



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO MURUCUTU NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

**ELLEN GABRIELE PINTO RIBEIRO**

**Belém-PA  
Fevereiro de 2018**

**ELLEN GABRIELE PINTO RIBEIRO**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO MURUCUTU NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais e Bacias Hidrográficas.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira

**Belém-PA  
Fevereiro de 2018**

---

Ribeiro, Ellen Gabriele Pinto

Fragilidade ambiental da microbacia do rio Murucutu na Amazônia Oriental / Ellen Gabriele Pinto Ribeiro. – Belém, PA, 2018.

49 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais – Área de Concentração: Manejo de Ecossistemas Florestais e Bacias Hidrográficas) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira.

1. Microbracia do Rio Murucutu – Fragilidade Ambiental. 2. Área de Proteção Ambiental – Vulnerabilidade. 3. Áreas Prioritárias. 4. Diagnóstico Ambiental. I. Oliveira, Francisco de Assis (orient.) II. Título

---

CDD – 363.70098115

---

**ELLEN GABRIELE PINTO RIBEIRO**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DA MICROBACIA DO RIO MURUCUTU NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Manejo de Ecossistemas Florestais e Bacias Hidrográficas.

**BANCA EXAMINADORA**



Dr. Francisco de Assis Oliveira – Presidente  
Universidade Federal Rural da Amazônia - **UFRA**



Dr. Gustavo Schwartz – 1º. Examinador  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - **EMBRAPA**



Dr. Nicola Saverio Holanda Tancredi – 2º. examinador  
Sistema de Proteção da Amazônia – **SIPAM**



Dr. Bruno Wendell de Freitas Pereira – 3º. examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia - **UFRA**

**26 de fevereiro de 2018**  
**Belém-PA**

**A minha mãe, Izete Pinto Ribeiro  
Dedico**

**A Evelyn, Samuel e Sarah  
Ofereço**

**A minha Família  
Agradeço**

## AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu **Deus**, pela sempre presença na ausência de todos e por me proporcionar viver sonhar e realizar.

À minha amada **Mãe** Izete por ser a flor mais linda da minha vida, e por me dar vida todos os dias;

Ao meu **Pai** Célio, por me amar de forma singular e incondicional. Ao meu **Pai** de coração Luiz Carlos;

Ao meu **Irmão** Everton e minha **cunhada** Helen, que são exemplo de família, por terem proporcionado os tesouros da minha vida (**sobrinhos**); Evelyn, Samuel e Sarah;

Aos meus **novos irmãos**: Arthur e Gabriel.

A meu amigo, companheiro e **namorado** Bruno Bentes;

Aos amigos de curso especialmente, Richard, Josi, Beatriz, Larissa, Jéssica, Arllen, Mario, Wander, Fabrícia, Hélia, Vivian, Andreza e Bruno Ferreira;

Ao meu **orientador** Francisco de Assis Oliveira e **banca examinadora**: Nazaré, Nicola, Gustavo e Bruno Wendell;

Ao **LABECOS**, por todo aprendizado e espaço disponibilizado ao longo do curso. Em especial agradeço a Vanda Salles, por ser sempre querida, disponível e preciosa;

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais - **PPGCF** por me permitir realizar essa pesquisa e conquistar o título de Mestra;

A **Capes** pela bolsa de estudos;

A todos que colaboraram para a realização deste estudo.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Descrição dos índices e coeficientes para a obtenção das características físicas da microbacia do Murucutu. Kc e F foram propostos por Villela & Mattos (1975); Ic por Christofolletti (1980); Hm por Schumm (1956); Dd por Horton (1945) e Ordem da Bacia por Strahl.....	23
<b>Tabela 3:</b> Descrição metodológica das etapas para realização da Análise Espaço Temporal.	25
<b>Tabela 4:</b> Classes de fragilidade e seu correspondente peso de classificação.....	26
<b>Tabela 5:</b> Classes de fragilidade e seu correspondente grau de classificação. ....	27
<b>Tabela 6:</b> Características Morfométricas obtidas para a Bacia Hidrográfica do Murucutu ....	29
<b>Tabela 7:</b> Quantificação de Áreas para cada Classe de Relevo da microbacia do rio Murucutu, conforme classificação da Crepani (2001) .....	31
<b>Tabela 8:</b> Ecossistemas do critério (E) com os pesos correspondentes de acordo com o grau de fragilidade.....	37
<b>Tabela 9:</b> Unidades Geológicas segundo sua fragilidade .....	38
<b>Tabela 10:</b> Unidades Geológicas segundo sua fragilidade .....	38
<b>Tabela 11:</b> Classes de solos segundo sua fragilidade .....	39
<b>Tabela 12:</b> Intervalos de declividade e classes de fragilidade na área da microbacia do Murucutu. ....	40
<b>Tabela 13:</b> Distribuição das classes de Fragilidade.....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Figura 1:</b> microbacia do Murucutu entre os municípios de Belém e Ananindeua entre as coordenadas 9846000 783000 e 9840000 792000 fuso 22S, circunvizinha das bacias do Aurá, Una e Tucunduba.	20
<b>Figura 2:</b> Descrição metodológica das etapas para realização da Análise Espaço Temporal .	24
<b>Figura 3:</b> Síntese dos procedimentos metodológicos para confecção do mapa de fragilidade ambiental da microbacia do Murucutu por meio da análise espacial multicritério. ....	28
<b>Figura 5:</b> Mapas A) Classificação da declividade da microbacia do Murucutu, segundo Crepani et al., (2001), B) Classes de altimétricas de acordo com as altitudes máxima e mínima. ....	32
<b>Figura 6:</b> Mapas multitemporais da microbacia do Murucutu, identificando as classes dos diferentes ecossistemas com indicativos de mudança de paisagem onde: A) refere-se ao ano de 1995. B) 2006 e C) 2017. ....	35
<b>Figura 7:</b> Análise comparativa da evolução da paisagem da microbacia do Murucutu em relação aos principais ecossistemas que apresentaram alterações no tamanho de área nos diferentes anos estudados .....	36
<b>Figura 8:</b> Fragilidade Ambiental da microbacia do Murucutu no ano de 2017, com base na distribuição espacial das classes qualitativas propostas por Crepani et al., (2001), indicando as áreas com estabilidade moderada e mediana, e com propensão a vulnerabi.....	41



## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO .....	20
3.2	MATERIAL .....	22
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA</b> .....	<b>22</b>
4.1	AQUISIÇÃO DE DADOS MORFOMÉTRICOS .....	22
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	22
<b>5</b>	<b>ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL</b> .....	<b>24</b>
5.1	AQUISIÇÃO DE DADOS .....	24
5.2	ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	26
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>28</b>
6.1	ANÁLISE MORFOMÉTRICA .....	28
6.2	Análise Espaço Temporal .....	34
6.3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	36
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>43</b>

**RESUMO**

As bacias hidrográficas do município de Belém são consideradas unidades de planejamento onde é possível controlar o uso e a ocupação das margens de cursos d'água, áreas sujeitas a inundações, áreas de mananciais, áreas de alta declividade e nascentes ou cabeceiras dos rios. A microbacia do Murucutu está submetida a grandes pressões antrópicas em razão dos bairros localizados no seu entorno, por isso sua área apresenta ambientes de muita fragilidade. Nesse cenário, torna-se importante a aplicação de metodologias que auxiliem no diagnóstico ambiental identificando as transformações que acontecem dentro de uma bacia hidrográfica, determinando modelos para conservação de áreas potencialmente vulneráveis, mesmo pertencendo a áreas de proteção ambiental. Com a utilização dos dados SRTM, imagens do banco de dados do INPE e USGS, e as ferramentas de análise espacial foi possível caracterizar morfométricamente e realizar a análise espaço temporal dos últimos 30 anos. O levantamento das características morfométricas da microbacia do Murucutu está submetida a grandes pressões antrópicas em razão dos bairros localizados no entorno do Murucutu permitiu concluir que é considerada de pequeno porte e de forma alongada, o que não favorece à inundação em condições normais de precipitação. O relevo da bacia se apresenta pouco declivoso. Apresenta baixa amplitude altimétrica (36m), indicando que o escoamento da água é lento, contribuindo também para o acúmulo de água no interior da bacia, porém favorecendo a infiltração e a evaporação. De acordo com a classificação apresenta ordem 3, drenagem dendrítica e a densidade encontrada foi considerada baixa 0,88 km/km<sup>2</sup>. A análise espaço temporal permitiu concluir que a microbacia do Murucutu apresenta dinâmica na sua paisagem. O ecossistema urbano teve um aumento significativo nos períodos estudados (1995, 2006, 2017). O ecossistema sucessional de floresta teve que diminuição de mais de 50% de sua área em hectares no período de 1996 a 2017. A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, por meio da análise multicritério, encontra-se predominantemente dividida entre as classes Medianamente Estável Vulnerável e Moderadamente. Proporcionou indicação das áreas de maior fragilidade na bacia estudada, identificando as que são potencialmente mais frágeis.

**Palavra-Chave:** Risco a degradação, vulnerabilidade, áreas prioritárias

**ABSTRACT**

The watersheds of the municipality of Belém are considered planning units where it is possible to control the use and occupation of watercourse banks, areas subject to floods, areas of springs, areas of high slope and springs or headwaters of rivers. The BH of Murucutu is subject to great anthropic pressures due to the neighborhoods located in its surroundings, so its area presents very fragile environments. In this scenario, it is important to apply methodologies that aid in the environmental diagnosis by identifying the transformations that occur within a river basin, determining models for conservation of potentially vulnerable areas, even belonging to environmental protection areas. Using the SRTM data, INPE and USGS database images, and the spatial analysis tools, it was possible to characterize morphometrically and perform the temporal space analysis of the last 30 years. The survey of the morphometric characteristics of the Murucutu BH allowed us to conclude that it is considered small and elongated, which does not favor flooding under normal precipitation conditions. The relief of the basin presents little slope. It presents a low altimetric amplitude (36m), indicating that the water flow is slow, also contributing to the accumulation of water inside the basin, but favoring infiltration and evaporation. According to the classification presents order 3, dendritic drainage and the density found was considered low 0.88 km / km<sup>2</sup>. The temporal analysis allowed us to conclude that the Murucutu BH presents dynamics in its landscape. The urban ecosystem had a significant increase in the studied periods (1995, 2006, 2017). The successional forest ecosystem had to decrease by more than 50% of its area in hectares between 1996 and 2017. The environmental fragility of the river basin, through multicriteria analysis, is predominantly divided between the Moderately Stable Vulnerable and Moderately. It provided an indication of the most fragile areas in the studied basin, identifying those that are potentially more fragile.

**Keyword:** Risk of degradation, vulnerability, priority areas

## 1 INTRODUÇÃO

Estudos que envolvem bacias hidrográficas - BH são na atualidade bastante dinâmico no que se refere a avaliações de impactos antrópicos ou naturais causados ao meio ambiente. Por isso, as bacias constituem-se em uma relevante unidade de área para o estudo e planejamento integrado dos recursos naturais (PEREIRA et al., 2016).

Compreender a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão ambiental facilita a interpretação e análise deste sistema natural. Guerra & Mendonça (2007) afirmam que as bacias hidrográficas podem ser consideradas sistemas abertos, em termos de inputs de energia, oriundos da precipitação, e dos outputs, relacionados à água e sedimentos provenientes da erosão fluvial e das encostas existentes no âmbito das bacias.

Mattos & Perez Filho (2004) também destacam que a BH não pode ser entendida pelo estudo isolado de cada um dos seus componentes, pois, sua estrutura, funcionamento e organização são decorrentes das inter-relações desses elementos, de modo que o resultado é a soma da estrutura, funcionamento e organização de suas partes. Analisar separadamente os processos que ocorrem nas vertentes e aqueles que acontecem nos canais fluviais não permite compreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa.

Afim de promover ações de planejamento e manejo foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH instituída pela Lei Federal Nº 9.433 de 1997, que definiu a bacia hidrográfica como unidade territorial de gestão, de forma descentralizada entre estados e municípios, onde há participação do poder público, dos usuários e das comunidades envolvidas.

De maneira local, por meio do plano diretor do município de Belém, tem-se a Lei Nº 8.655 de 30 de julho de 2008, que ratificam as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e lhe são conferidos o controle o uso e a ocupação: a) das margens de cursos d'água, b) áreas sujeitas a inundações, c) áreas de mananciais, d) áreas de alta declividade e e) nascentes ou cabeceiras dos rios. Para isso, deverão ser realizados estudos técnicos socioambientais para delimitar e classificar as bacias nas áreas continental e insular do município.

Dentro desse contexto, a bacia hidrográfica é vista como um instrumento aferidor das implicações produzidas no uso dos recursos naturais dentro e fora dos seus limites de estabelecimento natural. Os rios são coletores naturais das paisagens, refletindo o uso e ocupação do solo de sua respectiva bacia de drenagem (GOULART & CALLISTO, 2003). Entre as peculiaridades, a vegetação, solo, relevo e declividade estão diretamente relacionadas

ao processo de erosão, qualidade da água, dinâmica de nutrientes, proteção de mananciais e produção de água (LINHARES et al., 2005).

A microbacia do Murucutu tem grande importância socioambiental por englobar parcialmente o Parque Estadual do Utinga - PEUt, onde se encontram as fontes de abastecimento de água para o município de Belém. Bordalo (2006) alerta que o crescimento acelerado e mal planejado das cidades está acarretando sérios prejuízos à natureza, entre os quais se destaca o desmatamento de áreas verdes nativa para estruturação da rede urbana, principalmente em áreas de proteção ambiental. Santos et al., (2016) afirmam que a microbacia do Murucutu está submetida a grandes pressões antrópicas em razão dos bairros localizados no seu entorno, visto que esta área apresenta ambientes de muita fragilidade e vulnerabilidade.

Como alternativa para estudos em bacias hidrográficas tem-se a análise multicritério como um método de análise para resolução de problemas que utilizam vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas e obter métricas prioritárias para o objeto considerado (FRANCISCO et al., 2008).

As funcionalidades de um Sistema de Informação Geográfica - SIG não só permitem como facilitam as análises necessárias às atividades de gerenciamento de recursos hídricos dentro de sua célula básica que é a bacia hidrográfica (BIELENKI & BARBASSA, 2012).

Segundo Bielenki & Barbassa (2012) os SIG são ferramentas importante para o Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos - SISRH que unido aos critérios da Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH e Agencia Nacional de Águas - ANA trabalha na modelagem de um sistema capaz de agregar dados e fornecer subsídios aos gestores nacionais de recursos hídricos para o uso mais sustentável e que atenda as demandas dos diferentes usuários de água.

Assim, é fundamental estudos que permitam análises complexas de riscos para ocasionar degradações ambientais em BH. O estudo das bacias deve ser avaliado, desde as características morfológicas até a interação que as mesmas fazem com o meio em que estão inseridas visando de maneira geral o entendimento da sua complexidade (TRAFICANTE, 2016).

Nesse cenário, torna-se importante a aplicação de metodologias que auxiliem no diagnóstico ambiental identificando as transformações empíricas que acontecem dentro de uma bacia hidrográfica, determinando modelos para conservação de áreas potencialmente vulneráveis, mesmo pertencendo a áreas de proteção ambiental. (TRAFICANTE, 2016).

Considerando a literatura científica consultada e os avanços nessa linha de pesquisa, é oportuna a realização de estudos voltados à análise de riscos quanto a degradação de bacias hidrográficas, por meio da análise multicritério.

### **Questão Científica**

Quais os riscos a fragilidade ambiental podem ser apontados na mudança de paisagem da microbacia do Murucutu?

### **Hipótese**

A análise multicritério apontam áreas potencialmente frágeis e prioritárias a restauração ambiental na microbacia estudada.

### **Objetivos**

**Geral:** Avaliar os riscos de degradação ambiental por meio de análise espacial multicritério, na bacia hidrográfica do Murucutu.

### **Específicos:**

- Realizar análise morfométrica a partir do modelo de representação com os limites geográficos;
- A partir da análise multitemporal gerar indicativos de mudanças na paisagem da bacia;
- Analisar os riscos de degradação ambiental, considerando as variáveis, pedologia, geologia, geomorfologia, declividade e classificação de ecossistemas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

- Fragilidade Ambiental em Bacias Hidrográficas

Fragilidade ambiental é a susceptibilidade do ambiente de sofrer intervenções ou alterações. Quando é quebrado o estado de equilíbrio dinâmico, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de risco. A desestabilização do sistema pode ter como indutores, tanto processos naturais quanto antrópicos (SPORL & ROSS, 2004).

De acordo com Kawakubo (2005) o estudo de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições (SCHIAVO et al., 2016).

Para Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. Relaciona-se com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural (expresso pela própria dinâmica do ambiente), como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica (uso inadequado da terra e de intervenções em regimes fluviais).

As bacias hidrográficas apresentam sua própria fragilidade natural, que são atribuídas ao conjunto de suas características intrínsecas tais como o relevo, tipologias de solo, geologia e até mesmo o uso da terra. Ao inserir neste contexto os fatores externos de ocorrência não natural, é possível avaliar o nível de degradação que produzem através de estudos da fragilidade ambiental que auxiliará nas estratégias futuras para conservação dos recursos naturais (GONÇALVES et al., 2011).

Avaliações da fragilidade ambiental baseadas em fatores como o solo, potencial de erosão das chuvas, declividade e cobertura vegetal são necessárias ao planejamento ambiental. O conhecimento dos níveis de fragilidade presentes em uma bacia hidrográfica, por meio da integração de diversas variáveis que interferem nas potencialidades dos recursos naturais, possibilita compreender a realidade e obter uma visão mais clara sobre quais são as opções mais adequadas para o uso da terra (SPORL, 2001).

A determinação de potencialidades dos recursos naturais necessita de um estudo dos componentes que dão suporte à vida, sendo eles: solos, relevo, geologia, água, clima e vegetação. Na análise da fragilidade, esses componentes devem ser avaliados de maneira

integrada, considerando-se sempre as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes naturais (MASSA & ROSS, 2012).

Schiavo et al., (2016) destacam a relevância de estabelecer um plano de gerenciamento, tanto para os critérios de uso e ocupação da bacia, quanto na caracterização das áreas de maior e menor fragilidade ambiental, pois deste modo seria possível fornecer subsídios para o planejamento da bacia hidrográfica e para expansão urbana local.

- **Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a Análise Ambiental**

O desenvolvimento de técnicas de modelagem, computação e Sistema de Informação Geográfica - SIG, a partir da década de 80, tem permitido manusear um grande volume de informações sobre o meio físico, uso da terra, sistemas de cultivo e rede viária, entre outras, possibilitando estabelecer estratégias para facilitar a tomada de decisões baseado na interação de softwares, hardwares, pessoas e informações espaciais (BOTELHO, 1999).

Para o gerenciamento dos recursos hídricos, as imagens orbitais são fontes de dados de grande importância. Entre esses, estão os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que são exemplos de imagens procedentes de levantamentos realizados pela NASA e outros organismos internacionais, que abrangem mais de 80% do globo terrestre (SILVA NETO et al., 2013). Segundo Vital et al., (2010), os dados derivados do radar SRTM tem sido uma tendência bastante atual para a interpretação geomorfológica. O SIG e as técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas eficientes para estudos morfométricos e priorização de sub-bacias hidrográficas (AHER et al., 2014).

A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em geomorfologia permite o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão, tendo em vista que o crescimento da capacidade de processamento e armazenamento de dados dos computadores e a evolução dos SIG encontram-se em um estágio no qual é possível trabalhar em extensas áreas com alta resolução espacial, sem perda significativa do tempo de processamento envolvido (GROHMANN et al., 2008).

Padilha (2013) considera que as ferramentas de geoprocessamento são essenciais na análise da fragilidade ambiental, pois permitem que sejam realizadas análises, planejamento e monitoramento de áreas naturais e permitem assim simulações e estabelecimento de intervenções das melhores alternativas.

- **Análise Espacial Multicritério**

A Análise Multicritério - AMC é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentadas em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada. Os métodos multicritério



conjugam aspectos objetivos (quantitativos) com subjetivos (qualitativos), permitindo estruturar os problemas com um grande número de atributos (critérios de avaliação) que são organizados para apoiar a tomada de decisão (PADILHA et al., 2014).

É um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Ela é também conhecida como *Árvore de Decisões* ou como *Análise Hierárquica de Pesos*. O procedimento baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final (MOURA, 2007).

Na AMC, o critério é a base para a tomada de decisão, que pode ser medido e avaliado. É a evidência na qual um indivíduo pode ser atribuído a um conjunto de decisões. Os critérios são classificados em dois tipos: a) fatores e b) restrições, e podem pertencer tanto aos atributos de um indivíduo ou a um conjunto inteiro de decisão (EASTMAN, 2012).

Para Moura (2007) uma análise multicritério estabelece uma classificação ordinal de intensidade e predisposição a um determinado fenômeno, com base em diferentes variáveis espaciais georreferenciadas em uma superfície. A mesma tem como ferramenta fundamental a utilização de um SIG, que realizará os cálculos e a delimitação das áreas.

A identificação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica permite avaliar, através de análises isoladas de indicadores dos aspectos físicos do ambiente em estudo e posteriores cruzamentos destes, a intensidade com que este ambiente pode ser explorado sem prejudicar sua dinâmica e seu equilíbrio (GHEZZI, 2003).

De acordo com Souza & Mariano (2008), a utilização da análise multicriterial está diretamente relacionada ao fato de que certos problemas não podem ser resolvidos considerando-se, apenas, um único critério. Constitui-se em sistema de apoio à decisão, com base na combinação de uma série de variáveis ou critérios, segundo diferentes métodos. Objetiva-se, assim, promover a hierarquização das possibilidades ou alternativas de resolução de um determinado problema, apoiando o gestor na tomada de decisão.

Nesse contexto, os métodos de Avaliação Multicriterial, são considerados um avanço ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação, justamente por sua capacidade de integrar conjuntamente diferentes fatores (VALENTE & VETTORAZZI, 2011; SILVEIRA et al., 2014).

- Análise Morfométrica em Bacias Hidrográficas

O conhecimento das características de uma bacia hidrográfica é um dos métodos mais comuns para análises hidrológicas ou ambientais, cujo objetivo é compreender os fatores relacionados com a dinâmica ambiental na área delimitada (LASZLO & ROCHA, 2014).

Estudos morfométricos são essenciais na caracterização de bacias hidrográficas para a determinação de suas limitações e capacidades. Essas informações são necessárias para o planejamento e manejo das atividades desenvolvidas na região que circunda a área da bacia (SANTOS et al., 2012; SINGH et al., 2014; FARIAS et al., 2015).

Os parâmetros físicos de uma bacia apresentam uma relação com o regime hidrológico de grande relevância (LIMA, 2013). Deodoro & Fonseca (2014) apresentam as áreas de aplicações possíveis de um estudo hidrológico e das características físicas de uma bacia hidrográfica como por exemplo: a) controle de erosão, b) regularização de corpos d'água, c) suscetibilidade e potencialidade a erosão e suscetibilidade a inundação e preservação do meio ambiente e d) preservação e desenvolvimento da vida aquática.

Para Christofolletti (1980) a análise morfométrica de bacias hidrográficas é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. Afirma também que a análise de bacias hidrográficas apresentou caráter mais objetivo (abordagem quantitativa das bacias de drenagem) a partir do trabalho desenvolvido por Horton (1945), que procurou estabelecer as leis do desenvolvimento dos rios e de suas bacias. Os índices e parâmetros sugeridos para tal análise estão agrupados em quatro temáticas: a) hierarquia fluvial, b) análise areal, c) análise linear e d) análise hipsométrica.

Lindner et al., (2007) constata em sua pesquisa que os índices morfométricos são importantes pressupostos para a prevenção de eventos hidrometeorológicos, como enchentes e estiagens. Além disso, podem ser utilizados para apontar áreas de maior suscetibilidade a processos erosivos, configurando importantes instrumentos para o planejamento e gestão territorial. Como instrumento, os indicadores morfométricos justificam a sua importância na gestão dos espaços urbanos e rurais, e podem contribuir para um melhor aproveitamento dos recursos naturais, bem como na prevenção da degradação desses ambientes (TRAJANO et al., 2012).

De acordo com Carvalho et al., (2011), a consolidação dos SIG e o surgimento de formas digitais consistentes de representação do relevo apresentaram-se como um importante método automático para delimitação de bacia. Também afirmam que, a utilização de MDE para delimitação de bacias se configura atualmente como a forma mais prática, rápida e menos subjetiva para delimitação.

Buscando analisar as inter-relações existentes entre os fatores da bacia e os processos hidrológicos, é necessário expressar suas características quantitativamente. De acordo com Neto et al., (2013), a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é o ponto de partida para estudos referentes à dinâmica ambiental da mesma, possibilitando o melhor gerenciamento e aproveitamento de seus recursos naturais.

- Bacia Hidrográfica do Murucutu

A bacia hidrográfica pode ser definida como a área total que delimita uma determinada rede hidrográfica, ou ainda como um espaço territorial que admite e sustenta os fluxos hídricos em um sistema de drenagem hierarquizado sendo delimitada por linhas divisoras de água que demarcam seu limite. Estas linhas são definidas pela caracterização das curvas de nível que unem os pontos mais altos (cotas) do terreno em torno da drenagem considerada (CARREGA, 2010).

O governo do Estado do Pará (2004) totaliza 14 bacias hidrográficas no município de Belém, sendo que 60% pertence a bacia hidrográfica do Una, 17% a bacia do Tucunduba, 16% a bacia da Estrada Nova e 7% as demais bacias com menor área geográfica, .

De acordo com Rebouças (2002), a região Norte é a região com o maior potencial hídrico do país, mas com baixa densidade populacional. No entanto, a cidade de Belém consiste na maior aglomeração urbana em toda a região amazônica. Na região conhecida como Grande Belém tem sido registrada as taxas mais altas de ocupação humana na Amazônia, nos últimos 20 anos (CASTRO, 2003; TARGA et al., 2012).

A bacia hidrográfica do Murucutu está inserida na Área de Proteção Ambiental - APA da Região Metropolitana de Belém, onde está localizado o Parque Estadual do Utinga, que é circundada por áreas de vegetação nativa e áreas remanescentes da floresta amazônica (GOUVEIA et al., 2013).

Essa APA foi criada por meio do Decreto Estadual nº 1.551, de 03/05/1993, com principais objetivos de: a) promover a recuperação das áreas degradadas, incluindo o seu reflorestamento, b) ordenar com base em critérios urbanísticos e ecológicos, o uso do solo, c) assegurar a potabilidade da água dos mananciais, através da restauração e da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Água Preta e Bolonha, d) preservar a biodiversidade representada pelas plantas, animais e ecossistemas das florestas de várzea, igapó e terra firme, remanescentes e em estágio de sucessão, e promover sua recuperação e e) preservar o Sítio Histórico do Engenho do Murutucu.

Segundo Pantoja et al., (2014) a bacia hidrográfica do Murucutu é a que possui maior concentração de áreas naturais em Belém, sua importância está vinculada a relevância dos

ecossistemas lânticos presentes bacia, pois os Lagos Bolonha com 1.954.000 metros cúbicos e Água Preta com 9.905.000 metros cúbicos, são responsáveis por 63% abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (IMBIRIBA JÚNIOR & COSTA, 2003; PARÁ, 2013).

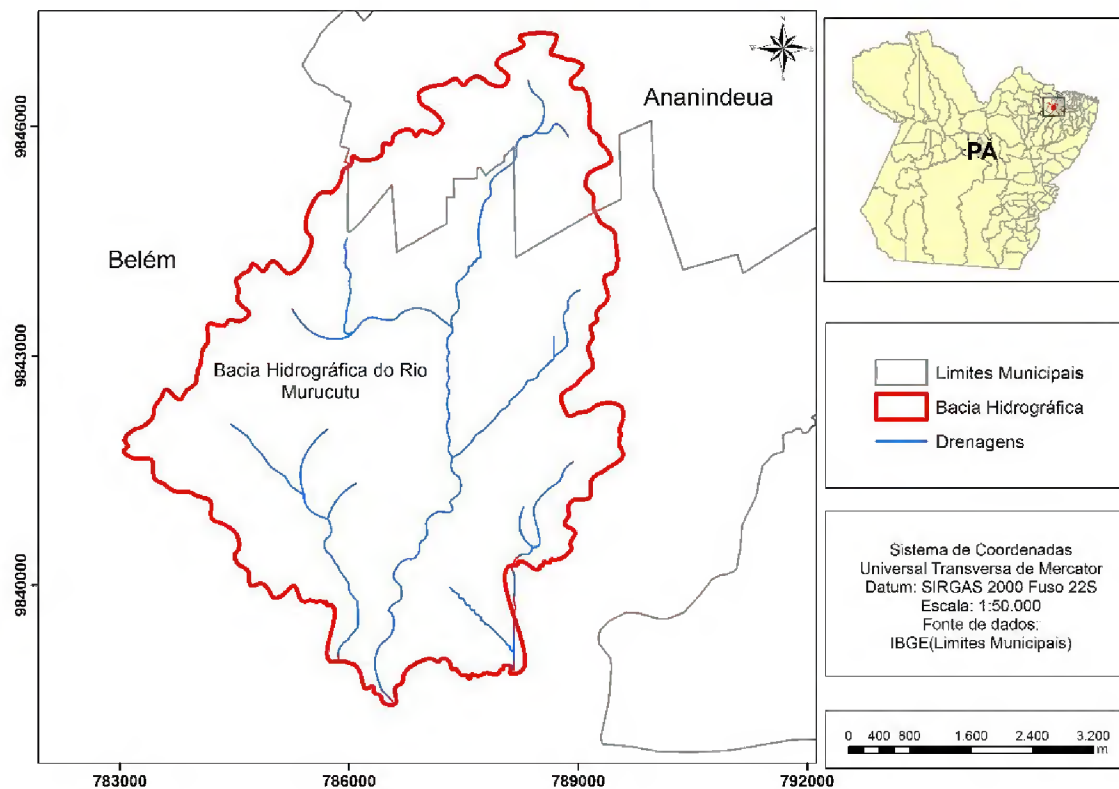
Além dos aspectos já mencionados, a cidade de Belém possui um sistema de drenagem ineficiente para escoar toda a água pluvial decorrente de precipitações intensas rápidas, ou contínuas combinadas com maré alta. Belém é circundada pelos Rios Guamá e Guajará, águas subterrâneas e igarapés e sofrem forte influência das marés (TAVARES, 1998).

Garófalo & Ferreira (2015) afirmam que a fragmentação florestal e a remoção da cobertura vegetal remanescente em algumas áreas do Brasil têm causado aumento significativo dos processos erosivos e provocado alterações na dinâmica hidrológica e geomorfológica dos sistemas ambientais. Por essa razão, torna-se imprescindível um planejamento físico-territorial que considere potencialidades, limitações e vulnerabilidade dessas áreas frente às intervenções antrópicas ainda persistentes.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

**Figura 1:** Microbacia do Murucutu entre os municípios de Belém e Ananindeua entre as coordenadas 9846000 783000 e 9840000 792000 fuso 22S, circunvizinha das bacias do Aurá, Una e Tucunduba.



- Geologia e Relevô

O Município de Belém é constituído por restos da formação: a) grupo de barreiras, b) aluviões holocênicos e c) cobertura detrito laterítica (IBGE 2008). Suas formas de relevo caracterizam-se pelos baixos platôs e planícies litorâneas, fazendo parte neste contexto, junto com áreas limítrofes, na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado do Amazonas (Baixo Amazonas) (ANUÁRIO, 2011).

- Solos

Os solos do município têm as mesmas características dos solos da região Bragantina: a) latossolo amarelo distrófico de textura média, ocorre nos tabuleiros e b) Gleissolo, ocorre na planícies fluvial (IBGE, 2012).

- Clima

O clima de Belém, é considerado de acordo com classificação de Köppen, atualizada por Alvares, (2014) como Afi, clima tropical chuvoso sem estação seca, isotérmico de temperatura iguais, onde a mesma apresentou média anual dentro do período de estudo de 26. 6° C e precipitação total de 1133,3 mm.

- Hidrogeologia

Os sistemas hidrogeológicos da região de Belém incluem aquícludes (formação impermeável que pode conter água, mas que é incapaz de transmitir quantidades significativas), aquíferos (formação geológica de natureza semipermeável) e aquíferos, pertencentes às unidades estratigráficas Pirabas, Barreiras e cobertura quaternária. Esses sistemas estão razoavelmente estudados até a profundidade em torno de 280m. Dessa forma, é possível caracterizar os sistemas hidrogeológicos em cinco conjuntos principais, denominados: a) aluviões, b) pós-barreiras, c) barreiras, d) pirabas superior e e) pirabas inferior (MATTA, 2002; MATTA et al., 2010).

- Hidrologia

A região de Belém e Ananindeua localiza-se em uma típica região estuarina, correspondendo ao estuário Guajarino, parte integrante de outro maior, o Golfão Marajoara, situado na foz do Amazonas. O estuário Guajarino caracteriza-se por ser um ambiente fluvial com influências marinhas e forma-se na confluência dos rios Pará, Acará e “Guamá” (MATTA, 2002).

- Vegetação

Os ecossistemas florestais presentes na bacia apresentam alta diversidade florística e alta uniformidade nas proporções indivíduos/espécies dentro da comunidade vegetal. De acordo com os parâmetros fitossociológicos, a estrutura da vegetação possui uma densidade média de 2.841 indivíduos por hectare. As espécies mais abundantes encontradas são: *Pouroma mollis*, *Vochysia vismiaefolia*, *Protium pallidum*, *Protium tenuifolium*, *Glycydendron amazonicum* e *Theobroma subincanum* (PARÁ, 2013).

### 3.2 MATERIAL

A metodologia empregada para este trabalho pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) Caracterização Morfométrica; (b) Análise Espaço Temporal e classificação de Ecossistemas; (c) Análise Multicritério através.

## 4 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

### 4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS MORFOMÉTRICOS

Foram utilizados os dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial reamostradas a 30 metros, obtidas a partir da grade vetorial no banco de dados Topodata do INPE (<http://www.webmapit.com.br>), por meio de imagem do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE) articulada às cartas na escala de 1:250.000. Para a delimitação da bacia hidrográfica, bem como a extração da rede de drenagem foram utilizadas as ferramentas do software ArcGis 10.1.

### 4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### Delimitação da bacia e extração da rede de drenagem

A delimitação da bacia foi realizada a partir da entrada da direção de fluxo (Basin), onde o produto obtido (raster) foi transformado em arquivo do tipo shapefile pelo algoritmo Raster to polygon, tendo como resultado a forma da bacia. Enquanto que para a extração da rede de drenagem foi utilizado o fluxo de direção (flow accumulation) tendo como produto obtido a (acumulação fluxo) e posterior uso da ferramenta raster calculate.e determinação do limiar de 500.

A caracterização morfométrica foi feita a partir de características geométricas, de relevo e de drenagem, conforme Santos (2012) e Ribeiro et al., (2015). Utilizou-se para essa caracterização os parâmetros propostos por Horton (1945); Salgado et al., (2009); Teodoro et al., (2007); Tonello (2005) e Villela & Mattos (1975), descritos na tabela a seguir:

**Tabela 1:** Descrição dos índices e coeficientes para a obtenção das características físicas da microbacia do Murucutu. Kc e F foram propostos por Villela & Mattos (1975); Ic por Christofolletti (1980); Hm por Schumm (1956); Dd por Horton (1945) e Ordem da Bacia por Strahl

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS		
<b>Área e Perímetro</b>	<b>A e P</b>	ArcGis 10.1.
<b>Coeficiente de Compacidade</b>	$Kc = 0,28 \times P / \sqrt{A}$	Kc é o coeficiente de compacidade; P é o perímetro (Km); A é a área de drenagem (Km <sup>2</sup> )
<b>Comprimento do rio principal</b>	<b>L1</b>	ArcGis 10.1.
<b>Comprimento do eixo da bacia</b>	<b>L2</b>	ArcGis 10.1.
<b>Comprimento de todos os canais</b>	<b>L3</b>	ArcGis 10.1.
<b>Fator de forma</b>	$F = A / (L1)^2$	F é o fator de forma; A é a área de drenagem (Km <sup>2</sup> ); L é o comprimento do rio principal (Km).
<b>Índice de circularidade</b>	$IC = 12,57 \times A / P^2$	IC é o índice de circularidade; A é a área de drenagem (Km <sup>2</sup> ); P é o perímetro
CARACTERÍSTICAS DE RELEVO		
<b>Altitudes Máxima e Mínima</b>	<b>Hmax e Hmin</b>	ArcGis 10.1
<b>Amplitude Altimétrica</b>	$Hm = Hmax - Hmin$	Hm é Amplitude Altimétrica; Hmax é Altitude Máxima; Hmin é Altitude Mínima
<b>Relação de Relevo</b>	$Rr = Hm / L2$	Rr é a relação de relevo; Hm é a amplitude altimétrica; L2 comprimento do eixo da bacia
CARACTERÍSTICAS DA DRENAGEM		
<b>Densidade da Drenagem</b>	$Dd = L3/A$	Dd é a densidade da drenagem; L é o comprimento de todos os canais; A é a área da bacia
<b>Ordem da Bacia</b>	<b>Ob</b>	ArcGis 10.1
<b>Índice de Sinuosidade</b>	$Is = L1 / L2$	Is é o índice de sinuosidade; L é o comprimento do rio principal; L é o comprimento do eixo da bacia

## 5 ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL

### 5.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

Para análise espaço temporal foram adquiridas imagens da série Landsat (Land Remot Sensing Satellite): a) Landsat 5, sensor TM (Thematic Mapper), b) Landsat 8, sensor OLI (Operational Land Imager), da base de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e United States Geological Survey - USGS, respectivamente a relação e detalhes das imagens adquiridas, referentes ao Landsat 5, constam na Tabela 02.

**Tabela 2:** Descrição das três imagens selecionadas, apresentando as datas de realização do imageamento, o que perfaz uma escala de 30 anos de observação do fenômeno estudado, permitindo uma análise multitemporal comparativa.

IMAGEM	SATÉLITE	SENSOR	DATA	BANDAS	AQUISIÇÃO
LT5_223_061_19950710	LANDSAT5	TM	07/1995	5-4-3	INPE
LT5_223_061_20060221	LANDSAT5	TM	08/2006	5-4-3	USGS
LC8_223_061_20170720	LANDSAT8	OLI	07/2017	6-5-4	USGS

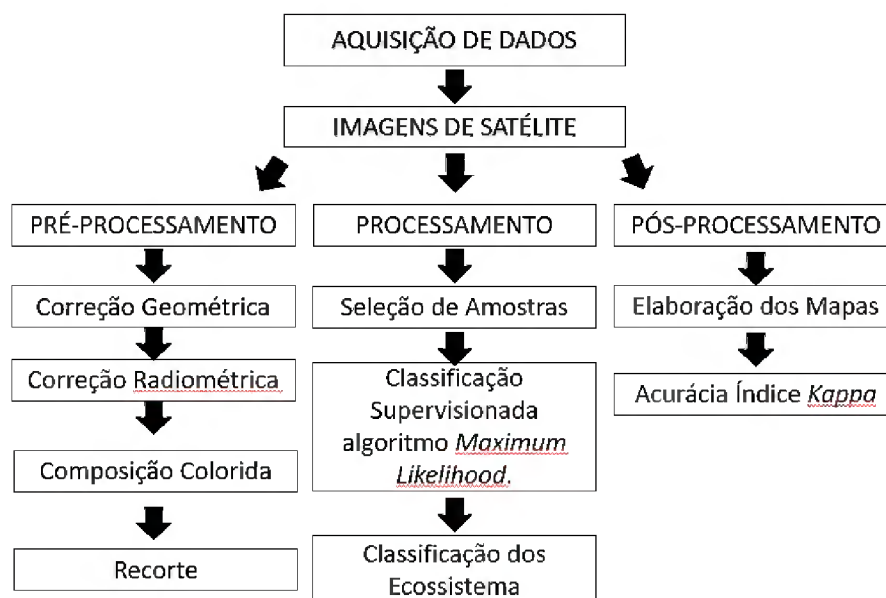
#### Procedimentos Metodológicos

Para o processamento digital das imagens foi utilizado o software ENVI Classi versão 5.0 e para a geração de dados espaciais e elaboração dos mapas temáticos utilizou-se o software ArcGIS versão 10.1. As imagens do satélite Landsat 5 TM foram corrigidas geometricamente através do método de georreferenciamento image-to-map, tendo como base a imagem do satélite Landsat 8 OLI que é georreferenciada. Posteriormente, aplicou-se a correção radiométrica com um realce de contraste através do aumento linear de 2%.

Realizou-se composições RGB com as bandas 4-5-3, respectivamente, nas imagens Landsat 5. Já a imagem do satélite Landsat 8 a composição RGB foi com as bandas 5-6-4. Com essas composições se conseguiu imagens falsa cor e o recorte apenas da área de interesse deste estudo nas imagens. As etapas podem ser entendidas na figura 2.

**Figura 2:** Descrição metodológica das etapas para realização da Análise Espaço Temporal





As classes escolhidas para este estudo foram as seguintes: Agroecossistema, Agroecossistema de Pastagem, Ecossistema Florestal, Ecossistema Sucessional de Floresta, Ecossistema Aquático e Ecossistema Urbano.

Posteriormente foi realizada a classificação com o método da Máxima Verossimilhança – Maxver (Maximum likelihood) que considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos (MENESES & SANO, 2012). De acordo com INPE (2008), este classificador assume que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. Em seguida foram elaborados mapas de classificação para cada ano. Para validação da classificação foi calculado o índice Kappa, que segundo Dusseux et al., (2014) pode variar de 0 a 1, intervalo dentro do qual os resultados acima de 0,800 podem ser considerados como mapeamentos de alta acurácia (Tabela 3).

**Tabela 3:** Descrição metodológica das etapas para realização da Análise Espaço Temporal

Valor Kappa	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Fonseca (2000)

## 5.2 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

### Aquisição de dados

Foram utilizados dados da classificação dos ecossistemas obtidos através dos procedimentos metodológicos da análise espaço temporal. Os dados de declividade foram obtidos através dos procedimentos metodológicos da análise morfométrica provenientes de dados altimétricos da grade vetorial do INPE. As informações temáticas preexistentes, correspondentes à geologia, geomorfologia e pedologia foram extraídas da base de dados de Informações Ambientais do IBGE.

Para a determinação dos índices de fragilidade, foram consideradas as informações dos indicadores que são capazes de influenciar no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos de acordo com o grau de suscetibilidade de cada unidade adotada. Para que esses índices sejam estabelecidos, é necessário estipular, primeiramente, os critérios utilizados para a atribuição das notas ou pesos. Para isso tem-se como base os estudos e a metodologia de Crepani et al., (2001), os critérios qualitativos adotados para este estudo serão apresentados a seguir.

Foram adotados valores para cada critério de acordo com a sua importância e influência na avaliação da fragilidade ambiental. Para elaboração do mapa de fragilidade, foi feita a ponderação das variáveis considerando sua importância relativa na área de estudo e foi realizada a análise multicritério.

Os arquivos referentes aos dados estudados, foram processados no software ArcGis 10.1, foram transformados para o formato Raster por meio da ferramenta Feature to Raster. Em seguida foram atribuídos pesos de fragilidade por meio de valores tabelados propostos por Crepani et al., (2001), através de pesos que variam de 1,0 a 3,0, onde 1 representam atributos considerados estáveis (onde predomina a pedogênese), 2 para os intermediários, e 3 para atributos considerados instáveis (onde predomina a morfogênese). Tais valores de fragilidade tiveram que ser indicados para cada atributo dos critérios em estudo utilizando-se para isso a ferramenta Reclassify.

A obtenção do mapa de fragilidade ambiental será realizada após a álgebra de mapas por meio do cruzamento dos mapas temáticos de critérios descrito a seguir.

**Tabela 4:** Classes de fragilidade e seu correspondente peso de classificação.

TEMAS	PESO
Declividade (D)	0,3
Geomorfologia (GM)	0,1
Geologia (G)	0,1
Pedologia(P)	0,2
Ecossistemas (E)	0,3

$$F = (E * p + GM * p + P * p + G * p + D * p) \quad \text{eq. 1}$$

Onde: F = Fragilidade Ambiental;

p = peso da fragilidade para cada critério;

E = critério ecossistemas;

G = critério geologia;

GM = critério geomorfologia; 3)

P = critério pedologia;

D = critério declividade.

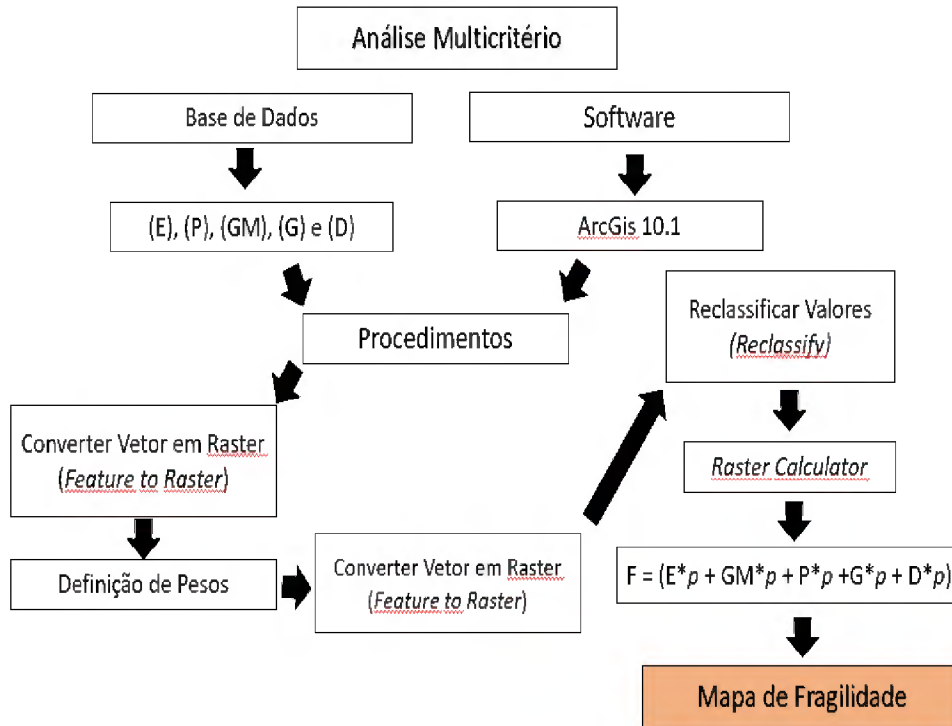
A escala de fragilidade ambiental pode ser entendida a partir da análise dos critérios ambientais, tais elementos foram reduzidos para uma escala contínua, variando de 1 (menor fragilidade) a 3 (maior fragilidade), segundo os intervalos apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5:** Classes de fragilidade e seu correspondente grau de classificação.

CLASSIFICAÇÃO DA FRAGILIDADE	GRAU DA FRAGILIDADE
1,00 - 1,35	Muito Baixa
1,35 - 1,75	Baixa
1,75 - 2,25	Média
2,25 - 2,65	Alta
2,65 - 3,00	Muito Alta

**Fonte:** Crepani et al. (2001).

**Figura 3:** Síntese dos procedimentos metodológicos para confecção do mapa de fragilidade ambiental da microbacia do Murucutu por meio da análise espacial multicritério.

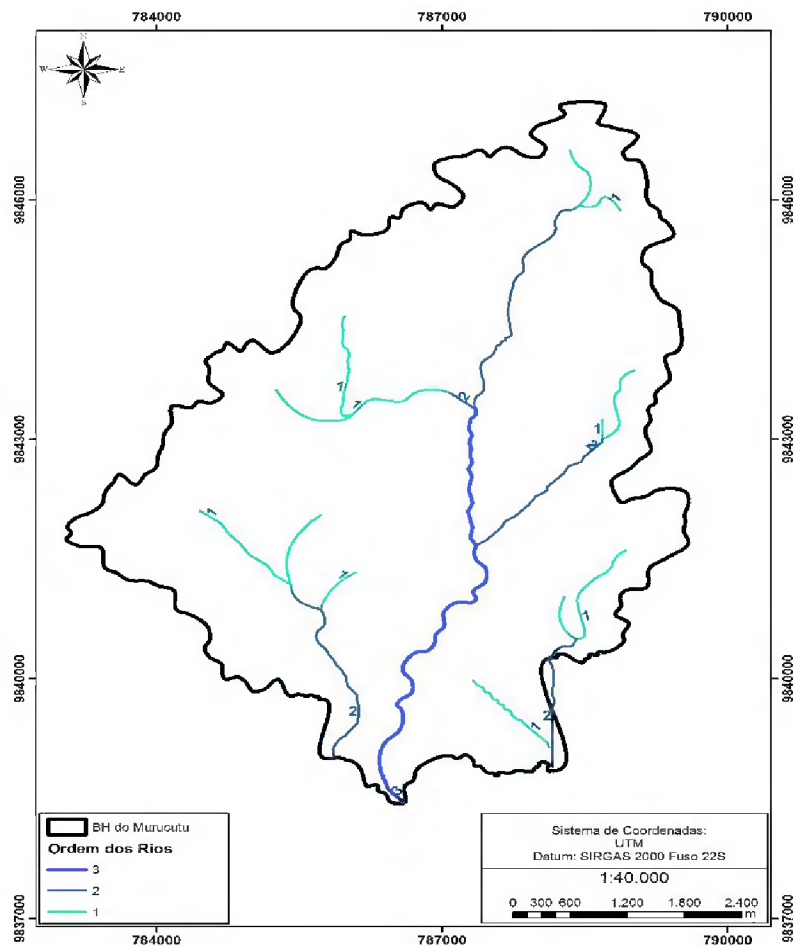


## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ANÁLISE MORFOMÉTRICA

A classificação dos rios quanto à ordem reflete no grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. A bacia de estudo possui drenagem dendrítica (Figura 4), sendo uma característica das planícies de inundação, constituindo de canais que se bifurcam e se confluem de maneira aleatória (CHRISTOFOLETTI, 1976).

**Figura 4:** Limites geográficos da microbacia do Murucutu e hierarquia fluvial ou ordem dos rios segundo a classificação de Strahler (1952)



A bacia apresentou ordem 3, na hierarquia proposta por Strahler (1952), indicando ser pouco ramificada, pois ordem inferior ou igual a 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas e reflete os efeitos diretos do uso da terra; considera-se que, quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem.

A microbacia do Murucutu possui 3204 ha de área de drenagem e perímetro de 33,86 km e o comprimento do eixo de 9,32 km. Segundo Lima (2008) bacias que apresentam áreas de até 40 ha são consideradas microbacias, as demais características física (tabela 6).

**Tabela 6:** Características Morfométricas obtidas para a Bacia Hidrográfica do Murucutu

	Características Físicas	Unidades	Resultados
Características Geométricas	Área de drenagem (A)	Km <sup>2</sup>	32,04
	Perímetro (P)	Km	33.86
	Comprimento do eixo da Bacia	Km	9,32

	Coeficiente de compacidade (Kc)	Adimensional	1,67
	Fator forma (F)	Adimensional	0,33
	Índice de Circularidade (Ic)	Adimensional	0,35
<b>Características de Relevo</b>	Altitude Máxima	m	40
	Altitude Média	m	22
	Altitude Mínima	m	4
	Amplitude Altimétrica (Hm)	m	36
	Relação de Relevo (Rr)	m/Km	3,86
	Índice de Sinuosidade (Is)	m/m	1,05
<b>Características do Sistema de Drenagem</b>	Comprimento do rio principal	Km	9,78
	Comprimento total da rede de drenagem	Km	28,05
	Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km <sup>2</sup>	0,88
	Ordem da Bacia	-	3

Os índices Coeficiente de Compacidade (Kc), Índice de Circularidade (Ic) e Fator de forma (F) são comumente analisados em conjunto na literatura científica. Conforme os trabalhos de Pereira et al., (2015), na BH do rio Peixe Boi-Pa, Santos et al., (2016), bacia do rio Moju-Pa, e Carvalho & Silva (2017), bacia do rio Itacaiunas-Pa. Isso ocorre devido a análise geométrica dos seus resultados indicarem ou confirmarem a propensão de riscos de enchentes ou inundações.

Segundo Oliveira et al., (2010) o Kc relaciona a forma da bacia com um círculo e constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência desse círculo, os autores afirmam que bacias que se aproximam dessa forma tendem a proporcionar rápida conversão de escoamento superficial, assim quanto mais próximo a 1 for esse índice maior a potencialidade de picos a enchentes na bacia. A microbacia do Murucutu apresentou Kc de 1,67, e foi classificada como não sujeita a enchente em condições naturais. No estudo de Ribeiro et al., (2015) na BH do Una, vizinha a bacia em questão, o mesmo índice foi de 1,60 e apresentou parâmetros geométricos semelhantes a bacia estudada, assim afastando-se da unidade de

referência 1, indicando, também, que a bacia não apresenta forma circular, possuindo uma tendência a forma alongada.

O índice F obtido para a área de estudo foi de 0,33 e o  $I_c$  foi de 0,35, segundo Wisler & Brater (1964) valores baixos (menores que 1), sugerem que o ambiente da bacia possui menores chances de ser atingida por chuvas intensas ao mesmo tempo em toda sua extensão. Santos et al., (2016) ao analisar a morfometria da BH do Aurá, também na Região Metropolitana de Belém, encontrou valor aproximado de F (0,44) e constatou que em condições normais de precipitação a bacia também não possui tendência a alterações. Diferentemente das conclusões que esses índices apontam, Targa et al., (2012) ao estudar o escoamento superficial da BH do Tucunduba, ao oeste da microbacia do Murucutu, constatou que a ocorrência de inundações é efetiva, e pode ser evidenciada pelos altos índices de escoamento superficial, à erosão do solo e ao assoreamento de canais e galerias, diminuindo suas capacidades de condução do excesso de água. E também a ocupação irregular da população, principalmente de baixa renda, e a perda de vegetação nativa para construções residenciais.

Outras características importantes são as de relevo que acordo com Villela & Mattos (1975), o conhecimento das informações sobre altitude é importante devido a influência que exercem sobre as perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, sobre o escoamento superficial. Lima (2008) afirma que além dos fatores mencionados as características de relevo regulam o tempo não somente do escoamento superficial, mas também a de concentração da precipitação nos leitos dos rios.

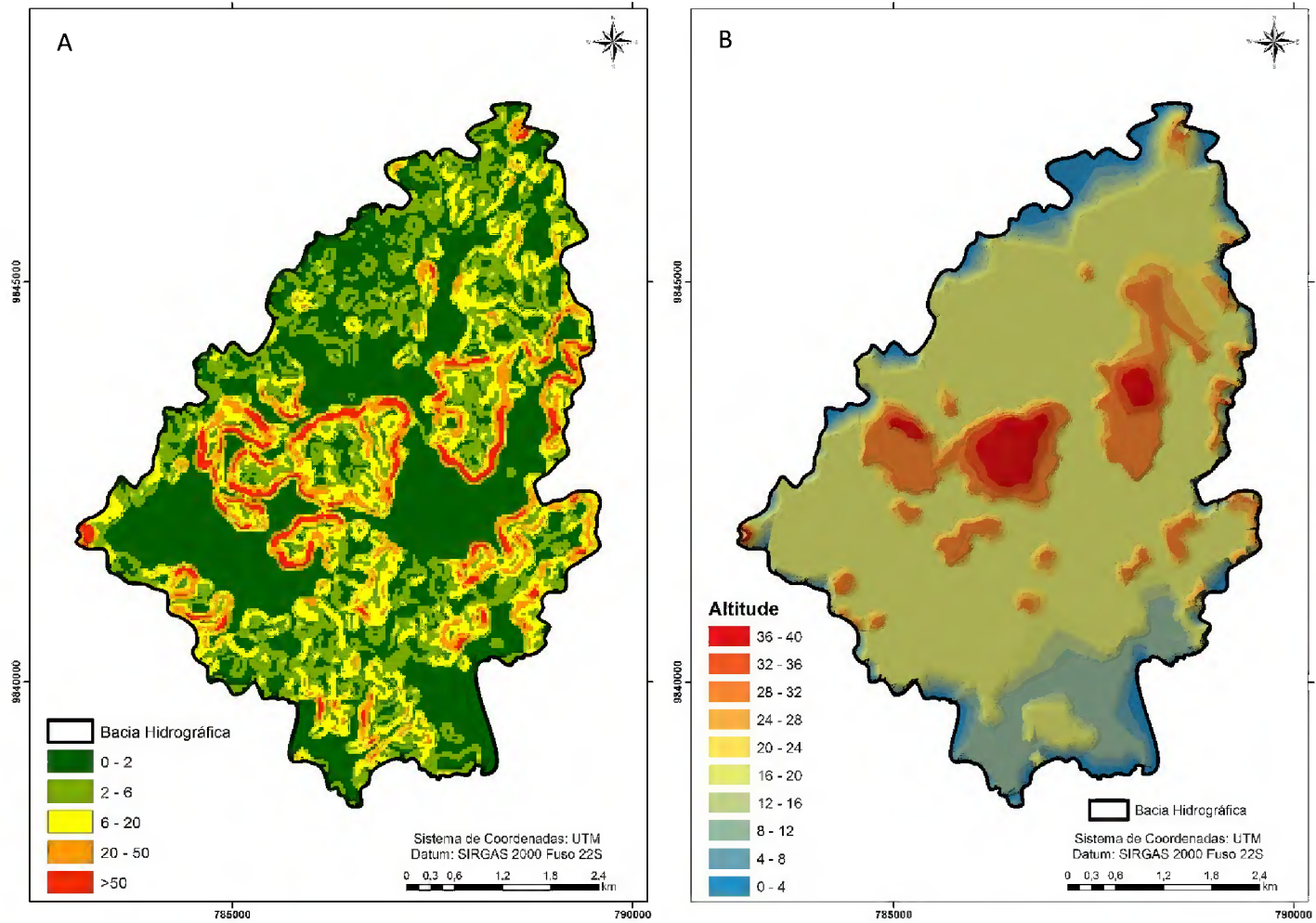
Na bacia há predominância do relevo plano com 43% de área e 28% de relevo suave ondulado, inferindo que a bacia possui no relevo pouco declivoso conforme tabela 7.

**Tabela 7:** Quantificação de Áreas para cada Classe de Relevo da microbacia do rio Murucutu, conforme classificação da CREPANI (2001)

Relevo	Declividade	Hectares	%
Muito baixa	>2	1375,81	43
Baixa	2-6	907,66	28
Média	6-20	521,22	16
Alta	20-50	116,22	4
Muito alta	>50	283,14	9
		3204,05	100,00

A amplitude altimétrica - Hm foi de 36m, tendo amplitude máxima de 40 e mínima de 4m como evidenciado na figura 5.

**Figura 5:** A) Classificação da declividade da microbacia do Murucutu, segundo Crepani et al., (2001), B) Classes de altimétricas de acordo com as altitudes máxima e mínima.





Esse resultado pode ser comparado ao Ribeiro et al., (2015) que obteve Hm de 35m na BH do Una, ambas consideradas altas quando comparadas a Hm 16m da bacia do Aurá, segundo Santos et al., (2016). As fortes amplitudes em bacias com similaridade de forma alongada apresentam forte vulnerabilidade e com isso grande fragilidade do meio natural, principalmente em ambientes serranos (RIOS, 2011), que não se evidencia na bacia de estudo. Tonello et al., (2006) afirmam que Hm influencia na radiação, evapotranspiração, temperatura e precipitação, pois, as áreas de maior declividade se encontram expostas ao sol, e refletem mais luz do que áreas que se encontram nas encostas.

A relação de relevo - Rr considera a relação existente entre a amplitude altimétrica da bacia e sua extensão (drenagem principal), conforme propôs Schumm (1956), mostrando que ambas estão relacionadas com as variações topográficas da bacia. Na microbacia do Murucutu a Rr foi de 3,86, valor indica que a bacia tem uma baixa relação de relevo entre os componentes horizontais (alongada) e verticais (baixa amplitude altimétrica). Isso é evidenciado pelas cotas altimétricas e por apresentar relevo plano (35,49%) como mencionado anteriormente. Nesse sentido, Carvalho & Neto (2012) explicam que quanto menores forem os valores, mais lento é o escoamento, aumentando o acúmulo de água no interior da bacia. Pode-se constatar que a microbacia do Murucutu pode ser considerada como de escoamento lento favorecendo a infiltração e a evaporação.

Para o Índice de Sinuosidade – Is o resultado obtido foi de 1,05, indicando que os canais são meandantes de baixa sinuosidade, principalmente no rio principal, pois valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, e valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos, os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares, com pequena capacidade de acúmulo de sedimentos (TEODORO et al., 2007). Pereira et al., (2015) analisando o mesmo índice na BH do rio Peixe-boi, também evidenciou pouca sinuosidade no rio principal, no entanto, a intensificação da ação antrópica e da ocupação desordenada das margens dos rios, principalmente no curso inferior médio do rio principal, tem promovido perturbações consideráveis em alguns pontos críticos que implicará em modificações futuras.

O índice de densidade de drenagem - Dd encontrado foi de 0,88 km/km<sup>2</sup>. Segundo Villela & Mattos (1975), a densidade de drenagem de uma determinada bacia pode variar entre 0,5 km/km<sup>2</sup>, caracterizando uma bacia de baixa densidade de drenagem, e 3,5 km/km<sup>2</sup>, onde mostra uma rica densidade de drenagem. Portanto, a densidade da área de

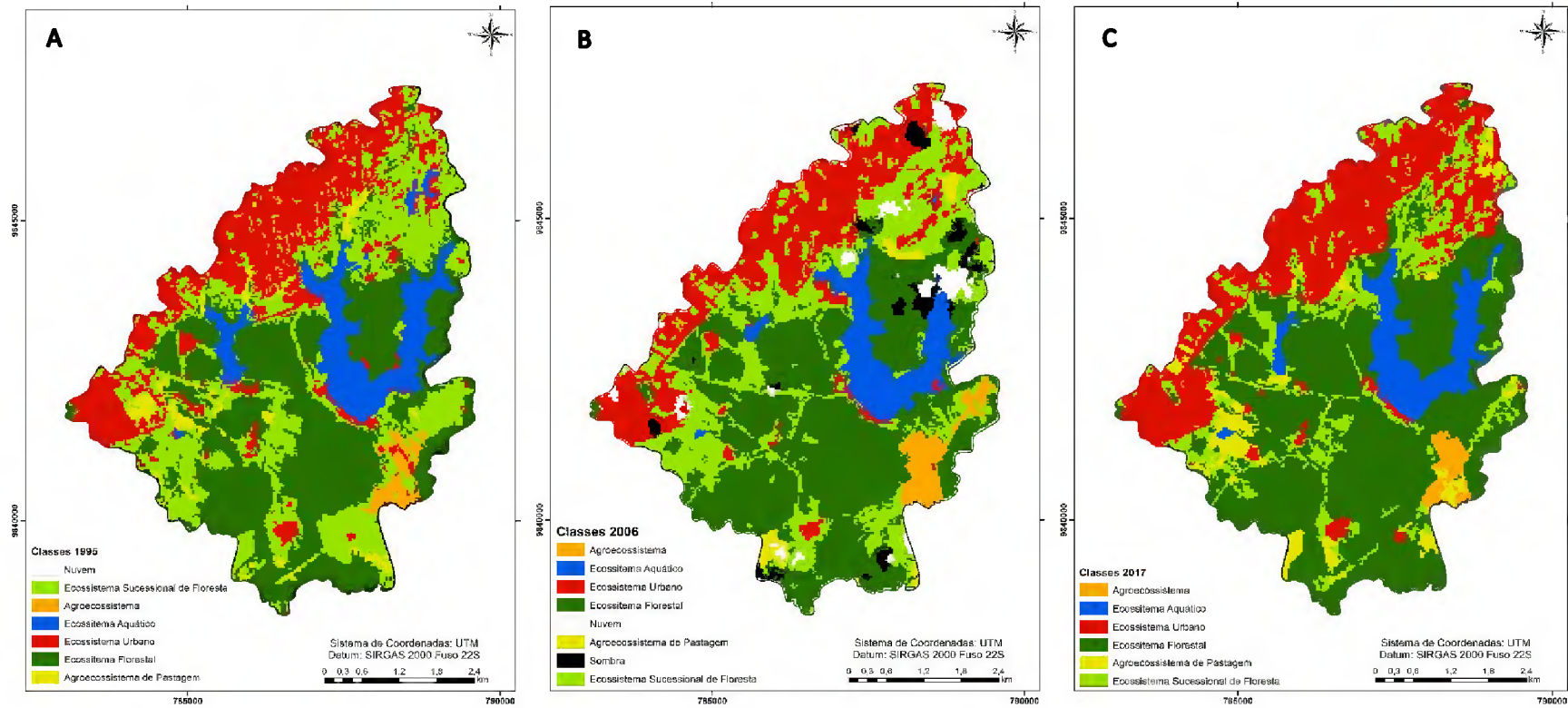
estudo é caracterizada como baixa. No entanto, de acordo com a classificação de Beltrame (1994), a microbacia do Murucutu se enquadra na faixa de densidade de drenagem mediana por apresentar valor entre 0,5 e 2. Essas características de drenagem, segundo Ribeiro et al., (2015), é reflexo da presença de um relevo predominantemente plano a suave ondulado, cuja condição de alta permeabilidade do solo permite rapidez de infiltração de água e conseqüente formação de lençóis aquíferos, estando pouco sujeita a cheias e erosões fortes.

## 6.2 Análise Espaço Temporal

A partir da metodologia utilizada para análise espaço temporal com base nas imagens de satélite e no conjunto com técnicas de geoprocessamento e interpretação de imagens, os produtos cartográficos evidenciam a dinâmica na paisagem da bacia através das alterações nas classes dos diferentes ecossistemas. A classificação foi considerada excelente, segundo o índice Kappa com 0,89 para o ano de 1995, 0,9 para 2006 e 0,92 para 2017.

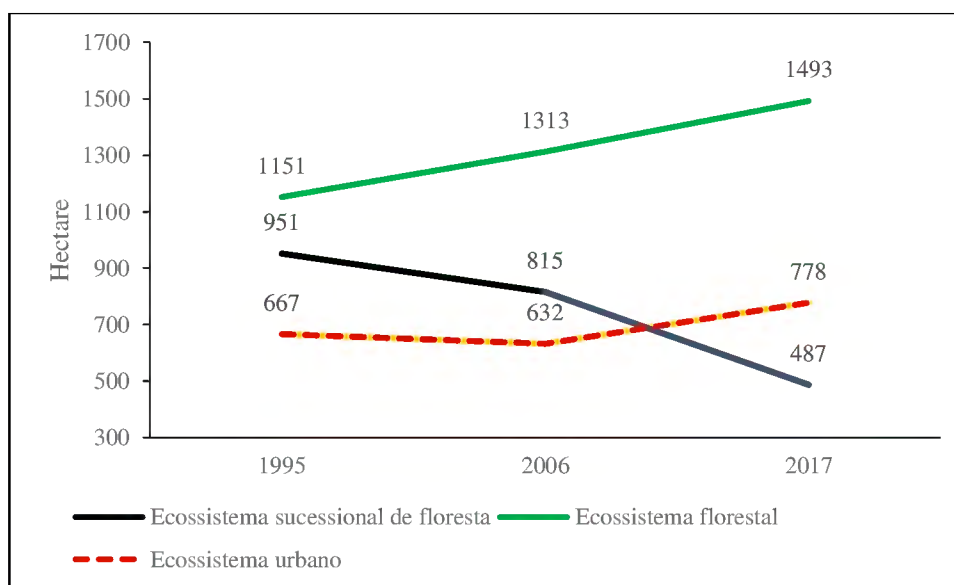
A análise espaço temporal realizada para os anos de 1995, 2006 e 2017 (figura 6) na microbacia Murucutu mostrou que houve mudanças na dinâmica da paisagem dos ecossistemas da bacia. Um dos indícios dessas mudanças tem sido a forte pressão antrópica, principalmente com a remoção de vegetação. Segundo dados de Pará (2013) o Parque Estadual do Utinga – PEUt, que pertence a bacia, agrega um valor de 213 ha de áreas alteradas.

**Figura 6:** Mapas multitemporais da microbacia do Murucutu, identificando as classes dos diferentes ecossistemas com indicadores de mudança de paisagem onde: A) refere-se ao ano de 1995. B) 2006 e C) 2017.



Segundo Matta et al., (2010) os esboços do crescimento populacional disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Belém - PMB para retratar a expansão do município para oeste, direção a qual estão localizadas as fontes de abastecimento de água, isto serve para analisar possíveis pressões socioambientais sobre os corpos d'água, principalmente com o possível aumento de áreas florestais suprimidas da microbacia do Murutucu. Santos et al., (2016) destacam que a bacia estudada enfrenta problemas em decorrência da urbanização crescente e desordenada no seu entorno, com surgimento de bairros, conjuntos residenciais e à multiplicação assentamentos espontâneos em seu entorno, isso pode ser evidenciado na figura 7.

**Figura 7:** Análise comparativa da evolução da paisagem da microbacia do Murucutu em relação aos principais ecossistemas que apresentaram alterações no tamanho de área nos diferentes anos estudados



Para uma bacia de grande valor importante para o município, a queda brusca em áreas de Ecosistemas Sucessional de Floresta em decorrência da urbanização é bastante preocupante, pois segundo Brito (2009), estudando gestão ambiental do PEUt, as ocupações por urbanização têm ocasionado intenso desflorestamento nas áreas de drenagens e florestas ripárias, contribuindo para seu processo de degradação ambiental da bacia. Uhly & Souza (2004) apontam que degradações no meio ambiente, principalmente em bacias, podem gerar conflitos de uso pela água provocando acréscimo da demanda e declínio de sua qualidade.

### 6.3 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

#### Ecosistema (E)

As classes para o critério Ecosistema (E) foram: a) Agroecossistema, b) Agroecossistema de Pastagem, c) Ecosistema Florestal, d) Ecosistema Sucessional de

Floresta, e) Ecossistema Aquático e f) Ecossistema Urbano. Os pesos atribuídos para cada uma dessas classes seguiram a metodologia de Crepani et al., (2001) descritas na tabela 8.

**Tabela 8:** Ecossistemas do critério (E) com os pesos correspondentes de acordo com o grau de fragilidade

<b>Ecossistemas (E)</b>	
Agroecossistema	3
Agroecossistema de pastagem	2,5
Ecossistema aquático	0
Ecossistema floresta	1
Ecossistema sucessional de floresta	2
Ecossistema urbano	3

**Fonte:** Adaptado de Crepani et al. (2001); Odum & Barrett (2011)

As classes do mapa de Ecossistemas foram ponderadas de acordo com seu grau de proteção conferida ao solo, considerando que os solos que apresentem cobertura vegetal original com Vegetação Arbórea, oferecem proteção máxima contra o impacto das chuvas e demais intempéries, receberam o peso 1 de vulnerabilidade, enquanto áreas como as de solo exposto, que são extremamente vulneráveis em função da pouca ou nenhuma proteção, receberam peso 3.

Os agroecossistemas, agroecossistemas de pastagem e ecossistema urbano foram classificados como sendo de alta vulnerabilidade (peso 3, 2,5 e 3), uma vez que ambas representam ambientes fragilizados no que diz respeito a proteção e integridade da estrutura do solo e são áreas de maior preocupação ambiental, devido à pouca/nenhuma cobertura natural. No entanto, positivamente, a bacia possui mais de 60% de sua área representada pelos ecossistemas florestal e sucessional (de acordo com a classificação do ano de 2017) demonstrando possível equilíbrio em relação aos ambientes mais frágeis.

Santos & Martins (2016), reiteram acerca das problemáticas embutidas na conversão dos ambientes naturais em áreas antropizadas, como as áreas urbanas e agroecossistemas, que são responsáveis por alterações sistemáticas nos ambientes em volta e extrapolam para ambientes vizinhos, como por exemplo, as perdas de solo por erosão hídrica.

#### Critério Geologia (G)

Para análise da geologia da bacia hidrográfica, utilizou-se as descrições e detalhamentos geológicos do estado do Pará e conforme observado nos mapas geológicos,

constatou-se apenas três unidades geológicas na área de estudo, sendo representadas na tabela 9.

**Tabela 9:** Unidades Geológicas segundo sua fragilidade

<b>Geologia (G)</b>	<b>PESO</b>
Cobertura Detrito Laterítica	2
Gupo Barreiras	1,5
Aluviões Holocênico	3
Massa d'água Continental	0

**Fonte:** Adaptado de Crepani et al. (2001).

A unidade Grupo Barreiras ou Formação Barreiras, representa grande parte da área da bacia hidrográfica, sendo classificada como de média vulnerabilidade (peso 1,5), apresentando sedimentos arenosos, siltsosos, e argilosos, de cores variadas, que se distribuem ao longo do litoral brasileiro (CPRM, 2008). Segundo Santos & Freitas (2015), o Grupo Barreiras apresenta origem sedimentar, suscetíveis à erosão por processos marinhos ou eólicos, provocando desmoronamentos, principalmente durante períodos mais chuvosos.

#### Critério Geomorfologia (GM)

Para a geomorfológico da área da bacia hidrográfica, foram analisados os tipos de relevo, considerando os parâmetros morfométricos das formas de relevo e drenagem, e sua dinâmica de evolução e foram ponderados valores de vulnerabilidade às classes geomorfológicas do mapa geomorfológico.

Foi encontrada somente a classe morfométrica Tabuleiro Costeiro que apresenta em suas características terrenos predominantemente planos, por isso atribuiu-se o menor valor, caracterizando-o como de muito baixa fragilidade conforme descrito na tabela 9. Medeiros et al. (2012), reforçam, argumentando que a geomorfologia do terreno é um fator fundamental para a transformação da energia cinética em energia potencial gravitacional, assim, quanto maior for a declividade maior será a velocidade de carreamento dos sedimentos que se encontram nela ou no seu topo, tornando este ambiente muito instável.

**Tabela 10:** Unidades Geológicas segundo sua fragilidade

<b>Geomorfologia (GM)</b>	
Tabuleiro Costeiro	1
Massa d'água Continental	0

**Fonte:** Adaptado de Crepani et al., (2001)

#### Critério Pedologia (P)

Para a avaliação da erodibilidade do solo foi utilizado como base o mapa pedológico do Estado do Pará confeccionado pelo IBGE. As classes de solo encontradas dentro da área do estudo foram ponderadas de acordo com sua capacidade de resistência a erosão, segundo os valores de erodibilidade de acordo com Mannigel et al. (2002), e Demarchi e Zimback (2014). Em casos da ocorrência de associações entre solos distintos, o solo mais abundante foi considerado a base para a atribuição do grau de vulnerabilidade.

Foram encontradas duas classes de solo na área de estudo (Tabela 11), onde o maior peso foi atribuído ao Gleissolo Háptico por apresentar em suas características físicas, maior suscetibilidade que as do Latossolo Amarelo.

**Tabela 11:** Classes de solos segundo sua fragilidade

<b>Pedologia(P)</b>	<b>PESO</b>
Latossolo Amarelo	1
Gleissolo Háptico	3

**Fonte:** Crepani et al., (2001)

Na bacia estudada há predominância dos Latossolos nas áreas mais estáveis da bacia, fundamentalmente nas áreas de menores declividades. Esse fato pode ser atribuído ao maior desenvolvimento dessa tipologia de solo, que podem possuir grande profundidade e boa porosidade, sendo resistentes aos processos erosivos (MESQUITA et al. 2010). E, segundo Pereira et al., (2015), são solos bastante maduros, atribuindo uma elevada estabilidade uma vez que não favorecem a erosão, prevalecendo assim o processo da pedogênese, apresentando baixa vulnerabilidade.

#### Critério Declividade (D)

O mapa de Declividade utilizado foi extraído da análise morfométrica deste estudo apresenta seus valores em porcentagem, expresso na escala de 1:100.000, tendo como base cartográfica IBGE. Os intervalos de declividade foram gerados a partir de grades altimétricas segmentadas em cinco intervalos, cada um deles associado a uma classe de fragilidade conforme tabela 12.

Segundo Pereira et al., (2015) a declividade tem relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, o que por sua vez é responsável pelo arraste e perda de solo perda erosão, o que implica dizer que, quanto maior for a declividade, maior será a vulnerabilidade dessa área à erosão.

O processo erosivo pode ser relacionado a uma série de fatores, como por exemplo, a topografia, a geomorfologia, natureza do substrato, cobertura vegetal e a atuação antrópica, mas

a declividade é um dos fatores mais relevantes no processo de escoamento superficial, sendo considerada, neste trabalho, a variável de maior contribuição para a vulnerabilidade natural com peso igual 3 quando considerada muito alta (tabela x);

**Tabela 12:** Intervalos de declividade e classes de fragilidade na área da bacia hidrográfica do Murucutu.

Declividade (D)	PESO
>2	1
2-6	1,5
6-20	2
20-50	2,5
>50	3

**Fonte:** Crepani et al., (2001)

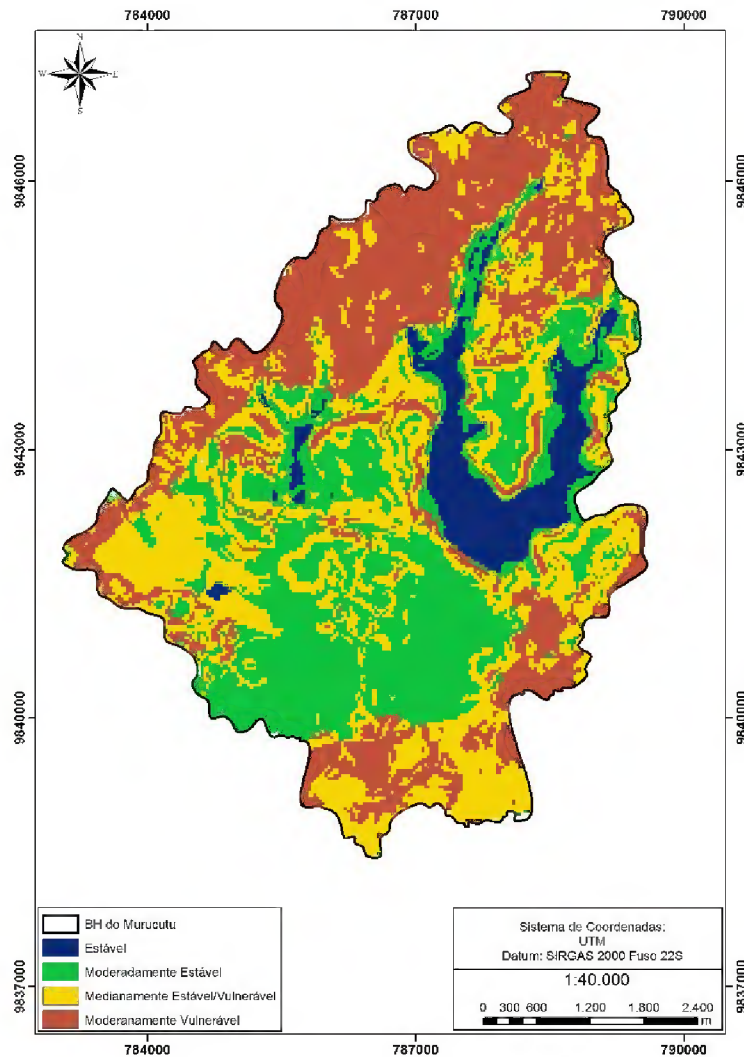
Na bacia há o predomínio de áreas com fragilidade igual a 1, apresentando declives variando de 0 – 2%, e em segundo lugar as áreas com fragilidade igual a 1,5, com declives variando de 2 – 6%. Barros et al., (2014), e Luz et al., (2015), correlacionam o grau de declividade da área com os fatores infiltração, escoamento superficial, e umidade do solo, potencializados pela tipologia do solo e suas características de porosidade e permeabilidade, atribuindo à solos mais planos e permeáveis uma menor tendência aos processos erosivos.

Para a análise de vulnerabilidade foram integrados os cinco critérios ambientais, conforme descrito na metodologia, resultando em uma análise multicritério, que pôde mapear a Fragilidade Ambiental da bacia estudada. Os processamentos, análise de critérios e confecção da álgebra de mapas foram gerados a partir da imagem do ano 2017, por se tratar de uma imagem mais atual em relação as demais estudadas (1995 e 2006) podendo assim gerar dados que poderão subsidiar políticas públicas de planejamento estratégico ambiental imediato.

A distribuição espacial das classes qualitativas das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do Murucutu com resultado final através da álgebra de mapas dos critérios selecionados podem ser expressos na figura 8, e o grau de fragilidade descrito na tabela 13.



**Figura 8:** Fragilidade Ambiental da bacia hidrográfica do Murucutu no ano de 2017, com base na distribuição espacial das classes qualitativas propostas por Crepani et al., (2001), indicando as áreas com estabilidade moderada e mediana, e com propensão a vulnerabilidade.



**Tabela 13:** Distribuição das classes de Fragilidade

2017		
Fragilidade	Ha	%
Estável	255,53	8
Mod Estável	966,44	30
Mod Estável/Vuln	1004,17	31
Mod Vuln	977,94	31
	3204,07	100

A classe estável (cor azul) na distribuição espacial varia de 1,00-1,35 e indica fragilidade baixa e ocupa 8% da área da bacia. Isso pode ser explicado através da declividade encontrada

onde mais de 60% da área da bacia possui relevo pouco declivoso ou suave ondulado e por apresentar em grande parte da bacia a tipologia pedológica do Latossolo Amarelo.

A classe moderadamente estável (cor verde) tem variação entre 1,35-1,75 indicando uma dinâmica no grau de fragilidade, ocupando 30% da área da bacia. Pode ser justificada pela presença de ecossistemas florestais, sucessionais e solos com características pouco erosivas que podem ser considerados estabilizadores por oferecer boa proteção ao solo.

As classes Medianamente Estável Vulnerável (cor amarela) e Moderadamente Vulnerável (cor laranja) representam 62% de área da bacia estudada em relação a fragilidade ambiental. Esses resultados podem ser explicados pela crescente antropização e pela presença pedológica do Gleissolo Háptico e declives entre 6-50%.

## **7 CONCLUSÃO**

As características morfométricas da microbacia do Murucutu permitiu concluir que é considerada de pequeno porte e de forma alongada, o que não favorece à inundação em condições normais de precipitação.

A análise espaço temporal permitiu concluir que a microbacia do Murucutu apresenta dinâmica na sua paisagem. O ecossistema urbano teve um aumento significativo nos períodos estudados (1995, 2006, 2017) e o Ecossistema sucessional de floresta teve que diminuição de mais de 50% de sua área em hectares no período de 1996 a 2017.

A fragilidade ambiental da bacia hidrográfica, por meio da análise multicritério, encontra-se predominantemente dividida entre as classes Medianamente Estável Vulnerável e Moderadamente. Proporcionou indicação das áreas de maior fragilidade na bacia estudada, identificando as que são potencialmente mais frágeis.

Espera-se que dos dados levantados e resultados obtidos acerca das condições ambientais das áreas referentes microbacia do Murucutu, sirvam como subsídios para auxiliar nas tomadas de decisões que visem mitigar e ordenar as atividades antrópicas nesta e em outras bacias hidrográficas.

## 8 REFERÊNCIAS

- AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850–860, 2014.
- ALVARES, C A.; STAPE, L. J.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L M., SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, 711–728, DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507., Gebruder Borntraeger 2014.
- Anuário Estatístico do Município de BELÉM. Capítulo 01: **Caracterização do Território**. 16p, 2011.
- BARROS, C. A. P.; SIQUEIRA, P. T.; CORLONE, A. A. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]**. vol.38, n.2, p. 557-564, 2014.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1994.
- BIELENKI, C. J.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e recursos hídricos: aplicações práticas**. São Carlos: EduFSCar, 2012. p. 17-91.
- BOTELHO, R. G. M. **Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica**. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado (coord.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 340. 269 - 300 p.
- BORDALO, C. A. L. **O Desafio das águas numa metrópole amazonida: Uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da Região Metropolitana de Belém – PA (1984 – 2004)** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 252 f. 2006.
- BRITO, S. K. M. **Parque Estadual do Utinga (PA): uma gestão ambiental participativa**. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) – Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 201p. 2009.
- CARREGA, E. F. B. Diagnóstico integrado de síntese da Bacia do Rio Capivara, Botucatu (SP). 2010. 269 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- CASTRO, E. Geopolítica da água e novos dilemas a propósito da Amazônia e seus recursos naturais. In: ARAGON, L. E.; CLÜSENER-GODT, M. (Orgs.). **Problemática do uso local e global da água da Amazônia**. Belém: NAEA, 2003. p. 334.
- CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. **Revista Sociedade e Natureza (Online)**, v. 23, n.1. 2011.

CARVALHO, B. C.; SILVA, S. N. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio ITacaiúnas-Pa.** In: Anais do II Congresso Amazônico de Meio Ambiente e Energias Renováveis. Anais...Belém(PA) UFRA Campus Belém-Pa, 2017.

CARVALHO, K. F. NETO, R. M. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Humaitá (juiz de fora, mg) como subsídio à investigação de riscos a inundações: resultados preliminares. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N.4, p.138 – 149, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **A dinâmica do escoamento fluvial.** Bol. Geogr., 34(249). Rio de Janeiro. p. 58-71, 1976.

CHRISTOFOLLETTI, A. **Geomorfologia**, 1980. 280p.

CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará.** Belém: CPRM, 2008, 328 p.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. D., HERNANDEZ FILHO, P., FLORENZANO, T. G., DUARTE, V., & BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial (p. 124). São José dos Campos: Inpe. p 124, 2001.

DEODORO, S.C.; FONSECA, B.M. análise da bacia hidrográfica do rio santa bárbara (mg) baseada em análises morfométricas e multicriteriais. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV Expositiva, 2014, Gramado. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV Expositiva. Rio de Janeiro: SBC, v. 1, p. 1-14, 2014.

DUSSEUX, P., GONG, X., HUBERT-MOY, L., & CORPETTI, T. Identification of grassland management practices from Lai time series. **Journal of Applied Remote Sensing**, In press. (2014).

EASTMAN, J. R. **IDRISI Selva Manual.** Worcester: Clark University, Clark Labs, 2012. 354 p.

FARIAS, R. N.; PEDROZO, C. S.; MACHADO, N. A. F.; RODRIGUEZ, M. R. Análise morfométrica e de usos do solo da bacia hidrográfica do Arroio Candiota, RS, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v.42, n.2, p.159-172, 2015.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; Torres, R. B.; ADAMI, S. F. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p.1-13, 2008.

GARÓFALO, D. T.; FERREIRA, M. C. Mapeamento de fragilidade ambiental por meio de análise geoespacial: Uma aplicação na alta bacia dos rios Piracicaba e Sapucaí-Mirim, APA Fernão Dias, MG. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume 29 (2015), p. 212 a 245.

GONÇALVES, G.G.G.; DANIEL, O; COMUNELLO, E.; VITORINO, A.C.T.; ARAI, F.K. **Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas.** Floresta. Curitiba, PR, v.41, n.4, p.797-808, out/dez 2011.

GOULART, M. D. C.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudo de impacto ambiental. **Revista da FAPAM**, Minas Gerais, n. 1, p. 153- 164, 2003.

GOUVEIA, R. G.; GALVANIN, E. A.; NEVES, S. M. Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da bacia do córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra-MT. **Revista Árvore** [online]. 2013, vol.37, n.6, pp. 1045-1054.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v. 2 n. 2, p. 73-83, 2008.

GHEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da bacia do rio xaxim, baía de antonina - Pr, com o auxílio de geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, 64p. 2003.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 225-256.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins** Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol Soc Am Bull.* 56:275–370 (1945) Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v. 11, n. 128. p. 55-69, ago. 1985.

IBGE. Banco de Dados. 2008. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1246&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1246&id_pagina=1). Acesso em: 24 maio 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, diretoria de geociências, mapas-tematicos\_pedologia/unidades\_federação/pa\_pedologia, 2012.

IMBIRIBA JUNIOR, M., COSTA, F. 2003, **Recursos hídricos: o caso dos mananciais dos lagos Bolonha e Água Preta na Região Metropolitana de Belém**, Pará. 33ª Assembleia Nacional da ASSEMAE, 33, Santo André. Anais.

KAWAKUBO, F.S, MORATO, R.G, CAMPOS, K.C, LUCHUARI, A. ROSS, J.L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [CD-ROM]: 2005 abr 16-21; Goiânia, Brasil, p.2203-2210.

KOTTEK, M. et al. World map of the Koppend-Geiger climate classification uptaded. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, p. 259-263, 2006.

LASZLO, M. J., ROCHA, P. C. Composição Hierárquica dos Canais Fluviais das Bacias Hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. **Revista Geonorte**, Edição especial 4, v.10, n.1, 2014. p.229.

LIMA, V. F.; FURRIER, M. Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Mamuaba - PB, para detecção de prováveis deformações neotectônicas. **Cadernos de Geociências**, v. 10, p. 34-44, 2013.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. ESALQ/USP: Piracicaba, 2.ed. 2008, 245p.

LINDNER, E.; GOMIG, K.; KOBAYAMA, M. **Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe, SC**. In:

Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis, Brasil. Anais... Florianópolis: INPE, 2007. p. 3405-3412.

LINHARES, C. A.; SOARES, J. V.; BATISTA, G. T. **Influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Ji-Paraná.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3097-3105.

LUZ, T. E.; LIMA, E. B. N. R.; SALOMÃO, F. X. T. Morfopedologia aplicada à concepção de obras em microbacia do perímetro urbano de Várzea Grande-MT. **Revista Ambiente e Água.** vol. 10, n. 3, p. 646-659, 2015.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia – USP.** V. 24, p. 57-79, 2012.

MATTA, M. A. S.; MARTINS, J. A. C.; CAVALCANTE, I. N.; ASSIS, J. F. P.; DINIZ, C. G.; CRISTO, L. C. F.; FEITOSA, R. S.; PANTOJA JÚNIOR, A. F. P.; VASCONCELOS, Y. B. **Comportamento do nível estático e do fluxo hídrico subterrâneo do sistema hidrogeológico superior da bacia hidrográfica do Murucutu Belém-Pa.** XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2010.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, 2002. p. 292.

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MENESES, P. R.; SANO E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** 1. ed Brasília: UnB, 2012. cap.12, p.191-208.

MOURA, A. C. M. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906.

ODUM, E. P. e BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011, 612p.

OLIVEIRA, P. T. S. ; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B.. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**[online]. vol.14, n.8, pp.819-825. 2010.

PADILHA, D. G. **Caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande-RS como subsídio ao planejamento territorial.** In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto [CD-ROM]: 2013 abr 13-18; Foz do Iguaçu, Brasil, 4072-4079.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de Fragilidades Ambientais à ponderação Multicriterial: Aspectos Físicos da Bacia Hidrográfica do alto Uruguai. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 535-548, 2014.

PANTOJA, M. A. L.; RIOS, E. G.; PEREIRA, B. W. F.; CORREA, D. L.; SOARES, J. A. C.; FIGUEIREDO, D. B. Detecção de canais e rios impactados pelo despejo irregular de efluentes na cidade de Belém. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2014, Gramado RS. *Mapas conectando o Brasil e o mundo*, 2014.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente: **Revisão do Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga** / Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém: SEMA; Belém: IMAZON, 376p. 2013.

PEREIRA, B. W. F., MACIEL, M. D. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 11(2), 472, 2016.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A. O.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. Geotecnologias com apoio de índices morfométricos para a caracterização da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 12, n. 22, p. 2960–2974, 2015.

REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil**. In: REBOUÇAS, A. C. et al. (orgs.) *Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação*. São Paulo: Escrituras, 2002. 2ª Ed. Revisada e ampliada.

RIBEIRO, E. G. P.; FERREIRA, B. M.; MACIEL M. N.M.; PEREIRA, B. W. F.; SOARES, J. A. C. Caracterização Morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé do una por meio de geotecnologias. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 2015.

RIOS, M. L. **Vulnerabilidade à erosão nos compartimentos morfopedológicos da microbacia do Córrego Do Coxo / Jacobina-Ba**. 2011. 159 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2011.

SALGADO, M. P. G. et al. **Caracterização de uma microbacia por meio de geotecnologias**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 4837–4843, 2009.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W.: Análise Morfométrica das Sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v 7, n 3, p.195-211, 2012.

SANTOS, L. S.; GUTIERREZ, C. B. B.; DIAS, N. M.; MARTORANO, L. G.; PONTES, A. N. Áreas Úmidas Propícias a Poluição nas Bacias Hidrográficas do Murucutu e Aurá: Contribuição para Avaliações de Resíduos Sólidos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 2016.

SANTOS, L. S.; MARTORANO, L. G.; BATALHA, S. S. A.; PONTES, A. N.; TANCREDI, N. S. H. Morfometria da Sub-bacia do Rio Moju na Flona do Tapajós, Oeste do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.24; p. 2016.

SCHIAVO, B. N. V.; HENTZ, A. M. K.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. v. 20, n. 1, jan.- abr. p.464-474, 2016.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy. *Bull. Geol. Soc. America*. 67:597-646, 1956.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, p.218-232, 2012.

SILVA NETO, A. F; GUIMARÃES C. L.; ARAÚJO, J.S.; ARAÚJO, J.S.: **Geotecnologias para a caracterização morfométrica de bacia hidrográfica**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. INPE, 13 a 18 de abril de 2013.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Avaliação Multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.6, p.973-982, 2014.

SINGH, P.; GRUPTA, A.; SINGH, M. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sensing*, v.17, n.2, p.111-121, 2014.

SOUZA, M. B.; MARIANO, Z. F. Geografia Física e a questão ambiental no Brasil. *GEOUSP Espaço e Tempo*, São Paulo, nº 23, 2008 p. 77 - 98.

SPORL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. Dissertação de Mestrado, FFLCH-USP, 2001.

SPORL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP: Espaço e Tempo*, São Paulo, v., 15, n. 15, p. 39-49, 2004.

STRAHLER, Arthur N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography. *Geol. Soc. America Bulletin*. 63:1117-1142, 1952.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária - PR**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TARGA, M. S. et al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v.7, n.2, p. 120-142, 2012.

TAVARES, J. P. N. Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987. *Caminhos de Geografia*, v. 9, n. 28. p. 1 – 6, 1998.

TEODORO, V. L. I. et al. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local**. *Revista Uniara*, n. 20, p. 137–156, 2007.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciências florestal). Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade federal de Viçosa, 2005.



TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TRAFICANTE, D. P. **Fragilidade ambiental da APA Corumbatai Botucatu-tejupá (perímetro Botucatu, SP, Brasil) na bacia hidrográfica do rio Capivara**. 107p. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, 2016.

TRAJANO, S. R. R. S.; SPADOTTO, C. A.; HOLLER, W. A.; DALTIO, J.; MARTINHO, P. R. R.; FOIS, N. S.; SANTOS, B. B. O.; TOSCHI, H. H.; LISBOA F. S. **Análise morfométrica de bacia hidrográfica – subsídio à gestão territorial estudo de caso no alto e médio Mamanguape**. Campinas, SP: EMBRAPA, 2012. 35p.

UHLY, S. e SOUZA, E. L. A questão da água na grande Belém. **Casa de Estudos Germânicos**. Belém: Fundação Heinrich Boll, 2004.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria evaluation in the definition of priority areas for forest restoration, aiming at the sustainable water management. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (Org.) **Sustainable water management in the tropics and subtropics and case studies in Brazil**. Jaguarão: Fundação Universidade Federal do Pampa, UNIKASSEL, PGCULT, UFMA, 2011. v.1. p.377-406.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill. 245p. 1975.

VITAL, S. R. O.; SILVEIRA, T. A.; ALENCAR, H. M. Q.; FERREIRA, B. **Uso de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para o mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. Anais... Recife: SBCGTG, 2010.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. **Hidrologia**. Tradução e publicação de Missão Norte Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A. 1964. 484p.