, região de transição entre Agreste e Sertão.

dependendo da velocidade do vento a água retida pode cair sobre a superfície, podendo infiltrar, evapotranspirar ou escoar superficialmente.

A bacia do Capibaribe pode contabilizar apenas 18,287% de cobertura vegetal nativa, sendo: vegetação arbórea fechada (5,96%), vegetação arbustiva arbórea fechada (8,60%), vegetação arbustiva arbórea aberta (0,007%) e mata atlântica (3,72%) enquanto que o percentual de área ocupada pela cultura da cana-de-açúcar é de 33,76% (PERNAMBUCO,1998).

Se essas áreas de vegetação nativa e de cana-de-açúcar forem somadas tem-se 52% de área com cobertura vegetal, o que seria uma boa área coberta por vegetação, mas como a cana-de-açúcar é colhida em média uma vez por ano o solo da área plantada fica exposto aumentando o escoamento superficial, já que não existe vegetação presente para interceptação da precipitação, sendo assim a chuva encontra o solo desprotegido, ganha velocidade superficial e chega à calha do rio mais rapidamente e com mais velocidade.

As áreas do Médio e Baixo Capibaribe são as que sofrem maiores impactos com os problemas gerados pela cultura da cana-de-açúcar, e justamente essas áreas são que mais contribuem para enchentes no município de Recife.

3.1.3. POTAMOGRAFIA

O rio Capibaribe nasce na Serra da Serraria (divisa dos municípios de Jataúba e Poção), próximo à divisa de PE/PB, a 1.050 m de altitude e deságua no Oceano Atlântico. Tem 280 km de extensão, sendo a maior bacia hidrográfica do agreste pernambucano com uma área de 7.400 km². Apresenta regime fluvial intermitente até o seu curso médio e somente a partir do município de Limoeiro, no seu baixo curso, torna-se perene. Recebe afluentes importantes como o rio Tapacurá com 66 km e o rio Goitá também com 66 km, ambos no município de Limoeiro. Apresenta direção inicial sudeste-nordeste, até as proximidades de Santa Cruz do Capibaribe, quando seu curso toma a direção oeste-leste. Os principais tributários do rio Capibaribe são:

- Margens direitas são: rio do Mimoso, riacho Aldeia Velha, rio Tabocas, rio Fazenda Velha, riacho Doce, riacho Carrapatos, rio Cachoeira, riacho das Éguas, riacho Caçatuba, rio Batatã, rio Catunguba, rio Goitá e rio Tapacurá.
- Margens esquerdas destacam-se: rio Jataúba, rio Caraiqueira, rio Mulungu, rio Olho d'Água, riacho Pará, rio Tapera e riacho Doce, riacho Tapado, riacho do Manso, riacho Cajaí e riacho Camaragibe.

Navegável no verão até dois quilômetros acima de sua foz por canoas e botes, no inverno torna-se tão caudaloso que às vezes provoca enchentes e estragos nas áreas ribeirinhas dos municípios do interior (PERNAMBUCO, 2012). Na tabela 5 estão alguns dos reservatórios da bacia do Capibaribe. A rede hidrográfica da bacia do rio Capibaribe e seus principais reservatórios podem ser vistos na Figura 11.

Tabela 5 - Principais reservatórios na bacia do rio Capibaribe

Reservatório	Capacidade (m³)	Município
Carpina	270.000.000	Lagoa de Itaenga /Lagoa do Carro
Cursai	13.000.000	Paudalho
Eng. Gercino Pontes	13.600.000	Caruaru/Brejo da Madre de Deus
Goitá	52.000.000	Paudalho/São Lourenço da Mata
Jucazinho	327.035.818	Cumaru/Surubim
Cursai	13.000.000	Paudalho
Machado	6.800.000	Brejo da Madre de Deus
Mateus Vieira	2.752.000	Taquaritinga do Norte
Matriz da Luz	1.250.000	Camaragibe
Oitis	3.020.159	Brejo da Madre de Deus
Poço Fundo	27.750.000	Brejo da M. de Deus/Santa Cruz do Capibaribe
Sítio Praça	1.167.924	Belo Jardim
Tapacurá	94.200.000	São Lourenço da Mata
Várzea do Una	11.568.010	São Lourenço da Mata

Fonte: APAC, 2012

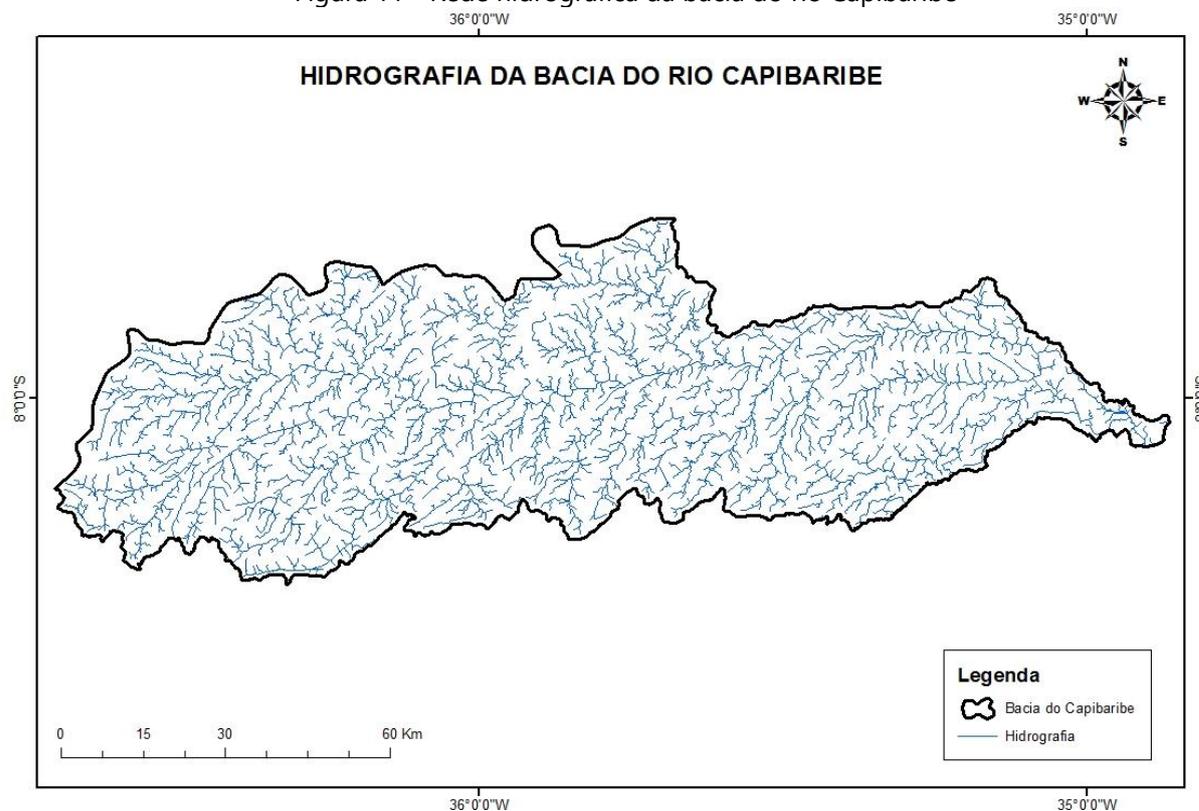
O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é reflexo de suas características morfológicas (área, forma, topografia, geologia, etc.). Para entender as relações entre esses fatores de forma e o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, é necessário conhecer as características da bacia.

De acordo com a o escoamento geral (CHRISTOFOLETTI, 1974) a bacia do Capibaribe pode ser classificada como exorreicas, seu escoamento se faz de modo contínuo até o mar, isto é, deságua diretamente no mar.

Ainda de acordo com CHRISTOFOLETTI (1974) a forma da rede de drenagem de uma bacia também apresenta variações. Em geral, predomina na natureza a forma dendrítica, a qual deriva da interação clima-geologia em regiões de litologia homogênea. Num certo sentido, considerando-se a fase terrestre do ciclo da água e pode-se dizer que a água procura ir da terra para o mar, de forma organizada, em sistemas de drenagem, os quais refletem principalmente a estrutura geológica local.

De acordo com esta classificação, baseada mais em critérios geométricos do que genéticos, a bacia estudada é do tipo dendrítica, lembrando a configuração de uma árvore, sendo típica de regiões onde predomina rocha de resistência e uniforme.

Figura 11 - Rede hidrográfica da bacia do rio Capibaribe



Fonte: CRPM (2011b)

3.1.4. ESTRUTURAS HIDRÁULICAS EXISTENTES E USOS DA ÁGUA

A Tabela 6 apresenta algumas características dos seus reservatórios localizados na bacia, com capacidade máxima acima de 1 milhão de m³.

Tabela 6 - Usos dos principais reservatórios

Reservatório	Área Km ²	Capacidade (x1000)m ³	Usos
Poço Fundo	854	27.750	Abastecimento e irrigação.
Jucazinho	3.918	327.035	Abastecimento, controle de enchentes e piscicultura.
Carpina	1.828	270.000	Controle de enchentes, abastecimento e pesca.
Goitá	450	52.000	Controle de enchentes.
Tapacurá	360	94.200	Abastecimento e controle de enchentes.

Fonte: COMPESA, 2010 citado por SRH-PE, 2010

O volume armazenado nos açudes interanuais na bacia do rio Capibaribe é da ordem de 808 milhões de m³. Destes, apenas sete açudes tem capacidade máxima superior a 10.000.000 m³. Os maiores açudes, com exceção de Jucazinho, foram construídos com a finalidade de controle de cheias, embora atualmente Tapacurá seja utilizado principalmente para abastecimento da região metropolitana do Recife (PERH, 1998).

A maioria das obras hidráulicas na região hidrográfica da bacia do Capibaribe são barragens de acumulação destinadas principalmente a abastecimento público, mas também com outras finalidades recepção de afluentes domésticos e agroindustriais. Sabe-se, que em períodos de muita chuva as mesmas podem verter ou haver aberturas de comportas nas grandes barragens, o que pode ocasionar mudanças significativas nos regimes do rio estudado.

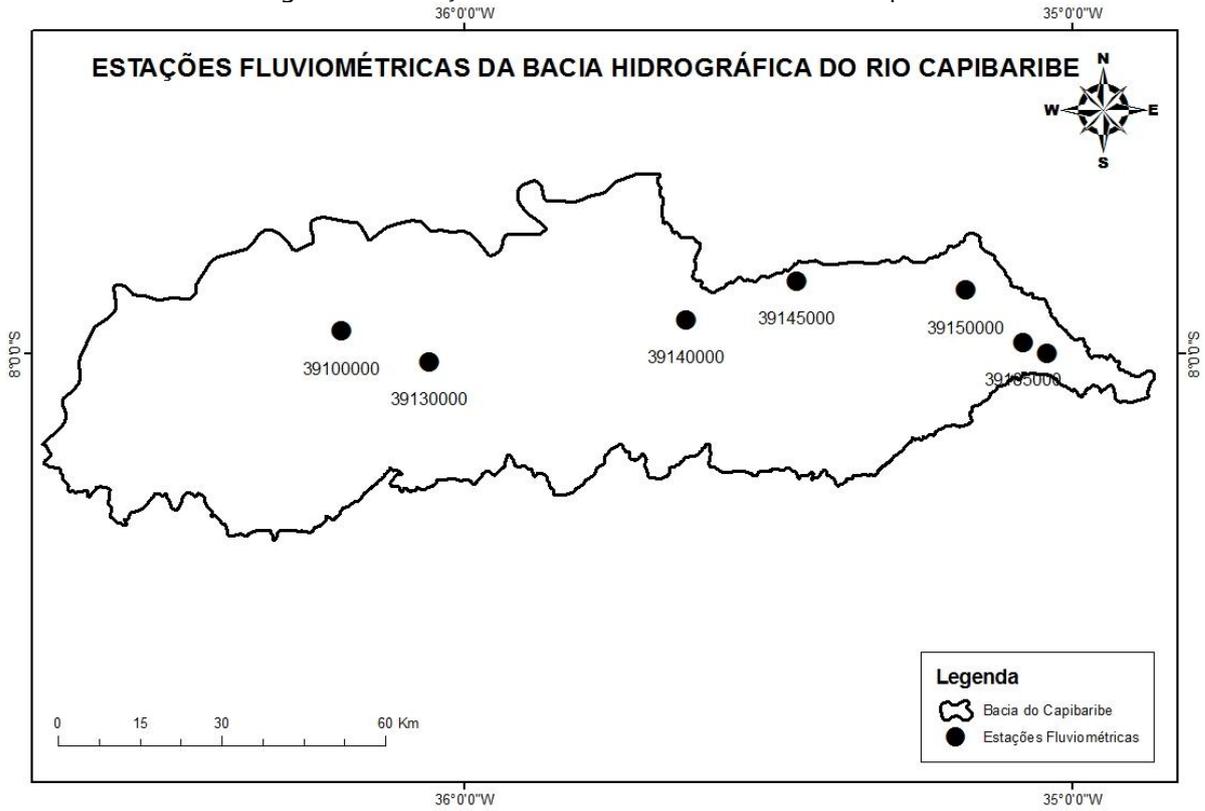
Os principais reservatórios da bacia do rio Capibaribe juntos representam, cerca de 94,7% de toda a água acumulada na bacia. À exceção de Poço Fundo, os demais reservatórios têm a função de controle de enchentes, o que exige uma operação cuidadosa, já que quase todos também se prestam ao abastecimento de água dos núcleos urbanos.

Até 1978 o rio Capibaribe não possuía grandes barragens em seu curso, nesse ano a barragem de Carpina foi finalizada e sua principal função seria conter possíveis enchentes em Recife. A construção da barragem de Carpina foi fator de influência para escolha da série de dados deste trabalho, já que a partir do início de sua operação, o rio Capibaribe se torna um rio controlado à jusante da barragem de Carpina. A estação utilizada para esse estudo fica a jusante do reservatório e desde o início das operações de Carpina sofreu mudanças em seu regime hidrológico.

3.1.5. REDE HIDROMETEOROLÓGICA UTILIZADA

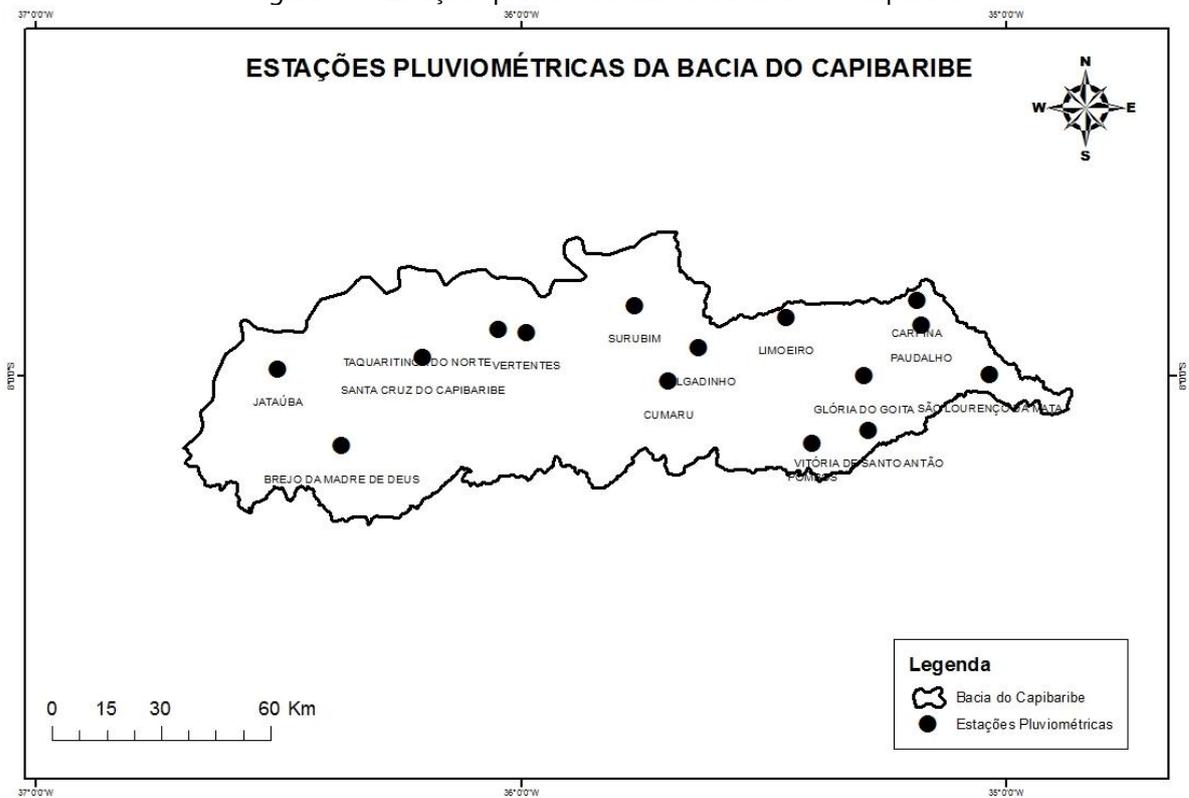
A rede hidrometeorológica utilizada neste estudo constará de sete estações fluviométricas (Figura 12) e 15 estações pluviométricas, (Figura 13). No diagrama unifilar, apresentado na Figura 14, pode-se localizar os principais cursos d'água da bacia, as estações hidrometeorológicas e as obras hidráulicas existentes. Os dados cadastrais (código, nome, tipo, coordenadas, área de drenagem e data de instalação) das estações utilizadas estão presentes na Tabela 7. As áreas de drenagem utilizadas no estudo foram calculadas pela Agência Nacional de Águas – ANA, tais valores foram aproximados para três algarismos significativos, seguindo orientações técnicas da SGH/ANA. A escolha da estação fluviométrica de São Lourenço da Mata para aplicação do estudo foi em função da sua localização geográfica, essa estação é a última estação localizada na bacia do Capibaribe que não sofre influência de marés.

Figura 12 - Estações fluviométricas na bacia do rio Capibaribe



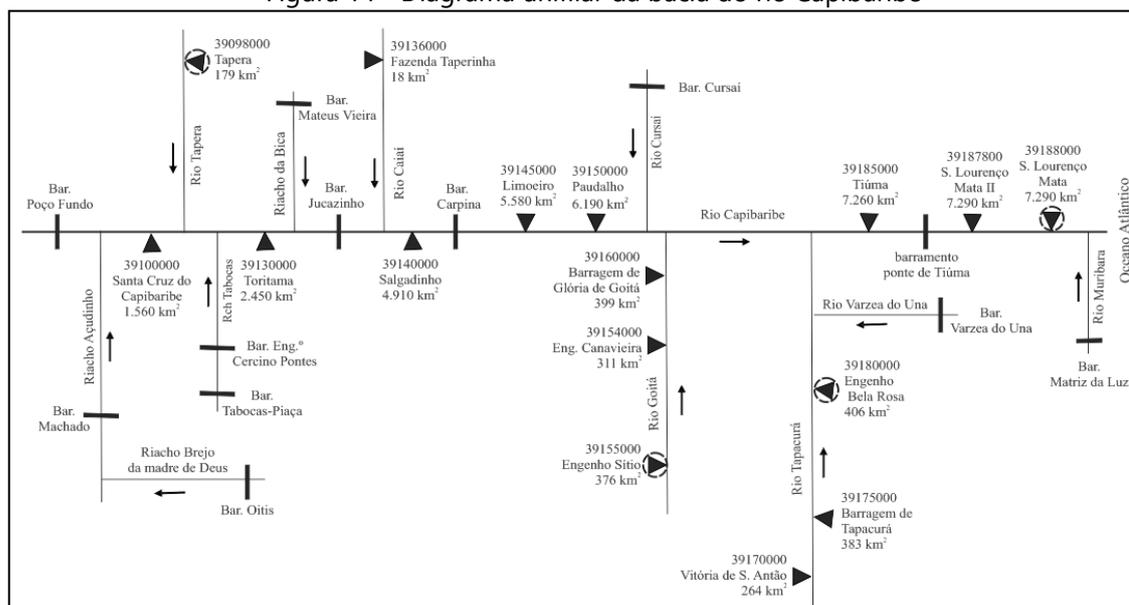
Fonte: CRPM (2011b)

Figura 13 - Estações pluviométricas na bacia do rio Capibaribe



Fonte: PERNAMBUCO (1998)

Figura 14 - Diagrama unifilar da bacia do rio Capibaribe



Fonte: CRPM (2011b)

Tabela 7 - Rede hidrometeorológica utilizada

Código	Estação	Tipo	Rio	Coordenadas	Área (Km ²)	Instalação
00736041	Santa Cruz do Capibaribe	P	-	-7,96 -36,20	-	03/1986
00735067	Salgadinho	P	-	-7,94 -35,63	-	12/1962
00735100	Limoeiro	P	-	-7,88 -35,45	-	09/1978
00735066	Paudalho	P	-	-7,89 -35,17	-	09/1967
00835068	Vitória de Santo Antão	P	-	-8,11 -35,28	-	05/1920
39187800	São Lourenço da Mata	P	-	-7,80 -35,04	-	01/1963
00736040	Jataúba	P	-	-7,99 -36,50	-	01/1956
00836092	Brejo da Madre de Deus	P	-	-8,15 -36,37	-	03/1986
00736042	Taquaritinga do Norte	P	-	-7,90 -36,04	-	09/1911
00735159	Vertentes	P	-	-7,91 -35,99	-	07/1966
00735158	Surubim	P	-	-7,84 -35,77	-	01/1955
00835137	Pombos	P	-	-8,14 -35,4	-	08/1967
00835136	Glória do Goitá	P	-	-8,00 -35,29	-	06/1968
00735157	Carpina	P	-	-7,84 -35,26	-	01/1934
00735066	Paudalho	P	-	-7,89 -35,17	-	09/1967
00835135	Cumaru	P	-	-8,01 -35,67	-	01/1956
39188000	São Lourenço da Mata	F	Capibaribe	-7,8 -35,04	7290,0	01/1956

Fonte: Brasil, 2009.

3.1.6. ÁREA E DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA

A bacia do rio Capibaribe apresenta uma área de 7.400 km² (7,58% da área do estado), e abrange partes das regiões do agreste, mata e litoral, ou seja, a área da bacia apresenta regiões com características diferentes de clima, topografia, solo, cobertura vegetal, o rio corta 42 municípios, dos quais 15 estão totalmente inseridos na bacia e 26 possuem sua sede na bacia, como mostra a Tabela 8 (PERNAMBUCO, 1998).

A região hidrográfica do Capibaribe perpassa cinco das doze regiões de desenvolvimento (RD) do estado (Figura 15). Dos 42 municípios, 12 estão inseridos na RD Agreste Central (Belo Jardim, Bezerros, Brejo da Madre de Deus, Caruaru, Gravatá, Jataúba, Pesqueira, Poção, Riacho das Almas, Sanharó, São Caetano, Tacaimbó); 16 municípios da RD Agreste Setentrional (Bom Jardim, Casinhas, Cumaru, Feira Nova, Frei Miguelinho, João Alfredo, Limoeiro, Passira, Salgadinho, Santa Cruz do Capibaribe, Santa Maria do Cambucá, Surubim, Taquaritinga do Norte, Toritama, Vertente do Lério, Vertentes), 07 municípios da RD Mata Norte (Carpina, Chã de Alegria, Glória do Goitá, Lagoa do Carro, Lagoa do Itaenga, Paudalho, Tracunhaém); 03 municípios da RD Mata Sul (Chã Grande, Pombos, Vitória de Santo Antão); e 04 municípios da RD Metropolitana (Camaragibe, Moreno, Recife, São Lourenço da Mata) (PERNAMBUCO, 1998).

Tabela 8 - Municípios inseridos na bacia do rio Capibaribe

	Município	Sede localizada a bacia	Área do Município		
			Total Km ²	Inserida na UP	
				Km ²	(%)
1	Belo Jardim		653,6	421,6	64,5
2	Bezerros		545,7	247,7	45,4
3	Bom Jardim		208,3	56,9	27,3
4	Brejo da Madre de Deus	*	782,6	782,6	100
5	Camaragibe	*	48,3	40,5	83,8
6	Carpina	*	153,8	36,3	23,6
7	Caruaru		932	529,4	56,8
8	Casinhas	*	140	132,2	94,4

9	Chã de Alegria	*	58,2	58,2	100
10	Chã Grande		83,7	13,9	16,6
11	Cumaru	*	278,4	278,4	100
12	Feira Nova	*	118,8	118,8	100
13	Frei Miguelinho	*	215,8	215,8	100
14	Glória do Goitá	*	211,8	211,8	100
15	Gravatá		491,5	228,5	46,5
16	Jataúba	*	715,7	715,7	100
17	João Alfredo		150	64,4	42,9
18	Lagoa do Itaenga	*	62	62	100
19	Lagoa do Carro		59,7	34,1	57,2
20	Limoeiro	*	277,5	144,6	52,1
21	Moreno		192,1	19,6	10,2
22	Passira	*	364,8	364,8	100
23	Paudalho	*	270,3	265,7	98,3
24	Pesqueira		1.036,00	0	0
25	Poção		212,1	17	8
26	Pombos	*	236,1	147,3	62,4
27	Recife	*	218,7	67,6	30,9
28	Riacho das Almas	*	313,9	302,6	96,4
29	Salgadinho	*	71,9	71,9	100
30	Sanharó		247,5	6,9	2,8
31	Santa Cruz do Capibaribe	*	369,6	369,6	100
32	Santa Maria do Cambucá	*	94,5	94,5	100
33	São Caetano		373,9	13,1	3,5
34	São Lourenço da Mata	*	264,4	212,3	80,3
35	Surubim	*	221,1	221,1	100
36	Tacaimbó		210,9	24,9	11,8
37	Taquaritinga do Norte	*	450,7	450,7	100
38	Toritama	*	34,8	34,8	100
39	Tracunhaém		141,6	12	8,5
40	Vertente do Lério	*	84,1	84,1	100
41	Vertentes	*	172,7	172,7	100
42	Vitória de Santo Antão	*	345,7	210,9	61
	TOTAL	27		7.557,40	

Fonte: Pernambuco (1998)

vai aumentando à medida que as estações pluviométricas se aproximam do litoral (PERNAMBUCO, 2010).

Devido a essa grande variabilidade, a bacia do Capibaribe foi dividida em três grandes regiões distintas: Litoral, Zona da Mata e Agreste conforme mostrado anteriormente na Figura 9, de acordo com a distribuição das macrorregiões classificadas pelo IBGE.

No Litoral e na Zona da Mata, o principal período chuvoso ocorre nos meses de abril a agosto, com os totais pluviométricos médios anuais variando entre 1.000 a 2.000 mm (Figura 19). Esta região caracteriza-se por apresentar clima úmido, com altas precipitações pluviométricas nas áreas mais litorâneas (PERNAMBUCO, 2010).

O Agreste, devido a sua localização, é considerado uma região intermediária entre as áreas de clima úmido (Litoral e Zona da Mata) e clima seco (Sertão). Nas áreas mais próximas ao Sertão, o período chuvoso inicia-se em fevereiro e estende-se até junho, e nas áreas próximas da Zona da Mata, a estação chuvosa ocorre no período de abril a julho. Os totais pluviométricos anuais variam, em média, entre 600 e 1.000 mm, destacando-se algumas áreas de brejos onde as precipitações são superiores a 1.000 mm, como por exemplo: Brejão (1.404 mm) e Bom Jardim (1.412 mm) (PERNAMBUCO, 2010). As temperaturas médias anuais variam entre 24° e 27°C.

Nas Figuras 16, 17 e 18 são apresentados os hietogramas de médias mensais de precipitação (mm) das estações de São Lourenço da Mata, Paudalho e Santa Cruz do Capibaribe, que são representativas das diferentes regiões, ilustrando as variações no regime de chuvas.

Figura 16 - Precipitação média (mm) da estação São Lourenço da Mata

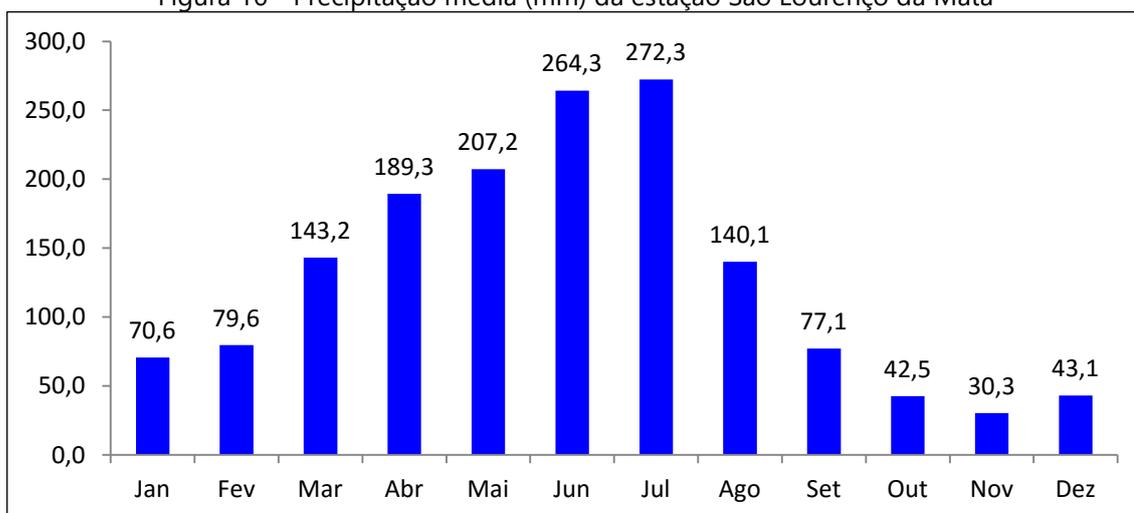


Figura 17 - Precipitação média (mm) da estação Paudalho

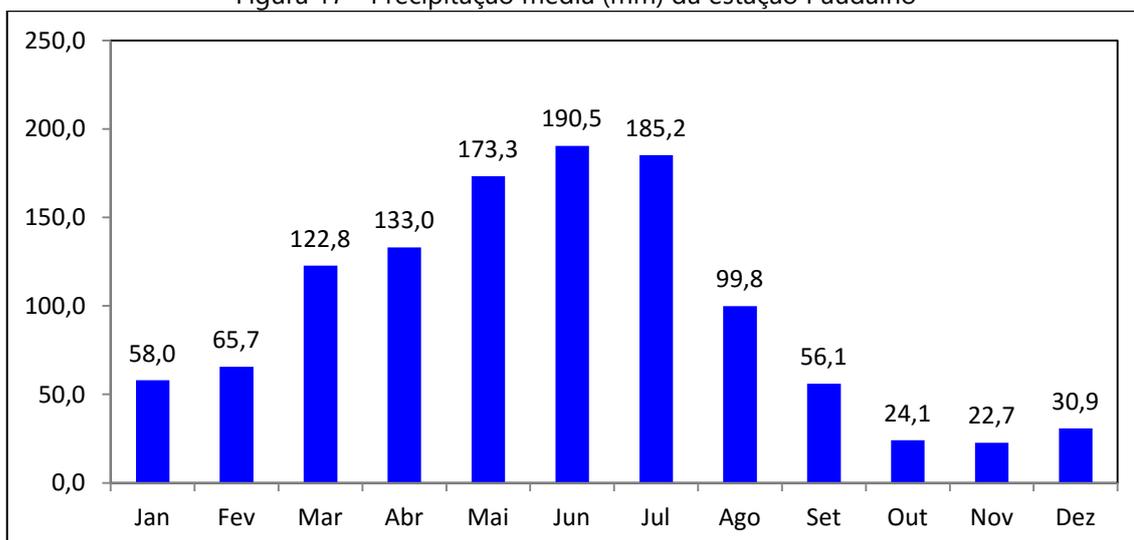
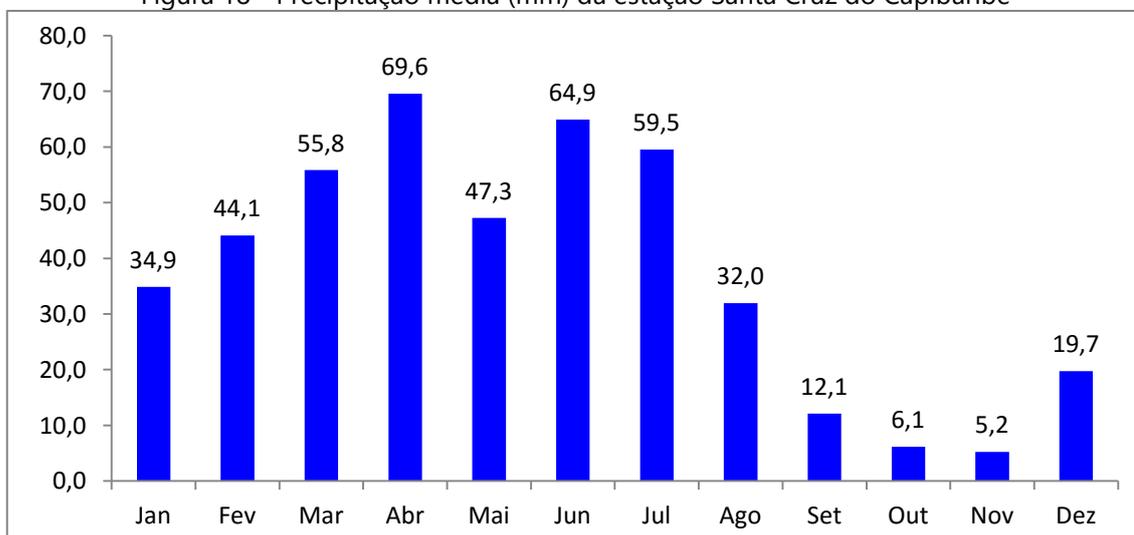


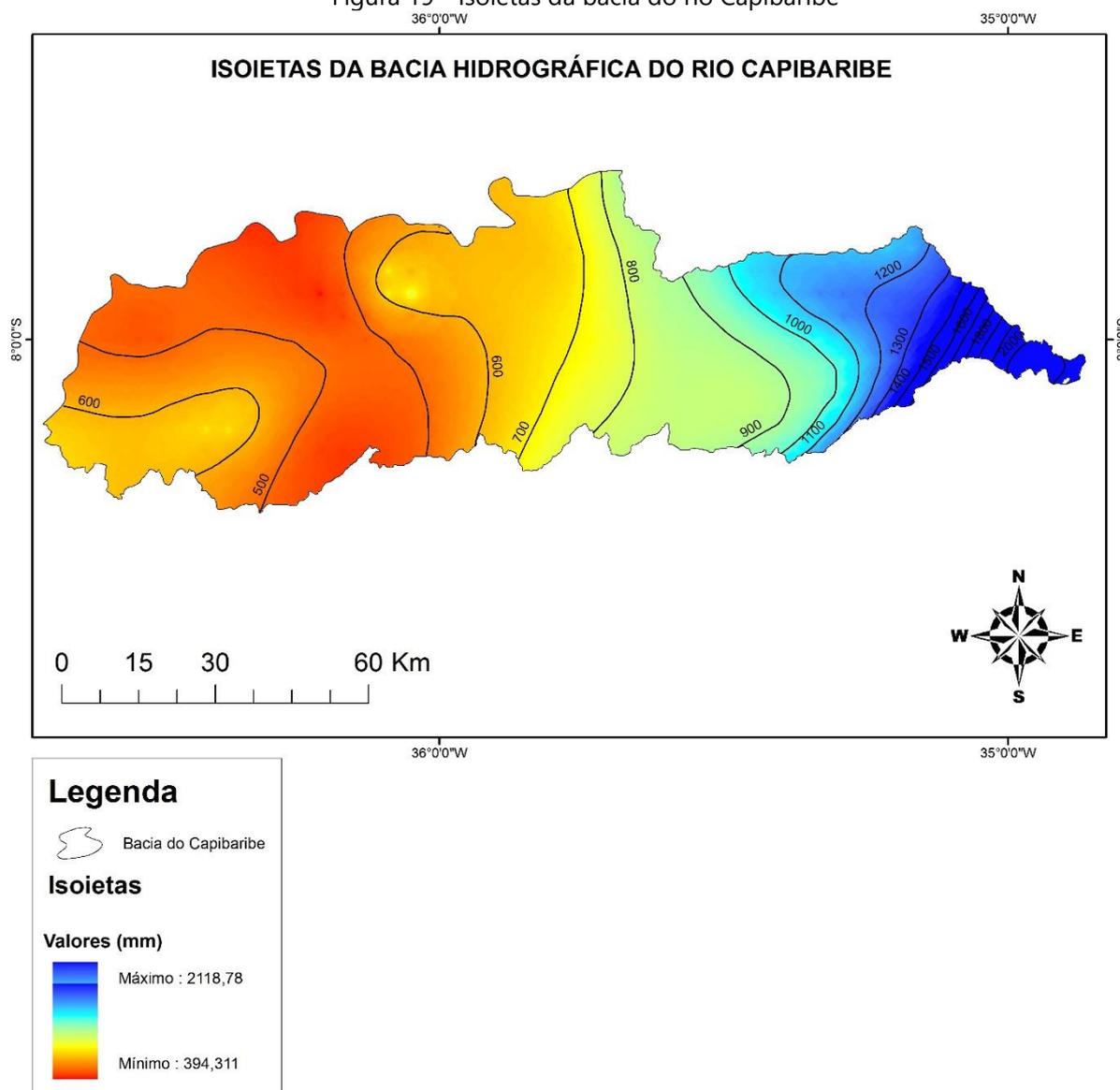
Figura 18 - Precipitação média (mm) da estação Santa Cruz do Capibaribe



O regime hidrológico também é diversificado, com rios intermitentes nas regiões de clima tropical seco, os quais escoam, em regime torrencial, somente nos períodos chuvosos de média e grande intensidade. Na região tropical úmida os rios têm regime permanente, mas apresentam variação acentuada nos índices de escoamento quando de períodos secos ou chuvosos. Devido à construção de açudes para abastecimento público, que tem se intensificado ao longo dos anos, especialmente na região semiárida, atualmente constata-se mudanças no comportamento de alguns rios, com maior duração de períodos secos (PERNAMBUCO, 2010).

A bacia do Capibaribe está inserida na sub-bacia 39 e na maioria de seus afluentes, pode-se definir o ano hidrológico de março a fevereiro na região Zona da Mata/Litoral e de abril a março na região Agreste. O trimestre mais chuvoso varia de fevereiro a abril na parte mais a oeste da bacia, e de maio a julho na faixa litorânea. O trimestre mais seco varia de agosto a outubro na região mais seca e de novembro a janeiro na região úmida (PERNAMBUCO, 2010).

Figura 19 - Isoietas da bacia do rio Capibaribe



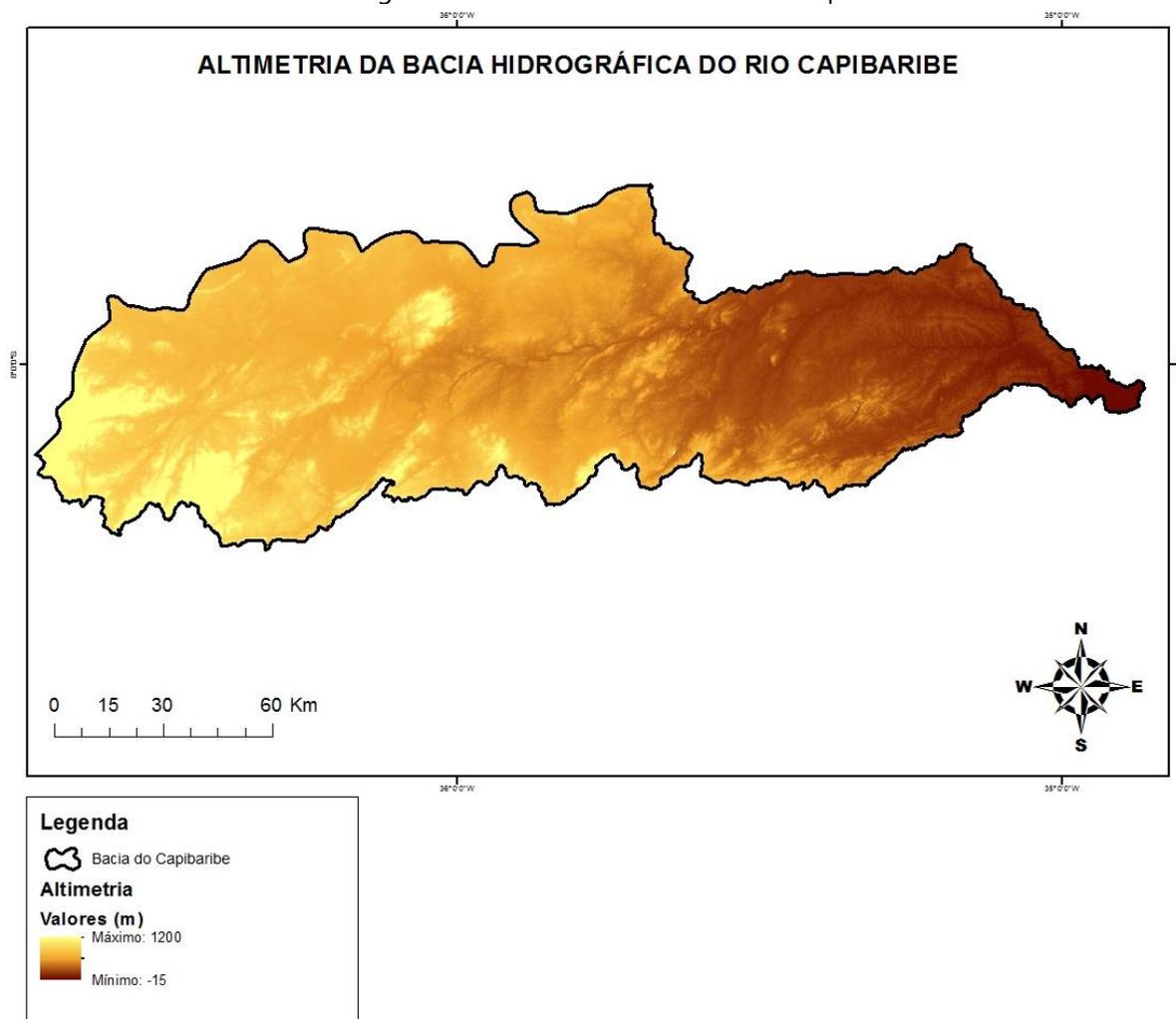
Fonte: CRPM (2012)

3.1.8. RELEVO

O relevo da bacia do Capibaribe é heterogêneo, apresentando-se como montanhoso e forte ondulado nas regiões do extremo oeste, sudoeste e sul; como também ao norte da divisa com o a Paraíba. Destacam-se os centros orográficos da serra de Brejo da Madre de Deus, a sudoeste, com elevações de 1.200 m e a serra de Taquaritinga do Norte, com altitude de 900 m. No centro da bacia o relevo é, predominantemente, suave e ondulado, amenizando-se no sentido leste, passando

de suave ondulado a plano, no litoral (ANDRADE, 2006). A altimetria da bacia é mostrada na Figura 20.

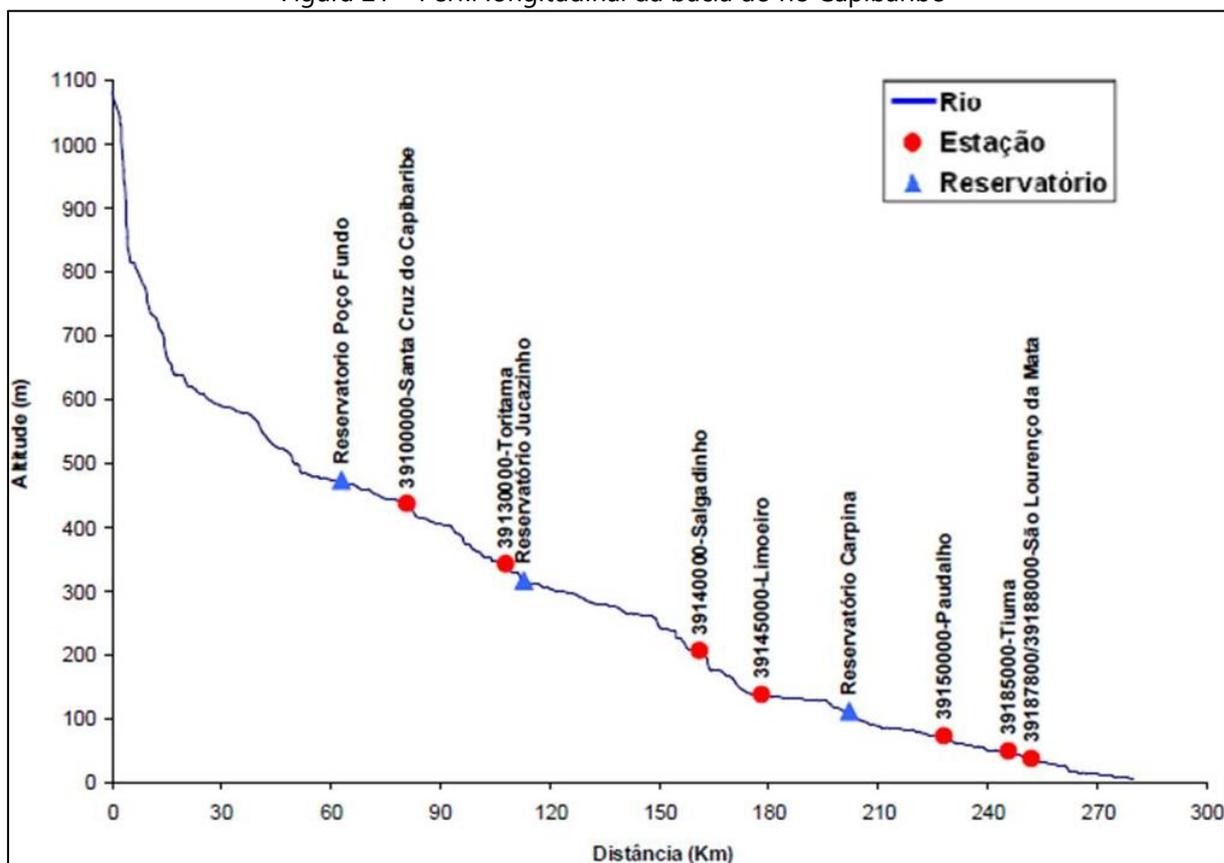
Figura 20 - Altimetria da bacia do rio Capibaribe



Fonte: CRPM (2012)

A visualização do perfil longitudinal da bacia do Capibaribe (Figura 21), com a localização das estações e reservatórios é de fundamental importância para a compreensão da dinâmica da bacia e entendimento dos dados apresentados no tópico 3.3 para determinação do tempo de concentração.

Figura 21 – Perfil longitudinal da bacia do rio Capibaribe



Fonte: CRPM (2012)

3.1.9. GEOLOGIA

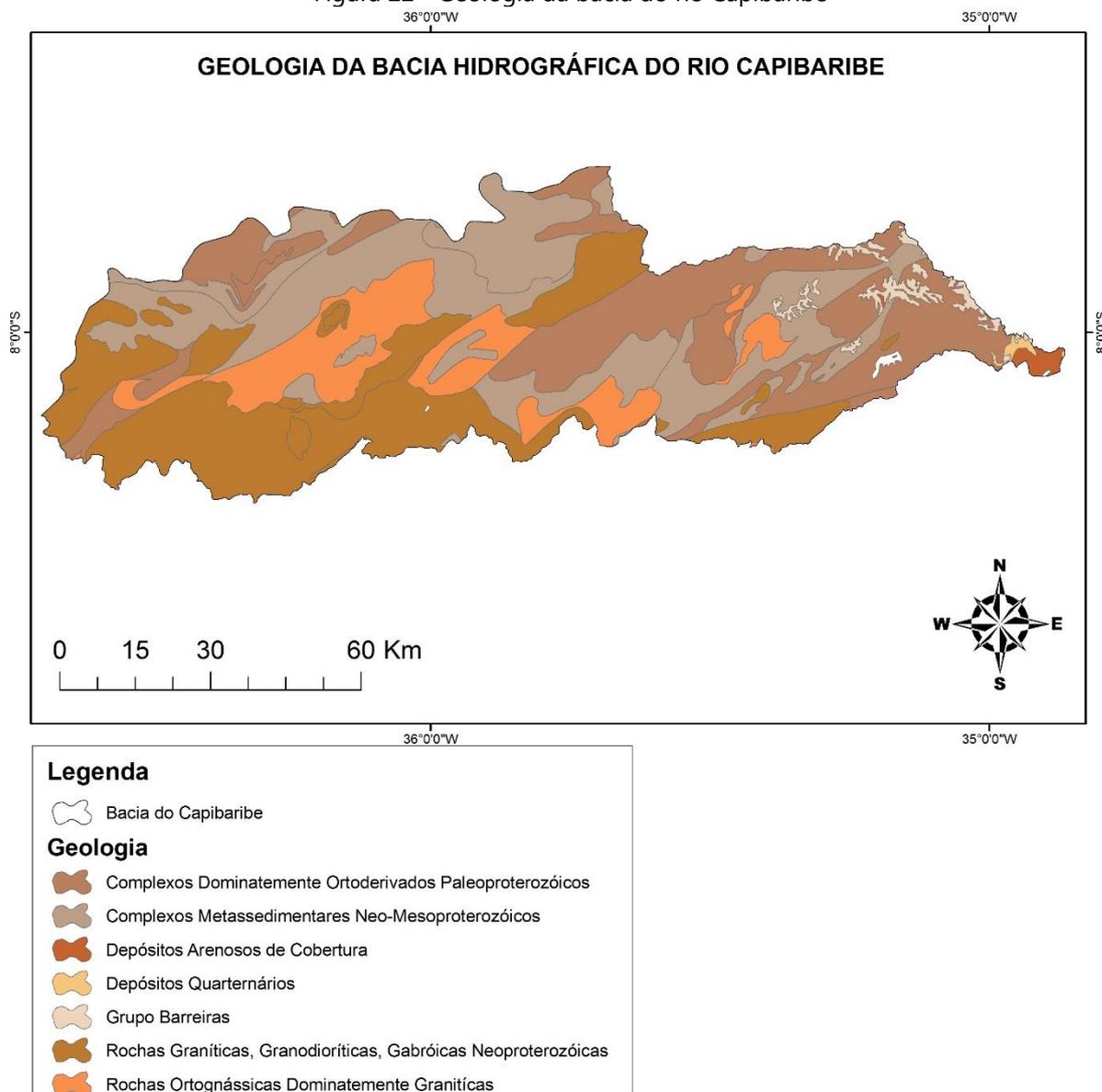
A sub-bacia 39, onde a bacia do Capibaribe está inserida localiza-se, geotectonicamente, na Província Borborema. A região centro-norte da sub-bacia que fica entre o Lineamento Pernambuco e o Lineamento Patos é, por muitos autores, denominada de Zona Transversal. Essa Zona Transversal sofreu pelo menos três intensos ciclos tectono-metamórficos, sendo, o último, chamado ciclo Brasileiro, responsável, também, pelo desencadeamento de uma série de zonas de cisalhamento da área, incluindo os Lineamentos Patos e Pernambuco. Tardiamente a esse último evento deformacional, há uma série de fraturas abertas associadas (CPRM, 2011b).

Dominantemente essas fraturas abertas são de direção Norte-Sul. Elas, inclusive, são associadas a rios que se encaixam ao longo delas, principalmente em áreas de ocorrência de granitos, a exemplo daqueles neoproterozóicos da Zona

Transversal, que podem ser indicativos de um sistema aquífero fissural (CPRM, 2011b).

A área da bacia do Capibaribe é representada, geologicamente, por rochas de litologias e idades variadas, entre as ígneas, metamórficas e sedimentares, que constituem, sob o ponto de vista estratigráfico, formações, grupos e complexos, além de unidades de ortognaisses, distribuídas no tempo geológico do Arqueano ao Quaternário, (CPRM, 2011b). Na área da bacia em sua maioria predomina o cristalino, mas o seu baixo curso apresenta unidades sedimentares. O embasamento cristalino limita-se em subsuperfície com a bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba no município do Recife, onde a mesma apresenta-se bastante estreita, tendo como unidade basal, a Formação Beberibe, representada por um depósito fluvial de alto potencial hidrogeológico (CPRM, 2011b). As características geológicas podem ser percebidas na Figura 22.

Figura 22 - Geologia da bacia do rio Capibaribe



Fonte: CRPM (2011b)

3.1.10. SOLOS

A bacia do Capibaribe, em função das variações ambientais, possui uma grande diversidade de solos. É uma consequência da ação combinada dos fatores de formação do solo, isto é, do clima, da geologia, dos seres vivos, do relevo e do tempo. A área em questão apresenta 05 (cinco) tipos de solos expostos na Figura 23. Abaixo é feita uma breve descrição dos tipos de solos predominantes na bacia de acordo com CPRM (2011b).

- **LATOSSOLOS:** solos minerais, profundos, bem drenados, pedogeneticamente muito desenvolvidos, com horizonte B latossólico e um conjunto de características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas relativamente uniformes ao longo do perfil. No que se refere ao uso agrícola, apresentam como potencialidades: boas condições de drenagem, grande profundidade efetiva e baixo risco de salinização. As restrições relacionam-se principalmente com a baixa fertilidade natural, presença de horizonte coeso, relevo movimentado que requer cuidados com a erosão e o déficit hídrico regional.

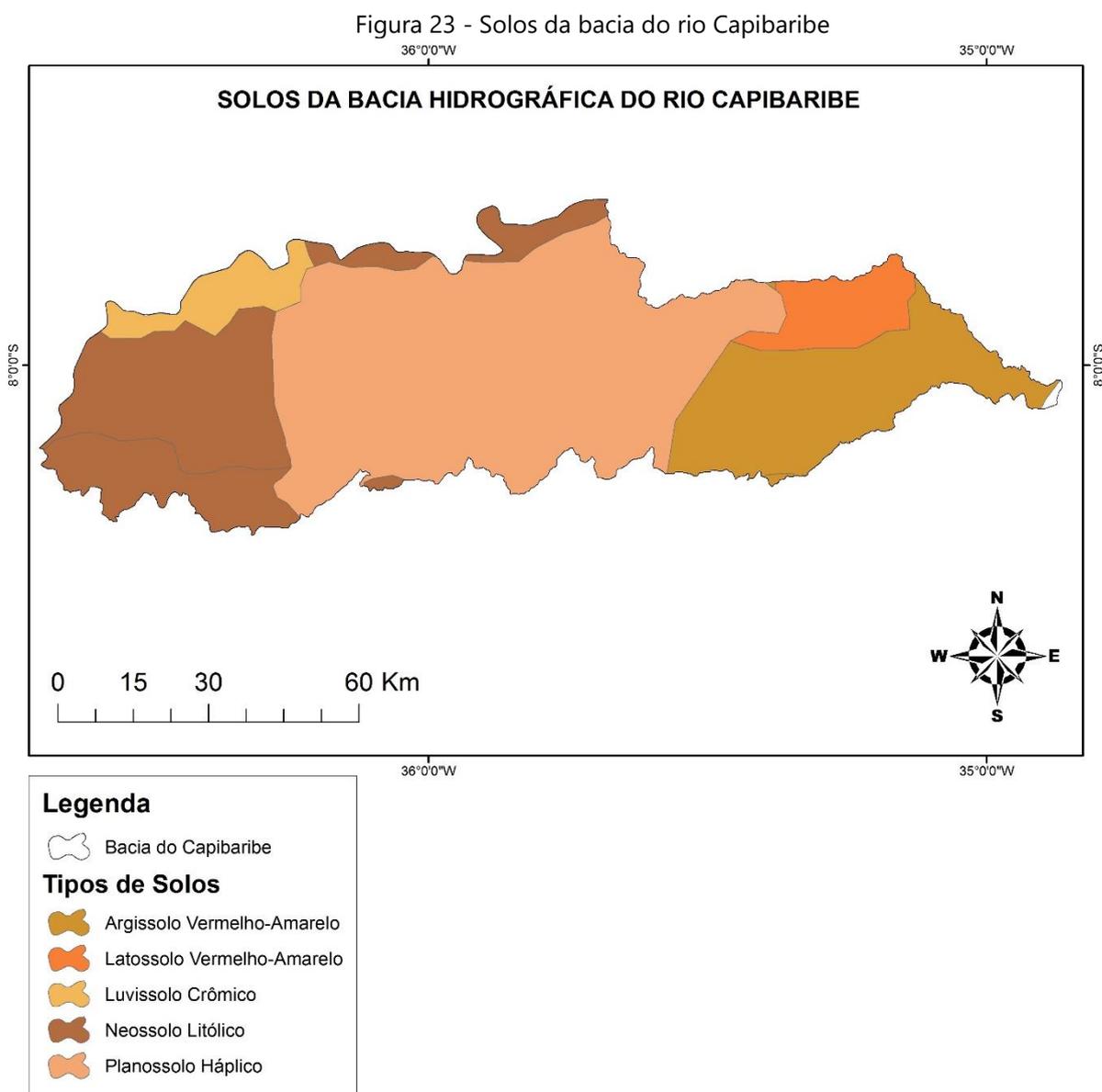
- **ARGILOSSOLOS:** solos minerais, não hidromórficos, com acúmulo de argila, predominantemente, de atividade baixa, em subsuperfície no horizonte B textural. São desenvolvidos a partir dos mais diversos materiais de origem e abrangem características morfológicas, físicas e químicas muito diversificadas. Variam desde solos rasos a muito profundos. Quanto ao uso agrícola, os solos de maior potencial são profundos, não pedregosos e em condições de relevo plano indo a suave ondulado. As principais restrições relacionam-se com a profundidade efetiva limitada, pedregosidade, sodicidade, horizontes que restringem a drenagem, relevo movimentado, susceptibilidade à erosão e o déficit hídrico regional.

- **LUVISSOLOS:** solos minerais, não hidromórficos, com alta saturação por bases (solos eutróficos), pouco profundos a rasos, e com acúmulo de argila de atividade alta, em subsuperfície no horizonte B textural. Tipicamente apresentam cores avermelhadas e um horizonte superficial pobre em matéria orgânica. São considerados de alta fertilidade natural. Mas o potencial para o uso agrícola é restrito em função de fatores como: a pequena profundidade efetiva, sodicidade, pedregosidade, alta susceptibilidade à erosão, presença de horizontes pouco permeáveis, além do déficit hídrico regional.

- **PLANOSSOLOS:** solos minerais imperfeitamente drenados, fundamentalmente, pela presença de um horizonte sub-superficial B plânico, abaixo de A ou E, precedido por uma transição abrupta. O horizonte B plânico, normalmente, apresenta-se compacto, muito duro a extremamente duro quando

seco e com cores predominantemente acinzentadas. A maioria desses solos apresenta argila de atividade alta e mudança textural abrupta na passagem para o horizonte B plânico. A deficiência de drenagem é o principal fator que restringe o potencial de uso agrícola dessa classe.

- **NEOSSOLOS:** pedogeneticamente pouco desenvolvidos com ausência de qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Dependendo da profundidade do contato lítico, mineralogia, presença de horizontes e/ou camadas são subdivididos em Neossolos Litólicos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos. Apresentam restrições ao uso agrícola.



Fonte: CRPM (2011b)

3.1.11. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

As diferentes classes de uso do solo e de vegetação estão relacionadas na Tabela 9, para a Unidade de Planejamento Hídrico UP2 - Capibaribe, com suas respectivas áreas e o percentual de ocupação na bacia.

Tabela 9 – Usos do solo na bacia do rio Capibaribe

TIPO	ÁREA (km²)	PERCENTUAL (%)
VEGETAÇÃO ARBÓREA FECHADA	450,34	5,96
AÇUDE	14,37	0,19
SOLO EXPOSTO	899,14	11,98
MANGUE	60,85	0,81
OCEANO	1,11	0,01
VEG. ARBUSTIVA ARBÓREA FECHADA.	649,93	8,60
VEG. ARBUSTIVA ARBÓREA ABERTA.	5,70	0,07
MATA ATLÂNTICA	280,95	3,72
ANTROPISMO	2279,18	30,12
CANA	2554,75	33,76
ÁREA URBANA	114,36	1,51
USO NÃO IDENTIFICADO:		
<i>NUVEM</i>	<i>162,19</i>	<i>2,15</i>
<i>SOMBRA</i>	<i>84,53</i>	<i>1,12</i>
TOTAL	7557,40	100,00

FONTE: PERNAMBUCO (1998)

Como foi dito no item 2.4 deste trabalho o desenvolvimento econômico agrícola do Brasil tem sido responsável direto pela perda de solo, na bacia do Capibaribe não é diferente, a cultura da cana-de-açúcar ocupa 33,76% da área da bacia, causando impactos importantes na calha do rio.

O carreamento de grande quantidade de solo para o leito do Capibaribe é um dos fatores que tem provocado uma diminuição da profundidade e a consequente perda de área para escoamento, aumentando assim o risco de inundações.

Em 2013 o Governo do Estado de Pernambuco deu início à dragagem do rio Capibaribe para torna-lo um rio navegável, dentro do programa rios da gente. Essa dragagem diminuirá a carga de sedimentos depositados no rio no trecho localizado dentro de Recife.

A urbanização também gera problemas para o Capibaribe, mesmo que apenas 1,51% da área da bacia sejam urbanizadas os impactos desta urbanização podem ser sentidos em dias mais chuvosos na cidade de Recife, por exemplo, quando ocorrem alagamentos relacionados às falhas na drenagem de águas pluviais.

3.1.12. ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

A bacia do rio Capibaribe se mostra bastante diversificada no que diz respeito aos aspectos socioeconômicos, apresentando características dos setores primário, secundário e terciário.

Nos trechos médio e baixo, pode-se destacar a cultura da cana-de-açúcar, como um dos destaques desde a época da colonização do Brasil. Os municípios de Pombos e Vitória de Santo Antão têm destaque na produção de gêneros hortifrutigranjeiros.

No setor secundário os destaques ficam com polo do jeans e com a indústria canavieira. O polo de jeans está localizado no Alto Capibaribe, mais especificamente nos municípios de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama e tem aquecido a economia desta região na última década. A tradicional indústria canavieira ainda pode ser encontrada no Médio e no Baixo Capibaribe.

Na região Metropolitana do Recife pode-se notar um setor terciário bastante consolidado, existindo um predomínio de serviços nas áreas médica, tecnológica e de turismo, além de um comércio forte que atrai investimentos de várias áreas, com destaque para instalação de vários centros de compras nos últimos anos. O polo médico de Recife hoje é o segundo maior do país, contando com vários hospitais e clínicas de várias especialidades.

Recentemente o município de São Lourenço da Mata foi escolhido como uma das sedes para realização da copa do mundo de futebol que aconteceu entre os meses de junho e julho de 2014. A Arena Pernambuco, um dos palcos dos jogos da copa do mundo, foi instalada nas margens do rio Capibaribe e com ela houve um

aporte financeiro para investimentos de infraestrutura nesta região, favorecendo entre outras coisas o turismo da região.

A capital pernambucana abriga o Porto Digital, reconhecido como o maior parque tecnológico do Brasil, com mais de 200 empresas, entre elas multinacionais como Motorola, Borland, Oracle, Sun, Nokia, IBM e Microsoft. O Porto Digital emprega cerca de seis mil pessoas, e tem 3,9% de participação no Produto Interno Bruto do estado.

3.2. DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário realizar um levantamento de inventários das estações pluviométricas e fluviométricas operadas por diversos órgãos na área da bacia do rio Capibaribe, depois do levantamento e da análise preliminar foram escolhidos dados de precipitação pluviométrica do Instituto de Tecnológico de Pernambuco - ITEP por ser uma série histórica consistente e bastante extensa. Essa rede pluviométrica foi operada inicialmente pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE até o ano de 1991 e posteriormente repassada para o Estado de Pernambuco.

As estações pluviométricas utilizadas (Figura 13) foram Brejo da Madre de Deus, Carpina, Cumaru, Glória do Goitá, Jataúba, Limoeiro, Paudalho, Pombos, Santa Cruz do Capibaribe, São Lourenço da Mata, Salgadinho, Surubim, Taquaritinga do Norte, Vertentes e Vitória de Santo Antão. Pode-se observar na distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas que as três regiões fisiográficas da bacia são representadas na série histórica de dados de chuva.

Dentre as estações fluviométricas operadas na bacia (Figura 12) a mais adequada para o estudo foi São Lourenço da Mata, operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM sob a coordenação da Agência Nacional de Águas – ANA. A escolha desta estação se deu por conta de sua localização geográfica, sendo a última estação de medição dentro da bacia.

A Estação São Lourenço da Mata registrada na Agência Nacional de Águas - ANA com o código 39187800 está localizada no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, com coordenadas geográficas -7,999 de latitude, -35,039 de longitude (Datum WGS 84) e altitude de 70 m, está inserida na folha SB.25-Y-C-V, LIMOEIRO com escala de 1:100.000.

A estação está inserida no roteiro de operações n.º 06 da CPRM na Região hidrográfica do Atlântico, Trecho Norte/Nordeste, sub-bacia 39, bacia hidrográfica do rio Capibaribe, com área de drenagem de 7.290 Km². Instalada No quintal da casa do observador. Para chegar à estação deve-se seguir o seguinte roteiro: De Paudalho pela BR-408, asfaltada, no sentido da cidade do Recife, aproximadamente de 24 km até o posto.

Está localizada, em relação à hidrografia da bacia, à jusante de Paudalho sendo a última estação fluviométrica do rio Capibaribe. O trecho do rio onde a estação está instalada tem regime perene, conformação retilínea e leito regular com formação arenosa sem vegetação. Sua margem esquerda tem inclinação baixa e natureza arenosa sem vegetação enquanto a margem direita tem inclinação baixa e natureza arenosa sem vegetação.

A vazão máxima na seção de São Lourenço da Mata não pode exceder 600 m³/s para que não ocorra inundação na cidade de Recife (PAIVA *et. al.*, 2007). Esse foi um dos fatores mais importantes para a escolha da estação fluviométrica de São Lourenço da Mata como estação de controle para realização do estudo, outros fatores determinantes foram: área de drenagem, a série histórica de dados, a localização, o acesso à seção de réguas e a relação entre a precipitação média e a cota.

A série histórica de dados (pluviométricos e fluviométricos) utilizados no estudo vai julho de 1966 a dezembro de 1975, tendo em vista a construção da barragem de Carpina, localizada à montante do município de São Lourenço da Mata, que veio a interferir no regime de cotas da estação de controle. A localização da barragem de Carpina pode ser verificada na Figura 21.

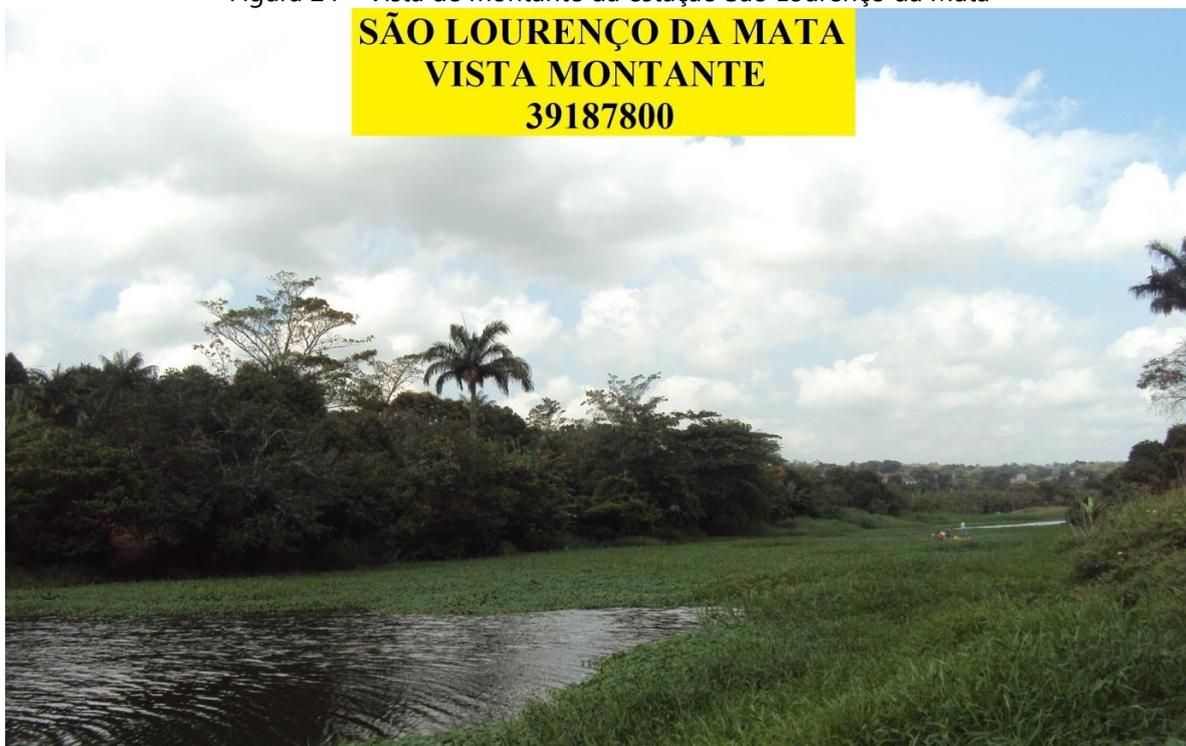
3.3. COTA MÍNIMA E COTA DE ALERTA

A amplitude de lances da estação São Lourenço da Mata vai de 000/100 cm à 500/600 cm, para a série histórica trabalhada a cota média foi de 104,3 cm, esse valor foi atribuído à cota inicial, também chamada de cota mínima.

A cota de alerta foi determinada em campo com apoio de nível um topográfico, sendo igual a 300 cm. Não foi utilizada nenhuma metodologia específica para determinação da cota de alerta, podendo ser a cota de um meio fio, a cota de uma calçada ou qualquer outra cota que alerte o usuário para o alagamento.

As Figuras 24, 25 e 26 mostram, respectivamente, as vistas de montante, jusante e a seção de réguas da estação de São Lourenço, do rio Capibaribe.

Figura 24 – Vista de montante da estação São Lourenço da Mata



Autor: Jackson Almeida (2013)

Figura 25 – Vista de jusante da estação São Lourenço da Mata



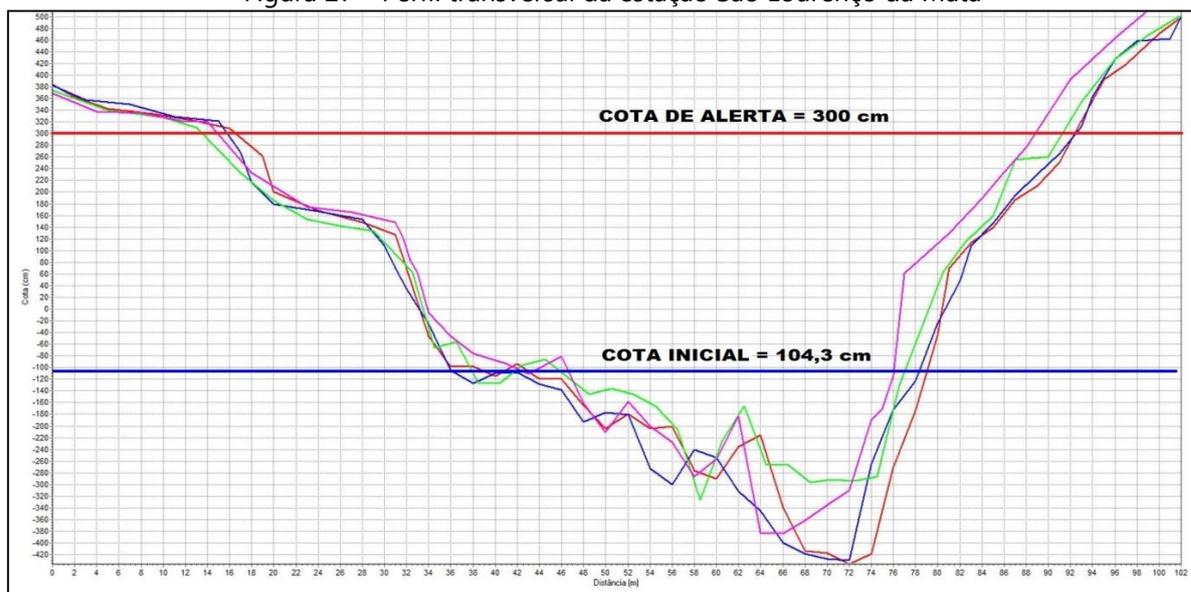
Fonte: Jackson Almeida (2013)

Figura 26 – Vista da seção de réguas da estação São Lourenço da Mata



Fonte: Jackson Almeida (2013)

Figura 27 – Perfil transversal da estação São Lourenço da Mata



Fonte: CPRM (2013)

O perfil transversal da estação tem se mostrado estável nos últimos anos, com uma profundidade máxima de 430 cm. O Ponto inicial da sua seção de medição está localizado na margem esquerda e sua seção de medição mede de 102 m. A Figura 27 mostra o perfil transversal da estação e a cota inicial e de alerta.

3.4. PRECIPITAÇÃO MÉDIA DA BACIA

Para o cálculo das médias diárias de precipitação foram utilizadas 15 estações pluviométricas distribuídas nas três regiões fisiográficas da bacia do rio Capibaribe (Tabela 06).

A precipitação utilizada no banco de dados deste trabalho será a precipitação média diária calculada pela média aritmética, que não é o método mais preciso, porém é o mais fácil de ser calculado. Vale salientar que o fim último deste trabalho é fornecer uma ferramenta, simples e eficaz, de apoio para defesas civis de municípios que não possuam acesso fácil aos órgãos de monitoramento climatológico, sendo assim deve ser, na medida do possível, de fácil manuseio e desprovida de sofisticação metodológica. Os outros dois métodos de cálculo de precipitação média citados na revisão bibliográfica (Métodos de Thiessen e das isoietas) requereriam um maior

conhecimento técnico de possíveis órgãos interessados na utilização do *software* desenvolvido.

3.5. FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

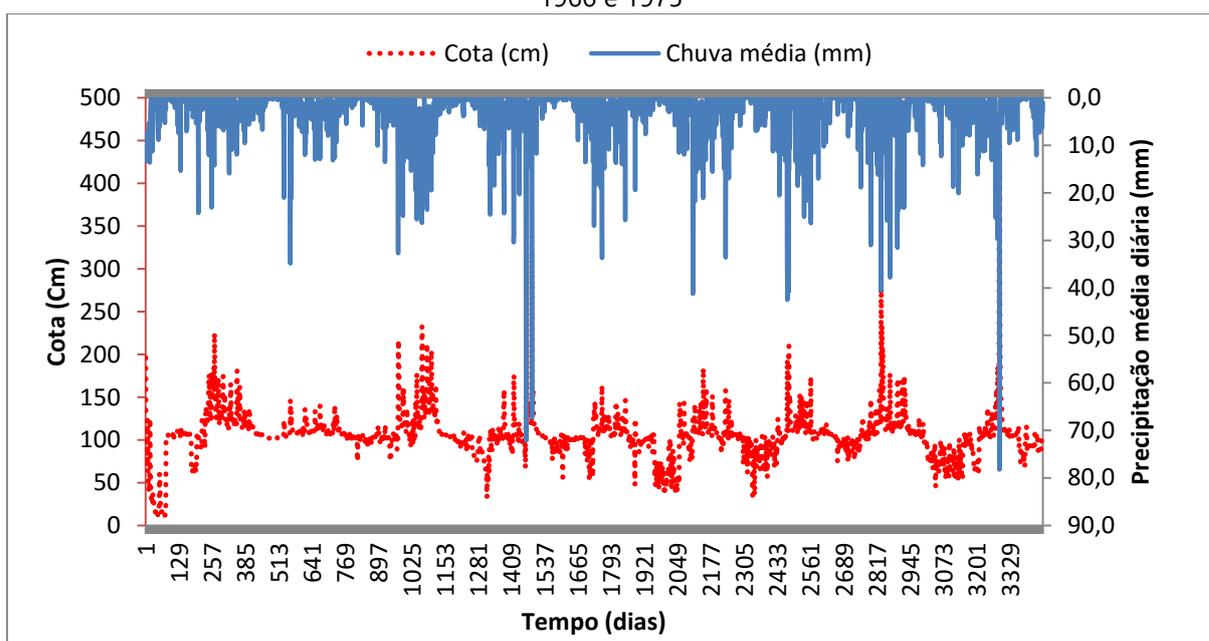
Para desenvolver o sistema foi usado o Microsoft Access 2007 como banco de dados e o Delphi X6 para fazer a programação.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre a precipitação média à montante da bacia e a variação de cota no rio Capibaribe na estação (Figura 28) foi fundamental para determinar a probabilidade condicional do *evento B* acontecer em função de o *evento A* já ter acontecido, aqui representados respectivamente pela cota 300,0 cm e pela precipitação acumulada de 138,4 mm dentro do tempo de concentração da bacia.

Figura 28 – Relação entre a precipitação média e a cota em São Lourenço da Mata entre os anos de 1966 e 1975



Fonte dos dados: CPRM (2013)

4.1. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Para determinação do tempo de concentração da área da bacia estudada foi utilizada a metodologia desenvolvida por Ventura (2001) e citada por Araújo *et. al.* (2001), já que esta metodologia não apresenta nenhuma restrição quanto à área da bacia.

$$T_c = 240,0 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}} = \sqrt{\frac{7290 \cdot 254}{1130}} = 9715,2 \text{ minutos}$$

Onde T_c é o tempo de concentração [min.], A =Área da bacia [km^2], L =comprimento de talvegue [km], e H = diferença de cotas [m] do talvegue entre o ponto mais afastado e a seção de referência da bacia [m].

Para a estação São Lourenço da Mata a área de drenagem da bacia é de 7290 km^2 , a extensão do curso de água até a seção de réguas é de 254 km e a diferença de cotas do talvegue é de 1130,0 m, conforme modelo digital do terreno adotado por este trabalho para determinação de cotas (Figura 16).

O tempo de concentração será o tempo de chuva acumulado, e em função desse tempo verificar-se-á se a cota de alerta foi atingida, sendo assim o modelo fará o somatório da chuva média da bacia que for registrada neste intervalo, para o trecho estudado dentro da bacia o valor do T_c é de 9715,2 minutos ou sete dias.

4.2. O SOFTWARE

A estrutura do software é simples, contando com funções internas que calculam os seguintes eventos:

1. **Total de registros no banco de dados**, sendo a totalização de todos os registros diários de chuva e cota;
2. **Precipitação acumuladas no T_c** , sendo o somatório simples da chuva acumulada em cada sete dias de espaço temporal;
3. **Número de registros onde a cota foi igual ou superior à cota de alerta**, sendo um filtro simples que contabiliza quantas vezes a cota foi igual ou maior do que o valor da cota de alerta;

4. **Chuva média de inundação**, sendo a chuva média encontrada em cada período de sete dias que gerou uma inundação igual ou maior à cota de alerta;
5. **Probabilidade da cota de alerta ser igualada ou ultrapassada (A)**;
6. **Probabilidade de ocorrência da chuva de inundação (B)**;
7. **Probabilidade condicional da cota de alerta ser atingida em função de uma determinada chuva de inundação já ter ocorrido**, sendo:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

O sistema não necessita de instalador e não requer quaisquer configurações especiais para o computador, podendo ser utilizado em máquinas com o sistema operacional Windows. O banco de dados utilizado foi compilado das séries históricas pluviométricas e fluviométricas definidas para este estudo e se utilizado em outros locais deve ser alimentado diariamente por um usuário que tenha o mínimo de conhecimento para determinar as estações hidrometeorológicas e a metodologia de cálculo para definição do tempo de concentração da bacia.

O sistema possui seis telas e inicialmente deve-se inserir o ponto de controle escolhido na tela de cadastro (Figura 29), nesta tela serão lançadas informações referentes às coordenadas, Estado, município, rio, órgão de defesa civil, características físicas da bacia (extensão do rio principal, declividade, área da bacia) e cota de alerta (m) determinada, entre outras informações cadastrais. Se já houver uma estação fluviométrica operada por qualquer instituição pública ou privada deve-se indicar as informações dessa estação. AS características físicas inseridas nessa tela serão usadas para o cálculo do tempo de concentração – T_c .

Figura 29 – Tela de cadastro de ponto de controle

Sistema de Alerta de Risco de Inundação

Arquivo Ajuda

Dados da Estação

Nome: São Lourenço da Mata
 Estado: Pernambuco
 Município: São Lourenço da Mata
 Bacia Hidrográfica: Capibaribe
 Rio: Rio Capibaribe
 Local: Na Estação operada pela CPRM
 Cota inicial (cm): 104

Cadastro dos Pontos de Controle

Arquivo

Dados do Ponto de Controle | Características Físicas da Bacia | Informações da Estação

Código: P-001
 Nome: São Lourenço da Mata
 Estado: Pernambuco
 Município: São Lourenço da Mata
 Bairro: Centro
 Localidade: Na Estação operada pela CPRM
 Ponto de Referência: Próximo ao INSS
 Latitude: -7,999 Longitude: -35,039
 Região Hidrográfica: Atlântico, Trecho Norte/Nordest
 Bacia Hidrográfica: Capibaribe
 Rio: Rio Capibaribe
 Domínio do Rio: Estadual
 Existe Defesa Civil? Sim Telefone: (81)3444-4444
 Responsável: Fulano da Silva
 População: 150000 Vulneráveis:

Características Físicas da Bacia

Tempo de Concentração: 7
 Probabilidade de inundação: 0,0

Informações da Estação

Data: 23/11/1975
 Cota (cm): 93
 Chuva (mm): 0,9
 Chuva acumulada (mm): 2,4
 Tempo de Concentração: 7

Calcular

Cota (cm)

02/11/1975 03/11/1975 04/11/1975 05/11/1975 06/11/1975 07/11/1975 08/11/1975 09/11/1975 10/11/1975 11/11/1975 12/11/1975 13/11/1975 14/11/1975 15/11/1975 16/11/1975

17/11/1975 18/11/1975 19/11/1975 20/11/1975 21/11/1975 22/11/1975 23/11/1975 24/11/1975 25/11/1975 26/11/1975 27/11/1975 28/11/1975 29/11/1975 30/11/1975 01/12/1975

Em seguida deve-se definir o tempo de concentração da bacia, que pode ser calculado utilizando-se a tela de cálculo de tempo de concentração (Figura 30). Nesta tela existem sete metodologias disponíveis e uma entrada de dados aleatória, uma delas deve ser escolhida em função das características físicas da bacia, deve-se ter o cuidado para que esse tempo seja o mais próximo possível do tempo de concentração real da bacia. O tempo de concentração será o intervalo que o sistema usará para somar as chuvas médias diárias da bacia e a partir daí calcular a chuva média que gera uma inundação, todas as vezes que a cota de alerta for atingida.

Figura 30 – Tela de cálculo de tempo de concentração

The screenshot displays the 'Tempo de Concentração de Precipitação - Tc' dialog box within the 'Sistema de Alerta de Risco de Inundação' application. The dialog box is organized into several sections, each representing a different calculation method:

- Ventura:** Inputs for Area (A) in km², Length (L) in km, Height (H) in m, and Time (Tc) in minutes, hours, and days.
- Temez:** Inputs for Length (L) in km and Slope (i) in %, with Tc in minutes, hours, and days.
- Kirpich II:** Inputs for Length (L) in km and Slope (S) in m/Km, with Tc in minutes, hours, and days.
- Pasini:** Inputs for Area (A) in km², Length (L) in km, Slope (i) in m/m, and Tc in minutes, hours, and days.
- Picking:** Inputs for Length (L) in km, Slope (i) in m/m, and Tc in minutes, hours, and days.
- Ven Te Chow:** Inputs for Length (L) in km, Slope (i) in m/Km, and Tc in minutes, hours, and days.
- Dodge:** Inputs for Area (A) in km², Slope (i) in m/m, and Tc in minutes, hours, and days.
- Atribuir Valor:** A field for 'Valor' and a 'Atribuir' button.

Each section includes a 'Calcular' button and a 'Selecionar' checkbox. The background shows a data entry form with fields for station name, state, municipality, basin, river, local, and initial elevation, along with a graph of elevation over time.

Depois de cadastrar o ponto de controle e determinar a metodologia do tempo de concentração da bacia, o usuário digitará diariamente a cota da estação (m) e a chuva média calculada para a bacia (mm), em seguida utilizará o botão Σ (somatório) para que o sistema calcule o somatório das chuvas diárias acumuladas para o tempo de concentração definido, neste estudo o tempo de concentração foi igual a sete dias, então serão totalizadas as chuvas dos últimos sete dias. Esse procedimento deve ser feito na tela de entrada diária de cota e chuva média (Figura 31). Por fim pode-se calcular a probabilidade do rio atingir a cota alerta no botão **calcular**, localizado na tela inicial (Figura 32). A tela inicial tem ainda um gráfico dinâmico da variação das cotas da estação no decorrer do tempo. O sistema ainda possui uma tela de histórico de dados (Figura 33) e outra de estatísticas da série histórica (Figura 34).

Figura 31 – Tela de entrada diária de cota e chuva média

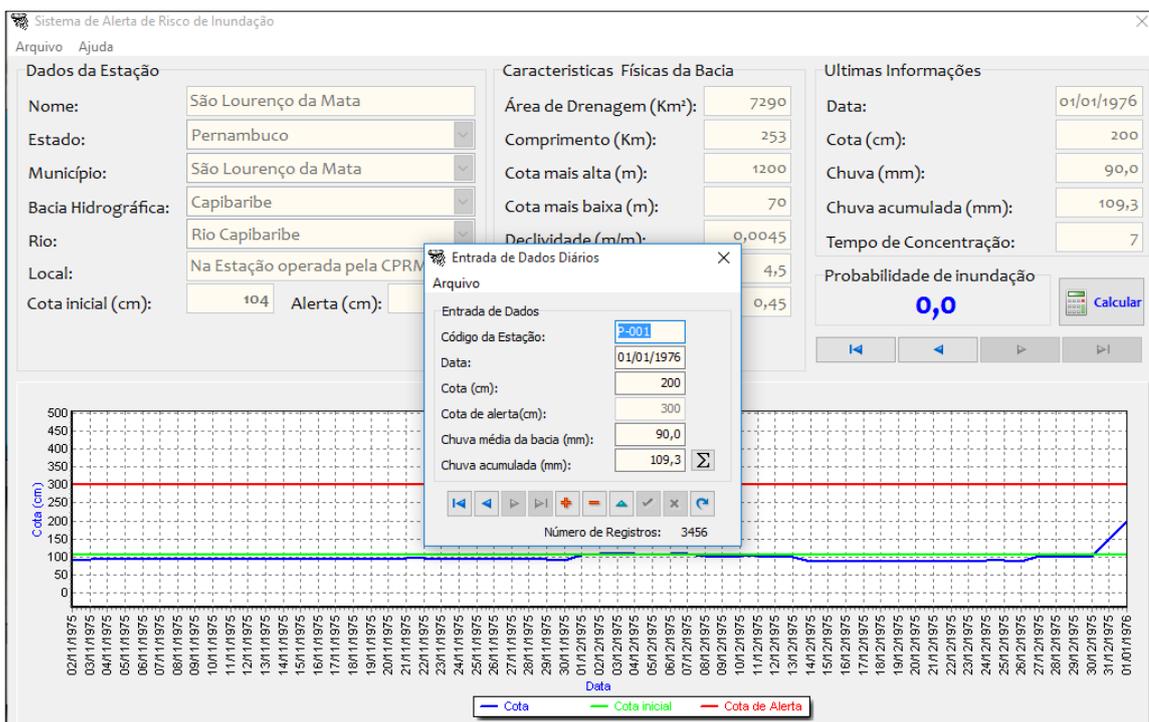


Figura 32 – Tela inicial do sistema

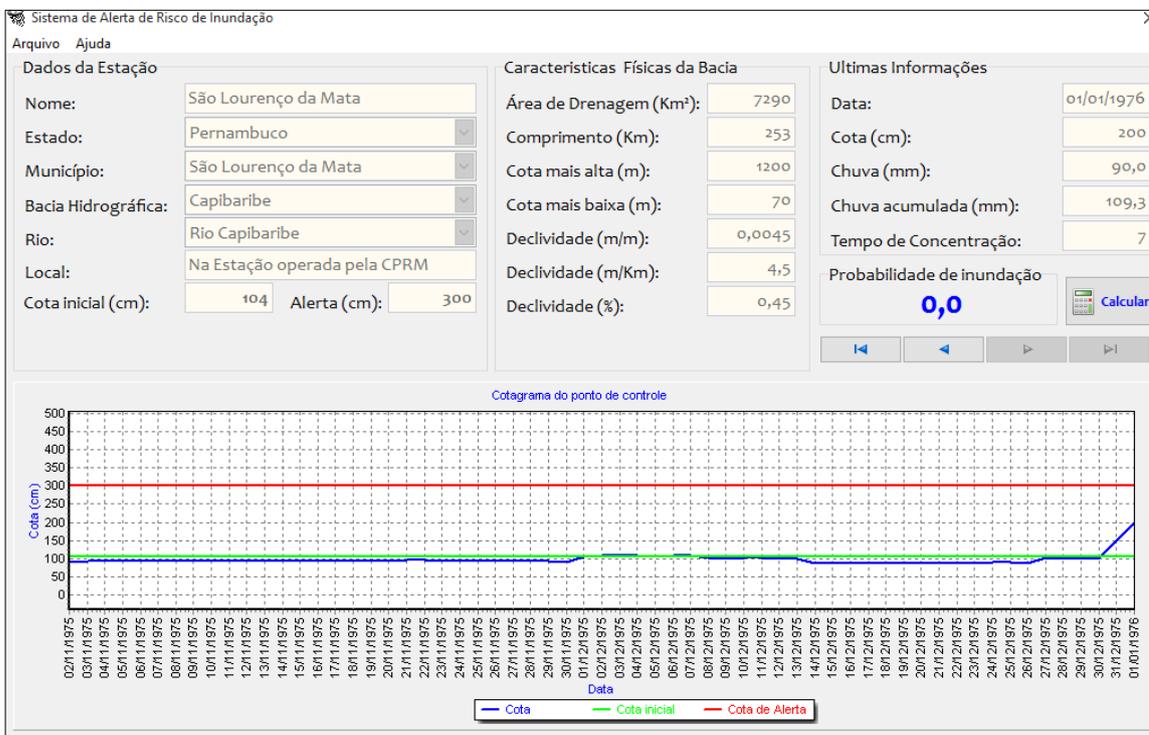


Figura 33 – Tela de histórico de dados

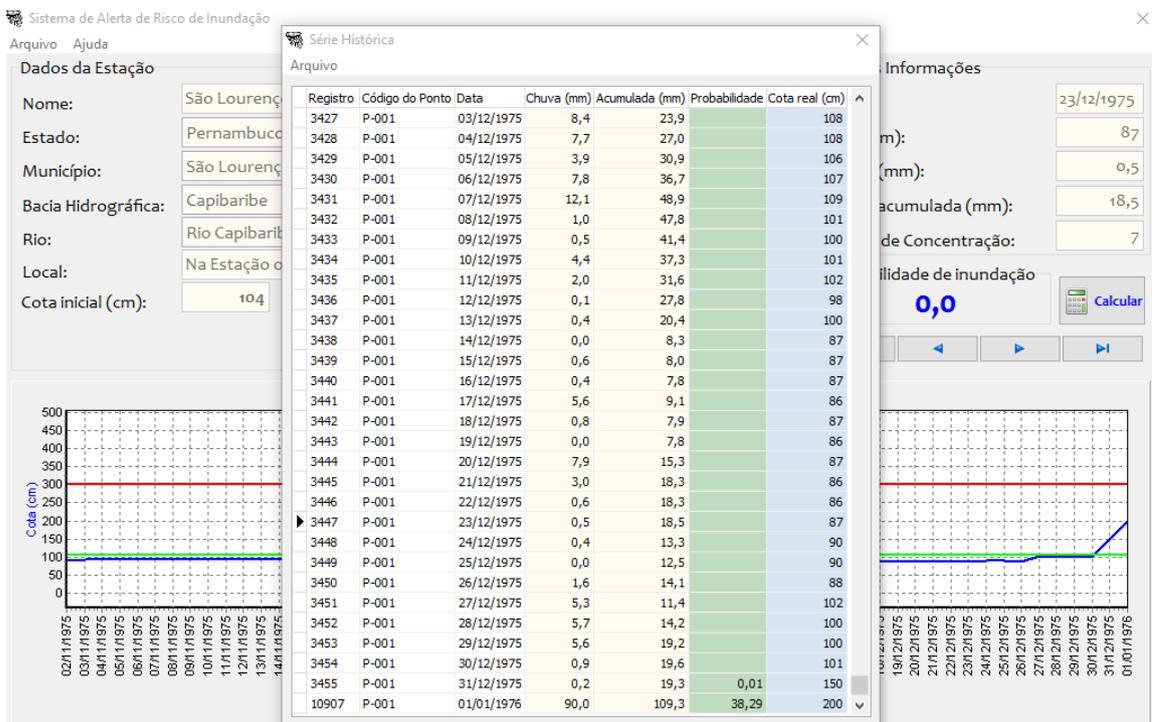
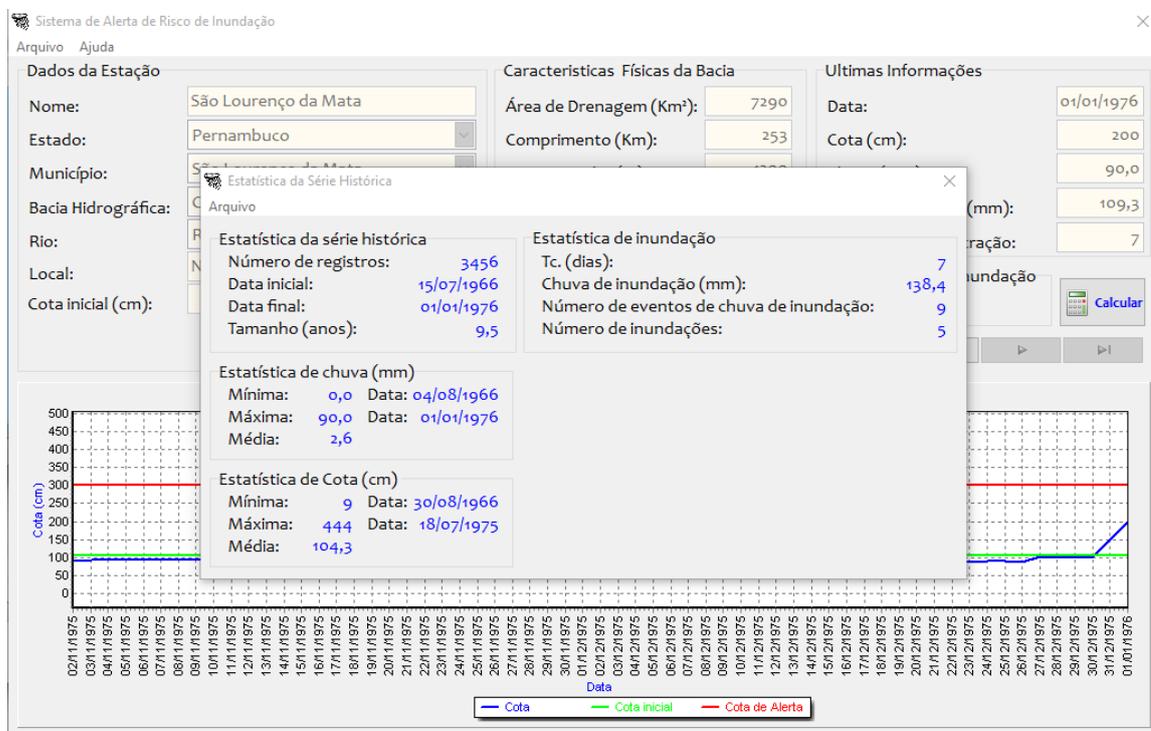


Figura 34 – Tela de estatística da série histórica



Durante a realização da pesquisa não foi comum encontrar trabalhos similares, tratando do tema proposto, isto é: probabilidade de um rio chegar a uma cota B tendo ocorrido uma chuva A. Foi comum encontrar trabalhos que usaram a probabilidade condicional para determinação da probabilidade de dias chuvosos serem seguidos por outro dia chuvoso ou por um dia seco.

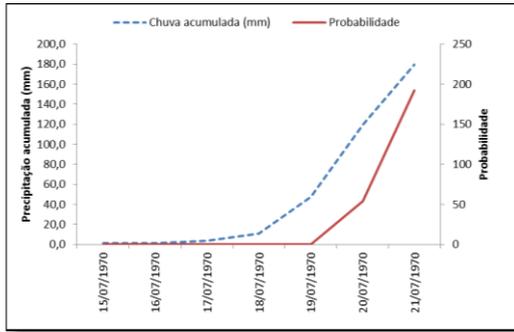
SILVA (1987) apresentou as probabilidades de precipitações pluviométricas em Pelotas, Rio Grande do Sul. O método baseou-se na hipótese da normalidade da transformação raiz cúbica e, também, na transformação raiz quinta, com a probabilidade de chover sendo calculada por $PI = (m + 0,5)/(n + 1)$. Neste trabalho a série histórica utilizada foi com o período de 1900-1951, sendo a concordância entre os valores observados e calculados bastante satisfatória.

ANDRADE *et. al.* (2009) utilizou probabilidades condicionais levando em consideração a hipótese de que as ocorrências de dias secos e chuvosos são condicionalmente dependentes da sequência dos dias secos e chuvosos anteriores. O estudo mostrou resultados satisfatórios.

CONRADO *et. al.* (1998) determinou a probabilidade condicional de ocorrência de um dia chuvoso ser precedido por outro dia chuvoso no Estado do Rio Grande do Sul. O trabalho mostrou resultados satisfatórios.

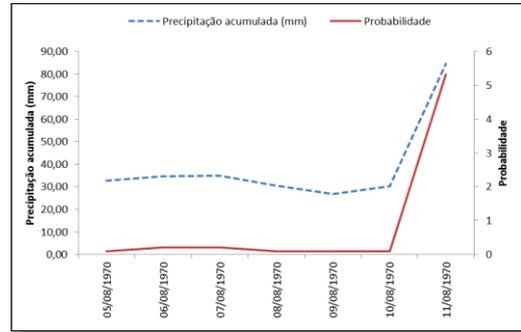
O sistema proposto usou 3455 registros de chuva e cota, e nesse intervalo houve cinco registros de ocorrência da cota de alerta, a metodologia mostrou-se eficiente e indicou a probabilidade alta (>50%) de ocorrência de alerta em quatro dos cinco registros, mostrando uma eficiência de 80%. Os resultados de probabilidade calculados pelo sistema podem ser vistos nas Figuras 35 a 39. No dia 11/08/1970 houve uma previsão falha de apenas 6% de probabilidade do rio atingir a cota de alerta, que pode ser justificada por uma chuva intensa, concentrada um dia antes da cota de alerta ser atingida, muito provavelmente com o solo já saturado, o que pode ter contribuído para um rápido escoamento superficial. Nos outros quatro eventos onde o sistema obteve êxito, a precipitação acumulada no T_c mostrou uma relação clara com o aumento da cota.

Figura 35 – Previsão para 21/07/1970



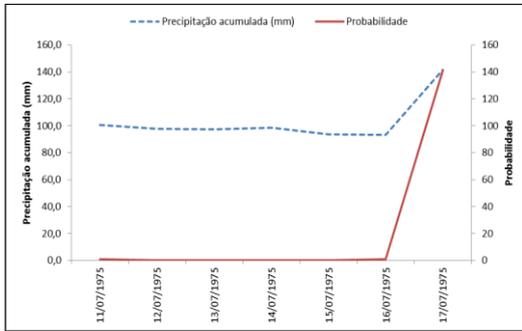
Cota atingida: 403 cm

Figura 36 – Previsão para 11/08/1970



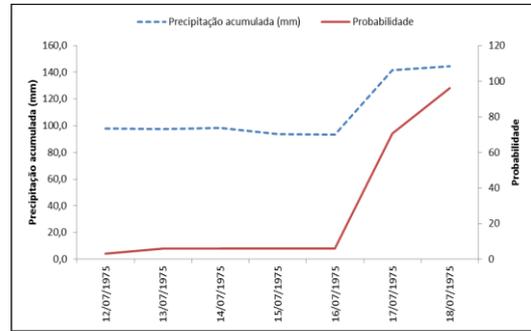
Cota atingida: 318 cm

Figura 37 – Previsão para 17/07/1975



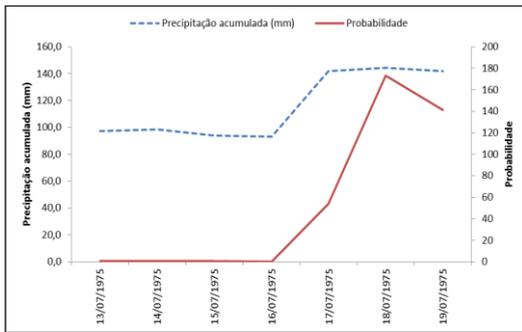
Cota atingida: 392 cm

Figura 38 – Previsão para 18/07/1975



Cota atingida: 444 cm

Figura 39 – Previsão para 19/07/1975



Cota atingida: 308 cm

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho procurou desenvolver um *software* que correlacionasse dados hidrometeorológicos de uma série histórica com dados coletados em tempo real para indicar a probabilidade de ocorrência de uma inundação em um determinado local, usando como principal ferramenta a estatística. Inicialmente o local escolhido para aplicação do estudo foi da estação São Lourenço da Mata, em Pernambuco, mas a aplicação da ferramenta não deve ficar limitada nesta localidade.

Os resultados apresentados para a bacia do rio Capibaribe mostraram-se bastante confiáveis, tendo em vista que o software indicou uma probabilidade alta de alagamento em quatro das cinco datas onde houve inundação, totalizando 80% de acertos nas previsões.

Naturalmente qualquer tentativa de previsão de inundação que utilize estatística dependerá da quantidade e qualidade dos dados na bacia e nos pontos de controle, sendo assim quanto maior e mais confiável for a série histórica maior será a confiança no valor da probabilidade indicado.

Como recomendações visando à continuidade da pesquisa e para outros trabalhos futuros pode-se citar:

- Dar continuidade aos estudos de probabilidade condicional entre chuvas e cota em bacias hidrográficas diferentes;
- Buscar trabalhos similares para agregar novas metodologias ao modelo e ao *software*;

- Continuar alimentando o banco de dados da bacia do rio Capibaribe com informações recentes, pois à medida que a quantidade de registros do banco aumenta a precisão do software também aumenta;
- Aplicar o *software* em bacias com características físicas diferentes, para conhecer melhor os fatores de limitação do modelo;
- Aperfeiçoar os cálculos do modelo, para que os valores definidos de forma manual sejam automatizados dentro da própria programação, havendo dessa forma uma otimização do processo;
- Implantar programas de capacitação e treinamento, visando à preparação dos órgãos municipais e estadual de defesa civil, para a prática de evacuação de áreas de risco quando da ocorrência de alertas destinados para este fim;
- Em trabalhos futuros complementar a tomada de decisão com a utilização de gráficos que trabalhem com as chuvas antecedente e acumulada, determinando assim, a menor chuva acumulada no período chuvoso que pode causar eventos de inundação na bacia a partir da quantificação da chuva antecedente ao evento. Esta metodologia será ainda mais importante em bacias com menor tempo de concentração.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. T. D. B. **Cenários de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do rio Una – Pernambuco**. Monografia, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

ALCÁNTARA – AYALA, I. 2002. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries**. Geomorphology 47 p. 107-124, 2002.

ANDRADE, P. R. G. S. DE. **Estudo para alocação ótima das águas de um sistema de reservatórios em série e em paralelo, para usos e objetivos múltiplos, na bacia do rio Capibaribe, PE**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Programa Institucional de Doutorado Temático, Campina Grande, 2006.

ANDRADE, A. R. S.; FREITAS, J. C.; BRITO J. I. B.; GUERRA, H. O. C.; XAVIER J. F. **Aplicação da probabilidade condicional e do processo da cadeia de Markov na análise da ocorrência de períodos secos e chuvosos para o município de Garanhuns, PE, Brasil**. Ambi-Agua, Taubaté, V 4, n. 1, p. 169-182, 2009.

SILVEIRA, A. L. L DA. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, V.10, n. 1 p.5–23, Porto Alegre, 2005.

ARAÚJO, B. A. M. DE; SILVEIRA C. DA S.; SOUZA, J. L. S.; MAIA JR., J. V. F.; ALMEIDA, F. A. F. A.; STUDART, T. M. de C. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

ARAÚJO, W. DOS S.; SOUZA, F. DE A. S.; BRITO, J. I. B. DE; LIMA, L. M.; **Aplicação do Modelo Estocástico Cadeia de Markov a Dados Diários de Precipitação dos Estados da Bahia e Sergipe**. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife, V.3, p.509–523, 2012.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9a Ed. Trad. Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 205-210, 2003.

BERTONI, J. C. e TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Organizado por Carlos E. M. Tucci, Porto Alegre: Ed. Universidade: ABRH: EDUSP, Coleção ABRH de Recursos Hídricos; V.4, p. 943, 2002.

CABRAL, C. J.; DOS SANTOS, L. S.; SILVA, J. C. B. DA **Aplicação do sensoriamento remoto para monitoramento de eventos extremos urbanos: uma análise do município são Lourenço da Mata – PE**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, 2013.

CARLOS. A. B. M., CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos, Princípios, Integração e Aplicação**. 533 p., 2001.

CAMPOS, R. O. G. **Inundações Urbanas: Considerações Gerais e Modelação Matemática com Incorporação da Obstrução por Resíduos Sólidos**. M.Sc., Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2001. CETESB, **Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos**, v. 01, São Paulo, 2003.

CIRILO, J. A.; DANTAS, C. E. DE OLIVEIRA; RIBEIRO NETO, A.; SILVA, E. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L. **Controle e Previsão de Cheias no Estado de Pernambuco, Brasil: Estrutura Geral do Sistema de Suporte à Decisão**. In: IWRA WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011a, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil. **Anais...** Ipojuca: IWRA, 2011. 1 CD-ROM.

CPRM. **Atlas Pluviométrico do Brasil: Levantamento da Geodiversidade**. Belo Horizonte: CPRM, 2011a. 1 atlas. Escala 1:5.000.000. 1. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>> . Acesso em: 26 set. 2012.

_____. **Disponibilidade Hídrica do Brasil: Estudos de Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras: Regionalização da Q95% na sub-bacia 39**. Recife: CPRM, 2011b. Escalas variam. 1 CD-ROM.

CEOPS. **Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia do Itajaí**. Blumenau, 2012. Disponível em <http://ceops.furb.br> Acesso em: 17/07/2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 149 p. 1974.

CONRADO, H.; KIM, I.; DAMÉ, PRESTES, S. D. **Estudo climatológico da precipitação diária no Estado do Rio Grande do Sul**. X Congresso Brasileiro de Meteorologia, v. 1, p. 753-756. 1998.

DALLEDONNE, G. L. **Variabilidade e previsibilidade de vazões com o uso da previsão climática de chuva**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná - UFPR. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia, Curitiba, 2011.

DANTAS, C. E. DE O. **Previsão e controle de inundações em meio urbano com suporte de informações espaciais de alta resolução**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2012.

D'ALTÉRIO, C. F. V. **Metodologia de Cenários Combinados para Controle de Cheias Urbanas com Aplicação à Bacia do Rio Joana**. M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2004.

EM-DAT Emergency Database. **OFDA/CRED – The Office of US Foreign Disaster Assistance/Centre for Research on the Epidemiology of Disasters**. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/> Database. Acesso em julho de 2012.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F. de; BOTELHO, R. G. M. **Análise comparativa do tempo de concentração: Um estudo de caso na bacia do Rio Cônego, município de Nova Friburgo/RJ**. XIX Simpósio Brasileiro de recursos hídricos, Maceió, 2011.

FONSECA, H. **Tapacurá: Viagem ao planeta dos boatos**. Cepe. 248 p. Recife, 2011.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. **Considerações sobre as inundações no Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (16: 2005: João Pessoa) Porto Alegre: ABRH, anais 2005. CD-ROM. 10p.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; CORREA, G. P.; ROCHA, H. L.; GIGLIO, J. N. **Desastre hidrológico resultante das chuvas intensas em Rio dos Cedros – SC**. In XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (2009: Campo Grande) Campo Grande: ABRH, Anais, 2009. CD-ROM. 19p.

JARRAUD M. **Mensagem da OMM para o dia meteorológico mundial em 2006 prevenção e mitigação dos desastres naturais**. In Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 1, p.46, 2006.

JUSTINO, E. A.; MARTINS, DE P. H.; PAIVA, E. C. R. **Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG**. Espaço em Revista, v. 13, n. 2, p.16 -38, 2011.

LEONE, F.; VINET, F. **La vulnérabilité, un concept fondamental au coeur des méthodes d'évaluation des risques naturels**. In: LEONE, F.; VINET, F. La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles: analyses éographiques. Montpellier: Université Paul Valéry, Collection Géorisques n. 1, 2006, 144p.

LIU, W. T. H. E AYRES, F. M. **Previsão de Cheias Via Satélite para o Planejamento Ambiental do Pantanal: Subsídios para as Atividades Humanas no Complexo.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2027-2034.

MENDONÇA, F. **Riscos, vulnerabilidade e Resiliência socioambientais urbanas: Inovações na análise geográfica.** Revista ANPEGE, V. N. 1, Número especial, p 111-118, 2011.

MARTINS, C. M. T.; MENDES, M. G. T; ABREU, J. M.; ALMEIDA, J. P. L. ; LIMA, J. P., LIMA, I. P. **Hidrologia urbana – Conceitos básicos.** Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, Universidade de Coimbra Lisboa, Lisboa, 2010.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. **Hidrologia Estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

OLIVEIRA, D.; MEDEIROS, A. ; PINTO, E. J. A. **Previsão e alerta de cheias em Manaus.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

PAIVA, F. M.; DINIZ, L. DA S.; CATÃO, R. C. **Análise de volumes de espera para as principais barragens da bacia do Rio Capibaribe.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

PASCHOAL, W. **As inundações no Cambuci.** Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 123p, 1981.

PELLING, M. UITTO, J. I. **Small Island Developing States: natural disaster vulnerability and global change.** *Global Environ. Change, Part B, Environmental Hazards*, v. 3, n. 2, p. 49-62, 2001.

PERNAMBUCO (Estado). Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTMA). **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco.** Recife: 1998. 1 v.

POMPILIO, M. J. **O homem e as inundações na Bacia do Itajai: uma contribuição aos estudos da Geografia do comportamento e da percepção, na linha da percepção ambiental.** Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 268p. São Paulo, 1990.

REIS, A. C. S., LIMA, D. A. **Contribuições ao estudo do clima de Pernambuco: Recursos Vegetais de Pernambuco**. Série I, Agricultura, Caderno do Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco. Recife, 1970.

REITER, P. **International methods of Risk Analysis, Damage Evaluation and Social Impact Studies concerning Dam-Break Accidents**. Helsinki: PR Water Consulting. 2001.

RIBEIRO, W. C. **Riscos e vulnerabilidade urbana no Brasil**. Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. [En línea]. Barcelona: Universidade de Barcelona, V. XIV, N.º 331 (65), 2010.

SARMENTO, A. P.; WANDERLEY, H.; DA CRUZ, P. P. N.; DE PAULA, H. M.; JUSTINO, E. A. **Análise da precipitação na bacia hidrográfica do rio Forqueta**. Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.

SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO – SECTMA-PE. **Bacias Hidrográficas de Pernambuco**. 2006

SOUZA, L. B.; ZANELLA, M. E. **Percepção de Riscos Ambientais: Teoria e Aplicações**. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 240 p. ISBN: 978-85-7282-372-2

SILVA, A.; TERRA, V. S. S.; VIEGAS FILHO, J. S. **Determinação do tempo de concentração da bacia montante do Arroio Chasqueiro**. Anais do XVI Congresso de Iniciação Científica, UFPel, Pelotas, 2007.

VANNI, G. S. **“Controle de Enchentes e Gestão de Drenagem Urbana – Estudo de Caso: Bacia do Rio Joana”**. In: *Projeto Final de Curso*, DRHIMA, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

ZONENSEIN, J. **Índice de Risco de Cheia como Ferramenta de Gestão de Enchentes**. Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. DO (Organizadores). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). 2007. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4a Ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do impacto das urbanizações**. IN: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. DE (ORGS.). DRENAGEM URBANA: GERENCIAMENTO, SIMULAÇÃO, CONTROLE. PORTO ALEGRE: ABRH/ ED. UFRGS, P. 278 - 345. 1995.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE R. T. **Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão.** RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 2, N.1, 1997.

UN-ISDR. **International Strategy for Disaster Reduction. 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction.** Disponível em <http://www.unisdr.org>. Acesso em agosto de 2009.

VALERIANO, M. DE M. **Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos: INPE, 2004. 72 p. Relatório Técnico: INPE-10550-RPQ/756.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. **Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, V.14, N.1, p.55-64, 2010.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: Mc Graw-hill do Brasil, 1975.