

An aerial photograph of a city, likely João Pessoa, showing a dense urban grid, a winding river, and a coastline with mountains in the background under a clear blue sky.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS**

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE  
ENCHENTES E INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO JAGUARIBE -  
JOÃO PESSOA/PB**

**CAIO LIMA DOS SANTOS**

**Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**RECIFE  
2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS**

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE**  
**ENCHENTES E INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO JAGUARIBE -**  
**JOÃO PESSOA/PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro Filosofia e Ciências Humanas da Universidade federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção de grau de Mestre em Geografia.

**RECIFE**  
**2016**

Catálogo na fonte

Bibliotecário Rodrigo Fernando Galvão de Siqueira, CRB-4 1689

S237a Santos, Caio Lima dos.

Análise da suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB / Caio Lima dos Santos. – 2016.  
107 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2016.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Bacias hidrográficas - Brasil. 3. Inundações. 4. Solo - Uso. I. Silva, Osvaldo Girão da (Orientador). II. Título.

910 CDD (22.ed.)

UFPE (BCFCH2016-42)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - CFCH  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS - DCG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PP GEO**



**CAIO LIMA DOS SANTOS**

**ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A OCORRÊNCIA DE ENCHENTES E  
INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO JAGUARIBE, JOÃO PESSOA/PB**

Dissertação aprovada, em 16/02/2016, pela comissão examinadora:

---

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva  
(1º examinador – orientador – PP GEO/DCG/UFPE)

---

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega  
(2º examinador – PP GEO/DCG/UFPE)

---

Prof. Dr. Saulo Roberto de Oliveira Vital  
(3º examinador – Departamento de Ciências Ambientais/Centro Integrado de  
Tecnologia e Pesquisa da Paraíba)

**RECIFE – PE  
2016**

## AGRADECIMENTOS

Nesse período de conclusão de mais uma etapa da longa caminhada acadêmica, dedico esse espaço para agradecer a todos aqueles que forma direta ou indireta contribuíram com a construção dessa pesquisa e para a minha formação profissional.

Primeiramente, agradeço ao meu bom Deus, autor da vida e fonte de toda a força que permite continuar caminhando, mesmo em meio a tantas lutas.

A minha família de sangue, em especial a minha mãe, Rozinalda Silva de Lima, por me motivar a vislumbrar algum horizonte em minha vida profissional.

A minha esposa, Liliane Marques, companheira inseparável dos bons e maus momentos.

Ao meu orientador Osvaldo Girão, por sua forma simples de orientar e por sua enorme prestatividade e paciência.

A todos os Colegas de turma pela brilhante acolhida e parceria nas atividades propostas no decorrer do curso.

Ao funcionário do PPGEIO, Eduardo Vêras, pessoa acessível e prestativa.

A Defesa Civil de João Pessoa, na pessoa do engenheiro Alberto Alves Sabino, por ter disponibilizado documentos necessários para a conclusão dessa pesquisa e por dispor uma equipe técnica para acompanhar uma atividade de campo nas comunidades Timbó e São José.

A Saulo Roberto Vital pelas enormes contribuições nas atividades de campo e na construção dos mapas.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a minha formação profissional.

A todos, muito obrigado.

## Resumo

Enchentes e inundações constituem um fenômeno geomorfológico que decorre do aumento da vazão das águas pluviais que escoam numa bacia hidrográfica. O primeiro fenômeno ocorre de forma sazonal, no período de maior pluviosidade, provocando o aumento dos níveis de água no canal fluvial. No segundo caso, as águas extravasam o canal, alcançando o leito maior, dito excepcional. Nesse caso, as causas desse fenômeno estão atreladas a interferência antrópica no sistema bacia hidrográfica, como resposta ao aumento da vazão e aumento da velocidade dos picos de cheias. Nesse contexto, tais fenômenos tornam-se uma situação de risco para a população, principalmente nas grandes cidades, que em geral, cresceram de modo acelerado e desorganizado, sendo a urbanização seu principal fator gerador. A análise morfométrica é uma importante ferramenta para a compreensão da dinâmica geomorfológica e para o planejamento das atividades socioeconômicas nas bacias hidrográficas. Os índices morfométricos podem fornecer importantes informações para o planejamento, como por exemplo, a suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações. Tal abordagem permite conhecer o modo como os principais processos do ciclo hidrológico se comportam em determinada bacia, tais como a infiltração e escoamento superficial. O estudo morfométrico da bacia do rio Jaguaribe, localizada no contexto urbano da cidade de João Pessoa/PB, utilizou o índice de circularidade, a densidade de drenagem, o fator forma e o coeficiente de compacidade, cujos valores encontrados para o estudo indicam uma bacia com baixa suscetibilidade a ocorrência de enchentes. A caracterização física da área de estudo revela a ocorrência de um relevo esculpido sobre rochas sedimentares, semiplano e tabular, pouco dissecado, havendo poucas áreas de declives acentuados. Os canais fluviais apresentam poucas variações altimétricas, o que garante um fluxo laminar, de baixo poder erosivo. Essa relativa estabilidade encontrada na caracterização física da referida bacia, é perturbada pelo processo de urbanização observado nos últimos 35 anos, que tem se refletido na formação de acentuados processos erosivos na porção interfluvial da bacia e o conseqüente assoreamento dos canais fluviais. Some-se a esse aspecto o aumento do escoamento superficial, causado pela impermeabilização do solo e a construção de residências dentro da planície e do canal fluvial. A conjugação desses fatores resulta na formação de áreas de risco de enchentes e inundação, além do risco de movimentos de massa, que por sua vez, surgem como produtor do modo como ocorre o uso e ocupação da terra. Portanto, a ocorrência de áreas de risco na bacia do rio Jaguaribe é resultado da relação dos aspectos físico-naturais com o modo de uso e ocupação da terra.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Análise morfométrica. Risco de enchentes e alagamentos. Uso e ocupação da terra.

## ABSTRACT

Floods and inundations are a geomorphological phenomenon that results from the increased flow of rainwater draining a watershed. The first phenomenon occurs seasonally in the higher rainfall period, causing an increase in water levels in the river channel. In the second case, the waters are outside the channel, reaching the larger bed, said exceptional. In this case, the causes of this phenomenon are linked to anthropogenic interference with the river basin system, in response to increased flow and increased speed of flood peaks. In this context, such phenomena become a hazard for the population, especially in large cities, which generally grew fast and disorganized way, urbanization and its main generating factor. The morphometric analysis is an important tool for understanding the geomorphological dynamics and planning of socio-economic activities in river basins. The morphometric indices can provide important information for planning, such as susceptibility to occurrence of floods and flooding. Such an approach allows to know how the main processes of the hydrological cycle behave in a particular basin, such as infiltration and runoff. The morphometric study of the basin of the Jaguaribe river, located in the urban context of the city of João Pessoa / PB, used the circularity index, drainage density, form factor and compactness coefficient, whose values found in the study indicate a bowl with low susceptibility to the occurrence of floods. The physical characterization of the study area reveal the occurrence of a sculpted relief on sedimentary rocks, half-plane and tabular, little dissected, there are few areas of steep slopes. Fluvial channels have few altimetric variations, which ensures a laminar flow, low erosive power. This relative stability found in the physical characterization of the basin, is disturbed by the urbanization process observed in the last 35 years, which has been reflected in the formation of sharp erosion in interfluvial portion of the basin and consequent siltation of river channels. Added to this aspect increased runoff caused by soil waterproofing and construction of residences within the plain and river channel. The combination of these factors results in the formation of areas of flood risk and inundation, and the risk of mass movements, in turn, arise as a producer of the way of how the use and occupation of land takes place. Therefore, the occurrence of risk areas in the basin of the river Jaguaribe is the result of the relationship of the physical and natural aspects with the mode of use and occupation of land.

**Keywords:** Water river basin Jaguaribe. Morphometric analysis. Risk of flooding and inundations. Use and occupation of land.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estruturação do geossistema e do sistema socioeconômico. ....	17
Figura 2: Esboço de uma definição teórica de um geossistema. ....	18
Figura 3: Impactos da urbanização no ciclo hidrológico.....	26
Figura 4: Principais problemas em uma bacia hidrográfica causados pela urbanização.27	
Figura 5: Sistematização dos riscos geomorfológicos.....	33
Figura 6: Localização da área de estudo.....	41
Figura 7: Perfil geológico hipotético Leste-Oeste da Sub-bacia Alhandra. ....	43
Figura 8: Unidades Morfológicas da Cidade de João Pessoa/PB.....	45
Figura 9: Tabuleiros Costeiros. ....	46
Figura 10: Lagoas localizadas na área das nascentes do rio Jaguaribe. ....	48
Figura 11: Mapa de Solos da Bacia do rio Jaguaribe. ....	52
Figura 12: Antiga área de exploração mineral.....	54
Figura 13: Aglomerações subnormais as margens do rio Jaguaribe. ....	55
Figura 14: Tipos de ocupação nos bairros São José e Manaíra. ....	56
Figura 15: Evolução do processo de impermeabilização na bacia do rio Jaguaribe entre os anos de 1974 a 1998.....	56
Figura 16: Processo de urbanização no entorno do canal fluvial, no alto curso do rio Jaguaribe, nas imediações do bairro de Cruz das Armas, João Pessoa (PB).....	58
Figura 17: Hierarquia fluvial segundo Strahler (1952). ....	60
Figura 18: Classificação do uso e ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe.....	65
Figura 19: Hierarquia fluvial da bacia do rio Jaguaribe. ....	68
Figura 20: Mapa de relevo.....	72
Figura 21: Tabuleiros Costeiros. ....	73
Figura 22: Deposição de seixos imbricados associados à concentração de ferro.....	74
Figura 23: Área das principais nascentes do rio Jaguaribe.....	75
Figura 24: Formação de meandros no alto curso do rio Jaguaribe, na altura do bairro de Cruz das Armas. ....	76

Figura 25: Disposição de fluxo pluvial e lançamento de efluentes nas vertentes do vale fluvial do rio Jaguaribe, no bairro Cruz das Armas, alto curso fluvial.....	77
Figura 26: Mapa de declividade. ....	78
Figura 27: Falésias inativas cobertas por vegetação, localizadas no bairro São José. ...	79
Figura 29: Alto curso do rio Jaguaribe.. ....	81
Figura 30: Perfil longitudinal do rio Jaguaribe.....	82
Figura 31: Uso e ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe. ....	83
Figura 32: Barragem no médio curso fluvial, localizada no interior da mata do Buraquinho, Jardim Botânico Benjamin Maranhão.. ....	84
Figura 33: Mancha urbana da cidade de João Pessoa.....	85
Figura 34: Rua Alcides Bezerra, Bairro de Cruz das Armas, no alto curso fluvial.....	87
Figura 35: Voçoroca localizada no Bairro de Cruz das Armas. ....	88
Figura 36: Vista da parte superior da voçoroca localizada no final da Rua Alcides Bezerra, bairro de Cruz das Armas.....	88
Figura 37: Habitações subnormais localizadas na comunidade Lagoinha, bairro de Cruz das Armas, alto curso fluvial. ....	89
Figura 38: (a, b, c e d): Ocorrência de moradias dentro do leito fluvial, no Bairro São José. ....	90
Figura 39: Moradias em situação de risco de enchente e vulneráveis a movimento de massa. ....	92
Figura 40: (a, b, c e d): Inundação na Comunidade São José, baixo curso fluvial, ocorrida entre os dias 01 e 03 de julho de 2013. ....	95
Figura 41: (a, b, c e d): Enchente na Comunidade Tito Silva, médio curso fluvial, ocorrida em junho de 2013. ....	96
Figura 42: (a, b, c e d): Enchente na Comunidade Jardim Guaíba, alto curso fluvial, ocorrida em Junho de 2013.....	97
Figura 43: Residências em situação de risco no vale do rio Timbó. ....	98
Figura 44: Construção de sistema de drenagem, terraceamento e introdução de vegetação no talude na comunidade do Timbó. ....	99
Figura 45: Reportagem publicada pelo Jornal o Norte, em 13 de Abril de 1984.....	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Classes de declividade segundo a EMBRAPA.....	63
Tabela 2 - Síntese dos dados morfométricos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. ...	71
Tabela 3 - Classes de declividade da Bacia do rio Jaguaribe. ....	79
Tabela 4 - Área total e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra.....	86
Tabela 5 - Aglomerados Subnormais da Bacia do Jaguaribe. ....	90
Tabela 6 - Comunidades vulneráveis ao risco de enchentes localizadas na bacia do rio Jaguaribe.....	93
Tabela 7 - Dados pluviométricos para a cidade de João Pessoa Referentes ao ano 2013 .....	94

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 O geossistema como princípio de análise.....	15
3.2 A teoria geossistêmica na pesquisa geomorfológica .....	20
3.3 Bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão .....	22
3.4 Impactos da urbanização em bacias hidrográficas .....	24
3.5 O SIG como ferramenta de gestão de bacias hidrográficas.....	29
3.6 Análise conceitual para os termos “risco” e “risco geomorfológico” .....	32
3.7 Análise do Risco de enchentes e inundações.....	35
3.8 Análise morfométricas de bacias hidrográficas.....	38
4 LOCALIZAÇÃO E A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-NATURAL DA ÁREA DE ESTUDOS .....	40
4.1 Aspectos geológicos .....	41
4.2 Aspectos geomorfológicos .....	44
4.3 Aspectos climáticos .....	49
4.4 Aspectos pedológicos .....	51
4.5 USo e ocupação da terra e vegetação .....	53
5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	58
5.1 Parâmetros morfométricos.....	58
5.2 Mapa do relevo .....	62
5.3 Mapa de declividade.....	62
5.4 Perfil Longitudinal.....	63
5.5 Uso e Ocupação da terra.....	63
5.6 Análise Documental .....	65

5.7 Trabalhos de Campo.....	66
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	67
6.1 Caracterização morfométrica da bacia do rio Jaguaribe.....	67
6.1.1 Densidade de Drenagem.....	69
6.1.2 Fator Forma .....	70
6.1.3 Coeficiente de Compacidade .....	70
6.1.4 Índice de Circularidade.....	70
6.2 Dinâmica Superficial .....	71
6.2.1 Unidades do Relevo.....	71
6.2.2 Declividade.....	77
6.2.3 Perfil Longitudinal.....	81
6.3 Uso e ocupação da terra e os impactos da urbanização.....	82
6.4 Áreas de risco de enchentes e erosão na bacia do rio Jaguaribe.....	92
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	100
Referências .....	103

## 1 INTRODUÇÃO

A formação de áreas de risco no espaço urbano está relacionada ao modo como ocorre o uso e ocupação da terra, não havendo a observância dos aspectos físicos e da dinâmica que formam o ambiente ocupado.

As formas de ocupação da superfície terrestre irão variar de acordo com os aspectos socioeconômicos e tecnológicos que caracterizam as sociedades humanas. Sendo assim, o grau de vulnerabilidade que cada grupo social apresenta está condicionado ao seu grau de desenvolvimento econômico e a acessibilidade a recursos tecnológicos.

O rápido crescimento das cidades e as profundas disparidades econômicas colocam uma considerável parcela da população em elevado grau de vulnerabilidade frente a fenômenos naturais que conjugados ao tipo de ocupação da terra resultam na formação de áreas de risco.

O espaço urbano apresenta profunda descaracterização física do meio ambiente, havendo, portanto, o predomínio de elementos antrópicos sobre os elementos naturais. Há uma considerável alteração da dinâmica física e a introdução de novos *inputs* energéticos, conduzindo a natureza ao restabelecimento da ordenação de seus fatores.

O sistema ambiental urbano é marcado por certa desordem organizacional, resultado das ações impetradas pelas sociedades humanas. Quando ocorrem oscilações energéticas no sistema, como um maior quantitativo pluviométrico, por exemplo, essa desordem é revelada, resultando na formação de fenômenos como escorregamento de barreiras, enchentes, inundações e alagamentos, por exemplo.

Não podemos, no entanto, entender que tais fenômenos são apenas produtos das ações antrópicas sobre o ambiente físico, uma vez que a natureza é formada por uma dinâmica própria, não linear, mas caótica. O que se busca nesse contexto é a compreensão dos impactos causados à sociedade que ocupa áreas indevidas. Essa parcela da sociedade que por vezes é vítima dos fenômenos naturais é a mesma que em muitos casos são os responsáveis por potencializar ou até mesmo produzir processos que resultam na formação de áreas de risco. Desse modo, entende-se que o risco está

associado a fatores que se relacionam com a ocupação de áreas propensas a ocorrência de fenômenos naturais, que podem resultar em desastres naturais, bem como se associa aos processos geomorfológicos desencadeados e/ou potencializados a partir do modo como ocorre o uso e ocupação da terra.

Inserida nesse contexto, a bacia do rio Jaguaribe, objeto de estudo dessa pesquisa apresenta graves problemas ambientais como as situações de risco, tendo em vista o elevado grau de urbanização em quase toda sua área de extensão, ocorrendo situações de forte processo de impermeabilização do solo, notadamente nos bairros de médio/alto padrão imobiliário; e de modo inverso, situações de relativo processo de impermeabilização do solo, que apresentam ruas sem calçamento ou asfalto, localizadas nas áreas de baixo padrão imobiliário.

A população que reside nas áreas de baixo padrão imobiliário na bacia do rio Jaguaribe apresenta maior vulnerabilidade a situações de risco, notadamente o risco de enchentes, inundações e movimento de massa. Isso ocorre devido à localização dessas residências, que geralmente estão inseridas no contexto da planície fluvial e nas encostas e vertentes.

A bacia hidrográfica surge nesse contexto como a unidade básica de estudo ambiental, pois, nela é possível observar o comportamento das diversas variáveis sistêmicas que formam essa unidade de paisagem, bem como, reconhecer os impactos causados pelas atividades antrópicas.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas constitui uma importante ferramenta para compreender o seu comportamento físico. Esse estudo possibilita a compreensão da dinâmica hidrológica de uma bacia, sendo possível reconhecer sua vocação para ocorrência de fenômenos como as enchentes. Porém, é necessário considerar também os tipos de uso e ocupação da terra, tendo em vista a desordem ambiental causada nesse processo.

Há, portanto, a necessidade de se realizar estudos de ordem ambiental que conduzam e oriente a ocupação da superfície terrestre, de modo que se estabeleça uma relação menos impactante para a natureza e conseqüentemente para as sociedades humanas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe a partir de dados morfométricos e do uso e ocupação da terra.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a dinâmica física da bacia do rio Jaguaribe a partir de dados morfométricos visando detectar a suscetibilidade de ocorrência de eventos enchentes e inundação.
- Compreender os riscos de enchentes e inundações a partir da análise dos tipos de uso e cobertura da terra.
- Verificar de que forma a pluviosidade influencia ou contribui para a ocorrência de enchentes e inundações.

## **3 REVISÃO DA LITERATURA**

Nessa sessão, será discutido o ponto de vista de diversos autores acerca do tema proposto nesse trabalho. Essa discussão pretende esclarecer todas as visões teóricas e metodológicas que orientam essa pesquisa, bem como analisar o desenvolvimento desse campo do conhecimento científico.

### **3.1 O GEOSISTEMA COMO PRINCÍPIO DE ANÁLISE**

A teoria geossistêmica foi inicialmente proposta por Sothava (1977), estando suas raízes fincadas na Teoria Geral dos Sistemas (TGS) (BERTALANFFY, 1973). Segundo a concepção apresentada na TGS, é de fundamental importância estudar o objeto considerando a relação dinâmica existente entre os elementos que o compõe, pois

o comportamento das partes se mostra diferentes quando estudados separadamente. Essa necessidade se apresenta mediante a ineficácia teórico-metodológica da ciência clássica para apresentar soluções práticas aos problemas socioambientais, tendo em vista sua abordagem mecanicista e isolada das series causais (BERTALANFFY, 1973).

Sotchava (1977) apresenta o geossistema como sendo um sistema natural, onde os elementos naturais interagem entre si formando uma dinâmica harmônica entre ação e resultado. Porém o autor destaca que atuação humana não deve ser descartada desta dinâmica, sendo avaliada conjuntamente com os aspectos que caracterizam os elementos naturais. O autor apresenta o conceito de geossistema como sendo:

(...) *formações naturais* que obedecem à dinâmica dos fluxos de matéria e energia, inerentes aos sistemas abertos que, conjuntamente com os aspectos antrópicos, formam um modelo global de apreensão da paisagem, inserindo, pois, de maneira isonômica, o homem na sua interação com o meio natural e na formação e evolução da paisagem (SOTCHAVA, 1977, p. 51).

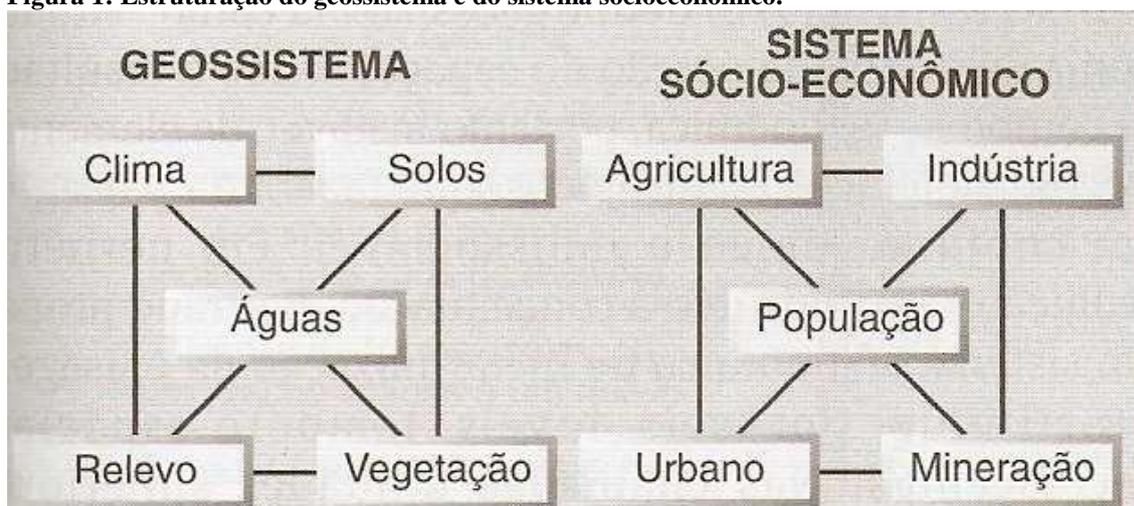
CHRISTOFOLETTI (1999) afirma que a abordagem holística sistêmica é o caminho para compreender como os elementos físico-ambientais se estruturam e funcionam em sua organização espacial. Segundo ele, a abordagem reducionista não contrapõe a abordagem holística, tornando-se assim necessária para se obter a caracterização individualizada dos elementos que compõe o sistema, para posteriormente analisar sua relação no conjunto com outros elementos que o constitui. Nesta abordagem, o mundo é visto como um sistema orgânico, onde o conjunto de elementos não é tão somente o resultado da somatória das partes que o compõe, mas se estabelece em uma hierarquização de elementos e processos, que formam assim uma dinâmica, alcançando, portanto, o estado de equilíbrio dinâmico. Esse estado só será alterado quando houver a introdução de um elemento capaz de modificar a dinâmica, forçando o sistema a absorver um impacto e reajustar o estado de equilíbrio. Conforme o mesmo autor, a análise sistêmica não deve considerar tão somente os elementos físico-naturais (geologia, relevo, clima, vegetação e solo), mas também as informações sobre as atividades socioeconômicas e a forma que ocorre o uso e a ocupação da terra. Esses aspectos devem ser analisados em conjunto para que seja possível compreender a ação humana sobre a dinâmica natural, conforme a (figura 1).

Antes de Sothava, Bertrand (1971) apresentava o geossistema como um nível de análise que compõe uma escala necessária para o estudo da paisagem, pois analisava

a paisagem como algo dinâmico, que está em constante processo de alteração de seus elementos.

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos dispartados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. (BERTRAND, 1971, p. 141).

**Figura 1: Estruturação do geossistema e do sistema socioeconômico.**



Fonte: Christofolletti (1999, p.41).

Para Bertrand (1971) essa abordagem não contemplava tão somente a paisagem dita “natural”, mas sim a paisagem total, integrando todas as implicações antrópicas que caracterizam o ambiente, abarcando elementos físico-naturais e antrópicos.

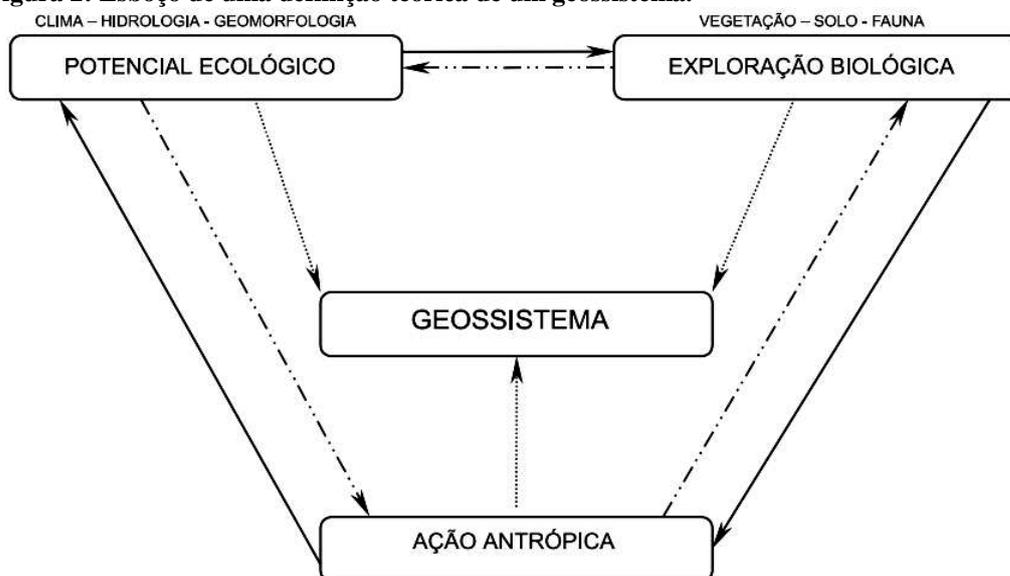
O referido autor apresenta um sistema de classificação da paisagem, que comporta seis níveis de classificação temporo-espaciais, que são: a zona, o domínio e região, como unidades superiores; e o geossistema, a geofácies e o geótopo como unidades de paisagem inferiores. Ele afirma que as pesquisas nesse campo de análise tem se limitava as unidades inferiores, como assim descreve abaixo:

O geossistema situa-se entre a 4ª e a 5ª grandeza temporo-espacial. Trata-se, portanto, de uma unidade dimensional compreendida entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados. É nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo. Nos níveis superiores a ele só o relevo e o clima importam e, acessoriamente, as grandes massas vegetais. Nos níveis inferiores, os elementos biogeográficos são capazes de mascarar as combinações de conjunto. Enfim, o geossistema constitui uma boa base para

os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana. (BERTRAND, 1971, p. 146).

Na (figura 2), está explícita a ideia teórica de um geossistema, segundo Bertrand (1971), estando o clima, a hidrologia e a geomorfologia como fatores de primeira ordem na hierarquia sistêmica. A ação desses fatores em conjunto irá determinar os fatores de segunda ordem: a vegetação, o solo e fauna, formando assim o geossistema. A ação antrópica transita nesses dois níveis hierárquicos, atuando como um fator capaz de alterar a dinâmica desse sistema.

**Figura 2: Esboço de uma definição teórica de um geossistema.**



Fonte: Bertrand (1971, p.146).

O geossistema estará em estado de clímax quando há equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica, porém, isso se torna algo muito improvável, tendo em vista que esses dados sobre a dinâmica desse sistema são instáveis, variando tanto em relação ao tempo, quanto em relação ao espaço.

Bertrand identifica o geossistema a partir da “tipologia dinâmica” que os classifica em função de sua evolução e que engloba todos os aspectos da paisagem. Nesse sentido, ele apresenta a ideia do geossistema em Bioestasia, ou em ambiente em equilibrado, havendo o predomínio da pedogênese, onde a ação humana nunca compromete gravemente o equilíbrio entre o potencial ecológico e a exploração biológica; e o geossistema em Resistasia, quando há o predomínio da morfogênese,

onde processos como a erosão, o transporte e a acumulação de detritos podem conduzir a uma modificação potencial do ambiente.

Já o francês Jean Tricart apresenta a classificação “ecodinâmica” do meio ambiente, classificando a paisagem em três estágios de evolução: os meio estáveis (relacionado à biostasia apresentada na obra de Bertrand), os meios instáveis (relacionados à resistasia) e os meio intergrades, que por sua vez pode estar evoluindo para um ambiente estável ou instável (TRICART, 1977).

Os meios estáveis têm como características a lenta e constante evolução, que por vezes parecem ser imperceptíveis, estando associados a regiões que apresentam os seguintes fatores: cobertura vegetal densa (minimiza os processos mecânicos da morfogênese); baixa energia do relevo (relevo pouco dissecado e vertentes de lenta evolução) e ausência de atividades vulcânicas catastróficas. Nos meios instáveis ou fortemente instáveis, a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, e o fator determinante do sistema natural. A instabilidade natural pode ter origem nos processos naturais que caracterizam o ambiente, como também podem ser fruto de uma ação antrópica, principalmente quando combinadas a condições ecológicas extremas, tornando a degradação um processo extensivo e intensivo. Os meios intergrades são caracterizados pela ação concomitantes da morfogênese e da pedogênese, podendo o ambiente estar evoluindo para o meio estável ou para o meio instável (TRICART, 1977).

Vicente e Perez Filho (2003) compreendem que o desafio da abordagem sistêmica é entender a complexidade do todo, pois, não há como entender a realidade separada e depois junta-lá para entender seu funcionamento. A complexidade da natureza deve ser entendida a partir de uma visão ambiental, ou seja, o homem como parte integrante, de modo que seja considerado na análise a evolução e interação dos componentes ambientais, priorizando suas particularidades, expressas na sua dinâmica temporal e na sua organização espacial.

Portanto, torna-se evidente a importância da análise sistêmica nos estudos geomorfológicos, pois esta base teórico-conceitual permite ao pesquisador compreender a forma como se realiza a dinâmica natural entre os elementos que caracterizam uma determinada unidade de paisagem e como se dá sua evolução no tempo e no espaço,

para assim poder compreender até que ponto a ação humana será capaz de alterar essa dinâmica.

### **3.2 A TEORIA GEOSISTÊMICA NA PESQUISA GEOMORFOLÓGICA**

As pesquisas no campo da geomorfologia estão fortemente orientadas pelo viés geossistêmico, observando que os diversos elementos que atuam na formação do relevo interagem entre si numa dinâmica não linear e caótica (BERTRAND, 1971; CHRISTOFOLETTI, 1999). Sendo assim, faz-se necessário compreender como se realiza essa dinâmica e a constante troca de energia e matéria entre esses elementos.

Ab'Sáber (1969) propõe que a pesquisa geomorfológica seja compartimentada a partir de níveis de tratamento, considerando primeiramente a compartimentação da topografia regional, constituindo o primeiro nível de análise. Num segundo momento, deve-se buscar obter informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens referentes a todos os compartimentos e formas de relevo observadas. Esse procedimento permitirá observar formas residuais e recentes que caracterizam o relevo. Num terceiro momento, o estudo geomorfológico destina-se a observar os processos morfodinâmicos e a pedogênese atual, sendo possível analisar a funcionalidade atual da unidade de paisagem investigada. Esta proposta apresenta fundamental importância por permitir a observação não só das características atuais do geossistema, mas nos remete a observar como se deu sua evolução no tempo e no espaço a partir de uma modalidade de pesquisa efetivamente dinâmica, sendo assim possível postular sua configuração futura, mediante o seu desenvolvimento natural ou sob a atuação excepcional de um elemento do sistema, seja de ordem natural ou antrópica.

Bertrand (1971) destaca que o primeiro ponto de análise da paisagem está condicionado à ideia de zonalidade, sendo de fundamental importância à compreensão da característica climática predominante na zona térmica da Terra ao qual está inserido o objeto a ser estudado do ponto de vista geomorfológico. É importante destacar que a distribuição de radiação solar nessas áreas se dá de modo bastante diferente, sendo a zona tropical responsável por receber essa radiação com mais intensidade. Isso irá se materializar em características próprias de solo, relevo e vegetação. Dentro da zona

encontra-se o domínio, normalmente marcado pela espacialização de um determinado aspecto vegetal e/ou geomorfológico. O domínio amazônico constitui um excelente exemplo para ilustrar essa reflexão, caracterizando-se por estar localizado em latitudes equatoriais, resultando em elevado índice pluviométrico, solo bastante lixiviado e vegetação arbórea densa, onde encontra-se a maior bacia hidrográfica do planeta.

Compreendidas as características zonais, o próximo passo é analisar como esses aspectos se configuram a nível regional, tendo em vista que os processos geológicos em consonância com clima resultam na formação de diferentes processos e formas geomorfológicos.

Compreendendo esses três fatores de grande escala, poderemos, assim, analisar o geossistema, que terá, portanto a influência direta dos níveis superiores. Podemos citar, como exemplo, uma bacia hidrográfica, que apresenta alto, médio e baixo curso fluvial, sendo cada nível caracterizado por diferentes processos geomorfológicos.

A proposta de Bertrand (1971) supera os limites do geossistema, buscando situá-lo numa dimensão global, pois de certo modo todas as unidades de paisagem do planeta estão interligadas e influenciando umas as outras, formando assim um sistema global, não sendo possível analisá-las dissociadas do todo. Um bom exemplo disso é ação climática, representada pelas massas de ar, que não restringem sua influência tão somente ao local onde se originam, mas também sobre regiões abarcadas por sua diástole.

Christofoletti (1999) observa que a análise geossistêmica é fundamental para compreender como os elementos físico-ambientais se estruturam e funcionam em sua organização espacial. Essa compreensão dará respaldo para orientar a ação humana sobre a superfície terrestre, de modo que haja uma relação harmônica entre os seres humanos e os elementos da dinâmica físico-natural.

MORELLI *et al.* (2012) propõem a análise geossistêmica aplicada ao planejamento de uma bacia hidrográfica a partir de agregação de dados físico-naturais em um banco de dados, que serão posteriormente correlacionados aos dados referentes a ocupação humana na área, com auxílio de SIG (Sistema de Informação Geográfica). Esse tipo de estudo permite ao pesquisador avaliar de modo mais abrangente como se

realiza a dinâmica entre os elementos físico-ambientais e a ação antrópica, agregando esses dois aspectos em um mesmo nível de análise.

Vicente e Perez Filho (2003) compreendem que o processo de formação da paisagem constitui o elemento chave para o estudo geomorfológico, tendo em vista que o processo de formação da paisagem natural é resultado da interação constante entre os elementos estruturais que formam o relevo e os processos morfodinâmicos.

A compreensão de uma bacia hidrográfica não pode se dá pelo estudo isolado de cada uma de suas partes. Sua estrutura, organização e funcionamento é fruto da interação dessas partes. Sendo assim, a compreensão do sistema bacia hidrográfica enquanto unidade complexa, não será possível se for realizado, por exemplo, a análise separada dos processos que ocorrem nas vertentes (domínio interfluvial) e no canal fluvial (domínio fluvial) (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004).

A teoria geossistêmica representa uma importante proposta metodológica para compreender a relação existente entre os elementos formadores da paisagem global. Esse conhecimento tem o poder de orientar a ocupação humana desses espaços buscando, assim, estabelecer uma harmônica e passiva relação do homem e o meio para fins de planejamento e gestão territorial.

### **3.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADES DE PLANEJAMENTO E GESTÃO**

A gestão dos recursos hídricos no Brasil é orientada a partir da Lei nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos, baseando-se na bacia hidrográfica como unidade territorial para a sua implementação.

Porto e Porto (2008) analisam a aplicabilidade da referida lei e como tem se desenvolvido a gestão dos recursos hídricos no Brasil, e afirmam que a vantagem da utilização da bacia hidrográfica como recorte geográfico está na relação física que está estabelece com a água. Todas as atividades humanas se desenvolvem dentro de uma bacia hidrográfica, seja em área urbana ou em área rural. É aí que ocorre às diversas formas de uso e ocupação da terra, bem como as diversas formas de utilização da água.

Na bacia hidrográfica é possível avaliar de forma integrada as ações humanas sobre o ambiente e seus desdobramentos sobre o equilíbrio hidrológico. A visão sistêmica e integrada da paisagem está implícita na adoção da bacia hidrográfica como unidade básica de análise ambiental, pois é possível conhecer a interação estabelecida entre os diversos elementos (naturais e antrópicos) que a compõe e avaliar o equilíbrio do sistema (BOTELHO e SILVA 2004).

Por sua vez, Carvalho (2014) observa que a gestão territorial no Brasil é centrada nos recursos hídricos, não considerando, apesar de todos os esforços administrativos e populares, a integração dos elementos ambientais, inclusive os antrópicos. Essa situação contraria o ponto de vista de Rodrigues (2001), que defende o planejamento orientado por uma visão sistêmica e integrada, sabendo que a disponibilidade ou ausência da água, está condicionada a dinâmica dos fatores e elementos naturais de determinado ambiente natural.

Orientada pela ideia sistêmica, a gestão dos recursos hídricos deve considerar a relação dinâmica dos diversos componentes do meio ambiente físico-natural (clima, relevo, solo e vegetação), como também os elementos antrópicos (formas de uso e ocupação da terra), a partir de uma visão integrada da paisagem, pois as alterações nos sistemas naturais sejam de ordem natural ou humana, podem afetar a qualidade e a quantidade de água de uma bacia hidrográfica (CARVALHO, 2014).

A gestão de bacias hidrográficas envolve duas dimensões: a gestão dos recursos hídricos e a gestão territorial, que por sua vez é responsabilidade dos municípios, através dos planos diretores. É dever dos municípios a criação de normas de uso e ocupação da terra que visem à preservação dos corpos hídricos, o controle da impermeabilização do solo e o uso racional da água. A lei Nº 9.433 estabelece o comitê de bacia hidrográfica como à instância local de decisões tomadas acerca da gestão das bacias, atribuindo-lhe a obrigação de articulação entre os diversos agentes, a atuação em primeira instância em caso de conflito, a aprovação do plano de recursos hídricos e a aprovação da implantação da cobrança e da proposta de preço, em caso do uso da água. Desse modo, a gestão das bacias hidrográficas envolve tanto as três esferas de poder da administração pública (estados, município e união), como também os usuários dos recursos hídricos e a sociedade civil organizada (PORTO e PORTO, 2008).

A dificuldade encontrada nesse modelo de gestão de bacias hidrográficas está na descentralização da gestão para nível local, ou seja, condicionado aos interesses daqueles que da bacia fazem uso (PORTO e PORTO, 2008). Isso ocorre por conta dos inúmeros problemas de articulação entre as diversas esferas poder e gestão, e não por conta de falhas apresentadas pelo modelo proposto.

### **3.4 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**

As cidades correspondem a um ambiente de predomínio dos elementos humanos sobre os elementos naturais, que se encontram, sobremaneira, em situação adversa, em diferentes níveis de alteração em relação a sua forma e dinâmica natural. Essas transformações podem atingir de modo direto ou indireto o cotidiano das pessoas que residem nos espaços urbanos, resultando em diversos problemas para a dinâmica do ambiente natural, para a infraestrutura das cidades e para a saúde da população urbana.

A ocupação do espaço urbano tem se realizado, em geral, de modo desorganizado, sem a tomada de precauções que visem à prevenção de danos ao meio ambiente, sendo esse o principal fator de transformação das características naturais dos elementos físicos presentes nesses espaços. Essa situação tem se refletido diretamente no cotidiano das pessoas, não sendo raro vincular-se aos meios comunicação, com notícias relacionadas à ocorrência de desastres naturais, sendo as situações de risco o principal impacto da urbanização em relação às bacias hidrográficas, sejam em seus domínios fluviais ou mesmo nos domínios interfluviais.

Esses impactos são gerados a partir do modo que ocorre o uso e ocupação da terra, desconsiderando, quase sempre, a caracterização e dinâmica do meio físico, resultando na formação de situações risco, quando da ocorrência de movimentos de massa, processos erosivos, enchentes, inundações e alagamentos.

Jesus (2004) classifica os cortes, aterros, erosão e assoreamento como feições do modelado antrópico resultantes do processo de urbanização como fatores potenciais de risco geomorfológico, sendo estes responsáveis por deslizamentos e inundações.

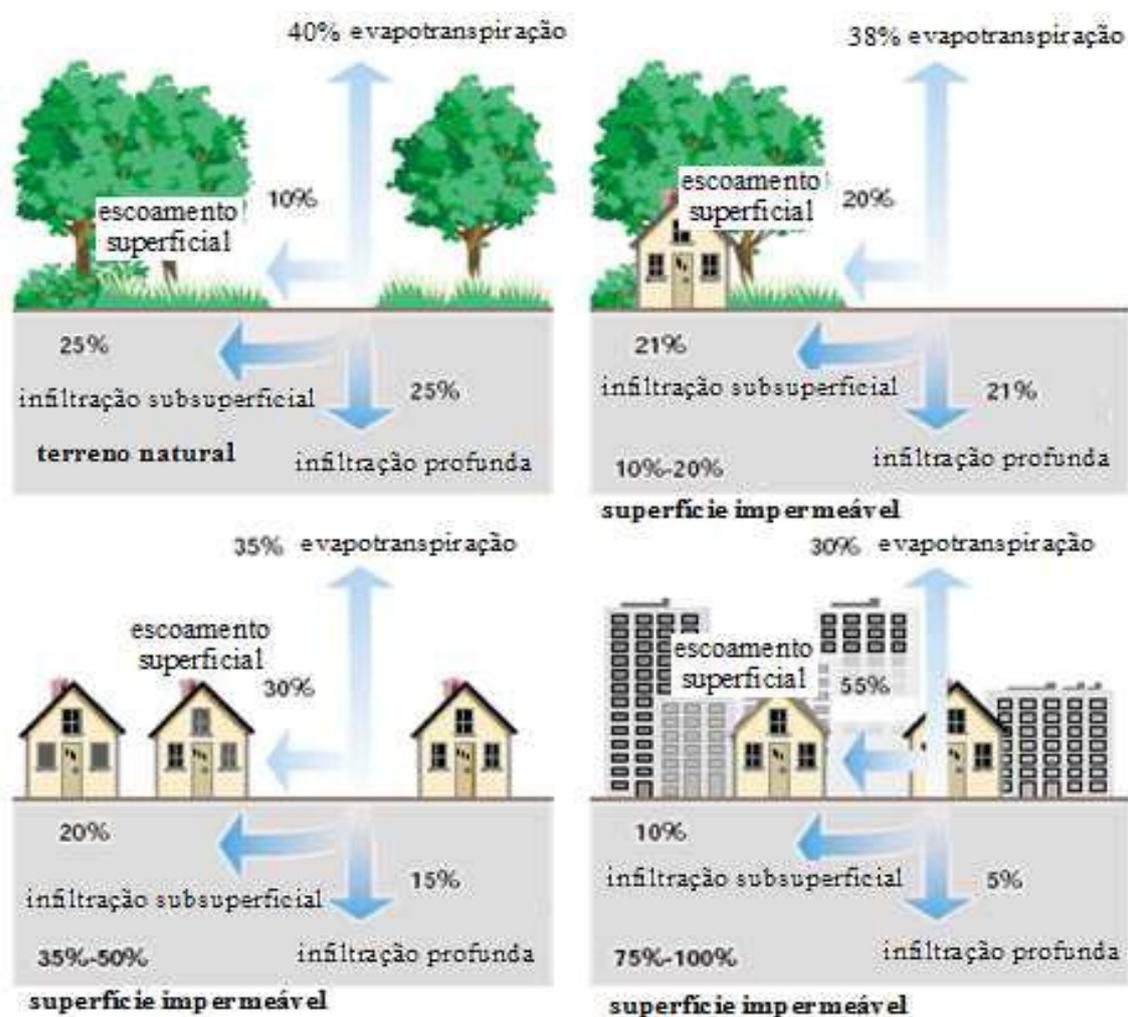
Para Rodrigues e Moroz-Caccia Gouveia (2013) os principais impactos ambientais decorrentes do processo de urbanização são: os movimentos de massa, corridas e enxurradas, degradação e esgotamento de recursos hídricos, inundações, contaminação do solo por disposição de rejeito aumento das taxas de erosão, assoreamento, recalques e colapsos do solo *etc.*

Fundamentada na análise metodológica da geomorfologia antropogênica, Moroz-Caccia Gouveia (2010) aponta as mudanças ocorridas no sistema hidrogeomorfológico da bacia hidrográfica do rio Tamanduateí, Região Metropolitana de São Paulo, a partir das intervenções antrópicas. O que a autora vai denominar de morfologia antropogênica, irá variar de acordo com o estágio de desenvolvimento urbano, considerando os loteamentos desocupados ou em processo de ocupação, como estágio inicial de urbanização, uma vez que esses constituem áreas arruadas e desprovidas de vegetação, o que favorece o processo de erosão, provoca a diminuição da vazão dos canais fluviais e, conseqüentemente, promove situações de inundação. O estágio intermediário de urbanização corresponde a áreas que não dispõem de boa infraestrutura, apesar de se apresentarem densamente urbanizadas e impermeabilizadas, porém, ainda apresentam ruas sem pavimentação (total ou parcial) e ausência de sistema de drenagem pluvial, sendo assim possível verificar em diversos casos a ocorrência de erosão linear. O estágio final da urbanização é marcado pelo forte processo de impermeabilização do solo, diminuição drástica da infiltração da água e aumento do escoamento superficial, situação responsável pela elevação significativa da vazão, favorecendo a ocorrência de enchentes e alagamentos.

O comportamento do escoamento superficial direto sofre alterações significativas em decorrência do processo de urbanização em uma bacia hidrográfica, principalmente como consequência da impermeabilização da superfície dos interflúvios, o que gera maiores picos e vazões. Para Bledsoe e Watson (2001) mesmo em baixos índices, a impermeabilização do solo tem o potencial de alterar a dinâmica de um canal fluvial. Para esses autores, a gestão de uma bacia hidrográfica deve ser baseada na compreensão dos possíveis impactos causados pela mudança no uso da terra e na identificação dos canais mais susceptíveis as alterações na dinâmica do escoamento superficial.

A formação de um núcleo urbano em um ambiente fluvial irá influenciar diretamente na sua dinâmica. Um dos primeiros reflexos será no escoamento superficial, pois, por conta da impermeabilização do solo, ocorrerá uma menor ou nenhuma infiltração da água das chuvas, aumentando o escoamento superficial, o que promove um maior poder erosivo das áreas de solo exposto, e ocasionará o assoreamento do canal. Uma vez que o canal se encontra assoreado, a sua capacidade de armazenamento diminui e, estando essa situação associada ao aumento do escoamento superficial, o canal fluvial estará mais suscetível a ocorrência de enchentes e inundações. A (figura 3) descreve os impactos gerados no ciclo hidrológico causados pelo processo de urbanização.

Figura 3: Impactos da urbanização no ciclo hidrológico.

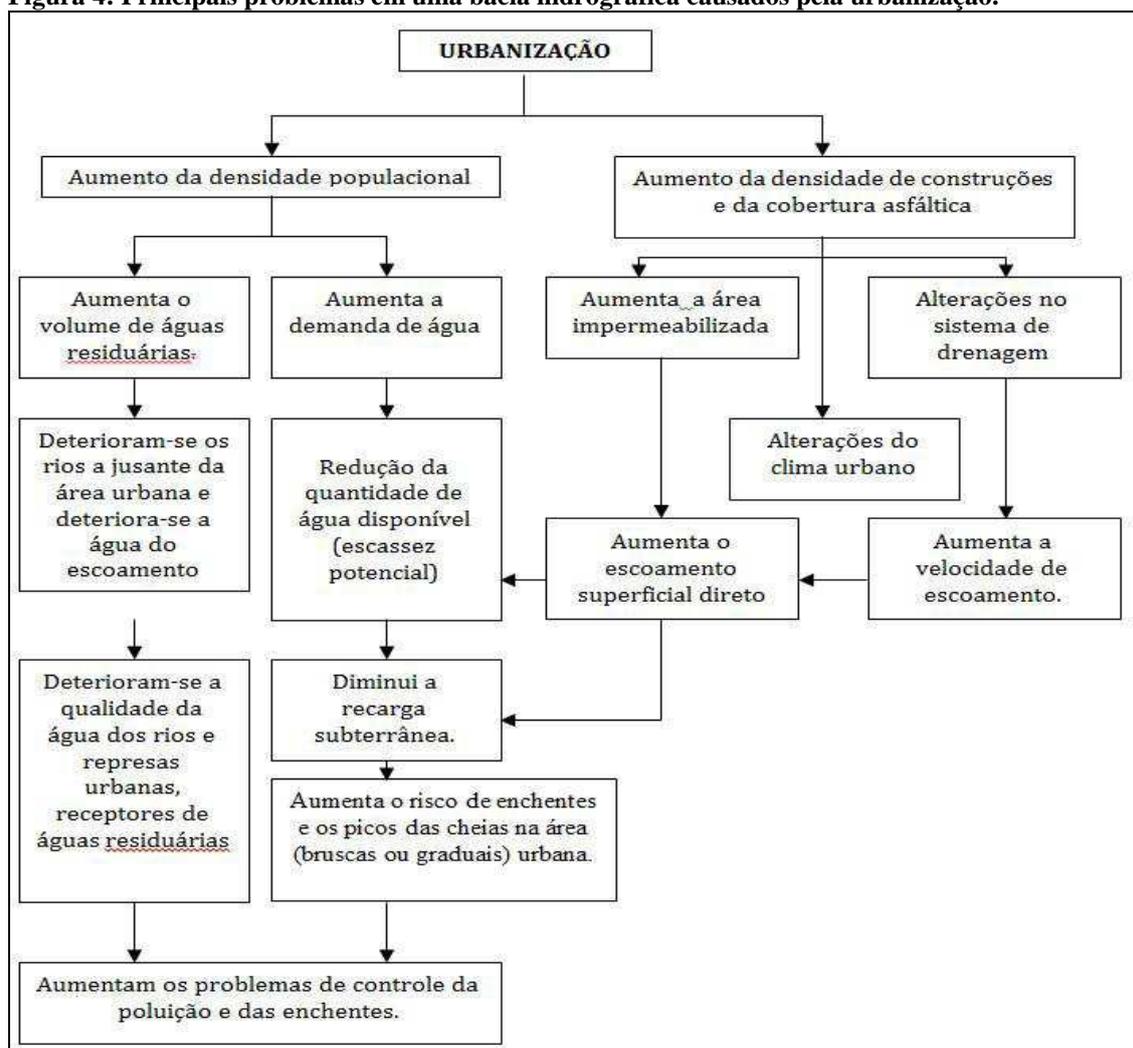


Fonte: Cardoso, 2008.

Ademais, o processo de impermeabilização do solo resulta também no aumento da vazão do rio, pois, promove um aumento significativo na disponibilidade de água no canal, principalmente em situação de extrema pluviosidade, o que irá promover um maior processo erosivo das margens. A montante, a situação descrita acima, resulta na formação de processos erosivos mais acentuados nas margens, chegando, em diversos casos a ocasionar movimentos de massa (GREGORY, 2006).

Tundisi e Tundisi (2011) apresentam os principais problemas decorrentes da urbanização que incidem sobre os recursos hídricos (Figura 4). Os autores compreendem que o escoamento superficial sofre significativas alterações no processo de urbanização de uma bacia hidrográfica, como consequência do processo de impermeabilização do solo.

**Figura 4: Principais problemas em uma bacia hidrográfica causados pela urbanização.**



Fonte: Tundisi e Tundisi, 2011.

As enchentes, a produção de sedimentos, a degradação da qualidade da água drenada pelos esgotos pluviais e contaminação dos aquíferos, segundo Tucci (1995), representam os principais problemas decorrentes da urbanização.

Guerra e Marçal (2012) afirmam que o rápido crescimento das cidades causa significativa pressão sobre o meio físico urbano, refletindo-se em diversos problemas, tais como a poluição atmosférica, a poluição do solo e corpos hídricos, deslizamentos, enchentes etc. Os referidos autores compreendem que à medida que o ambiente urbano é transformado pela ação antrópica, ocorre uma série de respostas geomorfológicas, representadas com maior evidência pelos movimentos de massa e enchentes, fenômenos típicos das grandes cidades.

Rodrigues e Moroz-Caccia Gouveia (2013) destacam a importância de dimensionar o papel da variável antrópica para se projetar cenários de risco que envolva processos geomorfológicos em ambientes urbanos, tendo em vista que essa variável é uma das poucas passíveis de algum tipo de controle social.

A característica socioeconômica da população é importante fator a ser considerado, pois os impactos gerados ao meio ambiente físico, bem como os reflexos desses impactos no cotidiano social irá variar de acordo com o grau de desenvolvimento social e econômica da população. A ocupação rápida e desordenada do espaço urbano tem levado a população desprovida de poder econômico a ocupar áreas de riscos geomorfológicos, como encostas e margens de cursos fluviais, provocando, assim, a ocorrências de diversos desastres de variadas proporções, resultando, frequentemente, na ocorrência de perdas de vidas humanas.

Bich *et al.*, (2011) analisando os impactos causados pela grande inundação de 2008 em Hanói, capital do Vietnã, concluíram que a população residente em áreas propensas a inundações, que não apresentam plano de prevenção, ou de mitigação dos impactos, estão severamente expostas a sérios problemas de saúde, tais como a leptospirose, hepatites e a cólera.

Na maioria dos casos, a formação de uma área urbana em um ambiente fluvial resulta na alteração do canal, principalmente pela ação erosiva das margens e pelo processo de assoreamento, mas, sobretudo, quando há uma ação do poder público no intuito de solucionar esses problemas, representada na maioria das vezes pela retificação

e pela dragagem do canal. Essa ação prioriza a diminuição de ocorrência de enchentes e alagamentos, porém, acentua o processo de erosão das margens e do leito fluvial, por ocasião do aumento da velocidade do fluxo (GREGORY, 2006).

Simon e Cunha (2008) assinalam que as principais transformações geomorfológicas oriundas da intervenção antrópica que ocorreram na bacia hidrográfica de Santa Bárbara, município de Pelotas/RS, são representadas por: construção de aterros, com o objetivo de corrigir irregularidades topográficas e manter a área ocupada acima do nível de alagamento; construção de canais (na planície de inundação) receptores da drenagem de outras áreas (médio e alto curso fluvial); retificação de canais em áreas de ocupação desordenada; e canalização de cursos d'água que captam drenagens direcionadas para um reservatório dentro da bacia, além do processo impermeabilização do solo com a expansão urbana. Esses aspectos contribuem para que haja um reajuste nos processos, causando desequilíbrios na morfodinâmica.

Portanto, observa-se que a influência antrópica nas bacias hidrográficas resultantes do processo de urbanização se materializam de diversas formas, representando graves alterações no sistema natural, seja em domínio interfluvial ou fluvial, e na gênese de situações de risco ao patrimônio público e privado, assim como para grupos sociais que residem em ambientes susceptíveis a ocorrência de eventos como movimentos de massa, enchentes, inundações alagamentos.

### **3.5 O SIG COMO FERRAMENTA DE GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Em diversos estudos de diagnóstico e gestão de áreas de risco encontram-se como proposta de gerenciamento a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Nesse sentido, Karagiozi *et al.* (2011) afirmam que a gestão do risco a partir de um banco de dados digital torna o trabalho mais eficiente, prático e passível de manipulação por qualquer pessoa interessada, não apenas por especialistas; além de possibilidade de manipular os dados quando necessário. Essa ferramenta permite analisar os aspectos físicos e socioeconômicos que caracterizam uma bacia hidrográfica, por exemplo, a partir de uma visão dinâmica, pois, como já mencionados, estes são

passíveis de manipulação. O referido autor utilizou modelos hidrológicos em ambiente SIG na gestão do risco de inundação na cidade de Ostrava, na Grécia, a partir de um Modelo de Elevação Digital (MDE), onde foram descritas algumas informações referentes à bacia hidrográfica, tais como: morfologia, área da bacia, declividade e as cotas altimétricas. Essa metodologia consiste basicamente em descrever os aspectos físicos e climáticos que caracterizam a bacia, servindo como base de dados primários para calcular o nível altimétrico que uma inundação pode atingir mediante o regime pluviométrico previsto para determinadas épocas do ano, ou analisá-los a partir de séries históricas do clima local. O resultado obtido foi criação de um mapa de risco de inundação disposto em um SIG, sendo assim possível realizar a manipulação dos dados e prever situações de risco a partir das características físicas da bacia.

A pesquisa desenvolvida por KARAGIOZI *et al.* (2011), está fundamentada na caracterização física da bacia como uma base de dados utilizados para calcular os níveis altimétricos que a água de uma inundação pode alcançar mediante um determinado total pluviométrico. Esse aspecto metodológico se apresenta como um passo inicial para se avaliar os impactos de um evento pluvial extremo sobre uma determinada sociedade.

Morelli *et al.* (2012) propõem a descrição dos elementos físicos e da ação humana em uma bacia hidrográfica, utilizando técnicas de geoprocessamento, o que permite diminuir os custos e o tempo investido na realização de pesquisas. Para tanto, os referidos autores, em estudo realizado na bacia do rio Arno, província de Firenze, na Itália, partiram de uma abordagem integrada da paisagem, associando elementos naturais e humanos em um banco de dados digital, utilizando-se da localização espacial destes elementos através do processo de vetorização, e depois lhes atribuído valores qualitativos e quantitativos. Esse método permitiu conhecer de que modo se dá a dinâmica espacial na bacia, ou seja, os processos naturais associados à ação humana.

Para Braun (2013) o gerenciamento e o planejamento do território deve envolver o conhecimento das características do território e dos autores envolvidos na sua formação, a partir de uma mentalidade cartográfica. A referida autora apresenta o conhecimento do meio físico (caracterização morfométrica, pluviométrica e fluviométrica da bacia); do meio antrópico (formas de ocupação de uma territorialidade); e a atuação do poder público (diferentes formas de aplicação da

legislação ambiental), como proposta metodológica para a gestão de bacias hidrográficas sujeitas à inundação.

É importante destacar que a análise desses processos através de um SIG permite compreender a natureza a partir de uma visão dinâmica, tendo em vista que as informações obtidas podem a qualquer momento serem atualizadas ou modificadas, conforme evoluem as pesquisas sobre o objeto estudado. Esses aspectos evidenciam a importância e eficácia desse método de análise para a gestão dos riscos geomorfológicos em bacias hidrográficas.

A realização do planejamento, e a consequente gestão de bacias hidrográficas, nos obrigam a considerar em nossos estudos e análises os seus referidos aspectos naturais e associá-los a forma que ocorre o uso e ocupação da terra pelas sociedades humanas. O conhecimento do meio físico é de grande importância no estudo de riscos, tendo em vista que os sistemas ambientais e seus subsistemas, respondem de modo diferente as diferenciadas modalidades de intervenções antrópicas. O desafio consiste em conhecer a dinâmica do meio físico e as mudanças produzidas pelas ações humanas (RODRIGUES E MOROZ – CACCIA GOUVEIA, 2013).

Os problemas de risco em bacias hidrográficas devem ser tratados de forma integrada a todo o conjunto de elementos e processos, permitindo que o planejamento de uma cidade esteja ligado ao planejamento dos recursos hídricos, tendo a bacia hidrográfica como referência.

Essa tarefa recebe forte apoio tecnológico advindo dos sistemas de informação geográfica e da cartografia, ressaltando sua capacidade de geração e armazenamento de dados alfanuméricos e vetoriais, o que facilita o trabalho dos planejadores e contribui para uma melhor caracterização da dinâmica natural de uma bacia hidrográfica e das diversas formas de interferência antrópicas a ela impostas.

### **3.6 ANÁLISE CONCEITUAL PARA OS TERMOS “RISCO” E “RISCO GEOMORFOLÓGICO”**

Para realizar a análise dos riscos, é necessário promover uma discussão conceitual acerca dos termos empregados na descrição dos fenômenos, para que não haja interpretações equivocadas. Desse modo, para realizar a classificação de áreas de risco geomorfológico, será necessário, em primeiro momento, realizar a distinção conceitual empregada a alguns termos. Contudo, não se pretende realizar uma descrição detalhada acerca da discussão conceitual e do valor semântico dos termos empregados nessa análise, mas apenas classificá-los conceitualmente.

Brum Ferreira (1993) sistematiza os tipos de riscos, destacando que o risco ambiental é gerado a partir da associação dos riscos naturais (risco geológico, risco climático e risco geomorfológico) com os riscos antrópicos (ocupação humana). Esses fatores associados fornecem informações importantes sobre a vulnerabilidade do território, que se materializa na população, nos equipamentos tecnológicos, na organização social e econômica, e nos recursos naturais.

Cerri (1999) define risco como situação de perigo, perda ou dano, causado ao ser humano, em virtude da ocorrência de um evento ou fenômeno natural, sendo necessário considerar não só os processos naturais que podem ocorrer, mas também as consequências sociais e/ou econômicas associadas.

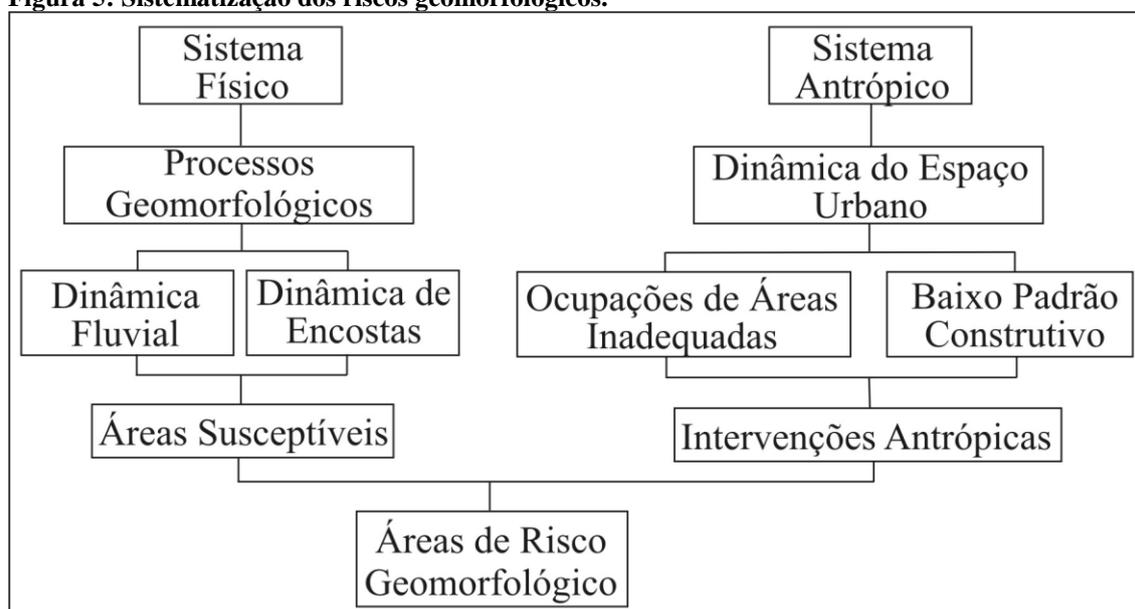
Veyret (2007) compreende que o estudo dos riscos constitui uma abordagem global de diversas áreas do conhecimento científico, envolvendo as ciências da natureza e as ciências sociais, uma vez que as situações de risco se desenvolvem na interface sociedade/natureza. A referida autora define que o risco é objeto social, estando sua ocorrência condicionada aos hábitos culturais da população.

Quanto aos riscos geomorfológicos, conforme Cerri (1999), estes podem ser entendido como risco natural, oriundo da dinâmica que envolve a natureza, porém, sendo estes processos potencializados e, por vezes, induzido pelas ações antrópicas, quando ocupam a superfície terrestre de modo irregular. O autor destaca a naturalidade dos processos de erosão, inundação e de outros fenômenos, sendo seus efeitos refletidos

no cotidiano social no momento em que a ocupação territorial ocorre em locais inadequados, ou de modo que promova o desequilíbrio da dinâmica natural.

Oliveira *et al.*, (2004) definiu que risco geomorfológico corresponde ao perigo de ocorrer processos da dinâmica superficial em áreas ocupadas. O autor sistematiza esse tipo de risco a partir de uma agregação das características do sistema físico com as características do sistema antrópico. É essa associação que irá determinar o tipo de risco geomorfológico predominante em um determinado espaço (Figura 5).

**Figura 5: Sistematização dos riscos geomorfológicos.**



Fonte: Oliveira *et al.*, 2004.

Moura e Silva (2008) destacam que o termo *hazard*, oriundo da língua inglesa, está relacionado às inundações, terremotos, erupções vulcânicas, vendavais, furacões, nevascas, secas, ciclones tropicais, erosão, avalanches, entre outros; no entanto, só se tornam um desastre quando atingem ou ameaçam às populações humanas. O termo “risco” se refere à probabilidade de ocorrência de tais eventos, ou seja, do “*hazard*”. Essa análise está fundamentada na ideia de que os desastres não são naturais, mas decorrem de uma ação humana, pois os eventos naturais só se convertem em desastres quando existe ocupação humana na área de sua ocorrência. Segundo Augusto Filho *et al.* (1990, *apud* RECKZIEGEL e ROBAINA, 2005), o termo “*risk*” traduzido como risco, pode ser considerado como quantificação da probabilidade de um fenômeno (*hazard*) ocorrer.

Em Oliveira *et al.* (2004) o termo “susceptibilidade” está associado a probabilidade de um determinado processo natural, aqui entendido como *hazard*, afetar uma zona com uma determinada intensidade, independente de afetar a população. Esse conhecimento é extremamente importante para orientar a ocupação de uma determinada porção da superfície terrestre, sendo assim possível prevenir situações de risco. No entanto, essa prevenção dependerá do modo como a população ocupa o espaço, que irá variar de acordo com as condições sociais, econômicas e tecnológicas, que farão frente à ocorrência do fenômeno, que por sua vez irá variar no que diz respeito a sua intensidade e sazonalidade.

Sendo assim, a população menos favorecida economicamente apresentará maior vulnerabilidade frente a eventos naturais, uma vez que, corriqueiramente, essa parcela da população tende a ocupar áreas de menor valor comercial no espaço urbano, sendo exatamente essas as áreas que apresentam maior vulnerabilidade a ocorrência de situações de risco.

Os fenômenos relacionados às enchentes, inundações, alagamentos e movimento de massa estão, portanto, inseridos na análise dos riscos geomorfológicos, por estarem inseridos na dinâmica superficial do planeta (OLIVEIRA *et al.*, 2004). A compreensão de tais processos representa a base inicial da classificação de áreas de risco geomorfológico, sendo de suma importância compreender a definição conceitual de cada processo.

A análise conceitual dos riscos consiste basicamente em compreender os impactos que os fenômenos naturais geram na vida das pessoas, além dos resultados oriundos das ações antrópicas que alteram a dinâmica natural e resulta, novamente, em impacto no cotidiano social. As pesquisas no campo da ciência geomorfológica devem contribuir para orientar a sociedade no que diz respeito à ocupação da superfície terrestre de modo que haja uma redução dos impactos para a natureza e, conseqüentemente, para a sociedade.

### 3.7 ANÁLISE DO RISCO DE ENCHENTES E INUNDAÇÕES

As enchentes e inundações fazem parte da dinâmica natural de um sistema fluvial, que em determinados períodos, por ocasião de eventos intensos e/ou recorrentes de chuvas, lançam suas águas para além do seu canal, alcançando o leito maior ou para o leito maior excepcional. As situações de risco derivadas de tais eventos ocorrem devido à ocupação irregular dessas áreas, que colocam em situação de vulnerabilidade alguns segmentos sociais, normalmente realizada por conta da intensificação do crescimento horizontal das cidades.

A análise conceitual dos termos enchentes e inundações, a luz da engenharia hidráulica, classifica o primeiro como um fenômeno natural e o segundo como razão da ocupação humana (CUSTÓDIO, 2002).

Tucci (1995) classifica dois tipos de enchentes: as que decorrem de processo natural (áreas ribeirinhas); e as que resultam do processo de urbanização. Esses dois fatores representam os processos causadores das enchentes em áreas urbanas, que podem ocorrer de modo isolado (um único tipo de enchentes) ou em conjunto (os dois tipos de enchentes ao mesmo tempo). O primeiro caso ocorre quando o rio ocupa seu leito maior, como resposta ao período de cheia, tornando-se um problema para as pessoas que ocupam essas áreas. No segundo caso, as enchentes ocorrem devido ao aumento do escoamento superficial, acentuado pelo processo de impermeabilização do solo.

Do ponto de vista geomorfológico, enchentes e inundações correspondem ao mesmo fenômeno. Desse modo, Carvalho (2011) compreende que as enchentes correspondem a um fenômeno hidrológico resultante do extravasamento da água para além do leito menor dos cursos d'água. As inundações, segundo o mesmo autor, correspondem a um fenômeno geomorfológico característico de áreas ribeirinhas atingidas pelas águas das cheias.

Nelson (2012) afirma que a principal causa das inundações são as chuvas fortes em um curto período de tempo. Nestes casos, o fator escoamento supera a infiltração, a evaporação e a interceptação da água pela vegetação ou por depressões, aumentando a probabilidade de ocorrência. A ocorrência de um evento de grande precipitação ao

longo de um curto período de tempo dentro de uma pequena área decorre na inundação de córregos locais e gera poucos efeitos em áreas a jusante. Essa situação é descrita pelo autor como inundação a montante. No caso de ocorrência de grandes quantidades de chuva ao longo de um longo período de tempo, alcançando uma grande área da bacia, cheias a jusante (também chamado cheias regionais) podem ocorrer, pois as inundações se estendem por um maior período de tempo e afetam os fluxos maiores, os afluentes e riachos.

Ayala e Goudie (2010) descrevem que fatores como o regime climático, morfometria da rede de drenagem, as condições de infiltração do solo nas encostas e divisores, os aspectos geológicos referentes à estrutura, tectônica e erodibilidade da superfície e a cobertura vegetal e práticas de uso e ocupação da terra, como sendo importantes elementos que condicionam um evento de inundação.

Ali (2007) estudando as causas de uma grande inundação que ocorreu no sudoeste de Bangladesh, em Setembro de 2004, aponta a atuação de um sistema climático incomum, que resultou num evento de grande pluviosidade, além do assoreamento dos canais fluviais como principais fatores relacionados à sua ocorrência. Essa situação demonstra a necessidade de considerar nos estudos de risco as alterações na dinâmica natural, independente se elas são originadas a partir de um impacto social ou se resultam de uma evolução dinâmica.

Carvalho (2011) enfatiza a ideia de que as enchentes e inundações naturais só afetam a vida das pessoas por que estas ocupam o caminho natural das águas nos momentos de maior vazão, uma vez que a população considera a ação fluvial apenas no leito menor, pois esta é a situação predominante num maior período de tempo na dinâmica fluvial de um rio, não considerando a ocupação periódica do leito maior e do leito excepcional. O mesmo autor afirma que a urbanização gera alterações significativas no ciclo hidrológico, representadas pelo aumento do escoamento superficial, característico das regiões metropolitanas.

Bacias hidrográficas que apresentam altas taxas de urbanização, em estágio final de urbanização, tendem a apresentar fluxo de escoamento superficial concentrado, potencializadores de fluxos torrenciais em posições médias e inferiores na vertente (RODRIGUES E MOROZ – CACCIA GOUVEIA, 2013). Nesses casos, a bacia

hidrográfica se encontra sobremaneira impermeabilizada, predominando o processo de escoamento superficial em detrimento do processo de infiltração.

Guerra e Marçal (2012) analisam os seguintes fatores como causadores de situações de risco: impermeabilização do solo, principalmente em áreas fluviais mais sujeitas a inundações; ocupação das encostas com loteamentos e edificações, aumentando o risco de deslizamento; e a canalização e retificação de canais fluviais, com percurso nas áreas urbanas. Tais fatores aceleram os processos geomorfológicos, constituindo um sério risco para populações humanas.

Além das questões relacionadas às transformações causadas pelas ações humanas sobre o ambiente e sua vulnerabilidade frente aos fatores naturais, Montz e Tobin (2010) destacam a importância de considerar a dinâmica física na gestão dos riscos. Desse modo, salientam que o sistema Terra-Atmosfera é dinâmico e sua relação nos revela as mudanças que ocorrem nos atributos físicos ambientais, em escala local, regional e global, sendo de grande importância considerar os impactos que essas mudanças geram no ambiente físico e, conseqüentemente, no cotidiano das pessoas. Os referidos autores nos conduzem a uma reflexão que vai além da relação homem-natureza numa visão estática, mas considera a sua evolução dinâmica (espaço-temporal) e o grau de vulnerabilidade que cada grupo social apresenta frente aos fenômenos naturais, considerando os aspectos demográficos, políticos e econômicos.

Há uma grande dificuldade de se criar padrões e pesos para cada elemento envolvido na análise dos riscos, tendo em vista que esses elementos variam em função das características físico-ambientais e sociais em diferentes porções da superfície terrestre (MONTZ e TOBIN, 2010). Desse modo, é imprescindível a caracterização e análise da dinâmica física e social do ambiente estudado.

Portanto, a classificação de áreas propensas à ocorrência de tais eventos necessita considerar a sua dinâmica física e antrópica, tendo em vista que uma visão dinâmica envolve mudanças, alterações de ritmo e, conseqüentemente, dos resultados produzidos.

### 3.8 ANÁLISE MORFOMÉTRICAS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é uma importante ferramenta para a compreensão da dinâmica geomorfológica e para o planejamento e gestão territorial. Os índices morfométricos expressam quantitativamente as características de uma bacia, e seu cálculo permite conhecer as inter-relações que se estabelece entre seus elementos naturais. Dessa maneira, tal abordagem permite conhecer o modo como os principais processos do ciclo hidrológico se comportam em determinada bacia, tais como a infiltração, escoamento e evapotranspiração (CRISTOFOLETTI, 1980). Por esta razão, os índices morfométricos podem fornecer importantes informações para o planejamento e gestão, como, por exemplo, a susceptibilidade a ocorrência de enchentes, inundações e a densidade de drenagem para determinados compartimentos de uma bacia hidrográfica.

As tentativas de descrição e quantificação de bacias hidrográficas tiveram impulso inicial com Horton (1945), uma vez que até a metade do século XX, a preocupação dos geomorfólogos estava tão somente na compreensão da evolução das formas do relevo (STRAHLER, 1952). É a partir de Horton (1945) e Strahler (1952) que se dá com mais evidência a introdução de métodos quantitativos na pesquisa geomorfológica.

Christofoletti (1980) define a análise areal, linear e hipsométrica como parâmetros morfométricos para analisar uma bacia hidrográfica. O parâmetro areal engloba em sua análise vários índices, considerando em sua medição aspectos planimétricos e lineares. Na análise linear são englobados índices e relações dos canais fluviais e suas ações, uma vez que as medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. No caso da análise hipsométrica, é considerado às variações altimétricas da área da bacia, indicando as relações existentes entre as unidades morfológicas.

Lima (1996) destaca a necessidade de compreender as características físicas da bacia, em termos quantitativos, no intuito de compreender as inter-relações existentes entre os processos que a caracterizam, sendo o estudo morfométrico de bacias hidrográficas um importante procedimento para explicar as interações que ocorrem

entre os elementos que compõe a paisagem integrada dos domínios fluvial e interfluvial (FELTRAN *et al.*, 2007).

Bravo e Santil (2013) destacam que os índices morfométricos selecionados para um estudo devem representar medidas de características fisiográficas de uma bacia e devem ser importantes feições para o manejo e planejamento de ações adequadas a uma unidade de paisagem.

Atualmente, diversas pesquisas desenvolvidas no campo de estudos de bacias hidrográficas, que tem como objetivo a análise de áreas sujeitas a eventos como as enchentes e inundações, têm aplicado como modelo metodológico a caracterização morfométrica, dentre eles destacam-se: (SILVA *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2010; LEITE *et al.*, 2012; SANTOS e MORAIS, 2012; BRAVO e SANTIL, 2013; MONTEIRO *et al.*, 2013; MENEZES *et al.*, 2014). É evidente nesses estudos a utilização do geoprocessamento e do sensoriamento remoto como ferramentas para a obtenção, tratamento e mensuração dos dados, permitindo maior praticidade no desenvolvimento da pesquisa.

As características morfométricas descrevem os parâmetros morfológicos e expressam os indicadores físicos da bacia. As técnicas de análise morfométrica são muito importantes para analisar a morfogênese de uma área, sobretudo quando podem ser confrontadas com os dados obtidos em campo e tratadas com técnicas de geoprocessamento (SILVA *et al.*, 2009).

Contudo, algumas ponderações acerca da eficiência da análise morfométrica de bacias hidrográficas necessitam ser realizadas, pois, mesmo não apresentando parâmetros que indiquem uma suscetibilidade a enchentes, uma bacia hidrográfica pode não está totalmente isenta de sua ocorrência. A dinâmica climática e as ações antrópicas, como a urbanização, podem configurar como fatores potencializadores, ou até mesmo geradores de inundações e enchentes.

Monteiro *et al.* (2013) constatou que as enchentes ocorridas nos anos 2000, 2004 e 2010, na bacia hidrográfica do rio Una, cidade de Palmares/PE, estiveram associadas a eventos pluviométricos de grande magnitude, uma vez que a referida bacia não apresenta parâmetros morfométricos que a coloque em situação susceptível a tal evento.

Esse fato representa a necessidade de considerar a dinâmica rítmica do clima como importante fator condicionante de enchentes e inundação, que estando associado a fatores antrópicos, como a urbanização, que podem ser potencializados e, portanto, culminar em situações de risco.

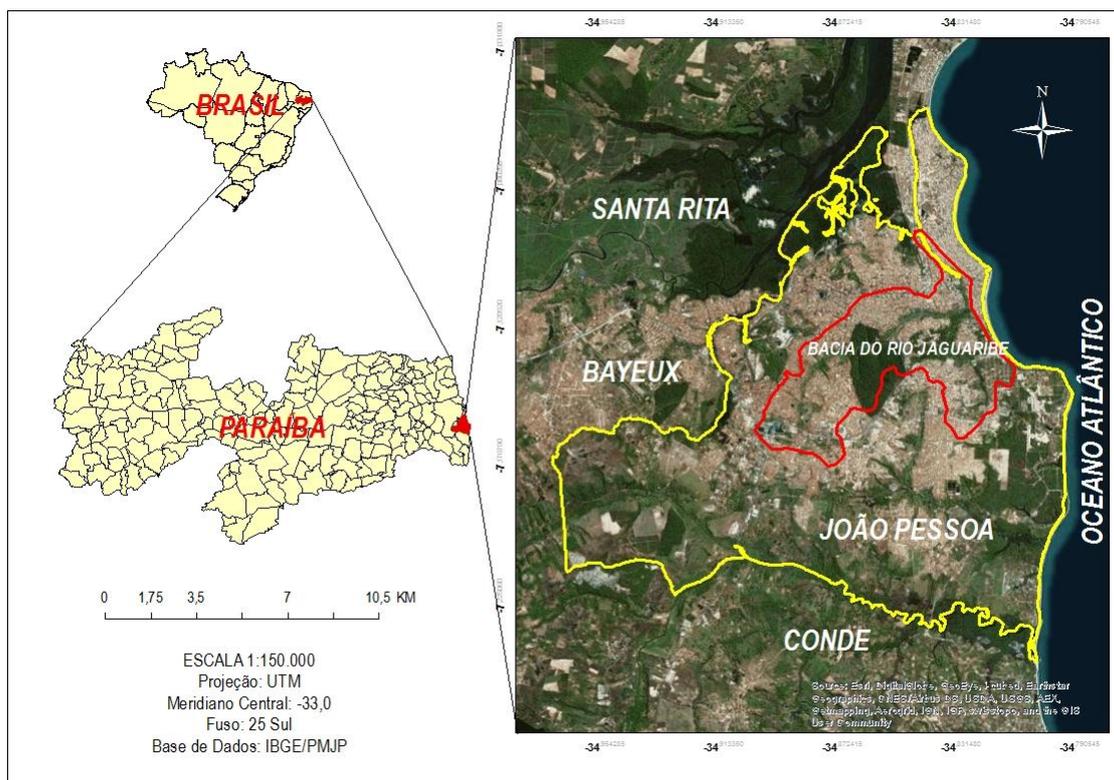
Assim, apesar da relevância e eficiência da análise dos dados morfométricos de uma bacia, como um importante método de pesquisa, que agora agrega o apoio das técnicas de geoprocessamento, que representa um método mais ágil, prático e menos oneroso para tais análises, a de se considerar os *inputs* energéticos derivados da dinâmica climática, bem como as intervenções antrópicas na avaliação de fenômenos que interferem sobre a dinâmica fluvial.

#### **4 LOCALIZAÇÃO E A CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-NATURAL DA ÁREA DE ESTUDOS**

A área de estudos está totalmente inserida no contexto urbano do município de João Pessoa/PB. As principais nascentes do rio Jaguaribe localizam-se entre os bairros Esplanada e Cristo redentor, as margens da BR-230. Sua foz localiza-se nas margens da mesma BR, na altura do bairro Manaíra, quando este lança suas águas no rio Mandacaru, um dos afluentes do rio Paraíba do Norte (figura 6).

A caracterização da área de estudos está fundamentada na apresentação dos aspectos físico-naturais que compõem a área, representados pelos aspectos geológicos, geomorfológicos, climáticos e pedológicos. Além desses aspectos, os elementos antrópicos (formas de uso e ocupação da terra) serão apresentados, na tentativa de estabelecer uma visão holística dos diversos elementos formadores da paisagem. Pretende-se, dessa forma, realizar o levantamento do máximo possível de informações acerca da área, a partir de estudos outrora realizados.

**Figura 6: Localização da área de estudo.**



Fonte: O autor.

#### 4.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

O núcleo urbano do município de João Pessoa, onde se localiza a área de estudo, está inserida no contexto geológico da bacia sedimentar marginal Paraíba, que subdividi-se em sub-bacias Alhandra, Miriri e Olinda (Mabesoone e Alheiros 1998; Lima Filho, 1998; Barbosa e Lima Filho, 2005; Barbosa, 2007). A bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, objeto de estudo dessa pesquisa, está inserida na sub-bacia Alhandra.

Mabesoone e Alheiros (1998) nomearam a referida bacia de Bacia sedimentar Pernambuco/Paraíba, dividida nas sub-bacias: Cabo, Olinda, Alhandra, Canguaretama e Natal. Barbosa (2004) passa a denominar Bacia Paraíba, o trecho que se estende desde o Lineamento Pernambuco até a falha de Mamaguape, constituindo assim a sua delimitação atual.

A bacia da Paraíba se comporta como uma rampa estrutural suavemente inclinada para leste, sendo constituída pelas seguintes camadas litoestratigráficas: Formação Beberibe, Formação Itamaracá, Formação Gramame e a Formação Maria

Farinha, recobertas pelos sedimentos da Formação Barreiras (BARBOSA e LIMA FILHO, 2005).

Com base em Barbosa (2007), a Formação Beberibe é composta basicamente por depósitos de arenitos médios e grossos de origem fluvial, ricos em quartzo e feldspato, mal selecionado e bastante litificados devido à silicificação. Há ainda a ocorrência intercalada de arenitos finos com argila e cimento ferruginoso, associados à deposição estuarina.

A Formação Itamaracá apresenta litologia diversificada, abrangendo folhelhos, arenitos calcíferos, calcários margosos com siliciclastos e calcários com siliciclastos, estando sua ocorrência associada a ambientes flúvio-deltaicos e flúvio-lagunares (BARBOSA, 2007).

Sobrepondo-se a formação anterior, depositaram-se os sedimentos da Formação Gramame, sendo constituída predominantemente por calcários e margas, sendo bastante fossilífera (BARBOSA, 2007). Sua formação está relacionada ao máximo transgressivo do Grupo Paraíba e, sua área de afloramento é bastante reduzida na sub-bacia Alhandra (BRITO NEVES, 2009).

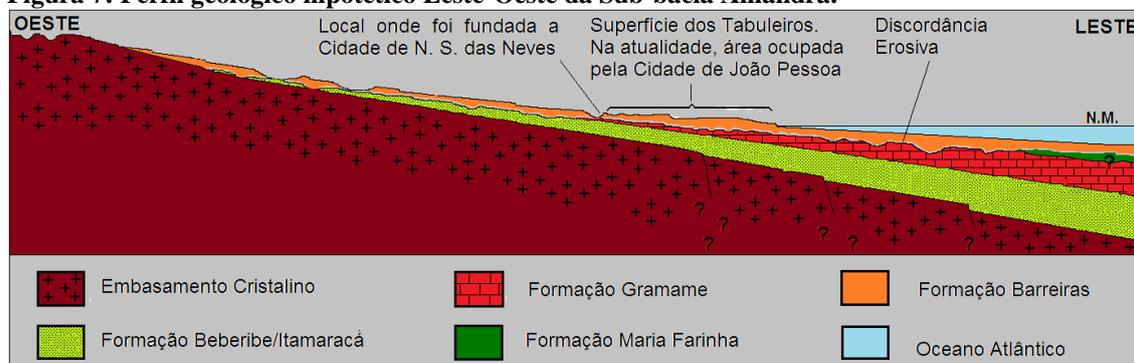
A Formação Maria Farinha é camada estratigráfica do Grupo Paraíba mais superficial, ficando restrita às sub-bacias Alhandra e Olinda. No Estado da Paraíba, essa formação aflora somente no Litoral Sul, mais precisamente no Município do Conde, entre as praias do Amor e de Tambaba (BRITO NEVES *et al.*, 2009).

Sobreposta a todas as camadas litoestratigráficas anteriores, ocorre a Formação Barreiras. O material sedimentar que a compõe é resultado do processo de intemperismo realizado sobre o embasamento cristalino do Planalto da Borborema. A deposição desse sedimento se deu através de sistemas fluviais desenvolvidos sobre leques aluviais. (ALHEIROS, 1988).

A (figura 7) apresenta um perfil hipotético das camadas litoestratigráficas que compõe a referida bacia. Sua análise permite verificar, mesmo que de forma abrangente, como essas camadas se dispõem na sub-bacia Alhandra. O perfil hipotético mostra a Formação Barreiras recobrindo de forma indistinta as rochas do Embasamento Cristalino e as camadas da Bacia Sedimentar Paraíba em área com latitude próxima ao

local onde foi fundada a cidade de João Pessoa/PB. As interrogações representam incertezas na representação dos fatos (ARAUJO, 2012).

**Figura 7: Perfil geológico hipotético Leste-Oeste da Sub-bacia Alhandra.**



Fonte: Araujo, 2012.

A Formação Barreiras constitui a principal unidade litoestratigráfica presente na área de estudo, correspondendo a maior representação da cobertura sedimentar Fanerozóica que a compõe. Essa formação é constituída de sedimentos areno-argilosos mal consolidados de origem continental, dispendo-se em camadas areno-siltosos, arenosos, conglomeráticos e ferruginosos, recobrando de maneira discordante as formações litoestratigráficas que compõe o Grupo Paraíba (ARAUJO, 1993).

Segundo Oliveira (2001), os sedimentos da Formação Barreiras estão expostos nas encostas do vale do rio Jaguaribe e de seus afluentes, bem como nas falésias que se estendem desde a Avenida Beira Rio, entre o médio e baixo curso fluvial até as proximidades do Manaíra *Shopping*, localizado no bairro de Manaíra.

A deposição de idade Holocênica predominante na área de estudo ocorre sobre a Formação Barreiras, representando a ocorrência de colúvio, aluvião, sedimentação fluvial e fluviomarinho. Segundo Araujo (2012), essas feições são formadas por rochas de difícil individualização no campo, o que dificulta bastante seu mapeamento. O autor cita como exemplo o caso dos sedimentos da planície fluviomarinha, como também no caso das áreas periféricas da planície fluvial, onde na maioria das vezes as aluviões se misturam ao colúvio de modo indistinto.

Com base em Oliveira (2001), as áreas de encostas, o fundo dos vales, os terraços fluviais, as lagoas e as depressões são compostas por sedimentos de composição heterogênea, argilo-arenosos, argilosos, siltosos, orgânicos e grosseiros

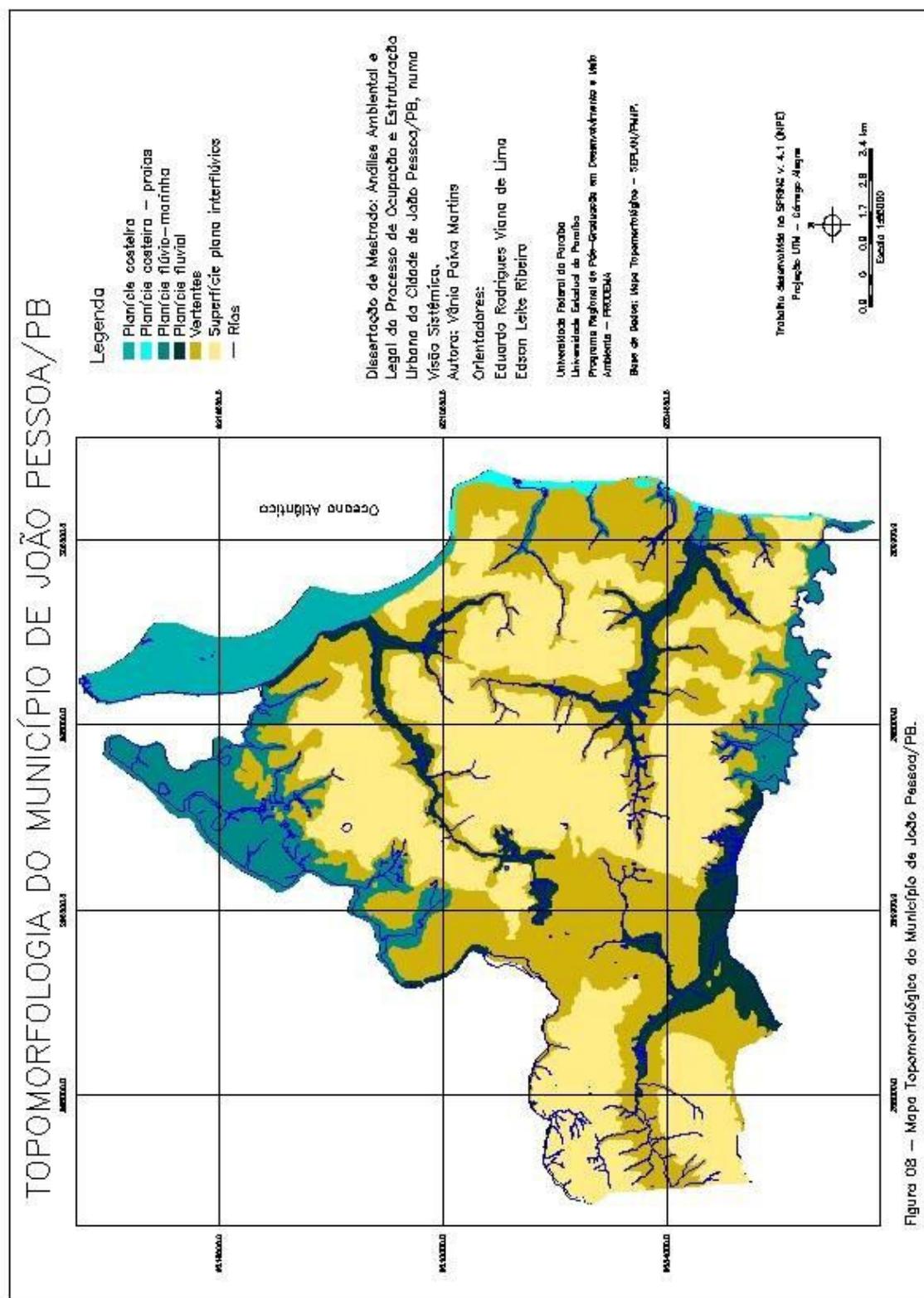
incluindo seixos rolados. A sedimentação de granulação fina (silte e argila) associada a material de origem orgânica está associada às pequenas depressões pantanosas, assim como em boa parte da planície aluvial da restinga onde se localiza a antiga desembocadura do rio Jaguaribe.

## **4.2 ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS**

A bacia do rio Jaguaribe encontra-se inserida na faixa litorânea do estado da Paraíba, no contexto dos Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros Litorâneos. Além dessa unidade morfológica, destaca-se a ocorrência da Planície Fluvial, Planície Fluviomarinho e Planície Costeira, das falésias e das vertentes (Furrier, 2007).

Martins (2006) destaca o predomínio de duas grandes feições morfológicas no município de João Pessoa: os Tabuleiros Litorâneos e a baixada litorânea ou Planície Costeira (Figura 8), que se caracterizam por apresentar um relevo plano. Essas duas feições, segundo a autora, representam, respectivamente 40% e 35% da área territorial do referido município.

Figura 8: Unidades Morfológicas da Cidade de João Pessoa/PB.



Fonte: Martins (2006).

Com base em Marinho (2011), o alto curso fluvial do rio Jaguaribe se estende desde sua nascente até a Avenida Pedro II, nas imediações do Jardim Botânico Benjamim Maranhão. Desse ponto, até a confluência com o rio Timbó, ocorre à área do médio curso. O baixo curso fluvial representa a área que se estende desde o seu limite com o médio curso, até a sua foz, no rio Mandacaru. Desse modo, segundo o mesmo autor, o alto e o médio curso do rio Jaguaribe estão encaixados sobre os terrenos sedimentares dos tabuleiros litorâneos, enquanto o baixo curso está entalhado sobre as planícies costeiras.

Os tabuleiros se desenvolvem sobre a Formação Barreiras (Figura 9) e sua origem sedimentológica está relacionada ao intemperismo sofrido pelo embasamento cristalino do planalto da Borborema, que se localiza mais para o interior do continente. A matriz desses sedimentos é representada pelos granitos, xistos e gnaisses (ALHEIROS *et al.*,1988).

Figura 9: Tabuleiros Costeiros.



Fonte: Defesa Civil.

Com base em Guerra e Guerra (2010), tabuleiro é definido como forma topográfica de terreno que se assemelha a planaltos, terminando geralmente de forma abrupta, formando uma paisagem topográfica plana, sedimentar e de baixa altitude. Na área de estudo, essa superfície se apresenta basicamente com topo plano, suavemente

inclinado, dissecado por uma rede de drenagem de baixa densidade. A forma plana ou quase plana e tabular dessa superfície favorece o predomínio do processo de infiltração sobre o escoamento superficial, sendo sua forma interrompida de modo abrupto no contato com o vale fluvial, formando as vertentes e/ou terraços fluviais, bem como no contato com a planície costeira, no médio e baixo curso fluvial, onde ocorre a formação das falésias, definidas como falésias mortas, pois, já não sofrem ação erosiva marinha. Melo *et al.* (2000) observa que na transição para a baixada litorânea, a declividade dessas formas são amenizadas em sua base pelo desenvolvimento de taludes de depósitos gravitacionais ou de rampas suaves que se dirigem às planícies fluviomarinhas.

No sítio urbano da cidade de João Pessoa, os tabuleiros exigem cotas altimétricas máximas variando entre 49 e 77 metros, representando uma área de relativa baixa altitude na bacia da Paraíba (FURRIER, 2006).

A baixa energia do relevo, característico da cidade de João Pessoa, é resultado do forte controle estrutural atuante nos Tabuleiros Litorâneos do estado da Paraíba (FURRIER *et. al.*, 2006). O referido autor confirma tal ideia a partir da distinção de diferentes padrões de dissecção atuantes nos tabuleiros ao norte do rio Gramame (onde se localiza a área de estudo) e ao sul do mesmo rio. A área norte caracteriza-se por apresentar rede de drenagem de baixa densidade e padrão de drenagem fortemente influenciado pelo tectonismo, evidenciado pela formação confluências em ângulos retos. Os rios nessa área não exumam com intensidade as camadas geológicas inferiores da bacia Paraíba (FURRIER *et. al.*, 2006), não sendo possível, desse modo, observar na área de estudo, o afloramento da formação Gramame, estando à dinâmica geomorfológica na bacia do rio Jaguaribe diretamente associado a processos na Formação Barreiras.

Oliveira (2001) afirma que o topo dos tabuleiros constitui testemunho de uma superfície de aplainamento, definida como Pós-Barreiras. O entalhamento realizado nessa superfície é resultado dos movimentos eustáticos e do tectonismo que ocorreram no Quaternário, evidenciada pela discrepância existente entre o pequeno caudal dos cursos de águas atuais e os vales relativamente amplos. No momento que se deu o rebaixamento do nível do mar, ocorreu o preenchimento desses vales que foram posteriormente invadidos no momento da última transgressão marinha. Esse tipo de

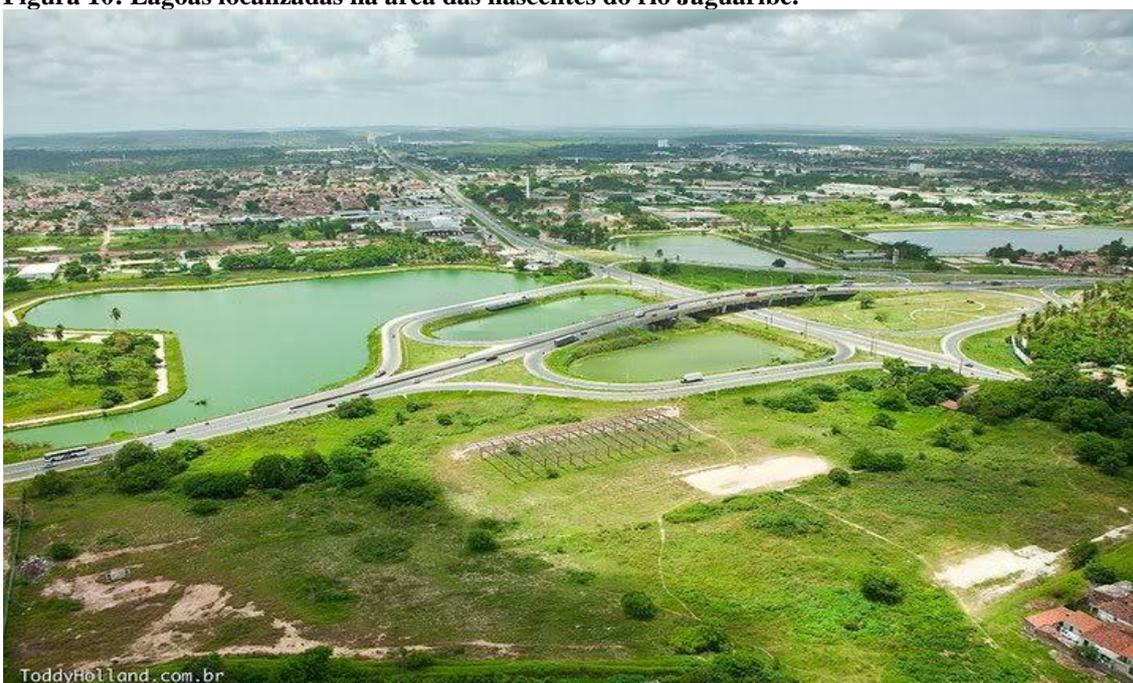
entalhe resultou na formação de vales individualizados, com fundo chato e terraços fluviais com níveis variados (MELO *et al.*, 2000; MARINHO, 2011).

Para Furrier (2007), o modelado do relevo sobre a Formação Barreiras está fortemente associado à falhamentos nas formações litoestratigráficas que compõe o Grupo Paraíba. Furrier *et al.* (2006) afirmam que a influência do tectonismo sobre os tabuleiros no estado da Paraíba está evidente no comportamento das drenagens, que apresentam padrões retilíneos e desvios bruscos em função de soerguimentos e rebaixamentos.

Destaca-se ainda a formação de cabeceiras de drenagem, que originam entalhes profundos em forma de anfiteatro, ocorrendo de modo mais evidente na área próxima a nascente do rio Jaguaribe entre os bairros do Cristo e Esplanada, bem como na margem esquerda do rio Timbó, afluente do Jaguaribe (Melo *et al.*, 2000).

Ainda no contexto dos tabuleiros litorâneos, ressaltasse a ocorrência de possíveis dolinas, representadas pelas lagoas localizadas na área das três lagoas (Figura 10), no bairro de Oitizeiro, a Lagoa da Granja e a lagoa do Buracão no Conjunto Cidade dos Funcionários I. Oliveira (2001) faz referência ainda à ocorrência dessa forma de relevo também numa área próxima ao condomínio Vale das Palmeiras no bairro Cristo Redentor.

**Figura 10: Lagoas localizadas na área das nascentes do rio Jaguaribe.**



Fonte: Paulo Rosa

Essas depressões apresentam forma circulares ou ovaladas que estão geralmente associadas à dissolução topográfica coadjuvada por fenômenos cársticos de subsuperfície (MELO *et al.*, 2000). A origem dessas dolinas é resultado da dissolução do calcário realizado pela infiltração de água na rocha, favorecida por sua forma de estratificação sub-horizontal, não muito pronunciada, grosseira, formando massa compactada, apresentando fraturas e dissolução subterrânea (LUMMERTZ, 1977 *apud* FURRIER e VITAL, 2011).

Outras ocorrências cársticas na cidade de João Pessoa e em cidades vizinhas foram discutidas por Lummertz (1977); Furrier e Vital (2011); Vital (2015). Porém, por não estarem localizadas na área de estudo, não foram apresentadas nesse trabalho.

#### **4.3 ASPECTOS CLIMÁTICOS**

A área de estudo está sobre influência de um clima tropical úmido, que segundo a classificação de Köppen e Geiger é um clima As', ocorrendo os maiores índices de precipitação no inverno, mas com chuvas antecipadas de outono, apresentando média pluviométrica entorno de 2.000 mm anuais.

Os sistemas atmosféricos atuantes na configuração climática da área, segundo Ferreira e Melo (2005) são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, ou de Alta Troposfera (VCAS), e os Sistemas Ondulatórios de Leste (DOLs), ou Ondas de Leste.

A ZCIT se forma em baixas latitudes, resultando da convergência de ventos alísios de Sudeste (Hemisférios Sul) e de ventos alísios de Nordeste (Hemisfério Norte), o que provoca a ascensão do ar quente e úmido, ocorrendo à formação de nuvens (FERREIRA e MELO, 2005).

Molion e Bernardo (2002) apresentam a ZCIT e os sistemas frontais como mecanismo de grande escala responsáveis pela maior parte das precipitações pluviométricas observadas na região Nordeste. Os referidos autores apresentam ainda mecanismos de mesoescala (perturbações ondulatórias, complexos convectivos e brisa

marinha); e mecanismos de microescala (circulações orográficas e pequenas células convectivas).

Os VCAS se formam no oceano atlântico e sua atuação se dá, sobretudo entre os meses de Novembro e Abril, com maior ênfase nos meses de Janeiro e fevereiro (FERREIRA e MELO 2005). Esse sistema apresenta circulação ciclônica fechada (baixa pressão) com ar subsidente central mais frio que sua periferia, que por sua vez se caracteriza pela ocorrência de grandes totais pluviométricos, enquanto sua região central é submetida à formação de céu claro sem chuvas (MOLION e BERNARDO, 2002).

As Ondas de Leste (OE) representam o principal sistema atmosférico produtor de chuvas no litoral oriental do Nordeste brasileiro, desde o Recôncavo baiano, até o estado do Rio Grande do Norte, alcançando por vezes o estado do Ceará (FERREIRA e MELO, 2005). Esse sistema se caracteriza por uma perturbação barométrica no campo de propagação dos ventos alísios, resultado a convergência dos ventos de sul, associados aos sistemas frontais, com os ventos de leste, se deslocando do oceano para o continente. Molion e Bernardo (2002) propuseram que o processo de formação desses fenômenos está relacionado a penetrações de sistemas frontais provenientes dos dois hemisférios e a complexos convectivos de mesoescala da região da ZCIT e da costa africana. Barbosa (2005) estudou o comportamento das Ondas de Leste entre 1984 e 1998, concluindo que as mesmas estão relacionadas com a gênese de 60% das perturbações convectivas que se propagam por mais de 450 km continente adentro.

A Pesquisa desenvolvida por Cavalcanti e Kousky (1982) *apud* MOLION e BERNARDO (2002), a partir de imagens dos satélites GOES e METEOSAT, observou que essas perturbações se desenvolvem mais intensamente quando se aproximam da costa devido ao aumento de Convergência de Umidade sobre a costa leste do Nordeste. Os referidos autores observam ainda que a confluência desses sistemas com a brisa terrestre provoca sua intensificação, causando totais pluviométricos superiores a 100 mm por dia, com rajadas de vento superiores a 50 Km/h.

Entre os meses de abril a junho ocorre a instalação da Zona de Convergência da costa leste do Nordeste (ZCEN), representando os meses mais chuvosos no leste da região Nordeste do Brasil. Havendo anomalia positiva na temperatura da superfície do

mar (TSM), o transporte de umidade é maior e a ZCEN será mais intensa (MOLION e BERNARDO, 2002).

Com base em Cavalcanti e Kousky (1982); Molion e Bernardo (2002); Ferreira e Melo (2005) e; Nóbrega e Santiago (2014), os anos de chuva mais intensa no nordeste Brasileiro estão relacionados com ocorrência do fenômeno La Niña (resfriamento anômalo das águas do oceano Pacífico) associado ao Dipolo negativo do oceano Atlântico. Essa condição permite o deslocamento da ZCIT para posição mais ao Sul da linha do Equador, o que favorece a intensificação das chuvas na região.

Pereira *et al.*, (2012) afirma que o município de João Pessoa apresenta dois regimes climático: a quadra chuvosa, que corresponde ao período estabelecido entre o verão, outono e início do inverno, sendo os meses de Abril a Julho os mais representativos do período; e a quadra seca equivalente, que corresponde ao período final do inverno e toda a primavera. Ainda segundo o mesmo autor, os sistemas atuantes mais importantes para a geração das chuvas são a ZCIT, os VCAS e OE.

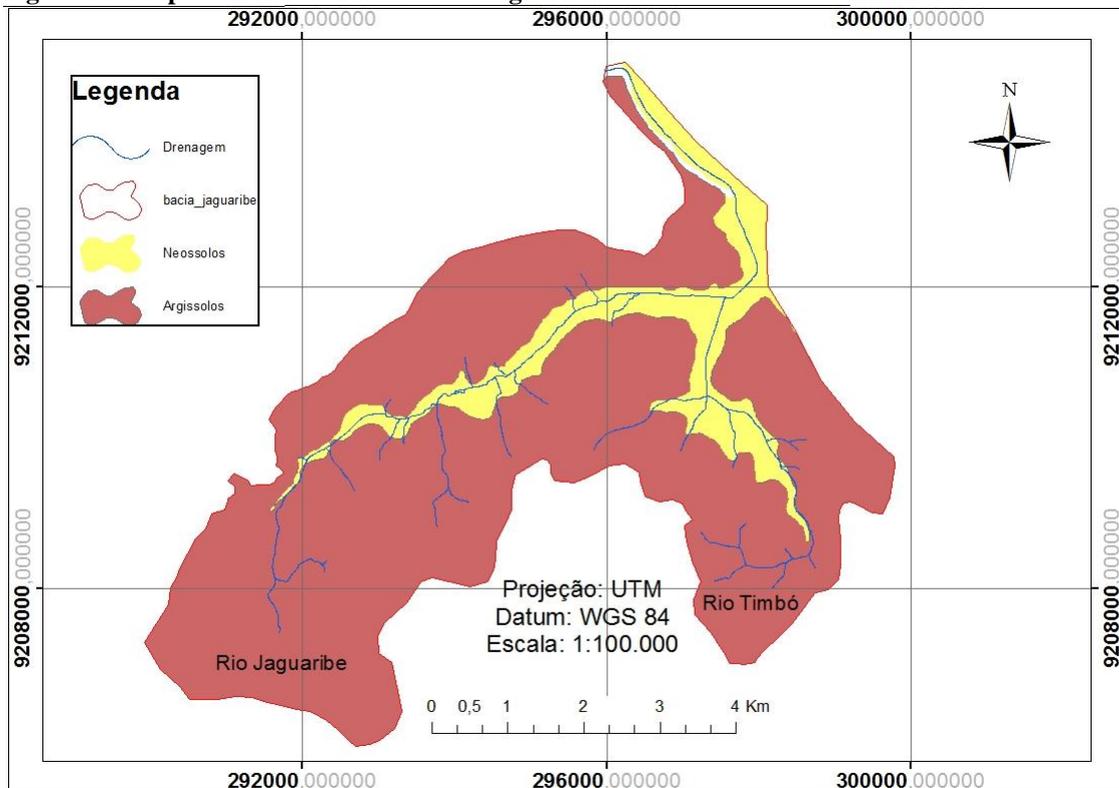
Analisando a série histórica da cidade de João Pessoa, entre os anos de 1981 a 2009, Pereira *et al.* (2012) verificou a ocorrência de 143 eventos pluviométricos de intensa precipitação no município, como chuvas diárias superiores a 60 mm, com maior ênfase para os anos 1985, 1990 e 2009. Tal situação representa uma ruptura no sistema ambiental característico da área em estudo, representando um fator de risco, que é potencializado pela forte urbanização e impermeabilização do solo que caracterizam o médio e baixo curso do canal fluvial da bacia em estudo.

#### **4.4 ASPECTOS PEDOLÓGICOS**

A caracterização pedológica da área de estudo foi descrita com base no levantamento exploratório dos solos do estado da Paraíba, realizado pela Embrapa solos (1972). Esse mapeamento foi realizado de modo generalizado, em escala de 1:500.000, constituindo apenas uma visão global da ocorrência dos tipos de solos descritos. Desse modo, foi verificada a ocorrência de dois tipos de solos na baía do rio Jaguaribe: Neossolos e Argilossolos (figura 11). Além desses dados, foram também consultados

as pesquisas realizadas por Melo *et al.* (2001) e Oliveira (2001), sendo possível descrever a ocorrência de outros tipos de solos.

**Figura 11: Mapa de Solos da Bacia do rio Jaguaribe.**



Fonte: Embrapa, 1972 (Adaptado).

A ocorrência de Neossolos, na área de estudo está associada às áreas de várzea do vale do rio Jaguaribe e do rio Timbó em seu baixo curso. SHINZATO *et. al* (2008) descrevem esse tipo de solo como pouco desenvolvido, sem apresentar horizonte B, reunindo solos rasos (Neossolos litólicos), solos profundos e arenosos (Neossolos quatzarênicos), solos com horizonte A sobre o C e minerais primários de fácil decomposição (Neossolo regolítico) e, solos de natureza aluvionar (Neossolos flúvicos). A principal característica desses solos é a estratificação em camadas sem nenhuma relação pedogenética entre si, apresentando drenagem moderada e material originário constituído por sedimentos aluviais e colúvio-aluviais (areno-quartzosos), não consolidados, de natureza variada. Segundo Oliveira (2001), este tipo de solo encontra-se inserido na área no trecho compreendido entre o bairro de Cabo Branco (baixo curso fluvial) até a desembocadura do rio Jaguaribe, no rio Mandacaru.

Os Espodossolos ocorrem em alguns trechos dos tabuleiros onde há uma espessa cobertura arenosa e na baixada litorânea (OLIVEIRA, 2001), onde sua condição arenosa

determina elevada permeabilidade, constituindo solos com horizonte B espódico, hidromórfico, de drenagem imperfeita, permeabilidade rápida no horizonte A e lenta no horizonte de acumulação, o que provoca a rápida saturação do solo em períodos chuvosos, ocorrendo associados à Neossolos, Argissolos e Latossolos (SHINZATO *et al.*, 2008).

Nas áreas encharcadas permanentemente (áreas ribeirinhas e fundo de vale fluvial) Oliveira (2001) destaca a ocorrência de organossolos. Refere-se a um tipo de solo essencialmente orgânico de idade holocênica, mal drenado, proveniente de acumulação de restos vegetais.

Os Argissolos representam o tipo de solo de ocorre de forma mais abrangente na área de estudos, ocorrendo camadas de concreções ferruginosas como uma de suas principais características. Segundo SHINZATO *et. al* (2008), nesse tipo de solo o teor de argila no horizonte B (subsuperfial) é maior que no horizonte A (superficial), abrangendo uma ampla diversidade de solos, desde rasos, profundos, abrupto, eutróficos, distróficos, com cascalho e, com fragipã.

Os solos que se desenvolvem sobre os tabuleiros apresentam camadas alternadas, variando camadas mais argilosas ou mais arenosas, o que segundo Melo *et al.* (2001) indica mudanças no processo de deposição. São geralmente solos profundos, com horizontes pouco diferenciados, relativamente ricos em óxido de ferro e alumínio, apresentando alto grau de flocculação, o que lhes confere uma relativa resistência à erosão.

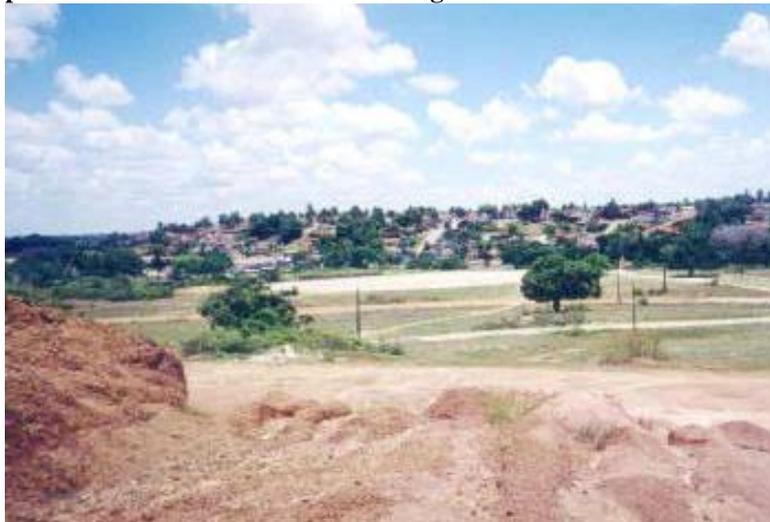
#### **4.5 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E VEGETAÇÃO**

A bacia do rio Jaguaribe está totalmente inserida no sitio urbano do município de João Pessoa/PB, o que lhe confere a ocorrência de processos geomorfológicos majorados pela ação antrópica. Ainda assim, podemos destacar a presença de uma unidade de conservação, o Jardim Botânico Benjamim Maranhão, popularmente conhecido como “Mata do Buraquinho”.

Numa área próxima as nascentes do rio Jaguaribe, localizada nas proximidades do conjunto habitacional Vale das Palmeiras, podem ser encontrados resquícios de uma antiga exploração mineral, conforme Oliveira (2001). Nesse contexto são observadas situações de erosão linear, formando sulcos, ravinas e voçorocas, que segundo o mesmo autor tem contribuído para o processo de assoreamento na calha fluvial (Figura 12).

Com base em Melo *et al.* (2001), até meados da década de 1970, o uso e ocupação da terra em todo o vale do Jaguaribe era predominantemente rural. Toda a área estava ocupada por granjas e sítios de pequeno porte, onde eram praticadas

**Figura 12: Antiga área de exploração mineral localizadas nas proximidades das nascentes do rio Jaguaribe.**

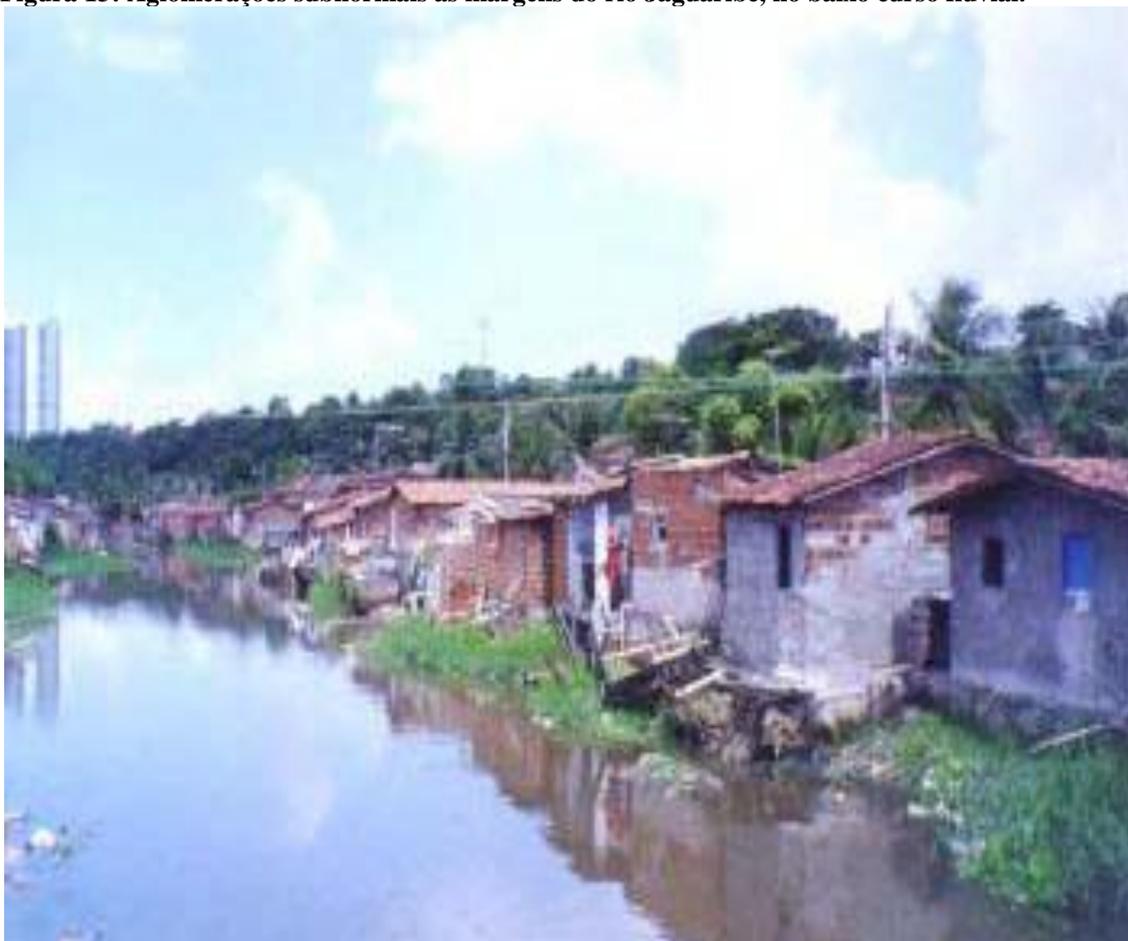


Fonte: Oliveira (2001).

atividades agropecuárias, como plantio de feijão, mandioca, inhame, macaxeira e criação de gado leiteiro, voltados ao abastecimento dos mercados em João Pessoa.

Ainda segundo o mesmo autor, é a partir da década de 1980 que ocorre com mais evidência o processo de urbanização da área e o aparecimento dos primeiros aglomerados subnormais, assim denominadas: Baleado, no alto curso fluvial; Padre Hildon, São Rafael, Santa Clara, Matinha, no médio curso fluvial e; Chatuba, Timbó e São José, no baixo curso fluvial (Figura 13).

**Figura 13: Aglomerações subnormais as margens do rio Jaguaribe, no baixo curso fluvial.**



Fonte: Oliveira (2001).

O distinto modo de ocupação por habitações de baixo padrão e alto/médio padrão imobiliário pode ser representado pelo contexto encontrado no baixo curso fluvial, mais precisamente entre os bairros São José (baixo padrão) e Manaíra (alto e médio padrão). Tal situação está descrita na (figura 14), onde é possível observar a proximidade espacial dos diferentes modos de ocupação do solo.

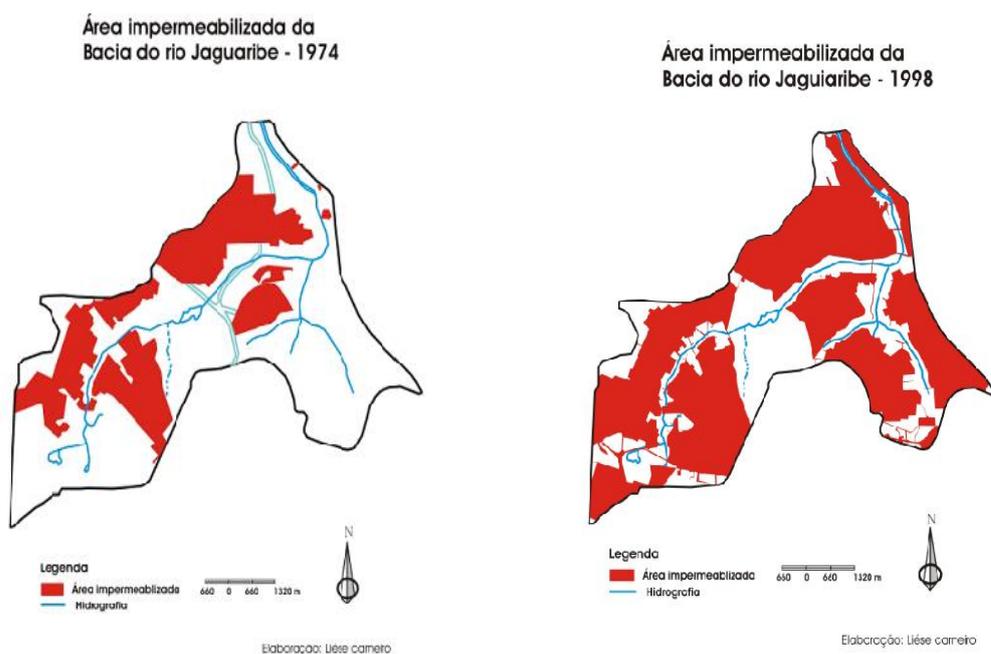
**Figura 14: Tipos de ocupação nos bairros São José e Manaíra.**



Fonte: Oliveira (2001).

O processo de impermeabilização do solo surge como um aspecto relevante a ser considerado, tendo em vista que a bacia do rio Jaguaribe apresenta forte processo de urbanização. A esse respeito, Sobreira (2006) observa que entre os anos de 1974 e 1998 a área impermeabilizada na bacia cresceu entorno de 51,81% (Figura 15). Essa situação revela que a ocorrência de enchentes na área é favorecida pela diminuição da infiltração da água no solo, aumentando assim o volume da água no escoamento superficial.

**Figura 15: Evolução do processo de impermeabilização na bacia do rio Jaguaribe entre os anos de 1974 a 1998.**



Fonte: Sobreira (2006)

Em contrapartida, ainda podemos encontrar nesse contexto uma reserva de mata atlântica, conhecida como Mata do Buraquinho, que atualmente se encontra na condição de uma unidade de conservação de uso integral. Esse tipo de vegetação é classificada por Melo *et al.* (2001) como floresta ombrófila de Terras baixas, representando remanescentes bastante secundarizado, de porte variado, ocupando uma área de 571 hectares, aproximadamente. No interior dessa reserva foi construída uma barragem, inaugurada em 12 de Maio de 1912, constituindo o primeiro sistema de abastecimento de água da cidade de João Pessoa. A intenção de preservar a mata do Buraquinho estava no intuito de proteger essa barragem (MELO *et al.*, 2001). Atualmente essa área não exerce mais essa função, ficando o abastecimento de água da cidade de João Pessoa a cargo do açude de Marés e da barragem Gramame/Mamoaba.

Sobre os tabuleiros ocorre a formação de vegetação arbustivo-arbórea, características de cerrado, denominada de vegetação de tabuleiro, ocorrendo, sobretudo na faixa litorânea e em alguns trechos da mata do Buraquinho. Nas áreas de várzeas o autor descreve a ocorrência de herbácea, representadas por hidrófitas e higrófitas (Melo *et al.*, 2001).

Destaca-se ainda a formação de Manguezal, evidenciando a influência das marés sobre o sistema fluvial da bacia do rio Jaguaribe. A formação de mangue ocorre na desembocadura atual do rio Jaguaribe, exatamente na confluência com o rio Mandacaru, entre os Bairros São José, Manaíra e Ipês, bem como na sua antiga foz, na divisa dos Municípios de João Pessoa e Cabedelo, no bairro do Bessa. Trata-se de uma formação vegetal de espécies lenhosas e perenifólias, extremamente adaptadas a um ambiente helófito e halófito, estando sua formação associada às oscilações das marés e às cheias. Essa formação vegetal ocorre na planície fluvio-marinha, destacando-se com mais evidência as seguintes espécies: *Rhizophora mangle* (Mangue vermelho), *Avicennia schaueriana* (mangue siriúba) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco) (Melo *et al.*, 2001).

É importante enfatizar que todas essas áreas descritas encontram-se atualmente bastante alteradas, pois, como já exposto anteriormente, toda a área da bacia está sofrendo forte processo de urbanização, ocasionando, portanto em alterações na fisionomia de sua paisagem, conforme ilustra a (Figura 16).

**Figura 16: Processo de urbanização no entorno do canal fluvial, no alto curso do rio Jaguaribe, nas imediações do bairro de Cruz das Armas, João Pessoa (PB).**



Fonte: *Google Earth* (21.09.2015)

## 5 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Os procedimentos metodológicos adotados nessa pesquisa têm o intuito de compreender a susceptibilidade de ocorrência dos eventos de enchentes na bacia do rio Jaguaribe, considerando suas características físicas e antrópicas.

Para tanto, adotou-se a caracterização morfométrica, fundamentada na análise areal de bacias hidrográficas proposta por Christofolletti (1980), como orientação metodológica central dessa pesquisa. A análise dos impactos gerados pela urbanização na bacia hidrográfica, e consequente ocorrência de situações riscos, foram analisados a partir da classificação dos tipos de usos e ocupação da terra, através da classificação de imagem de satélite, e também através de atividades de campo.

### 5.1 PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Inicialmente foi realizada a vetorização de curvas de nível das folhas I-11, I-12, J-11, J-12 e K-11, de escala 1:10.000, com equidistância de 5 metros entre as curvas de

nível, do convênio entre o INCRA/ESTADO DA PARAÍBA/SEDENE. A vetorização se deu em ambiente SIG.

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada de modo automático com base no *software Global Mapper 15*. As correções das distorções geradas na delimitação automática foram realizadas manualmente no *software Arcgis 10.2*, tomando por base a disposição das curvas de nível nas cartas topográficas.

O procedimento automático de delimitação da bacia se mostrou bastante satisfatório, pois apresentou um nível reduzido de erros, sendo necessária a realização de poucas correções.

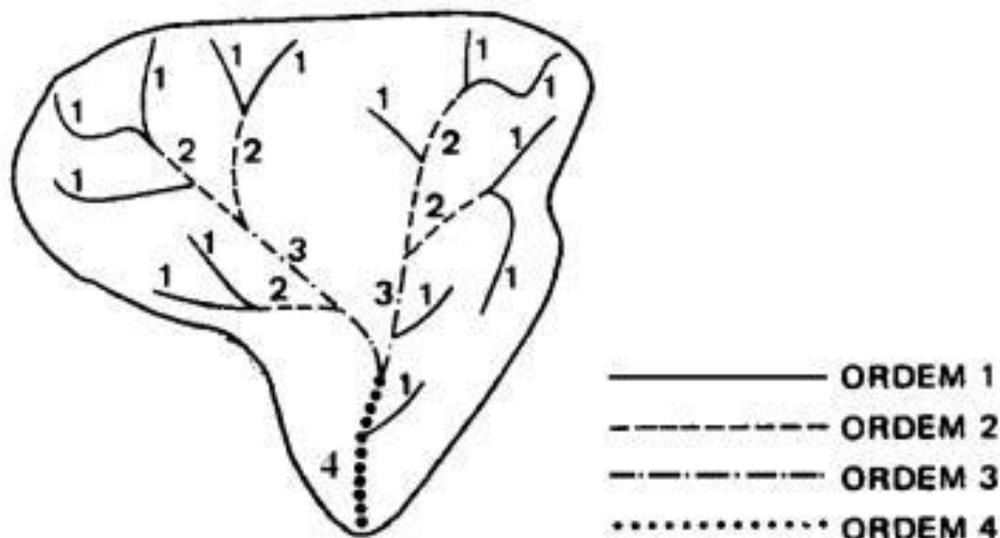
Em outras delimitações da bacia do rio Jaguaribe, encontradas em pesquisas anteriores e na delimitação oficial definida pela prefeitura de João Pessoa, a Lagoa Antonio Lins aparece dentro dos seus limites. No entanto, a delimitação proposta nesse trabalho não a considera como parte da área de estudo, por configurar uma bacia fechada, radial centrípeta, estando fora da área de estudo, conforme descreve Vital, 2015.

A extração das drenagens foi realizada de modo manual, baseando-se nas curvas de nível. O resultado dessa tarefa serviu como base para definição da hierarquização fluvial da bacia, fundamentada em STRAHLER (1952) *apud* CHRISTOFOLETTI (1980).

O primeiro passo para realizar a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é determinar a hierarquia fluvial, que consiste em quantificar e ordenar os canais fluviais que ocorrem na bacia (Figura 17). Segundo a classificação da hierarquia fluvial proposta por STRAHLER (1952) *apud* (CHRISTOFOLETTI 1980, p.104)

(...) os menores canais, são tributários, são considerados como de primeira de ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda surgem como confluência dos canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem podendo receber tributários de ordens inferiores.

Figura 17: Hierarquia fluvial segundo Strahler (1952).



Fonte: Strahler (1952) apud Christofolletti (1980).

A respeito da densidade de drenagem, Maia *et. al.* (2009) explica que a mesma varia diretamente com a extensão do escoamento superficial, fornecendo indicação a respeito da eficiência da drenagem natural de uma bacia. Também afirma que bacias bem drenadas tendem a estar mais sujeitas a cheias e alagamentos. Esse índice está relacionado às características climáticas e o comportamento hidrológico de uma área. Nas rochas de menor permeabilidade há favorecimento ao processo de escoamento superficial, gerando canais fluviais bem esculturados e bem dissecados. Em rochas mais permeáveis, o processo de infiltração diminui o escoamento superficial, ocorrendo, portanto, a formação de canais mais longos e menos dissecados. A densidade de drenagem pode ser calculada a partir da seguinte fórmula:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde, Lt = comprimento total de todos os canais e A=área de drenagem.

O coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia hidrográfica a um círculo. Cardoso (2006) define que quanto mais irregular for à bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Valores próximos a 1 indicam bacia mais circular e mais suscetíveis a enchentes, pois tendem a concentrar o escoamento superficial em um

trecho pequeno do rio principal (Oliveira, et.al., 2010). Esse índice pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde Kc é o coeficiente de compacidade, P = Perímetro da bacia em (m) e A = área da bacia em (m<sup>2</sup>).

O fator forma relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão) e fornece um indicativo estrutural a respeito da geologia da bacia (Cardoso *et al.*, 2006). Essa interferência pode determinar a velocidade da água, pois leitos rochosos promovem uma maior velocidade do fluxo. Esse tipo de leito rochoso está normalmente associado a áreas bastante dobradas (CHRISTOFOLLETI, 1981), o que não ocorre na área de estudo. Uma bacia com fator forma baixo é menos propensa a enchentes que outra de mesma área, porém com fator forma maior. Esse índice pode ser obtido a partir da seguinte fórmula:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Onde A = área de bacia e L = comprimento do eixo da bacia.

O índice de circularidade estabelece valores próximos a 1 que indicam bacias mais abertas (circulares), com menor probabilidade de sofrer com enchentes, e valores maiores que 1, indicam bacias mais estreitas, onde há maior chance de ocorrência de enchentes. Com base em Cardoso et. al (2006), esse índice pode ser obtido pela seguinte fórmula:

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

Onde A = área da bacia e P = perímetro da bacia.

## 5.2 MAPA DO RELEVO

A classificação das formas do relevo partiu das informações altimétricas obtidas a partir das curvas de nível vetorizadas nas cartas topográficas e das observações de campo. Desse modo, as áreas onde as cotas altimétricas estavam acima de 45 metros foram definidas com tabuleiros costeiros. Essas áreas circundam toda a área de bacia, apresentando poucas variações e alcançando no máximo 55 metros. A delimitação das vertentes baseou-se na variação altimétrica entre 25 e 45 metros. Foi considerada também a distância entre as curvas de nível, que em alguns pontos encontram-se bastante próximas, denotando um vertente bastante íngreme e, em outros pontos encontram-se relativamente afastadas, denotando uma vertente suave, pouco inclinada. A planície fluvial foi definida a partir dos dados de declividade e da variação altimétrica entre 5 a 25 metros, uma vez que no alto curso fluvial, essa forma do relevo ocorre a 25 metros, porém, no baixo curso, chega à cota de 5 metros.

Tal como para os parâmetros morfométricos, o procedimento utilizado para a vetorização das curvas de nível foi realizado em ambiente SIG.

## 5.3 MAPA DE DECLIVIDADE

O mapa de declividade referente à bacia do rio Jaguaribe foi elaborado com base no Modelo Numérico do Terreno (MNT) que, por sua vez, foi elaborado com base nas curvas de nível extraídas das cartas topográficas.

O processo de elaboração do MNT pode ser dividido em duas etapas: aquisição das amostras (aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse. Geralmente essas amostras estão representadas por curvas de nível e pontos tridimensionais) e; geração do modelo propriamente dito ou interpolação (criação de estruturas de dados e a definição de superfícies de ajuste com o objetivo de se obter uma representação contínua do fenômeno a partir das amostras) (FELGUEIRAS e CÂMARA, 2001).

O MNT da área de estudo foi processado tomando por base as derivações de declividades, em ambiente SIG. Foram definidas seis (06) classes de declividade, como base em Valadares *et al.* (2005) na (tabela 1).

**Tabela 1– Classes de declividade segundo a EMBRAPA.**

Nome da Classe	Declividade (%)
Plano	0-3
Suave ondulado	3-8
Moderadamente ondulado	8-13
Ondulado	13-20
Forte ondulado	20-45
Montanhoso ou escarpado	>45

Fonte: Valadares *et al.*, 2005.

#### 5.4 PERFIL LONGITUDINAL

O perfil longitudinal de rios é definido por Christofolletti (1980) como sendo a relação entre a altimetria e o comprimento de determinado curso de água, sendo considerado um perfil equilibrado quando apresenta características côncavas, declividades maiores em direção a nascente e declividades suaves em direção a base.

A definição do perfil longitudinal foi realizada a partir da criação de um traçado sobre as curvas de nível que cruzam ao canal principal. Esse traçado considerou as cotas altimétricas das curvas de nível que cortam o leito fluvial. Desse modo foi possível observar o declive apresentado pelo rio Jaguaribe em toda a sua extensão.

#### 5.5 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O mapeamento do uso e ocupação da terra foi realizado a partir da aplicação da classificação supervisionada de imagem de satélite, que consiste numa técnica de sensoriamento remoto, bastante utilizada como método para reconhecer os elementos que recobrem a superfície terrestre. A classificação do uso e ocupação da terra é um requisito importante na análise da vulnerabilidade da paisagem urbana frente a problemas de risco, como as enchentes e o movimento de massa (GOES *et al.*, 2011).

Para este fim, a classificação de uma imagem de satélite consistiu basicamente em identificar os tipos de cobertura do solo representados na imagem, a partir da sua resposta espectral. Com o auxílio do software é realizada a leitura dos pixels referentes a cada tipo de cobertura do solo, sendo necessário realizar primeiramente a coleta de amostra de pixels. A coleta dessas amostras pode ser realizada de modo manual (classificação supervisionada) ou de modo automático (classificação não supervisionada).

Nessa pesquisa, foi utilizada a imagem do satélite *Rapideye*, referente ao ano de 2013. Essa imagem possui resolução espacial de 5 metros, 3 bandas no visível e duas no infravermelho próximo, além de possuir alta eficiência em termos de resolução temporal.

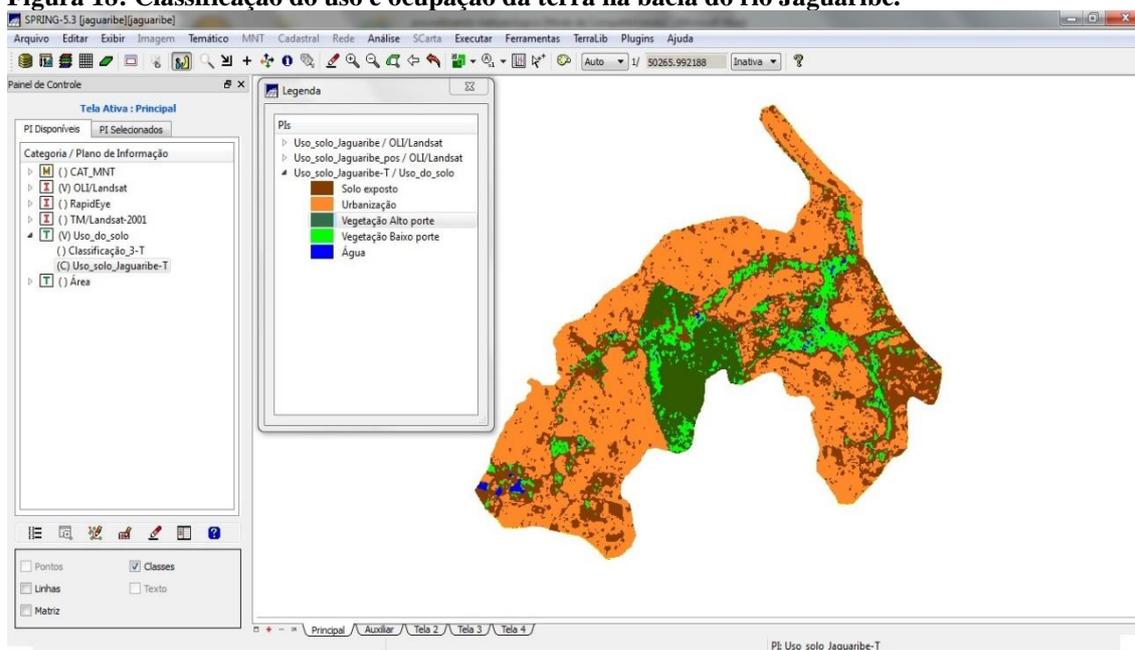
A classificação da imagem foi feita no programa SPRING 5.3, no modo classificação supervisionada (*Maxver*), a partir do limiar de aceitação em 99%. Desse modo, é possível diminuir a quantidade de erros na classificação.

A composição da imagem em falsa cor foi feita a partir da aplicação do canal R (*red*) na banda 3; do canal G (*green*) na banda 4; e do canal B (*blue*) na banda 5, o que permitiu uma mais clara visualização dos tipos de cobertura da terra. Para cada uma dessas classes foi realizada coleta do máximo de pixels possíveis na imagem, referente a resposta espectral desses elementos.

Com base nos *pixels* colotados, o programa classificou todos os demais pixels que apresentavam a mesma resposta espectral que estes, a partir das classes anteriormente criadas.

A (figura 18) representa a tela do programa SPRING 5.3 apresentada no computador no procedimento de classificação de uma imagem de satélite. Na referida figura, é possível observar a imagem de satélite já classificada, e ao lado, sua respectiva legenda.

**Figura 18: Classificação do uso e ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe.**



Foram diferenciadas cinco classes de uso (água; vegetação nativa; vegetação secundária; urbanização e; urbanização/solo exposto). O critério estabelecido para a definição das classes de uso baseou-se na resolução espacial da imagem de satélite, ou seja, nos atributos espaciais representados na imagem.

## 5.6 ANÁLISE DOCUMENTAL

A coleta de documentos e material midiático sobre a área de estudos corresponde à outra importante etapa do desenvolvimento da pesquisa. Tais documentos são resultados de vistorias técnicas e estudos referentes às áreas de risco no município de João Pessoa realizadas pela Defesa Civil da referida cidade, que prontamente colocou-os a disposição dessa pesquisa.

O material disponibilizado pela Defesa Civil é composto de relatórios técnicos sobre as áreas de risco, contendo diagnósticos a cerca da condição estrutural e localização das residências, o nível de vulnerabilidade frente às situações risco, e acervo fotográfico.

Desse modo, os documentos consultados foram os relatórios de vistoria técnica 05, 015, 041, 049 do ano de 2014; e os relatórios 069, 106 e 107, referentes ao ano de 2012. Todos esses documentos foram acessados junto ao banco de dados armazenado pela Defesa Civil do município de João Pessoa.

## **5.7 TRABALHOS DE CAMPO**

Os trabalhos de campo ocorreram entre os meses de fevereiro e outubro de 2015, e tiveram o objetivo analisar a vulnerabilidade da população residente frente à atuação de processos geomorfológicos e as situações desencadeadoras desses processos. Desse modo, foram realizadas três visitas de campo, ao longo do baixo, médio e alto curso do rio Jaguaribe.

Os procedimentos adotados nessas atividades consistiu em fotografar e descrever as áreas. Sua execução foi de grande importância para a comprovação dos dados que foram produzidos utilizando-se de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Essa etapa da pesquisa foi crucial para a diferenciação do modo de uso e ocupação da terra na área de estudo. A percepção do baixo caudal do rio, em quase toda sua extensão, por exemplo, foi verificada tanto na sua inexpressiva representação no mapa de uso da terra, como nas visitas de campo, onde foi possível perceber sua condição fortemente assoreada e os impactos causados pela urbanização.

Outro aspecto importante verificado apenas na atividade de campo é a ocorrência de recobrimento do solo por asfalto ou calçamento das ruas apenas na parte interfluvial da bacia, deixando a área de contato entre as vertentes e a planície fluvial expostas. Esse é um importante fator gerador erosão na bacia e do assoreamento do canal. Esse aspecto não pode ser descrito de modo detalhado no mapa de cobertura da terra, uma vez que a resolução espacial da imagem utilizada não permite tamanho detalhamento.

Com relação ao relevo, a visualização de campo comprovou a delimitação realizada a partir dos dados altimétricos. Foi observado com mais evidência a ocorrência dos tabuleiros e da planície fluvial, intercedidos pelas vertentes. Essa

observação orientou a descrição dos processos e das situações de risco, associadas ao modo de uso da terra.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesse capítulo serão abordados os resultados obtidos na pesquisa, obedecendo a seguinte ordem: caracterização física da área de estudo, formas de uso e ocupação da terra e descrição dos impactos gerados pela ação antrópica e, áreas de risco de enchentes e erosão na bacia do rio Jaguaribe.

Essa análise é realizada a partir da caracterização morfométrica da bacia do rio Jaguaribe, que pretende apontar a vocação da bacia para ocorrência de eventos, tais como enchentes e inundações. Num segundo momento, é abordada a descrição dos tipos de cobertura da terra, destacando os impactos da urbanização na bacia, tais como a impermeabilização do solo, formação de processos erosivos e o consequente assoreamento dos canais fluviais. No terceiro momento, são apresentadas áreas de risco na referida bacia.

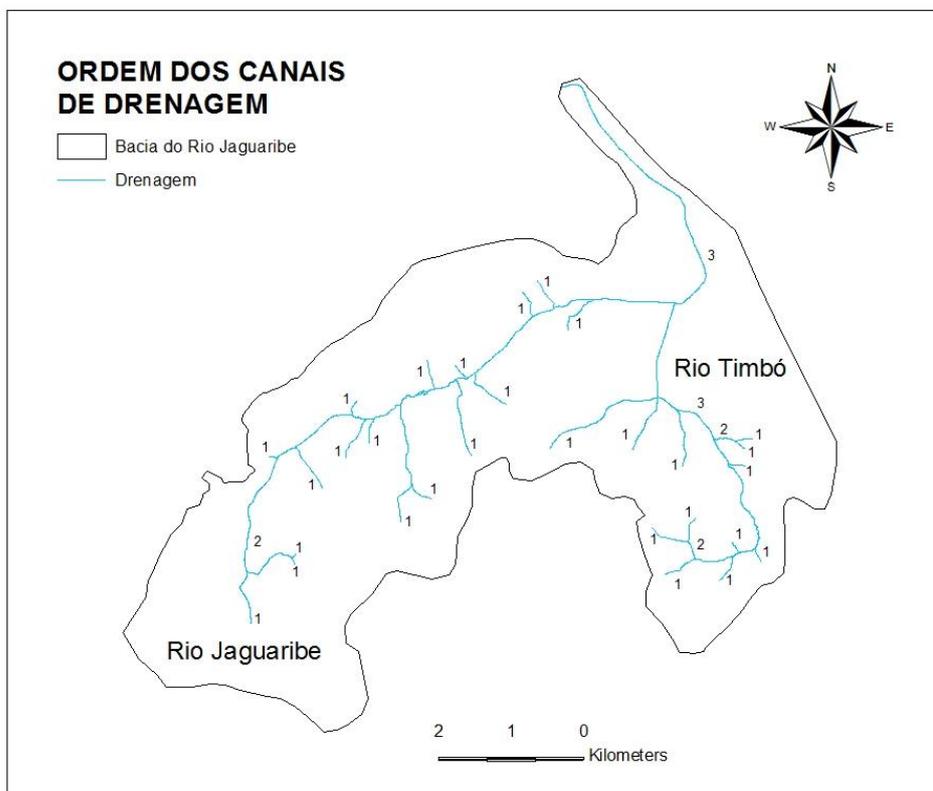
### **6.1 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO JAGUARIBE**

A drenagem da bacia do rio Jaguaribe é classificada como padrão dentrítico, estando seus canais fluviais confluindo para um canal principal, formando em alguns casos ângulos retos, o que indica a atuação de fenômenos tectônicos, como ocorre na confluência do rio Jaguaribe e o Timbó (Figura 19).

A classificação hierárquica da referida bacia apresenta 29 canais de 1ª ordem, 03 canais de 2ª ordem e 02 canais de 3ª ordem, como pode ser observado na (figura 19). É importante destacar que todas as confluências entre os canais de 1º e de 2º ordem, e destes com os canais de 3º ordem, ocorrem no alto e médio curso fluvial, entalhando os tabuleiros litorâneos. A partir do baixo curso, encontra-se apenas a formação de canal de 3º ordem, no contexto das planícies litorâneas.

A baixa ordenação dos canais fluviais na bacia do rio Jaguaribe indica um relevo pouco dissecado, relativamente plano, de baixa densidade de drenagem.

**Figura 19: Hierarquia fluvial da bacia do rio Jaguaribe.**



Muitos desses canais mapeados encontram-se aterrados devido o processo de urbanização, o que provoca a redução da vazão. Essa situação provavelmente justifica o pequeno caudal apresentado pelo rio Jaguaribe no alto curso, na área localizada entre as nascentes e a mata do Buraquinho. A partir desse ponto, observa-se uma maior vazão do rio, como resultado da preservação das nascentes e dos canais que se formam no interior da referida mata, havendo, portanto um considerável aumento do caudal fluvial.

Desse modo, a área da bacia para onde converge o fluxo de todos os canais de todas as ordens fluviais está localizada depois da confluência do rio Jaguaribe com o rio Timbó, exatamente na área onde de forma canal de 3º ordem, onde localiza-se o Bairro São José.

### 6.1.1 Densidade de drenagem

A densidade de drenagem, segundo Cardoso *et al.* (2006), indica a eficiência da drenagem de uma bacia hidrográfica, representando a velocidade aproximada que a água escoar na bacia. Esse índice considera a relação entre o comprimento total dos canais de escoamento e a área da bacia, podendo variar de 0,5 Km/Km<sup>2</sup> numa bacia de drenagem pobre, até 3,5 Km/Km<sup>2</sup> ou mais em bacias bem drenadas (VILLELA e MATTOS, 1975 *apud* CARDOSO *et al.*, 2006).

Para a bacia do rio Jaguaribe, o valor encontrado foi de 0,93, o que indica baixa densidade de drenagem, característica de uma área sedimentar, de relevo relativamente plano, pouco ondulado, o que favorece uma maior capacidade de infiltração da água no solo e a consequente diminuição do escoamento superficial. Para Granell-Pérez (2001), uma baixa densidade de drenagem, dentre outros fatores, é indicadora de um relevo suave.

Apesar da área em questão apresentar altos índices pluviométricos, aproximadamente 2.000 mm anuais, as características geológico-geomorfológicas, indicam a possibilidade de serem mais determinantes a ocorrência de baixa densidade de drenagem.

No entanto, a situação acima descrita torna-se relevante apenas num contexto natural da bacia. No momento em que há a inserção de elementos antrópicos como a urbanização, essa dinâmica será amplamente alterada.

Considerando a densidade de drenagem como um índice indicador da capacidade de escoamento de uma bacia hidrográfica, estabelecido a partir de relação entre o comprimento dos canais de drenagem e a área da bacia, é possível afirmar que a veracidade do seu resultado estará comprometida, pois, este cálculo não considera a influência da área impermeabilizada sobre o ciclo hidrológico. Sendo assim, o cálculo desse índice figura apenas como um indicador das características físicas da bacia hidrográfica em apreço.

O ciclo hidrológico na bacia do rio Jaguaribe apresenta forte alteração, uma vez que o processo de impermeabilização do solo reduz demasiadamente a capacidade de infiltração da água no solo, aumentando os índices de escoamento superficial e a

quantidade de água que chega aos canais rapidamente. Esse é um importante fator para compreender a ocorrência de enchentes na referida bacia por conta do aumento temporal da ocorrência dos picos de descarga/vazão.

### **6.1.2 Fator forma**

O valor obtido referente ao fator forma foi 0,5828, o que confere à bacia do rio Jaguaribe um formato alongado e pouco largo, próximo à forma de um retângulo. Esse formato indica mais uma vez a influência tectônica na dinâmica fluvial da referida bacia e a coloca numa situação de baixa probabilidade de ocorrência de enchentes.

O fator forma é o índice que relaciona a forma da bacia com um retângulo, estabelecendo a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, podendo ser influenciada, principalmente pela geologia (CARDOSO *et al.*, 2006). O fator forma baixo indica baixa probabilidade à ocorrência de enchentes.

### **6.1.3 Coeficiente de compacidade**

No caso do coeficiente de compacidade, valores significativamente superiores a 1, indicam uma bacia menos suscetível a enchentes. De modo inverso, quanto mais próximo a 1 for o valor referente a esse índice, mais circular será a bacia, tornando-a mais suscetível a ocorrência de enchentes, uma vez que bacias mais circulares tendem a concentrar maior fluxo em um único ponto (Cardoso *et al.*, 2006). Para a área de estudo, o valor encontrado foi 1,7327, indicando uma bacia irregular e alongada, portanto, menos propensa a ocorrência de enchentes.

### **6.1.4 Índice de circularidade**

Assim como o coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende a se aproximar da unidade 1 quanto mais circular for à bacia, e diminui à medida que se torna mais retangular (Cardoso *et al.*, 2006). Para a bacia do rio Jaguaribe, foi

encontrado o valor 0,3290, que indica uma bacia retangular, logo, apresenta baixa probabilidade à ocorrência de enchentes.

Todos os índices morfométricos referentes à bacia do rio Jaguaribe estão descritos na tabela 2.

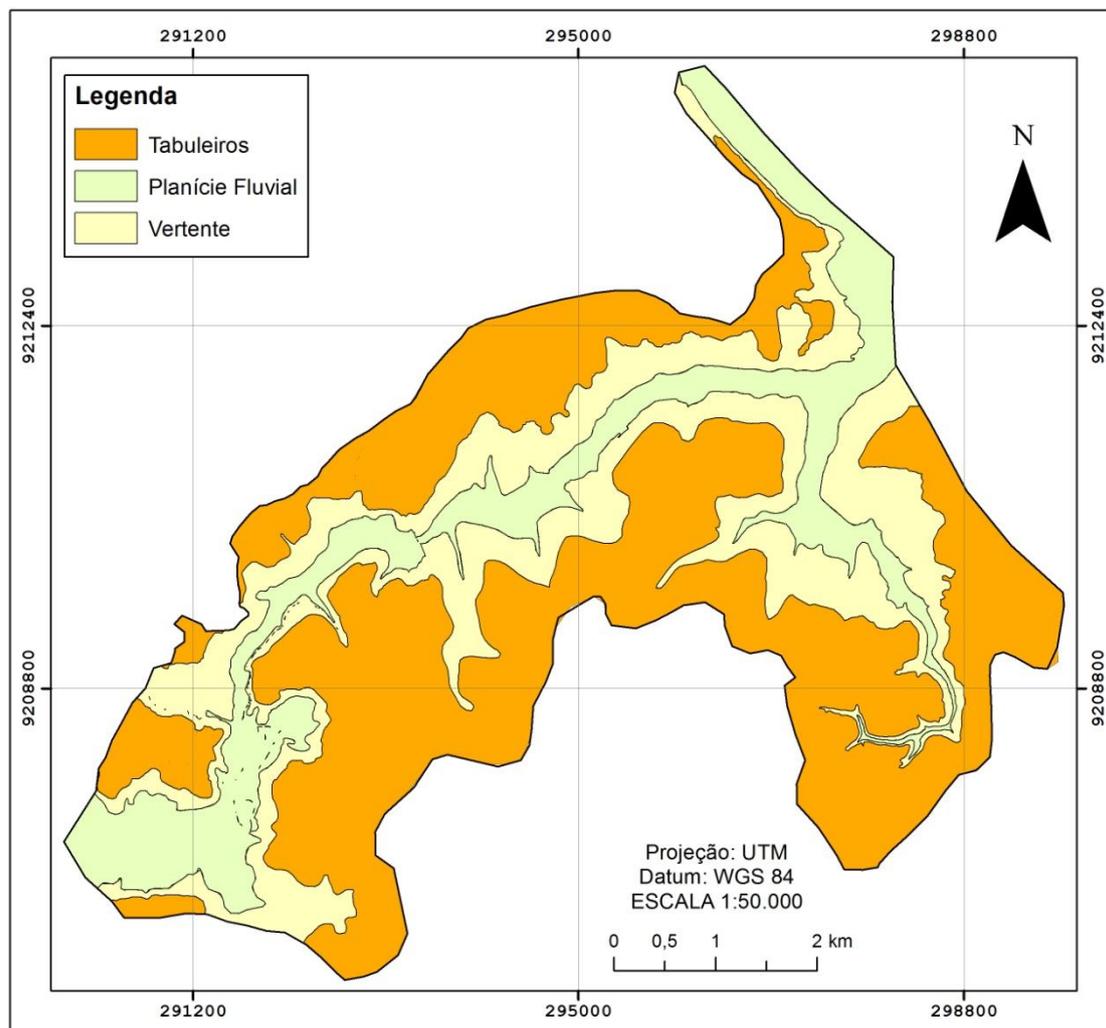
**Tabela 2 - Síntese dos dados morfométricos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe.**

<b>Dados morfométricos da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe</b>	
<b>Índice de circularidade</b>	0,3290
<b>Fator forma</b>	0,5828
<b>Coefficiente de compacidade</b>	1,7327
<b>Densidade de drenagem</b>	0,9305
<b>Ordem da bacia</b>	3
<b>Área da bacia</b>	37,30 Km <sup>2</sup>
<b>Perímetro</b>	37,75 Km

## **6.2 DINÂMICA SUPERFICIAL**

### **6.2.1 Unidades do Relevo**

De modo geral, o relevo na bacia do rio Jaguaribe está dividido em três unidades: tabuleiros, planície fluvial e as vertentes (Figura 20). Outras formas foram percebidas nas visitas de campo, porém, não foi viável mapeá-las, uma vez que o mapeamento geomorfológico não foi realizado nesta pesquisa. Além disso, entende-se que as formas mapeadas constituem os aspectos gerais do relevo e mais representativos para a área em termos de processos geomorfológicos. O conhecimento advindo desse mapeamento representa o requisito básico, no que se refere ao relevo, necessário para a classificação de situações de risco.

**Figura 20: Mapa de relevo.**

Os tabuleiros apresentam-se em forma plana e semiplana, com pouquíssimas variações altimétricas, alcançando cotas máximas no valor de 55 metros (Figura 21). Essa forma ocorre ao longo de toda bacia, limitando-se com os vales fluviais e com planície costeira.

A forma plana confere aos tabuleiros o predomínio do processo de infiltração da água, que é favorecido pela presença de solos arenosos, mais porosos e permeáveis que são os Espodossolos. Obviamente, essa situação não é mais a realidade em toda a bacia, tendo em vista o forte grau de urbanização, no qual se encontra a bacia hidrográfica em apreço.

Figura 21: Tabuleiros Costeiros.



Logo abaixo dessa camada pedológica encontram-se os pacotes argilosos da Formação Barreiras, ocorrendo a alguns metros de profundidade a formação de camadas ferruginosas, associadas a seixos de quartzo, o que cria diferentes níveis de erosão. Essa situação foi evidentemente percebida no contexto de uma voçoroca, localizadas no bairro de Cruz das Armas (figura 22), formando degraus erosivos, visivelmente determinados pelos níveis lateríticos presentes na camada argilosa.

As dificuldades de acesso impossibilitaram a captura de uma imagem mais representativa quanto à comprovação da formação dos degraus erosivos, uma vez que a área apresenta declive acentuado e encontra-se tomada por vegetação e resíduos sólidos, deixando evidente que já não há um fluxo concentrado e permanente, cessando o processo erosivo.

**Figura 22: Deposição de seixos imbricados associados à concentração de ferro.**



Fonte: O Autor.

A planície fluvial se desenvolve em toda a extensão da bacia, estendendo-se desde o alto curso até o baixo curso fluvial, situação que representa o baixo poder erosivo dos canais fluviais, formando um relevo pouco dissecado e taludes suaves. Para além desse aspecto, a baixa energia do relevo é também condicionada pela total cobertura sedimentar predominante, havendo, portanto, um predomínio da infiltração sobre o escoamento superficial.

Em relação à sua forma, a planície fluvial apresenta-se mais estreita em quase todo o alto e médio curso, exceto em algumas áreas, como nas proximidades das nascentes do rio Jaguaribe (figura 23); o interior da mata do Buraquinho, devido à construção de um reservatório de água; como também no médio curso do rio Timbó até a confluência com o rio Jaguaribe.

**Figura 23:** Área das principais nascentes do rio Jaguaribe, localizada as margens da BR 230, entre os bairros do Cristo Redentor, Esplanada e Cidade dos Funcionários I. Observa-se a ocorrência de uma área plana e relativamente larga. Além desse aspecto, observa-se o forte processo de eutrofização do canal fluvial, que se encontra assoreado e poluído pela disposição de esgotos.



Para além dessas observações, a imagem acima mostra a condição de uma planície fluvial ampla, onde o relevo apresenta baixa energia e predomínio dos processos deposicionais sobre os processos erosivos, numa área de alto curso fluvial.

Essa condição apresentada pela bacia é confirmada pelo pequeno caudal do rio Jaguaribe encontrado na área do alto e médio curso até a confluência com as drenagens formadas na mata do Buraquinho, uma vez que é perceptível apenas a formação de pequenos filetes de água, meandrando o canal fluvial, que se encontra bastante assoreado e fortemente eutrofizado (Figura 24).

Há, portanto, uma forte ligação entre a forma da planície fluvial no alto curso do rio Jaguaribe com a ocorrência de lagoas, popularmente conhecidas como três lagoas, formando uma área extravasada, larga e deprimida. Tais aspectos levantam dúvidas com relação à história evolutiva desse rio, não havendo ainda no meio científico uma explicação clara para tal aspecto.

**Figura 24: Formação de meandros no alto curso do rio Jaguaribe, na altura do bairro de Cruz das Armas.**



Essas lagoas que ocorrem na área das nascentes do rio Jaguaribe, representam uma forma de relevo cárstico que ocorrem na área de estudos, caracterizado por apresentar-se deprimida e circular.

No vale do rio Timbó, no alto curso, a planície fluvial apresenta-se mais estreita e encaixada, inserida num vale agudo, bastante íngreme, onde, observa-se a ocorrência de eventos de movimento de massa. Mais a jusante, a planície fluvial se alarga, como pode ser observado no mapa do relevo, ocorrendo, nessa área, eventos de enchentes.

As áreas de vertentes representam a intersecção entre o topo dos tabuleiros e a planície fluvial. A definição de sua área no mapa das unidades do relevo foi realizada de modo generalizado, agrupando as áreas mais inclinadas do relevo e os terraços fluviais que ocorrem ao longo da bacia. Esses patamares ocorrem em forma de degraus e representam antigos níveis de base do rio, marcando sua história evolutiva, estando sua ocorrência localizada predominantemente no médio curso fluvial, mais precisamente entre os bairros Castelo Branco e Expedicionário, ao longo da Avenida Beira rio e as margens da BR 230, próximo ao campus I da Universidade Federal da Paraíba.

A bacia do rio Jaguaribe apresenta áreas onde suas vertentes ocorrem de modo íngreme, como observado no vale do rio Timbó. Essa área apresenta os maiores graus de declividade na bacia, havendo uma forte tendência a ocorrência de processos de movimento de massa.

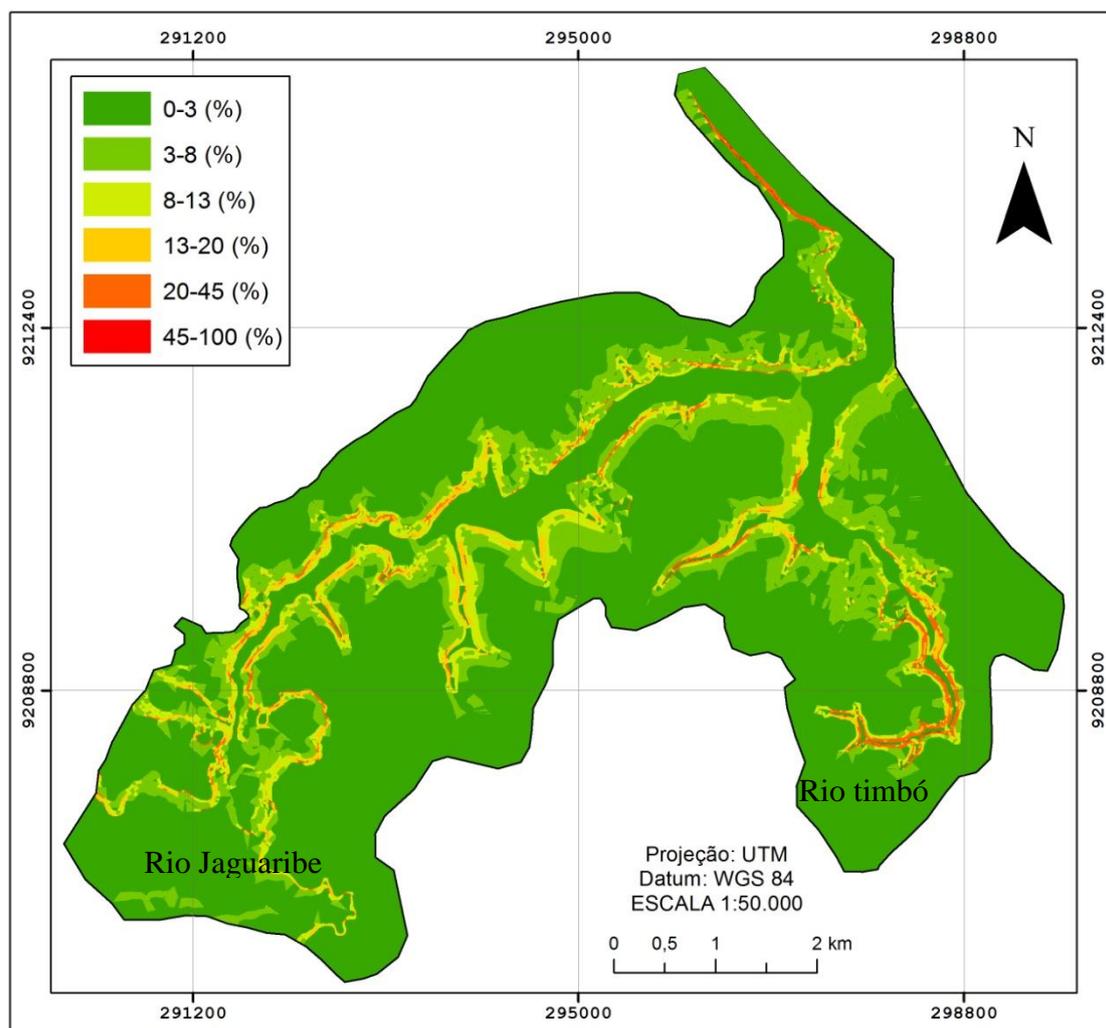
A exposição do solo na maioria das áreas de vertente constitui um dos problemas mais representativos no que se refere a processos erosivos. Além da ausência quase total de vegetação natural, ocorre a concentração de fluxo pluvial, além de diversos casos de destinação de esgotos clandestinos, gerados nas diversas residências localizadas nas vertentes e nas bordas das encostas (Figura 25).

**Figura 25: Disposição de fluxo pluvial e lançamento de efluentes nas vertentes do vale fluvial do rio Jaguaribe, no bairro Cruz das Armas, alto curso fluvial.**



### 6.2.2 Declividade

A declividade na bacia do rio Jaguaribe apresenta-se, em geral, de modo suavizado, sendo mais expressiva na intersecção dos tabuleiros com a planície fluvial, no baixo curso do rio Jaguaribe e nas cabeceiras do rio Timbó (Figura 26).

**Figura 26: Mapa de declividade.**

Com base na (tabela 3), observamos que predomina na área de estudo a classe de declividade “plano”, evidenciando a baixa energia do relevo e o predomínio de uma superfície plana em mais da metade da área da bacia.

Em quase toda a área da bacia do rio Jaguaribe, o relevo apresenta forma plana, pouco ondulada, com declividade média variando entre 0 e 8%. A classe que varia entre 8 e 20% é representada por rampas suaves que intercedem o topo dos tabuleiros e as vertentes mais íngremes.

**Tabela 3 - Classes de declividade da Bacia do rio Jaguaribe.**

CLASSE DE DECLIVIDADE	PERCENTUAL %
Plano	75,5
Suave ondulado	14,5
Moderadamente ondulado	5,8
Ondulado	2,7
Forte ondulado	1,5
Montanhoso ou escarpado	0,05
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Os valores de declividade mais representativos na bacia estão localizados, em geral, nas falésias inativas que limitam-se com a planície costeira, no baixo curso fluvial, onde localiza-se o bairro São José (Figura 27), e no vale do rio Timbó, principal afluente do rio Jaguaribe (Figura 28). Para além dessas áreas, tal situação é percebida nas vertentes ao longo do canal fluvial. Nesse contexto, os valores de declividade variam entre 45 a 100%, formando um relevo escarpado, alcançando, por vezes, ângulos de 90°.

**Figura 27:** Na parte superior da imagem observa-se as Falésias inativas cobertas por vegetação, localizadas no bairro São José, representando a bordas dos tabuleiros na intersecção com a planície costeira, onde desenvolve-se o baixo curso fluvial.



**Figura 28:** Vertente no alto curso do rio Timbó na comunidade do Timbó. Percebe-se o elevado grau de declividade (90°). Na porção inferior da imagem é perceptível o depósito de material erodido do topo da encosta, o que comprova a ocorrência de eventos erosivos e movimentos de massa.



Fonte: Defesa Civil João Pessoa

Diferente do que ocorre em outras bacias hidrográficas, a área drenada próxima às principais nascentes do rio Jaguaribe não constituem declividade acentuada, mas apresenta-se relativamente plana, com vertentes suaves, o que lhe confere uma característica aproximada ao contexto de uma planície de inundação, ou plaino aluvial. Como já discutido no tópico referente ao relevo, essa área está inserida no contexto geomorfológico das Três Lagoas, que constitui uma depressão fechada, representando um possível relevo cárstico. É perceptível a formação de uma planície fluvial larga e plana, numa situação típica de baixo curso fluvial, o que contradiz os aspectos típicos de uma área de nascedouro fluvial.

O processo de dissecação do relevo torna-se mais evidente a partir do bairro de Cruz das Armas. É partir de então que a declividade na bacia começa a ser mais representativa, alcançando, em alguns pontos, valores que variam até 45%, como pode ser observado na (figura 29).

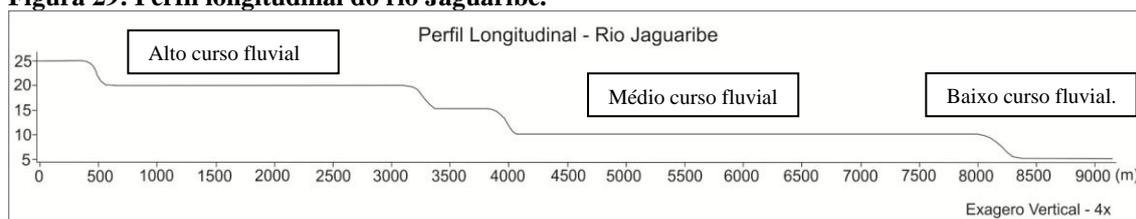
**Figura 28: Alto curso do rio Jaguaribe. A imagem destaca a intersecção das vertentes com a planície fluvial. Importante perceber que o canal fluvial encontra-se bastante assoreado, formando apenas pequenos filetes meandrantés.**



### 6.2.3 Perfil Longitudinal

O rio Jaguaribe apresenta-se relativamente plano em todo o seu curso, com poucas variações do nível de base. Essa característica ocorre com maior evidência a partir do canal principal de 3º ordem até o momento em que desemboca no rio Mandacaru, caracterizando uma drenagem de fluxo laminar. É exatamente sobre esse trecho, onde está localizado o bairro São José que ocorrem os maiores casos de enchentes na bacia do rio Jaguaribe, visto que esse canal recebe águas de todos os demais canais da bacia.

O perfil longitudinal do rio Jaguaribe demonstra que a variação de altitude apresentada pelo canal principal varia apenas entre 25m na cabeceira a até 5m no seu exutório. Esses dados atestam quão suave se apresenta o relevo na bacia, constituindo um fator importante para explicar a ocorrência de enchentes (Figura 30).

**Figura 29: Perfil longitudinal do rio Jaguaribe.**

O alto curso fluvial se desenvolve entre as cotas 25 a 15 metros, quando a partir de então entra no contexto do médio curso. No baixo curso, a cota mínima atinge os 5 metros, já mergulhado na planície litorânea.

Quando adentra a planície costeira, após a confluência com o rio Timbó, observa-se que a drenagem principal sofre uma forte inflexão para norte, atingindo em média 90°. As causas desse fato não são comprovadas nessa pesquisa, mas resultam possivelmente da ação de dois fatores: da neotectônica (soerguimento) e/ou do baixo poder erosivo do rio para romper os cordões litorâneos, que se desenvolvem sobre a planície costeira.

De modo geral, atesta-se que as características do rio Jaguaribe comprovam o contexto geomorfológico a qual se encontra, atribuindo-lhe uma situação de baixa energia, fraco poder erosivo e pouca capacidade de transporte sedimentar.

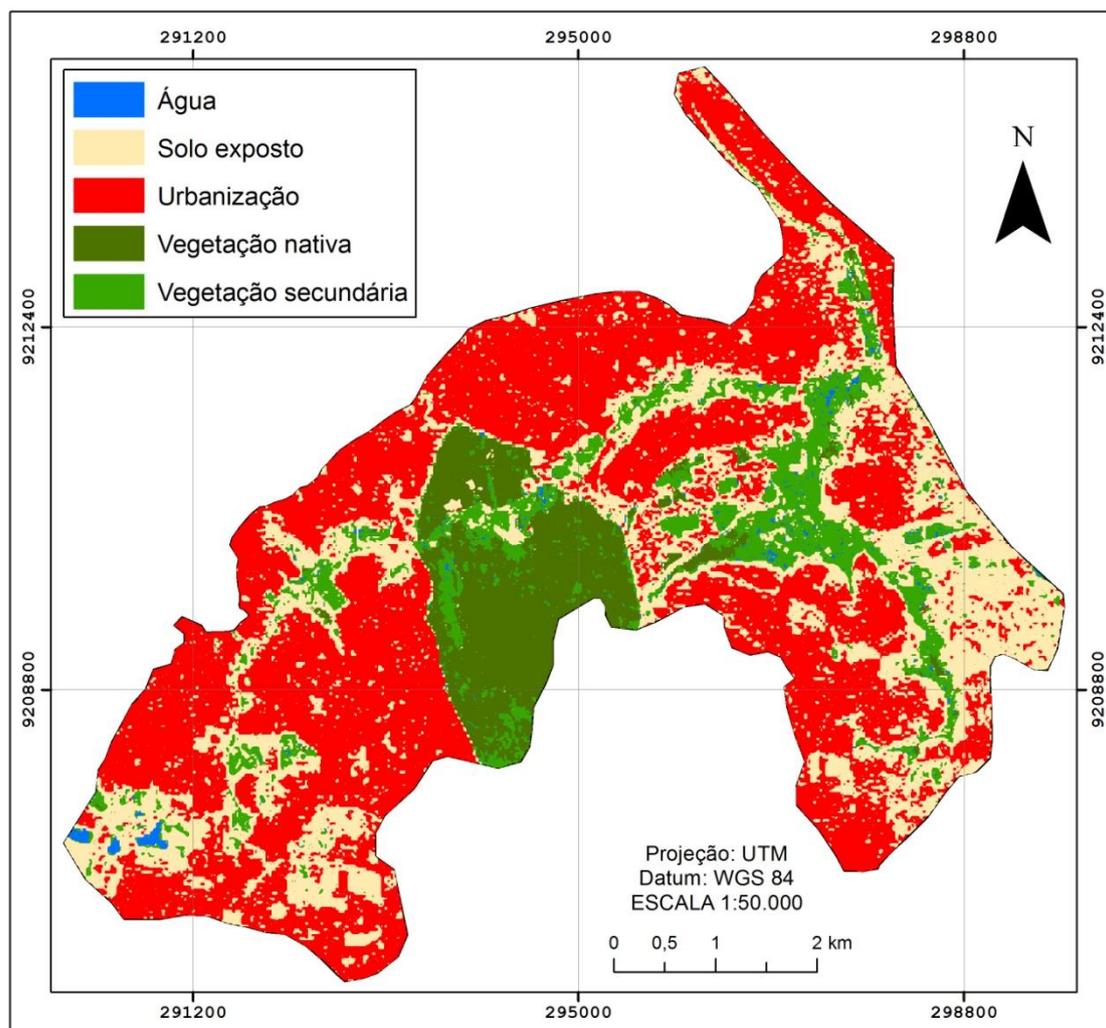
Apesar de assim caracterizar-se, não podemos enquadrar o rio Jaguaribe numa situação de senilidade, conforme a teoria de Willian Morris Davis, mas entende-se que esse rio constitui uma drenagem que se desenvolve numa área sedimentar, relativamente plana e de solos permeáveis.

### 6.3 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

A aquisição dos dados referentes ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe, corroboram com a descrição realizada anteriormente, com base em Melo (2000) Oliveira (2001) e Sobreira (2006). Desse modo, percebeu-se que a situação atual da bacia constitui apenas um agravamento dos processos descritos anteriormente por esses autores.

O uso e ocupação da terra foi mapeado a partir da classificação de imagem de satélite referente ao ano de 2013, tornando-se evidente o forte processo de urbanização verificado na área nos últimos 35 anos. Esse fator representa o principal elemento gerador de processos geomorfológicos que culminam em situações de risco (Figura 31).

**Figura 30: Uso e ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe.**



Para a classificação da imagem foram criadas cinco classes: água; vegetação nativa; vegetação secundária; urbanização e; urbanização/solo exposto, como formas de ocupação da terra.

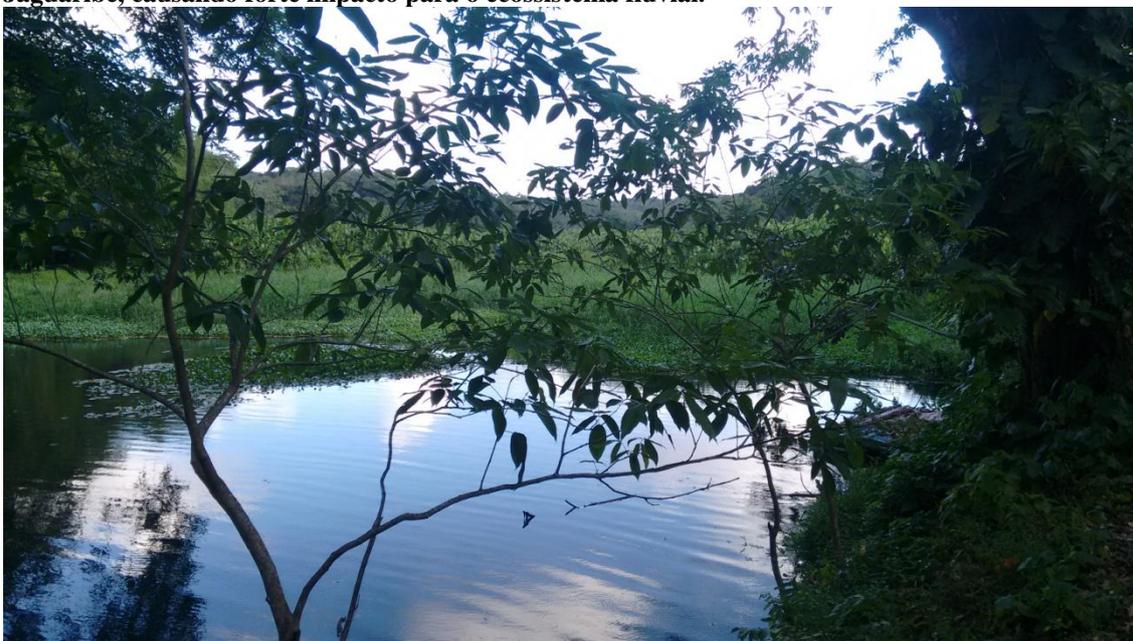
A ocorrência da classe de uso *Água* está restrita a área das três lagoas (baixo curso fluvial) e a alguns locais ao longo do curso fluvial. As poucas situações em que essa classe aparece na classificação da imagem se devem a alguns fatores, tais como a resolução espacial das imagens, insuficiente para a captura total da reflectância das

águas do rio, sendo possível a captura apenas das áreas onde há um maior caudal ou maior espessura dos corpos hídricos.

A eutrofização do rio Jaguaribe, em quase toda sua área de extensão, é responsável pela cobertura vegetal do canal fluvial, como pode ser verificado na (figura 32). Somam-se a isso os resquícios de mata ciliar e áreas desmatadas, classificadas como *vegetação de baixo porte*, que constitui outra classe de ocupação da terra para a referida bacia hidrográfica.

A classe *vegetação nativa* representa os resquícios de Mata Atlântica presente na cidade de João Pessoa, estando sua maior área de ocorrência exatamente inserida entre os limites da bacia do rio Jaguaribe, na transição entre o baixo e o médio curso fluvial, dentro do Jardim Botânico Benjamin Maranhão. Nesta área é possível encontrar, ainda preservadas, diversas nascentes, que formam canais de primeira ordem. A ocorrência dessa classe de uso é também evidente entre os bairros Castelo Branco e Cidade Universitária, dentro do campus I da Universidade Federal da Paraíba.

**Figura 31: Barragem no médio curso fluvial, localizada no interior da mata do Buraquinho, Jardim Botânico Benjamin Maranhão. A imagem destaca, ao fundo, o processo eutrofização atuante no rio Jaguaribe, causando forte impacto para o ecossistema fluvial.**



Representando o modo de uso e ocupação da terra com mais evidencia na área de estudo, e que está em estágio de crescimento, temos à classe *urbanização*. Sua

atuação se dá em toda a extensão da bacia, porém, de modo diferenciado, ou seja, ocorrem áreas urbanizadas de baixo padrão e áreas de médio e alto padrão, o que condicionará a formação de diferentes processos geomorfológicos, a depender também da forma de relevo predominante (Figura 33).

Outro destaque importante está na classe *urbanização/solo exposto*. Essa classe se refere tanto as áreas em estágio inicial de urbanização, com ênfase para a porção leste da bacia, onde predomina a abertura de novos loteamentos, como também áreas urbanizadas de modo desordenado, onde há pouca ocorrência de ruas calçadas ou asfaltadas, mais precisamente localizadas ao longo das margens e das vertentes, onde ocorre a formação de diversos núcleos habitacionais de baixo padrão.

**Figura 32: Mancha urbana da cidade de João Pessoa.**



Fonte: Paulo Rosa.

Os dados referentes à área e porcentagem ocupada por cada classe de uso do e ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe são apresentadas na (tabela 4).

**Tabela 4 - Área total e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra.**

Classe de uso	Área em Km <sup>2</sup>	Porcentagem
Vegetação Nativa	3.924	10,9
Vegetação Secundária	3.250	9,0
Urbanização/Solo exposto	10.230	28,0
Água	0.368	1,1
Urbanização	18.258	51,0
Área total das classes	36.031	100%

Os dados apresentados na (tabela 4) e no mapa de uso de uso e ocupação da terra constituem apenas uma aproximação daquilo que ocorre na realidade, pois, no momento da classificação automática de uma imagem de satélite, uma parte considerável de sua área não é classificada, e por vezes é interpretada de forma equivocada; porém, os números obtidos condizem com a realidade observada quando da realização das atividades de campo, e comprova os dados obtidos em pesquisas anteriores (OLIVEIRA, 2001; MELO et.al., 2001; SOBREIRA, 2006).

A distinção do modo de ocupação da terra na bacia do rio Jaguaribe pode ser realizada de modo associado à divisão das unidades do relevo. Tal procedimento se apresenta como um modo de compreensão de processos geomorfológicos relacionados a diferentes tipos de ocupação, bem como representa um importante fator para a elucidação de situações de risco, pois a cidade de João Pessoa/PB, onde está inserida em sua totalidade a bacia do rio Jaguaribe, apresenta elevados níveis de urbanização. A ocupação urbana na bacia se dá de modo heterogêneo, ocorrendo áreas de alto e médio padrão imobiliário e valor comercial, e áreas de baixo padrão para os parâmetros anteriormente citados.

As áreas de alto e médio padrão imobiliário ocorrem, predominantemente, no topo dos tabuleiros, onde predomina forte processo de impermeabilização do solo. Nesse contexto, a infiltração da água no solo é demasiadamente reduzida, resultando no aumento do escoamento superficial e, por conseguinte, na ativação de processos erosivos e feições erosivas lineares.

Outro aspecto importante que favorece os processos erosivos nas vertentes e provoca o consequente assoreamento dos canais consiste na construção de pavimentação nas vias apenas na porção interfluvial, localizada entre os divisores de águas e a porção somital da vertente (Figura 34). O escoamento superficial é potencializado pela redução quase total da infiltração, aumentando o poder erosivo das águas pluviais que entram em contato com o solo desnudo nas vertentes, o que resulta na formação de diversas feições erosivas lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, gerando uma maior carga sedimentar na calha fluvial.

**Figura 33: Rua Alcides Bezerra, Bairro de Cruz das Armas, no alto curso fluvial. A imagem representa o elevado processo de impermeabilização que ocorre nos tabuleiros na bacia do rio Jaguaribe.**



Na parte final da Rua Alcides Bezerra, representada na (figura 35), ocorre à formação de uma voçoroca em estágio elevado de evolução, fortemente inclinada, formando ângulo de 90°. A formação dessa feição erosiva, em particular, recebe uma importante contribuição de um sistema clandestino de disposição de esgoto, como destacado na (figura 36).

**Figura 34: Voçoroca localizada no Bairro de Cruz das Armas. Importante observar que o fluxo constante de esgoto, associado ao solo exposto, numa área declivosa, contribuem para a formação de uma voçoroca. Destaca-se na imagem a inclinação do talude, alcançando os 90°. Além disso, na parte superior observa-se a proximidade de residências a borda da feição erosiva.**



**Figura 35: Vista da parte superior da voçoroca localizada no final da Rua Alcides Bezerra, bairro de Cruz das Armas. Destaque para o crescimento de vegetação no interior da feição erosiva.**



Outro modo de ocupação da terra encontrada na bacia do rio Jaguaribe são as habitações subnormais, de baixo padrão imobiliário, inseridas nas bordas dos tabuleiros, nas encostas e na planície fluvial, que se caracteriza por ser um tipo de ocupação que

normalmente apresenta infraestrutura inadequada, marcada pela construção de sistemas de drenagem clandestinos, lançamentos de esgotos e efluentes e a construção de fossas negras (Figura 37). Essa situação favorece a formação de pequenas incisões erosivas lineares no solo, como sulcos e ravinas, e até de incisões profundas e amplas como as voçorocas, o que resulta no aumento da carga de sedimentos carregada para a calha fluvial e o consequente assoreamento destas.

**Figura 36: Habitações subnormais localizadas na comunidade Lagoinha, bairro de Cruz das Armas, alto curso fluvial. Importante observar que algumas dessas residências estão localizadas nas vertentes e bordas dos Tabuleiros, e outras dentro no leito fluvial.**



É importante ressaltar que todas essas comunidades estão localizadas no contexto fluvial, em grande parte, estão inseridas no leito fluvial, além das ocupações que ocorrem nas vertentes, gerando impactos na dinâmica fluvial do rio Jaguaribe (Figuras 38 (a), 36 (b), 36 (c), 36 (d)).

**Figura 37: (a, b, c e d): Ocorrência de moradias dentro do leito fluvial, no Bairro São José. Percebe-se o canal fluvial fortemente eutrofizado e a alta vulnerabilidade a qual os moradores estão expostos. Na figura 36 (d) observa-se as ruínas de uma residência localizada no leito fluvial do rio Timbó, numa área de recorrentes eventos de enchentes.**



Fonte: Defesa Civil João Pessoa.

Na (tabela 5) estão descritas, com base nos dados da Defesa Civil da cidade de João Pessoa, todos os aglomerados subnormais situados na bacia do rio Jaguaribe. Os dados descrevem também a sua localização em relação ao percurso fluvial e respectiva localização do ponto de vista geomorfológico.

De modo geral, em toda a extensão da bacia está ocorrendo aumento do processo de impermeabilização do solo, pois é evidente o forte processo de urbanização apresentado pela cidade de João Pessoa nos últimos anos.

Tabela 5 - Aglomerados Subnormais da Bacia do Jaguaribe.

COMUNICADE	BAIRRO	TRECHO DO JAGUARIBE	SITUAÇÃO	ÁREA (HÁ)
Baleado	Oitizeiro	Alto	Plancie fluvial	7,53
Barreira	São José	Baixo	Encosta	4,59
Buraco da Gia	Cruz das Armas	Alto	Plancie fluvial	1,32
Chatuba I Baixo	São José	Baixo	Plancie fluvial	1,76
Chatuba II	São José	Baixo	Plancie fluvial	0,91
Chatuba III	São José	Baixo	Plancie fluvial	2,87
Da Mata	Varjão	Alto	Encosta/mata	15,75
Jardim Guaíba	Cristo Redentor	Alto	Plancie fluvial	2,34
Jd. Bom Samaritano	Cristo Redentor	Alto	Plancie fluvial	1,13
Lagoa Antonio Lins	Cruz das Armas	Alto	Encosta (lagoa)	3,98
Novo Horizonte	Cristo Redentor	Alto	Plancie fluvial	4,08
Pe. Hildon Bandeira	Torre	Médio	Plancie fluvial	4,41
Pirão d'Água	Cidade. Universitária	Médio	Plancie fluvial	11,72
São Geraldo	Varjão	Alto	Encosta/mata	13,51
São rafael	Castelo Branco	Médio	Plancie fluvial	8,25
Tito silva	Miramar	Médio	Plancie fluvial	3,86
<b>ÁREA TOTAL</b>				<b>91,33</b>

Fonte: Defesa Civil João Pessoa/PB, Adaptada.

## 6.4 ÁREAS DE RISCO DE ENCHENTES E EROSÃO NA BACIA DO RIO JAGUARIBE

Em toda a bacia do rio Jaguaribe, as áreas mais críticas em relação a situações de risco estão localizadas no bairro São José e na comunidade do Timbó, tendo em vista as características físicas predominantes (geomorfologia) e o modo que ocorre o uso da terra. No entanto, tais situações de risco não se restringem a essas áreas, mas estendem-se por toda a área da bacia, desde o alto, até o baixo curso fluvial. Porém, as situações de risco ganham maior destaque nas comunidades supracitadas por encontrarmos nessas duas áreas uma maior susceptibilidade a ocorrência de duas modalidades de risco: as enchentes e os movimentos de massa.

Na (figura 39) observa-se a construção de diversas residências no leito fluvial e no topo de falésias, na comunidade São José. A descrição da mesma foi realizada pela Defesa Civil de João Pessoa, apontando, in loco, a vulnerabilidade das residências mediante as situações de risco. Percebemos que nessa localidade existem residências vulneráveis aos riscos de enchentes, inundações e movimentos de massa.

**Figura 38: Moradias em situação de risco de enchente e vulneráveis a movimento de massa.**



Fonte: Relatório de vistoria técnica – 41/2014, Defesa Civil João Pessoa.

O risco de enchentes e inundação está relacionado a dois aspectos: construção de residências na planície fluvial, onde ocorrem as cheias sazonais do rio, no período de maior pluviosidade, e como resultado do processo de impermeabilização do solo, alterando o ciclo hidrológico e acentuando a erosão das margens fluviais e o consequente assoreamento da calha fluvial. Tais aspectos ganham maior representatividade no período mais chuvoso, notadamente os meses de Junho, Julho e Agosto.

Na (tabela 6) estão descritas as comunidades localizadas na bacia do rio Jaguaribe vulneráveis ao risco de enchentes. É importante ressaltar que esse tipo de habitação se enquadra como subnormal, de baixo padrão, como descrito no capítulo anterior referente ao uso e ocupação da terra.

**Tabela 6 - Comunidades vulneráveis ao risco de enchentes localizadas na bacia do rio Jaguaribe.**

<b>Comunidade</b>	<b>Quantidade de residências</b>
<b>Comunidades São José</b>	438
<b>Comunidade Tito Silva</b>	64
<b>Comunidade São Rafael</b>	128
<b>Comunidade Santa Clara</b>	67
<b>Comunidade Padre Hildon Bandeira</b>	86
<b>Comunidade Jardim Guaíba</b>	15
<b>Total de residências vulneráveis ao risco de enchentes</b>	798

Fonte: Defesa Civil João Pessoa/PB.

Dados climáticos referentes ao ano de 2013 foram destacados nessa pesquisa como uma forma de representação dos fenômenos abordados. Nesse mesmo ano, foi observado a ocorrência de diversos casos de enchentes e inundações em toda a bacia do rio Jaguaribe, desde o alto até baixo curso fluvial, predominantemente no mês de junho, que representa o período de maior pluviosidade, alcançando, 421,3 mm em todo o mês, segundo a AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba).

A (tabela 7) mostra dos dados pluviométricos para a cidade João Pessoa no ano de 2013. Nesse ano, destaca-se o mês de junho como o mais chuvoso.

**Tabela 7 - Dados pluviométricos para a cidade de João Pessoa Referentes ao ano 2013.**

ANO 2013 / MESES	TOTAL PLUVIOMÉTRICO / mm
JAN	41,3
FEV	41,9
MAR	24,7
ABR	235,3
MAI	147,2
<b>JUN</b>	<b>421,3</b>
JUL	312,6
AGO	204,3
SET	241,0
OUT	58,8
NOV	26,7
DEZ	26,3

Fonte: AESA.

No mês de junho de 2013 foi observada a ocorrência de enchentes em toda a extensão da bacia do rio Jaguaribe, não se restringindo, apenas, ao baixo curso. O extravazamento das águas fluviais alcançou o leito maior, dito excepcional, colocando em situação de risco até as residências localizadas mais distantes do canal fluvial, como pode ser observado nas (figuras 40, 41 e 42).

A situação observada na (figura 40) revela os problemas enfrentados pela população residente na comunidade São José, que recorrentemente é atingida pelas cheias do rio Jaguaribe no período de maior precipitação pluviométrica. É importante enfatizar que essa comunidade está localizada no leito fluvial do rio Jaguaribe, o que lhe confere forte vulnerabilidade a situações de risco.

**Figura 39: (a, b, c e d): Inundação na Comunidade São José, baixo curso fluvial, ocorrida entre os dias 01 e 03 de julho de 2013.**

a)



b)



c)



d)



Fonte: Defesa Civil João Pessoa/PB.

Não diferente ao que ocorre na comunidade São José (baixo curso fluvial), a comunidade Tito Silva (médio curso fluvial) também é atingida recorrentemente pelas cheias do rio Jaguaribe (Figura 41), pois, há também aí a construção de residências no leito fluvial, colocando-as no mesmo contexto de situações de risco.

**Figura 40: (a, b, c e d): Enchente na Comunidade Tito Silva, médio curso fluvial, ocorrida em junho de 2013.**

a)



b)



c)



d)



Fonte: Defesa Civil João Pessoa/PB.

Na (figura 42) observamos a ocorrência de enchentes na comunidade Jardim Guaíba, localizada próximos as nascentes do rio Jaguaribe, no alto curso fluvial. É pertinente ressaltar que, com base no exposto, o risco de enchentes não se restringe ao médio e baixo curso fluvial, mas se estende por toda a área da bacia em apreço, o que torna evidente a característica plana/semiplana, com declives suaves apresentada pelo canal fluvial do rio Jaguaribe em toda a sua extensão, destacada no perfil longitudinal.

**Figura 41: (a, b, c e d): Enchente na Comunidade Jardim Guaíba, alto curso fluvial, ocorrida em Junho de 2013.**



Fonte: Defesa Civil João Pessoa.

Para além da ocupação do leito fluvial, o evento descrito acima deixou evidente que o risco de enchentes na referida bacia hidrográfica está relacionado também ao processo de assoreamento do canal fluvial, que por sua vez é resultado do desencadeamento de processo geomorfológicos a partir do modo como ocorre o uso da terra. Esse fator torna-se preponderante para que haja o extravasamento das águas fluviais para além do canal, principalmente no período de maior pluviosidade.

Portanto, os eventos de enchentes e inundações que ocorre na bacia do Jaguaribe estão relacionados aos efeitos consequentes das ações humanas sobre esse espaço, representadas pela impermeabilização do solo, pela ocupação desordenada e irregular de residências e pela retirada de vegetação ao longo das margens fluviais. Somasse a esses fatores à baixa variação altimétrica apresentada pelo canal fluvial principal, revelada pelo perfil longitudinal, resultando na geração de situações de risco.

O risco de movimentos de massa também ocorre com mais evidências no bairro São José e na comunidade do Timbó. No bairro São José, além de localizadas dentro do leito fluvial, encontramos a ocorrência de residências nas encostas e no topo das falésias inativas que limitam-se com a planície costeira. Em alguns pontos, essas falésias encontram-se desmatadas, que associado à disposição de esgotos clandestinos decorre na formação de processos erosivos, o que resulta, também, na ocorrência de eventos de movimento de massa, comprometendo a segurança das pessoas que residem nestas áreas. A mesma situação ocorre na comunidade do Timbó, próximo às cabeceiras do rio Timbó (Figura 43), apesar de haver atualmente um trabalho de infraestrutura realizado pela prefeitura de João Pessoa, que tenta minimizar as situações de risco (Figuras 44).

**Figura 42: Residências em situação de risco no vale do rio Timbó.**



Fonte: Defesa Civil João Pessoa

O contexto sedimentar formado por solos argilosos bastante espessos e de baixa permeabilidade, oriundos dos sedimentos argilo-arenosos da Formação Barreiras, sobretudo nos tabuleiros litorâneos, onde se insere a área de estudos, recobertos originalmente por vegetação natural, garante certa estabilidade dos solos frente aos processos geomorfológicos de maior poder erosivo, que por sua vez representam uma situação de perigo natural.

**Figura 43: Construção de sistema de drenagem, terraceamento e introdução de vegetação no talude na comunidade do Timbó.**



Esse fato deixa claro que apesar da forte declividade que ocorre em algumas áreas da bacia do rio Jaguaribe, a ocorrência do risco de movimentos de massa está relacionado ao desencadeamento de processo geomorfológicos a partir da ação antrópica, notadamente o desmatamento e a introdução de fluxos concentrados, a partir da destinação de esgotos nas vertentes.

A ocorrência de eventos de risco de movimentos de massa não está ligada somente ao atual contexto de forte urbanização da área de estudos, mas remete-se ao estágio inicial da urbanização, no momento em que houve o processo acentuado de desmatamento e a abertura de ruas. Reportagens do dia 13 de Abril de 1984 (figura 45), publicadas pelo Jornal “O Norte”, em circulação diária na cidade de João Pessoa, disponibilizada pela defesa civil da cidade, mostram a ocorrência de eventos de movimentos de massa que vitimaram moradores nas comunidades localizadas na bacia do Jaguaribe.

Figura 44: Reportagem publicada pelo Jornal o Norte, em 13 de Abril de 1984.



Fonte: Defesa Civil João Pessoa.

Desse modo, entende-se que as situações de risco na área de estudos no início da urbanização estavam relacionadas ao movimento de massa. Atualmente, além desse problema, ocorrem os eventos de enchentes e inundações.

Os processos erosivos por si só já representam uma relevante situação de risco. Nesse caso, a produção de sedimentos transportados para o canal fluvial, resultantes desse processo, propicia, também, o risco de enchentes e inundações.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário construído na análise morfométrica de bacias hidrográficas tem apenas o caráter descritivo das características físico-naturais da área estudada, no intuito de compreender a dinâmica natural que a forma. A compreensão dos problemas ambientais abordados nessa pesquisa, notadamente as situações de riscos, exige também uma descrição das ações antrópicas sobre a natureza.

O estudo morfométrico, por si só, não responde a todas as indagações referentes às situações de risco, uma vez que alguns aspectos são negligenciados, pois que não são considerados os fatores humanos, como a forma de uso e ocupação da terra, que altera a configuração da dinâmica natural na bacia, seja numa dimensão rural agrícola, seja no contexto urbano.

A caracterização física da bacia do rio Jaguaribe a coloca numa situação de baixa probabilidade a ocorrência enchentes, uma vez que a ordenação dos canais fluviais alcança apenas a terceira ordem, havendo uma maior contribuição somente dos

canais que se formam no interior da mata do Buraquinho, pois encontram-se preservados, o que não acontece com outras drenagens ao longo da bacia, que foram aterradas durante o processo de urbanização. A baixa densidade de drenagem e a forma alongada e estreita da bacia favorecem uma melhor distribuição da pluviosidade, não concentrando a convergência do fluxo para um único ponto, indicando uma bacia com pouca vocação a enchentes.

No entanto, observa-se a ocorrência de eventos de enchentes, inundações e de movimentos de massa na referida bacia hidrográfica, estando suas causas associadas aos impactos gerados no processo de urbanização.

Os fatores geradores de situações de risco de enchentes e inundação são: eventos pluviométricos de alta magnitude; processos erosivos, principalmente na porção interfluvial; assoreamento dos canais fluviais; e a impermeabilização do solo em quase toda a extensão da bacia.

O risco de enchentes e inundação está atrelado, sobretudo, aos eventos de chuva intensa, concentradas em um curto espaço de tempo, que se soma ao aumento da quantidade de água no escoamento superficial e ao assoreamento da calha fluvial. Desse modo, os meses de Junho, Julho e Agosto, representam o período de maior vulnerabilidade na bacia do rio Jaguaribe frente às situações de risco.

O desmatamento das encostas e o aumento da poder erosivo da água devido impermeabilização do topo dos tabuleiros são os responsáveis diretos por desencadear processos erosivos, produzindo situações de risco de movimentos de massa e assoreamento dos canais fluviais.

Tais fatores ganham maior ênfase quando há ocorrência de eventos pluviométricos de grande magnitude, como observado no ano de 2013. Além das alterações na dinâmica natural da bacia provocadas pelas ações antrópicas, o relevo relativamente plano, pouco ondulado e a baixa energia do fluxo em toda a extensão do canal fluvial favorecem a produção de situações de risco de enchentes e inundação.

A relativa planura do relevo, com solos espessos e com camadas argilosas, pouco permeáveis, garante certa estabilidade às encostas no vale fluvial e as falésias inativas que ocorrem na área em estudo. Os processos erosivos observados resultam

claramente do desmatamento e da concentração de fluxo de efluentes provenientes de esgotos. Esse aspecto tornou-se evidente ao observarmos os eventos de escorregamento de barreira ocorridos no ano de 1984, estágio inicial de urbanização na área de estudo.

As situações de risco na bacia do rio Jaguaribe representam as alterações causadas ao sistema fluvial provocada pela entrada de *inputs* energéticos no sistema, decorrentes da ação humana, que alteram a dinâmica natural da bacia.

Portanto, entendemos que a interferência antrópica na dinâmica natural da bacia é responsável pelo desencadeamento de processos que culminam na formação de áreas de risco. Desse modo, as situações de risco de enchente e inundação na bacia do rio Jaguaribe, resultam do modo como ocorre o uso e ocupação da terra.

## REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: Anais do 35º Congresso Brasileiro de Geologia, 35. Belém. Belém: SBG, v. 2, p. 753-760, 1988.

ALI, A. M. S. September 2004 Flood Event in Southwestern Bangladesh: A Study of its Nature, Causes, and Human Perception and Adjustments to a New Hazard. In: Natural Hazards, v. 40, n. 1, p. 89-111, 2007.

AYALA, I. A. Goudie, A. Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

ARAUJO, M. E. Estudo Geomorfológico do extremo Sul do Litoral da Paraíba. 142f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 1993.

ARAUJO, M. E. Água e Rocha na Definição do sítio de Nossa senhora das Neves, atual Cidade de João Pessoa – Paraíba. 297f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, 2012.

ASMUS, H. E. Controle estrutural da deposição Mesozóica nas bacias da margem continental brasileira. In: Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 5, n. 3, p. 160-175, 1975.

AUGUSTO FILHO, O. CERRI, L. E. S. AMENOMORI, C. J. Riscos geológicos: aspectos conceituais. In: Anais do 1º Simpósio Latino-Americano Sobre Risco Geológico Urbano, 1990. São Paulo: ABGE, 1990, p.334-341.

BARBOSA, J. A. Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. 230f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

BARBOSA, J. A., Lima-Filho, M. Os domínios da Bacia da Paraíba. In: Anais do Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. Salvador, 2005.

BARBOSA, J. A. A deposição carbonática na faixa costeira Recife-Natal: aspectos estratigráficos, geoquímicos e paleontológicos. 270f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

BARBOSA, R. L. Interação das perturbações convectivas iniciadas na costa Norte do Brasil com Distúrbios Ondulatórios de Leste. São José dos Campos. 81f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2005.

BERTALANFFY, L. V. Teoria Geral dos Sistemas. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico. In: Caderno de Ciências da Terra, n.13. São Paulo, 1971. 27p.

BOTELHO, R. G. M; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. Reflexões sobre a geografia física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRITO NEVES, B. B., Albuquerque, J. P. T., Coutinho, J. M. V., Bezerra, F. H. R. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). In: Revista do Instituto de Geociências. Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v.9, n.2, p.63-87, 2009.

BICH, T. H. QUANG, L. N. THANH HÁ, L. T. HANH, T. T. D. GUHA-SAPIR, D. Impacts of flood on health: epidemiologic evidence from Hanoi, Vietnam. In: Ação Global Health, v.4, p.1-8, 2011.

BLEDSON, B. P. WATSON, C. C. EFFECTS OF URBANIZATION ON CHANNEL INSTABILITY. In: Journal of the American water resources association, vol. 37, nº 2, p.255-270, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura. EMBRAPA. Mapa exploratório-reconhecimento do solo do município de João Pessoa, PB. Escala: 1:500.000. Levantamento exploratório-reconhecimento dos solos do estado da Paraíba, 1972.

BRASIL, Lei Nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, de 09 de Janeiro de 1997, P. 470.

BRAUN, P. D. K. Proposta metodológica de análise para a gestão de bacias hidrográficas sujeitas a inundações. 2013. 224f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

BRAVO, J.V.M.; SANTIL, F.L.P. (2013). Avaliação dos índices morfométricos de informações extraídas de cartas topográficas e implicações para a leitura do risco a enchentes. In: Revista Brasileira de Cartografia. vol. 65. p. 939 -949. (2013).

BRUM FERREIRA, A. Geomorfologia e ambiente, contributo metodológico. Estudos de Geografia Física e Ambiente, C.E.G. Linha de Acção de Geografia Física, Rel. nº 32, 1993.

CARDOSO, C. A. DIAS, H. C. T. SOARES, C. P. B. MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. In: Revista *Árvore*, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARDOSO, A. S. Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas. 183 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CARVALHO, L. E. P. Os descaminhos das águas na metrópole: a siconatureza dos rios urbanos. 176 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2011.

- CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. In: Caderno Prudentino de Geografia, n. 36, volume especial, p. 26-43, 2014.
- CAVALCANTI, I. F. A. KOUSKY, V. E. Influência da Circulação da Escala Sinótica na Circulação da Brisa Marítima na Costa NNE da América do Sul. INPE-2573-PRE/221, INPE, São José dos Campos (SP), 13p, 1982.
- CERRI, L. E. S., BRAGA, A. C. O. ZAINE, J. E. Plano Diretor de águas municipal: diretrizes para elaboração a partir da atuação em Geociências. In: Geociências (São Paulo), v. 18, n.2, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. Impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização no mundo tropical. In: SOUZA, Maria Adélia A. de (Org.). Natureza e Sociedade Hoje. 3 ed. São Paulo: Hucitec. p. 3-97. 1997.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise de Sistemas em Geografia. São Paulo: Hucitec- Edusp, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blücher, 2.º ed, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. Vol 1. São Paulo, Edgard Blücher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Böhler, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas dinâmicos: A abordagem da Teoria do Caos e da geometria fractal em Geografia. In: VITTE, A. C. & GUERRA, A. J. T. (org.) Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2004.
- CUSTÓDIO, V. A persistência das inundações na Grande São Paulo. 333f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Geografia. São Paulo, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Serviço de Produção de Informação – SPI, Brasília – DF.
- FELGUEIRAS, C. A. CÂMARA, G. Modelagem Numérica do Terreno. In: CÂMARA, G. DAVIS, C. MONTEIRO, A. M. V. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001.
- FELTRAN FILHO, A.; LIMA, E. F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha – Minas Gerais. In: Sociedade & Natureza, v.19, n.1, p.65-80, 2007.
- FERREIRA, A. G. MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. In: Revista brasileira de climatologia, v. 1, n. 1, 2005.
- FURRIER, M., Araújo, M. E., Meneses, L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. In: Revista do Instituto de Geociências – USP, v.6, n.2, p.61-70, 2006.

- FURRIER, M. Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa – 1:100.000. 213f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física. Universidade de São Paulo, 2007.
- FURRIER, M., Vital, S. R. O. A formação de Dolinas em áreas urbanas: o caso do bairro de Cruz das Armas em João Pessoa (PB). In: Revista Brasileira de Geografia Física, n.1, v.4, p.161-173, 2011.
- GOES, M. H. B. ZAIDAN, R. T. MARIANO, T. B. SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento e análise geomorfológica de áreas urbanas. In: SILVA, J. X. ZAIDAN, R. T. (Org.). Geoprocessamento e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- GRANELL-PÉREZ, M. C. Trabalhando Geografia com as cartas topográficas. Ijuí: Ed. Unijuí, 128p, 2001.
- GREGORY, K. J. The human role in changing river channels. In: Geomorphology, v. 79, p.172–191. 2006.
- GUERRA, A. J. T. Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- GUERRA, A. J. T. e MARÇAL, M. S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysycal approach to quantitative morphology. In: Geological Society of America Bulletin, 56, 275-370, 1945.
- KARAGIOZI, E. FOUNTOULIS, I. KONSTANTINIDIS, A. ANDREADAKIS, E. NTOUROS, K. Flood hazard assessment based on geomorphological analysis with GIS tools – the case of Laconia (Peloponnesus, Greece). IN: Symposium GIS Ostrava, p. 23-26, Ostrava, República Tcheca, 2011.
- JESUS, A. S. Geomorfologia antrópica, riscos geomorfológicos e hidrológicos na porção centro-leste de Anápolis (GO). In: Boletim Goiano de Geografia, v. 24, n. 1-2, Jan./Dez. 2004.
- LIMA, W. P. Introdução ao manejo de bacias hidrográficas. São Paulo: IPEF, 1996. 143p.
- LIMA FILHO, M. F. Análise estratigráfica e estrutural da bacia Pernambuco. 180f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- LUMMERTZ, F. B. Aspectos da hidráulica subterrânea na área da Grande João Pessoa. Dissertação (Mestrado) UFPE/Escola de Geologia, Recife, 1977.
- MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte – base estrutural. In: Estudos geológicos UFPE, série B, Recife, v. 10, p. 33-44, 1991.

- MABESOONE, J. M.; ALHEIROS, M. M. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. In: Revista Brasileira de Geociências. vol. 18, n. 4, p. 476-482, 1998.
- MAIA, P. H. P.; CRUZ, M. J. M.; SAMPAIO, M. C. Zoneamento dos aquíferos do Estado da Bahia. In: Brazilian Journal Aquat. Sci. Technol., v. 13, n. 1, p. 45-52, 2009.
- MARINHO, E. G. A. Bases geológicas e geomorfológicas das organizações espaciais no município de João Pessoa (PB). 318f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2011.
- MARTINS, V. P. Análise ambiental e legal do processo de ocupação e estruturação urbana da cidade de João Pessoa/PB, numa visão sistêmica. 146f. Dissertação de (Mestrado). Programa Regional de pós-graduação em desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal da Paraíba, 2006.
- MATTOS, S. H. V. L. PEREZ FILHO, A. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. In: Revista Brasileira de Geomorfologia, 5, nº 1, 2004, p. 11-18.
- MELO, A. S. T. HECKENDORFF, W. D. ALVES, E. L. GUIMARÃES, M. M. M. O meio ambiente natural: componentes abióticos e bióticos. In: Melo, A. S. T. (Org.). Projeto de Pesquisa: Vale do Jaguaribe, João Pessoa: Ed. UNIPÊ, 2001.
- MENEZES, J. P. C. FRANCO, C. S. OLIVEIRA, L. F. C. BITTENCOURT, R. P. FARIAS, M. S. FIA, R. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma micro bacia urbana. In: Revista Brasileira de Geomorfologia. v.15, nº 4, 2014.
- MOLLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. In: Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
- MONTEIRO, K. A. M. BARROS, A. C. M. MELO, R. F. T. RAMOS, D. A. M. C. NÓBREGA, R. S. GIRÃO, O. Parâmetros morfométricos aplicados à bacia do rio Una (Pernambuco – Brasil) para identificar susceptibilidade a enchentes. In: Revista Geográfica de América Central, nº 52. p.163-177, 2014.
- MONTZ, B. E. TOBIN, G. A. Natural hazards: An evolving tradition in applied geography. In: Applied Geography, v. 31, n. 1, p. 1-4, 2010.
- MORELLI, S.; SEGONI, S.; MANZO, G.; ERMINI, L.; CATANI, F. Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy. In: Applied Geography, n. 34, 205-218, 2012.
- MOROZ-CACCIA GOOUVEIA, I. C. Da originalidade do sítio urbano de São Paulo às formas antrópicas: aplicações da abordagem da geomorfologia antropogênica na bacia Hidrográfica do rio Tamanduateí, na região metropolitana de São Paulo. 363f. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- MOURA, R. SILVA, L. A. A. Desastres naturais ou negligencia humana?. In: Revista Geografar, Curitiba, v.3, n.1, p.58-72, Jan./jun. 2008.

NELSON, A. S. Natural Disasters & Assessing Hazards and Risk. Em <<http://www.tulane.edu/~sanelson/geol204/index.html>>. Acesso em: 13 de Junho de 2012.

NÓBREGA, R. S. SANTIAGO, G. A. C. F. Tendência de temperatura na superfície do mar nos oceanos Atlântico e Pacífico e variabilidade de precipitação em Pernambuco. In: Revista Mercator, v. 13, n. 1, p. 107-118, 2014.

OLIVEIRA, F. B. Degradação do meio físico e implicações ambientais na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa – PB. 93f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

OLIVEIRA, E. L. A.; ROBAINA, L. E. S.; RECKZIEGEL, B. W. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS. In: Anais do 1º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1, 2004, Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 248-261. (CD-ROM).

OLIVEIRA, P. T. S. SOBRINHO, T. A. STEFFEN, J. L. RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.8, p.819–825, 2010

PEREIRA, M. D. B. MONTEIRO, D. C. S. SILVA, N. T. MOURA, M. O. Avaliação quantitativa das precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba. In: Revista Geonorte, Edição Especial 2, v.1, n.5, p.921 – 929, 2012.

PORTO, M. F. A. PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. In: Estudos avançados [online]. 2008, vol. 22, n. 63, pp. 43-60. ISSN 1806-9592.

COORDENADORIA MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL. Prefeitura de João Pessoa – Paraíba, 2014.

RECKZIEGEL, B. W. ROBAINA, L. E. S. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. In: Ciência e Natura, UFSM, 27 (2), p.65 - 83, 2005.

RODRIGUES, C. A Teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. In: Revista do Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 14, 69-77, 2001.

RODRIGUES, C. MOROZ-CACCIA GOOUVEIA, I. C. Importância do fator antrópico na redefinição de processos geomorfológicos e riscos associados em áreas urbanizadas do meio tropical úmido. Exemplos na Grande São Paulo. In: GUERRA, A. J. T. JORGE, M. C. O. (org.) Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

LEITE, M. E. ALMEIDA, L. W. L. SILVA, R. F. Geotecnologias aplicadas à extração automática de dados morfométricos da bacia do rio Pacuí/MG. In: Revista Brasileira de Cartografia. 64/5: 677 – 691, 2012.

SANTOS, D. A. R. MORAIS, F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Lago Verde como subsídio á compartimentação do relevo da região de Lagoa da confusão – TO. In: Revista Geonorte, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 617-629, 2012.

- SHINZATO, E. FILHO, A. C. TEIXEIRA, W. G. Solos Tropicais. In: SILVA, C. R. (Ed.). Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM, 264p, p. 121-134, 2008.
- SILVA, D. G. MELO, R. F. T. CORRÊA, A. C. B. A influencia da densidade de drenagem na interpretação da evolução geomorfológica do complexo de tanques do município de Brejo de madre de Deus – Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 3, jun/ago. 2009.
- SIMON, A. L. H. CUNHA, C. M. M. L. Alterações geomorfológicas derivadas da intervenção de atividades antrópicas: análise temporal na Bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS). In: Revista Brasileira de Geomorfologia. V.9, n.2, p.29-38, 2008.
- SOBREIRA, L. C. Áreas susceptíveis a inundações na Baía do Rio Jaguaribe – PB. 46f. Monografia (Graduação) – Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, 2006.
- SOTCHAVA, V. B. O estudo dos geossistemas. Métodos em questão. São Paulo, 1977.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transactions: American Geophysical Union. v.38. p. 913-920, 1957.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, Brasil: SUPREN, 1977.
- TUCCI, C. E. M. . Inundações Urbanas. In: CARLOS E. M. TUCCI, R. L. L. P. MÁRIO T. de Barros. (Org.). Drenagem Urbana. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995, v. 1, p. 15-36.
- TUNDISI, J.G.;TUNDISI, T.M. Recursos hídricos no século XXI. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- VALLADARES, C.C.; HOTT M. C., QUARTAROLI C. F.; MIRANDA E. E. & KEPCLER D. Aptidão Agrícola do Maranhão. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.aptidaoma.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 19 dez. 2015.
- VEYRET, V. Os Riscos, o homem como agressor e vítima do meio ambiente. Editora Contexto, São Paulo, 2007.
- VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. In: Geografia Ageteo, Rio Claro, v. 28, n. 3, p.323-344, set./dez. 2003.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- VITAL, S. R. O. Análise geológica-geomorfológica das depressões fechadas e dolinas em sedimentos da Formação Barreiras na região de João Pessoa (PB). 216f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2015.