



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PETROBRAS – PETRÓLEO BRASILEIRO S/A
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



BRUNO WENDELL DE FREITAS PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PEIXE-BOI, NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

BELÉM – PA

2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PETROBRAS – PETRÓLEO BRASILEIRO S/A
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



BRUNO WENDELL DE FREITAS PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PEIXE-BOI, NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias, área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Francisco de Assis Oliveira

BELÉM – PA

2016

Pereira, Bruno Wendell de Freitas

Avaliação da degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará / Bruno Wendell de Freitas Pereira. - Belém, 2016.

XXXX

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2016.

XXXX

CDD – XXXX



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PETROBRAS – PETRÓLEO BRASILEIRO S/A
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



BRUNO WENDELL DE FREITAS PEREIRA

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PEIXE-BOI, NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Ciências Agrárias: área de concentração Agroecossistemas da Amazônia, para obtenção do título de Doutor.

Aprovado em de abril de 2016

BANCA EXAMINADORA

Dra. Maria de Nazaré Martis Maciel – Co-orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dra. Arlete Silva de Almeida – 1º Examinador
MUSEU PARAENSE EMILIO GOELDI - MPEG

Dr. Sérgio Brazão e Silva – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Carlos Augusto Cordeiro Costa - 3º. Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Pedro Silvestre da Silva Campos - 4º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Ao GRANDE ARQUITETO DO
UNIVERSO, por sua infinita bondade e
misericórdia para com nossas vidas.

Aos meus **PAIS**, exemplos de força,
dedicação e abdicção, bases da minha
educação, que semearam e cuidaram
com atenção e carinho do meu
crescimento pessoal e profissional.

Aos **MESTRES** que souberam ensinar
e guiar-me na direção correta para que
esse crescimento fosse possível e que
continue indeterminadamente.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao seu corpo docente, pela oportunidade de realizar este curso e aperfeiçoar nossos conhecimentos.

Ao CNPq e a PETROBRAS por viabilizar e financiar o projeto de pesquisa.

À minha orientadora e amiga Prof^a. Maria de Nazaré Martins Maciel, Dra. da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela paciência, orientações, confiança, respeito e dedicação na condução desta Tese.

Ao orientador Prof^o. Francisco de Assis Oliveira, Dr. da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela ajuda na elaboração desta Tese.

Aos professores e amigos Merilene Costa, João Almiro, e Paula Pinheiro, pelo incentivo, confiança, amizade e apoio moral, que contribuíram para o desenvolvimento desta Tese.

Aos Engenheiros e amigos, Bruno Ferreira, Thais Braga, Rodolfo Reis e Ellen Ribeiro, pelo importante apoio técnico para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Instituto Ciberespacial – ICIBE, e seu diretor Prof^o. Pedro Silvestre da Silva Campos, pela disponibilização de laboratórios e equipamentos necessário ao desenvolvimento do trabalho.

Ao Laboratório de Geoprocessamento, Análise Espacial e Monitoramento por Satélite-LAGAM, seus monitores e estagiários, pelo suporte técnico e logística.

À minha namorada Thaynara Barros Carvalho, pelo grande apoio, compreensão, respeito e incentivo nos momentos difíceis.

Agradecimento especial aos meus pais, Odete de Freitas Pereira, Silvia de Freitas Pereira, e Manoel da Conceição Pereira pelos incansáveis incentivos, abdicção e apoio incansável à realização dos meus sonhos.

E a todos os Professores, Servidores e Técnicos, que direta ou indiretamente auxiliaram para a conquista e concretização deste trabalho.

“Assim como casas são feitas de pedras, a ciência é feita de fatos. Mas uma pilha de pedras não é uma casa, e uma coleção de fatos não é, necessariamente, ciência”.

(Jules Henri Poincare)

“Não ganhe o mundo e perca sua alma, pois sabedoria é melhor que prata e ouro”

(Robert Nesta Marley)

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi localizada no Nordeste Paraense, vem enfrentando um intenso processo de antropização dos ecossistemas, decorrente, principalmente, do crescimento descontrolado das atividades agrícolas e da pecuária. Este trabalho teve o objetivo de avaliar os níveis de degradação ambiental na bacia mencionada, através da análise de múltiplos critérios naturais, sob pressão antrópica, em ambiente SIG. Para isso, o trabalho foi organizado em três objetivos específicos: (1) realizar a caracterização morfométrica da bacia, (2) mapear e identificar os conflitos de uso das terras nas APPs, relacionando com a qualidade da água, e (3) identificar e avaliar a vulnerabilidade natural à erosão por meio de análises multicritério. A bacia em estudo foi caracterizada como sendo de grande porte, apresentando 1.034Km² de área, contudo, apresentou baixa densidade de drenagem e elevada permeabilidade do solo, sendo pouco favorável a inundações. Seus canais são pouco sinuosos, apresentando baixa declividade e pequeno índice de bifurcação, caracterizado como sendo de 4^a ordem. Constatou-se que 46% das APPs da bacia estudada, encontram-se em conflito de uso, ocupadas principalmente pela classe pastagem (84%), e em menor proporção pelas classes solo exposto e área urbana. Registrou-se que os piores índices de qualidade da água, estavam relacionados às áreas de uso e ocupação irregulares dentro das áreas de proteção permanente, sobretudo nas áreas de maior antropização próximas aos centros urbanos, onde foram observado valores críticos Oxigênio dissolvido, chegando a 2,14 mg/L, valores muito abaixo do estabelecido pela resolução 357/05 do CONAMA. Quanto a fragilidade ambiental da bacia do rio Peixe-Boi, foi observado que aproximadamente 47% de sua área é constituída por ambientes classificados como sendo de média vulnerabilidade à erosão, apresentando grandes áreas de pastagem e agricultura, que são tipologias relativamente degradantes ao solo. As áreas de maior vulnerabilidade forma as de maior declividade, próximas à foz da rede hidrográfica, apresentando tipologias de Neossolo Flúvico e Gleissolo Háplico, e cobertura do solo, predominantemente, do tipo campos naturais com algumas faixas de área urbana.

Palavras-chave: Antropização, Ecossistemas, Recursos Naturais, Geotecnologias.

ABSTRACT

The watershed of the Peixe-Boi river, located in northeastern of Pará, it is facing an intense process of human disturbance of ecosystems, mainly due to the uncontrolled growth of agricultural activities and livestock. This work aimed to evaluate environmental degradation levels in said basin, through the analysis of multiple natural criteria under human pressure, in a GIS environment. For this, the work was organized in three specific objectives: (1) perform the morphometric characterization of the watershed (2) map and identify conflicts of land use in the PPAs, relating to water quality, and (3) identify and evaluate the natural vulnerability to erosion through multi-criteria analysis. The study area was characterized as large, with 1.034Km² area, however, showed low drainage density and high permeability of the soil, being unfavorable to flooding. Its channels are slightly sinuous, with low slope and small bifurcation index, characterized as 4th order. It was found that 46% of PPAs of the study area, are in conflict of use, occupied mainly by grazing class (84%), and to a lesser extent by soil exposed classes and urban areas. It was recorded that the worst levels of water quality were related to irregular areas of use and occupation within the areas of permanent protection, especially in areas of high human disturbance near urban centers, where they were observed oxygen critical values dissolved, reaching 2,14 mg/L, well below the values established by Resolution 357/05 of CONAMA. The environmental fragility of the watershed of the Peixe-Boi river, it was observed that approximately 47% of its area consists of classified environments as medium vulnerability to erosion, with large areas of pasture and agriculture, which are relatively degrading the soil types. The areas most vulnerable were the largest slope, near the mouth of the river system, presenting typologies Fluvisol and Gleysol Haplic, and ground cover predominantly type natural fields with some urban tracks.

Keywords: Anthropization, Ecosystems, Natural resources, Geotechnology.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Delimitação espacial e da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi	14
Figura 2 - Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	25
Figura 3 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	27
Figura 4 - Mapa da Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	31

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Localização e delimitação espacial da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi..	47
Figura 2 - Localização espacial dos pontos de coleta de água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	50
Figura 3 - Classificação de uso e ocupação do solo e áreas de conflito de uso nas APPs.....	54
Figura 4 - Localização e classificação dos pontos de coleta de água na bacia hidrográfica.....	57
Figura 5 - Concentração das variáveis de água em cada ponto de coleta nos dois períodos amostrais, com relação aos limites estabelecidos pelo CONAMA/2005.....	58

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Localização espacial e rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi	79
Figura 2 - Mapas de vulnerabilidade dos critérios avaliados na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	88
Figura 3 - Mapa das classes de vulnerabilidade Ambiental à erosão da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	92

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Características morfométricas obtidas para a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi	22
Tabela 2 - Quantificação espacial e distribuição percentual da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, por classe de Altimetria.....	26
Tabela 3 - Quantificação de áreas para cada classe de relevo na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	27
Tabela 4 - Quantificação percentual do número, comprimento e bifurcação de rios da bacia do rio Peixe-Boi conforme sua ordem hierárquica.....	32
Tabela 5 - Quantificação de canais em cada classe de altimetria para a bacia do rio Peixe-Boi.....	33

CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi	51
Tabela 2 - Distribuição das áreas e porcentagens de conflitos de uso do solo em APPs.....	55
Tabela 3 - Relação da qualidade da água com as tipologias encontradas nos pontos de coleta.....	62

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Classes de Cobertura Vegetal e Uso do Solo, ponderadas segundo o grau de vulnerabilidade	81
Tabela 2 - Unidades Geológicas segundo sua vulnerabilidade.....	82
Tabela 3 - Unidades Geomorfológicas segundo sua vulnerabilidade.....	82
Tabela 4 - Classes de solos segundo sua vulnerabilidade.....	83

Tabela 5 - Intervalos de declividade, grau e classes de vulnerabilidade na área da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	84
Tabela 6 - Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural da região da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.....	84
Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade e seu correspondente grau de classificação	86
Tabela 8 - Distribuição das classes de Vulnerabilidade Ambiental à erosão	91

SUMÁRIO

RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	5
1.2 REFERÊNCIAS.....	6
2. GEOTECNOLOGIAS COM APOIO DE INDICES MORFOMÉTRICOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEIXE-BOI, NORDESTE PARAENSE.....	9
2.1 Introdução.....	11
2.2 Material e Métodos.....	14
2.2.1 caracterização da área de estudo	14
2.2.2 Materiais.....	15
2.2.3. Procedimentos metodológicos	16
2.2.3.1 Delimitação da bacia e extração da rede de drenagem.....	16
2.2.3.2 Caracterização Morfométrica da Bacia.....	17
2.2.3.2.1 Parâmetros Geométricos: Esses parâmetros relacionam as primeiras e principais medidas da bacia.....	17
2.2.3.2.2 Parâmetros de Relevo.....	18
2.2.3.2.3 Parâmetros da Rede de Drenagem.....	19
2.3 Resultado e Discussão.....	21
2.3.1 Parâmetros Geométricos.....	23
2.3.2 Parâmetros de Relevo.....	24
2.3.3 Parâmetros da Rede de Drenagem.....	30
2.4 Conclusões.....	34
2.5 Referências.....	36
3. CONFLITOS NO USO DA TERRA EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE E A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEIXE-BOI, PA.....	42

3.1 Introdução.....	44
3.2 Materiais e Métodos.....	46
3.2.1 Caracterização da área de estudo.....	47
3.2.2 Coleta e avaliação da qualidade da água: Amostragem.....	49
3.2.3 Processamento digital dos dados espaciais.....	52
3.2.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente.....	52
3.2.5 Estudo do conflito de uso da terra.....	53
3.3 Resultado e Discussão.....	53
3.3.1 Classificação e Determinação dos Conflitos.....	53
3.3.2 Classificação e mapeamento da qualidade da água.....	56
3.3.3 Relação da cobertura vegetal e do uso do solo nas APPs com a qualidade da água na bacia do rio Peixe-Boi.....	61
3.4 Conclusões	66
3.5 Referências	67
4. VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEIXE-BOI, NORDESTE PARAENSE, POR MEIO DE AVALIAÇÃO MULTICRITÉRIO.....	74
4.1 Introdução.....	76
4.2 Material e Métodos	78
4.2.1 Caracterização da área de estudo.....	78
4.2.2 Materiais	80
4.2.3 Procedimentos metodológicos.....	80
4.2.3.1 Ponderação dos Critérios e determinação da Vulnerabilidade Natural à Erosão.....	80
4.2.3.1.1 Cobertura vegetal e uso do solo.....	80
4.2.3.1.2 Geologia.....	81
4.2.3.1.3 Geomorfologia	82
4.2.3.1.4 Pedologia (tipologia do solo)	82
4.2.3.1.5 Declividade.....	83
4.2.3.2 Análise multicriterial para a determinação da vulnerabilidade natural à erosão	85
4.3 Resultados e Discussão	86

4.3.1 Avaliação da Vulnerabilidade dos Critérios Ambientais	86
4.3.2 Avaliação Multicritério da Vulnerabilidade Ambiental segundo a Erodibilidade do Solo.....	91
4.4 Conclusões.....	95
4.5 Referências.....	96
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	103

1 CONTEXTUALIZAÇÃO¹

O processo de intensificação da conversão dos ambientes naturais em paisagens agrícolas e de pecuária, tem sido consideradas as principais formas de impacto ambiental decorrente das atividades humanas na Amazônia, contribuindo incisivamente para a degradação dos ambientes naturais.

Cada vez mais as questões ambientais ocupam espaços nas agências dos mais diversos setores sociais brasileiros, apresentando um interesse crescente em unir estas questões às análises socioeconômicas e por vezes institucionais. A degradação ambiental manifestada, principalmente pela acelerada perda de áreas de vegetação natural na paisagem, continua de maneira crescente e preocupante no que se refere à sustentabilidade desse modelo (SOUSA; NASCIMENTO, 2015).

Entende-se que a expansão das fronteiras agrícolas, e a modernização da agricultura e da pecuária, estão entre os fatores que mais contribuem para a descaracterização da vegetação original, impactando, também, a biodiversidade, solos e as águas. Para Morinaga e Jimenez-Rueda (2015), o acelerado processo de substituição das paisagens naturais ocorre de fato em função da intensificação do antropismo, normalmente visando o uso do solo, o que, por sua vez, ocasiona a formação de pequenos fragmentos florestais onde anteriormente existiam áreas de florestas contínuas.

As áreas de vegetação natural remanescentes na paisagem contribuem com a regulação climática, na proteção e formação do solo, na conservação dos recursos hídricos, na ciclagem dos nutrientes, no fluxo gênico, e proporcionam “bens e serviços” que deveriam motivar a conservação das mesmas diante das pressões econômicas crescentes. Muito embora frequentemente não sejam valoradas, de forma apropriada, essas funções ecológicas apresentam significativa dimensão econômica e social (DIAS et al., 2014; FREIRAS et al., 2013).

Além das implicações já citadas, outro aspecto a ser considerado, sobre o processo de degradação ambiental, diz respeito ao seu reflexo na fragilização dos solos, decorrente da retirada total ou parcial da cobertura vegetal, resultando nos processos de perda de solo, sobretudo por erosão hídrica (FANTINEL; BENEDETTI, 2016)

Muito é discutido a respeito de ações potenciais de conservação dos recursos naturais, em especial daqueles em crescente ameaça. Entretanto, pouco tem sido feito para se evitar o agravamento da problemática proveniente das limitações de tais

¹ Este capítulo segue as normas de apresentação da UFRA.

recursos, especialmente os de natureza hídrica. Dessa forma, todo e qualquer esforço direcionado à recuperação, conservação e preservação dos recursos hídricos deve ser avaliado, para dar continuidade ao desenvolvimento econômico de forma sustentável, assegurando o bem estar da humanidade (PRADO et al., 2014).

A necessidade de se desenvolver e aprimorar métodos de avaliação e gestão ambiental é evidente, contudo, deve-se fundamentar tais avaliações nas especificidades que configuram os ambientes, sempre compatibilizando as análises ambientais às intervenções da sociedade na natureza. Para Schussel e Neto (2015), dentre os vários recortes espaciais possíveis as bacias hidrográficas vem se mostrando excelente zonas de estudos por ser consideradas uma unidade de análise que conserva um caráter sistêmico das alterações endógenas.

Para as bacias hidrográficas, assim como nas outras unidades de estudo, o planejamento do uso da terra deve ser considerado um importante processo de apoio à tomada de decisão, facilitando a destinação de terras a usos que proporcionem os maiores benefícios em termos de sustentabilidade do ambiente (CARVALHO et al., 2011).

Assim, as Bacias hidrográficas tornam-se uma possibilidade de representação para intervenções socioambientais, pois favorecem a integração entre as atividades produtivas e a preservação dos recursos naturais, requerendo para isso o desenvolvimento de ações de planejamento e gestão territorial que contribuam para a implantação de medidas que estabeleçam diagnósticos e proponham soluções (NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008).

A escolha da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi como objeto de estudo se justifica pela ausência de estudos publicados sobre as modificações da estrutura da paisagem a nível mais sistêmico e abrangente, associando uma discussão acerca do processo de degradação ambiental da área da referida bacia hidrográfica, em função do processo de ocupação da Microrregião Bragantina, e seus desdobramentos ambientais, utilizando para isso, produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.

A importância de se consolidar uma análise de paisagem na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, é fundamentalmente, segundo explicam Etto et al. (2013), elucidar e expor todas as implicações resultantes da combinação de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que fazem da paisagem um conjunto único, e indissociável, e em contínua evolução, que materializam as relações entre o homem e o meio.

Na área da bacia em questão, existe uma crescente demanda por recursos naturais e um histórico de retirada marcante da vegetação, pois a Mesorregião Nordeste Paraense faz parte do contexto histórico da criação da Estrada de Ferro de Bragança, que ligava Belém à cidade de Bragança. A população que vive nesta área encontra-se em um quadro de considerável desigualdade socioeconômica, perpetuada ao longo das últimas cinco décadas.

Nesse contexto, propõe-se o uso de ferramentas e métodos para auxiliar o processo de tomada de decisão em gerenciamento de recursos naturais, valendo-se de elementos indicadores da vulnerabilidade ambiental que possibilitem análises multicritéris da degradação ambiental de bacias hidrográficas. Nesse sentido, diversas iniciativas referentes a utilização de mapas de Vulnerabilidade Ambiental como elementos de gestão foram abordadas por Corvalán e Garcia (2011), Barbosa et al. (2013), e Rovani et al. (2015). Estes mapas possibilitam a identificação dos ambientes naturais e suas respectivas vulnerabilidades, o que conduz a uma melhor avaliação dos impactos, possibilitando o planejamento de ações no espaço físico-territorial e fornecendo subsídios à gestão do território afetado.

Na avaliação de Souza e Gastaldini (2014), e Pereira et al. (2015), os estudos da fragilidade dos ambientes, como as bacias hidrográficas, podem e devem levar em consideração fatores como parâmetros morfométricos e da rede de drenagem local, uso do solo e tipologia da cobertura vegetal, geologia, e pluviometria, uma vez que estes fatores ajudam a explicar grande parte dos distúrbios ambientais, sendo amplamente utilizados em avaliações de bacias hidrográficas

Para Oliveira et al. (2009), fatores como uso e cobertura do solo, declividade do terreno, precipitação, tipologia do solo, geologia, geomorfologia, características da rede de drenagem, e qualidade da água, servem como indicadores de sustentabilidade e vulnerabilidade, e revelam se um dado local possui características ambientais desejáveis ou não, mediante a interação entre eles. Por isso a utilização destes indicadores de vulnerabilidade é necessária durante o processo de avaliação ambiental, sobretudo em relação aos recursos hídricos.

O uso de geotecnologias em auxílio às análises de vulnerabilidade ambiental condicionadas pelas ações antrópicas, é de grande valia, uma vez que possibilita, de maneira eficiente, a manipulação e a organização de grande volume de dados e informações espaciais, possibilitando, inclusive, a obtenção de novas informações

interpretativas a partir de modelos, gerando subsídios decisivos ao planejamento regional e ao combate a distúrbios ecológicos (LORENZZETTI, 2015).

A aquisição dos produtos de sensoriamento remoto e a utilização das técnicas de geoprocessamento são de grande potencialidade nos estudos ambientais em bacias hidrográficas, pois auxiliam tanto na busca de conhecimento sobre os padrões e processos ecológicos, quanto no apoio a ações de manejo e gestão, servindo como importantes ferramentas para expressar alguns indicadores responsáveis pela avaliação ambiental.

O problema que motivou a construção dessa pesquisa foi a necessidade de se reconhecer e mapear os plurais fatores responsáveis pelo acelerado processo de descaracterização das áreas da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, em função da intensificação da ação antrópica.

1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESES

O objetivo do trabalho é avaliar os níveis de degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, estado do Pará, por meio da análise de múltiplos critérios naturais sob pressão antrópica, em ambiente SIG. Para o alcance desse objetivo, o trabalho foi organizado em três capítulos (apresentados sob a forma de artigos independentes), alinhados com os seguintes objetivos específicos:

- I) Realizar a análise morfométrica da bacia hidrográfica por meio da elaboração de um modelo de representação da mesma, dos mapas de limites físicos e rede de drenagem, assim como a confecção dos mapas de declividade, altimetria e hierarquia fluvial. A hipótese é que a dissecação dos parâmetros morfométricos da área em estudo, atestam a fragilidade da bacia em relação aos processos de erosão e inundação.
- II) Mapear e identificar o conflito de uso da terra nas áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi de acordo com o Código Florestal (Lei 12.727/2012) e a Resolução CONAMA nº 303 de 2002, correlacionando com a qualidade da água na bacia. A hipótese testada é de que a qualidade da água na bacia hidrográfica em estudo é fortemente afetada pelas áreas de uso conflitante nas APPs.
- III) Analisar os níveis de risco ao processo de degradação das terras da bacia hidrográfica estudada, por meio de análises multicriteriais, visando obter o diagnóstico da vulnerabilidade natural à erosão na área da bacia. Assim, a hipótese é que critérios como Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Declividade, e Uso e cobertura da terra, contribuem individual e coletivamente, na configuração e distribuição da fragilidade ambiental e dos solos da bacia hidrográfica.

1.2 REFERÊNCIAS

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M.; LIMA, E. R. V. Mapeamento de adequação de uso das terras atreves da técnica de análise de multicritério em ambiente SIG: estudo de caso do município de conde - PB, Brasil. **Cuadernos de geografia** [online]. vol.22, n.1, p. 13-23, 2013.

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), vol. 23, n.1. 2011.

CORVALÁN, S. B.; GARCIA, G. J. Avaliação ambiental da APA Corumbatai segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal. São Paulo, UNESP, **Geociências**, vol. 30, n. 2, p. 269-283, 2011.

DIAS, R. M.; SALVADOR, N. N. B.; BRANCO, M. B. C. Identificação dos Níveis de Degradação de Matas Ripárias com o Uso de SIG. **Floresta e Ambiente**, vol. 21, n. 2, p.150-161, 2014.

ETTO T. L.; LONGO, R. M.; ARRUDA, D. R.; INVENIONI, R. Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do ribeirão das pedras. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, vol.37, n.6, p.1063-1071, 2013.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. **Ciência e Natura**. vol.38 n.1, p.156-163, 2016.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. F. L.; FILHO, A. P.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.4, p.443-449, 2013.

LIRA, E. M.; NASCIMENTO, F. I. C.; ALMEIDA, G. O.: Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Igarapé Amaro, Acre-Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, vol.3, n.4, p. 606-616, 2012.

LORENZZETTI, J. A. Princípios físicos de Sensoriamento Remoto. EUA, **Editora Blucher**. 1ª edição. p. 121-129, 2015.

MORINAGA, M. S.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Análise morfoestrutural aplicada para avaliação de suscetibilidade à degradação ambiental por erosões hídricas lineares no interior do Estado de São Paulo. **Geologia USP**, Série científica [online]. vol.15, n.1, p. 45-56, 2015.

NASCIMENTO, W. M.; VILLAÇA, M. G. Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**. n. 7, p. 29 – 32, 2008.

OLIVEIRA, P. T. S. DE; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. “Processo Analítico Hierárquico Aplicado a Vulnerabilidade Natural a Erosão.” **Geociências**, UNESP, vol. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.

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**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.12 n.22; p. 2960 – 2974, 2015.

PRADO, F. B.; VASCONCELOS, F. C. W.; CHIODI, C. K. Regime jurídico da Mata Atlântica e o risco à sobrevivência in situ de espécies ameaçadas. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo vol. 17, n. 2 p. 1-16, 2014.

ROVANI, F. F. M.; WOLLMANN, R. C. C. A.; SIMIONI, J. P. D. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. **Revista do Departamento de Geografia** – USP, vol. 29, p. 262 a 278, 2015.

SCHUSSEL, Z.; NETO, P. N. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo vol. 18, n. 3 p. 137-152, 2015.

SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; SOUSA JÚNIOR, S. P. de; NERY, A. R.; LIMA, A. N. de. “Estudo da Evolução Espaço-Temporal da Cobertura Vegetal do Município de Boa Vista-PB, Utilizando Geoprocessamento.” **Revista Caatinga** (Mossoró, Brasil), vol.21, n.3, p.22-30, 2008.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. vol.19, n.3, p. 263-274, 2014.

SOUSA, M. L. M.; NASCIMENTO, F. R. Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil. **Cuadernos de Geografía** - [online]. vol.24, n.1, p. 13-42, 2015.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, n.62, p.114-129, 2002.

WATRIN, O. S.; MACIEL, M.N.M.; THALÊS, M.C. Análise espaço-temporal do uso da terra em microbacias hidrográficas no município de Paragominas, Estado do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (**SBSR**), Florianópolis. 2007. Anais... SP: INPE, 2007. p.7019-7026. CD-ROM.

CAPÍTULO 1

(Este capítulo está formatado nas normas de apresentação bibliográfica do periódico Enciclopédia Biosfera)
Foi aprovado e publicado em 2015, Vol. 11, n. 22, p. 1351 – 1372.

**2. GEOTECNOLOGIAS COM APOIO DE INDICES MORFOMÉTRICOS
PARA A CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEIXE-
BOI, NORDESTE PARAENSE²****RESUMO**

Este artigo trata-se da modelagem e análise da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, na microrregião Bragantina, nordeste do Estado do Pará. Para isso, utilizou-se técnicas de geoprocessamento e dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), obtidas no banco de dados TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A análise e delimitação da bacia hidrográfica e da rede de drenagem foram obtidas considerando-se ferramentas do software ArcGis 10.1, (módulo Hydrology). Com os resultados obtidos verificou-se que a bacia apresentou drenagem de 1.034 km² e o perímetro de 219,15 km, sendo caracterizada como uma bacia de grande porte. Apresentou um formato alongado e que juntamente com a avaliação de índices de relevo e hidrografia, mostrou-se pouco favorável a inundações, sendo classificada como de 4ª ordem. A bacia apresenta uma baixa densidade de drenagem, elevada permeabilidade do solo, e pequena densidade hidrográfica, apresentando canais pouco sinuosos e com pequena declividade e bifurcação, e no que tange a hierarquia fluvial. Esses parâmetros possuem grande influência sobre o escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre o processo de erosão, que resulta em perda de solo, água, matéria orgânica, nutrientes e elementos da microfauna, que podem vir a provocar o assoreamento dos corpos d'água. Assim, espera-se que este estudo sobre as dinâmicas dos processos hidrogeomorfológicos possa contribuir para o manejo racional do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, visando dar subsídios às diretrizes básicas de ações ambientais sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Rede de drenagem, Sistemas de Informação Geográfica, Gerenciamento hídrico.

² Este capítulo segue as normas de apresentação da Enciclopédia Biosfera.

**GEOTECHNOLOGY FROM SUPPORT MORPHOMETRIC INDICES TO
CHARACTERIZATION OF THE WATERSHED OF THE PEIXE-BOI RIVER,
NORTHEASTERN OF PARÁ**

ABSTRACT

This article comes from the modeling and analysis of morphometric characterization of the watershed of the Peixe-Boi river in micro Bragantina, northeastern of Pará. For this, we used GIS techniques and Digital Elevation Model Data (DEM) from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtained from the TOPODATA database of the National Institute for Space Research (INPE). The analysis and definition of the watershed and drainage system were obtained considering ArcGIS 10.1 software tools (Hidrology module). From the results obtained it was found that the drainage basin presented 1,034 km² and the perimeter of 219.15km, is characterized as a large watershed. Presented an elongated shape and together with the assessment of relief and hydrography rates, proved unfavorable to flooding, being ranked 4^a order. The watershed has a low drainage density, high permeability soil, and small river density, with little winding canals and small slope and fork, and when it comes to river hierarchy. These parameters have great influence on the runoff and consequently on the erosion process, which results in loss of soil, water, organic matter, nutrients and elements of microfauna, that may cause siltation of water bodies. Thus, it is expected that this study on the dynamics of hidrogeomorfológicos processes can contribute to the rational management of land use in the catchment area of the watershed of the Peixe-Boi river, order to provide subsidies to the basic guidelines of sustainable environmental actions.

KEYWORDS: Drainage network, Geographic Information Systems, water management.

2.1 Introdução

Atualmente vivemos uma notória preocupação mundial em torno da gestão adequada dos recursos hídricos, pelo fato da água constituir um bem natural fundamental para a continuidade da vida, a despeito das fontes de água potável estarem escassas em muitas regiões do planeta.

Fortunato (2010) relata que, são evidentes as questões relacionadas aos efeitos da degradação ambiental sobre a disponibilidade e qualidade hídrica têm se intensificado a cada dia, aumentando a busca por formas mais eficientes e eficazes de gerenciar tais recursos. Assim, o gerenciamento hídrico visa a sustentabilidade da água em médio e longo prazo, diante dos impactos ambientais negativos causados pelo crescimento demográfico desordenado, caracterizados como obstáculos à garantia da disponibilidade e qualidade de água necessária à nossa sobrevivência.

Lira et al. (2012), atribuem a escassez e o mau gerenciamento dos recursos hídricos ao processo de expansão urbana acelerada e desorganizada que vem afetando diretamente os ambientes naturais. A ocupação irregular do solo, das margens dos rios, e igarapés, contribuem decisivamente para a degradação natural das bacias hidrográficas localizadas em áreas urbanas e rurais.

Dentre os elementos naturais afetados pelo processo de interferência humana promovendo esta reconfiguração da paisagem, destaca-se a rede de drenagem como sendo um dos parâmetros mais importantes a serem avaliados, uma vez que refletem de forma bem clara o grau de antropização local. Assim sendo, nos últimos anos tem se acentuado a preocupação dos pesquisadores em trabalhar em nível de bacias hidrográficas, visando o maior conhecimento ecológico da terra, que possa servir de base para a utilização, de acordo com suas possibilidades de uso e manejo (BARRETO; SANTOS, 2001).

O estudo dos rios e das bacias hidrográficas, coloca-se na atualidade entre os setores mais dinâmicos no que se refere a avaliações de impactos da ação humana ao meio ambiente. Dessa forma, as bacias constituem-se em uma relevante unidade de área para o estudo e planejamento integrado dos recursos naturais.

Machado et al.(2011), afirmam que quando se analisa uma bacia deve-se fazer comparações entre dados hídricos para determinar indiretamente os valores hidrológicos. A análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia, entre

outros, podem levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. Esses parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos que qualificam as alterações ambientais.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas é definida como um conjunto de procedimentos metodológicos que tem como orientação, a investigação e a compreensão científica dos componentes naturais de uma bacia hidrográfica. Os estudos relacionados aos cursos fluviais por meio de métodos sistêmicos e racionais como parâmetros quantitativos podem levar ao esclarecimento de várias questões acerca da morfogênese e morfodinâmica da paisagem, tendo em vista que a rede de drenagem assume papel de destaque na compartimentação do relevo (IBGE, 2009).

Assim, a análise de índices morfométricos da rede de drenagem permite uma análise quantitativa, usando valores exatos de um conjunto de parâmetros para obter as principais características de uma determinada área de estudo.

No apoio às ações de planejamento, de pesquisa e de gestão de recursos hídricos, as geotecnologias definidas como o conjunto de tecnologias para a coleta, processamento, análise e oferta de informação com referência geográfica, e os produtos de sensoriamento remoto e de sistemas de informação geográfica (SIG), têm sido amplamente utilizadas e recomendadas (LANG; BLASCHKE, 2009).

As Geotecnologias encontram-se em constante desenvolvimento e tem se mostrado como uma eficiente ferramenta de auxílio à gestão pública e de estudos hídricos. As imagens de satélite, os dados espaciais e geográficos expressos em arquivos digitais vetoriais e raster e em diversos outros formatos, são fontes de dados indispensáveis, permitindo menor custo e redução de tempo em trabalhos de campo para estudos de recursos hídricos (OLIVEIRA et al., 2010).

Os SIG's são as ferramentas computacionais para geoprocessamentos e permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CARDOSO et al., 2006).

A aplicação de técnicas e produtos de geotecnologias são de grande potencialidade nos estudos ambientais em bacias hidrográficas, pois auxiliam tanto na busca de conhecimento sobre os padrões e processos ecológicos, quanto no apoio a ações de manejo e gestão.

Neste contexto, pode-se afirmar que as imagens orbitais são fontes de dados extremamente importantes às análises ambientais. As imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas

áreas da superfície terrestre, viabilizando análises sistêmicas e das dinâmicas do ambiente geográfico (BAKER; CAI, 1992)

Entre os dados de sensoriamento remoto que podem ser muito utilizados para o trabalho em bacias hidrográficas, estão os do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Esses dados são exemplos de imagens obtidas através de satélites e são procedentes de levantamentos realizados pela NASA e outros organismos internacionais, que abrangem mais de 83% do globo terrestre. Referem-se aos dados de altimetria, cujos locais onde os dados espaciais são escassos, os mesmos têm auxiliado em estudos do relevo e recursos hídricos.

Atualmente, os dados de sensoriamento remoto da missão SRTM, que visou a geração de um modelo digital de elevação, estão vastamente difundidos e possuem aplicações no âmbito de diagnósticos ambientais e de estudos relacionados às dinâmicas geomorfológicas e hidrológicas (PAZ; COLLISCHONN, 2008; VALERIANO et al., 2004).

Anteriormente, os estudos morfométricos eram elaborados utilizando-se de dados geográficos pouco precisos e em escalas de pouco detalhamento, o que tornava o processo mais suscetível a erros de avaliação. Entretanto, com o avanço da plataforma do Sistema de Informação Geográfica (SIG), a análise morfométrica tornou-se acessível proporcionando aos gestores maior agilidade na geração e análise dos dados necessários para a tomada de decisões em comparação aos métodos ou técnicas manuais (CARDOSO et al., 2006).

No contexto da necessidade de correlação de diversas variáveis ambientais, o SIG mostra-se de grande valia na agilidade de geração de informações e na síntese dos dados, bem como na representação cartográfica das informações geradas. A facilidade em atualização de dados preexistentes em SIG possibilita que as informações sejam reavaliadas com muito mais agilidade que os métodos convencionais, permitindo por parte dos gestores uma tomada de decisão em tempo hábil.

Desta forma, o objetivo deste trabalho consiste em utilizar produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento para realizar uma análise dos parâmetros morfométricos do relevo e da drenagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, no nordeste do estado do Pará. Para isso será elaborado um modelo de representação da bacia em questão, e da confecção de mapas temáticos, visando com isso dar subsídios às diretrizes básicas de ações ambientais sustentáveis.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica alvo de estudo está localizada na mesorregião do Nordeste Paraense, mais precisamente na microrregião denominada Bragantina. Estende-se entre as coordenadas $0^{\circ} 53' 57''$ S e $1^{\circ} 26' 10''$ S de Latitude e $47^{\circ} 24' 29''$ W e $47^{\circ} 7' 24''$ W de Longitude. Esta bacia tem como rio principal o rio Peixe-Boi, com cerca de 60Km de extensão, sendo sua nascente está situada próxima à localidade de Santo Antônio de Cumaru, enquanto sua foz ocorre no Rio Maracanã, do qual é tributário.

Sua área abrange um total de seis municípios: Bonito, Capanema, Nova Timboteua, Peixe-Boi, Primavera e Santarém Novo (Figura 1). Em estudos anteriores Cruz et al. (2009), constataram que a bacia mostra-se inadequada para a geração de energia elétrica e para navegação de grandes embarcações em função do seu baixo calado.

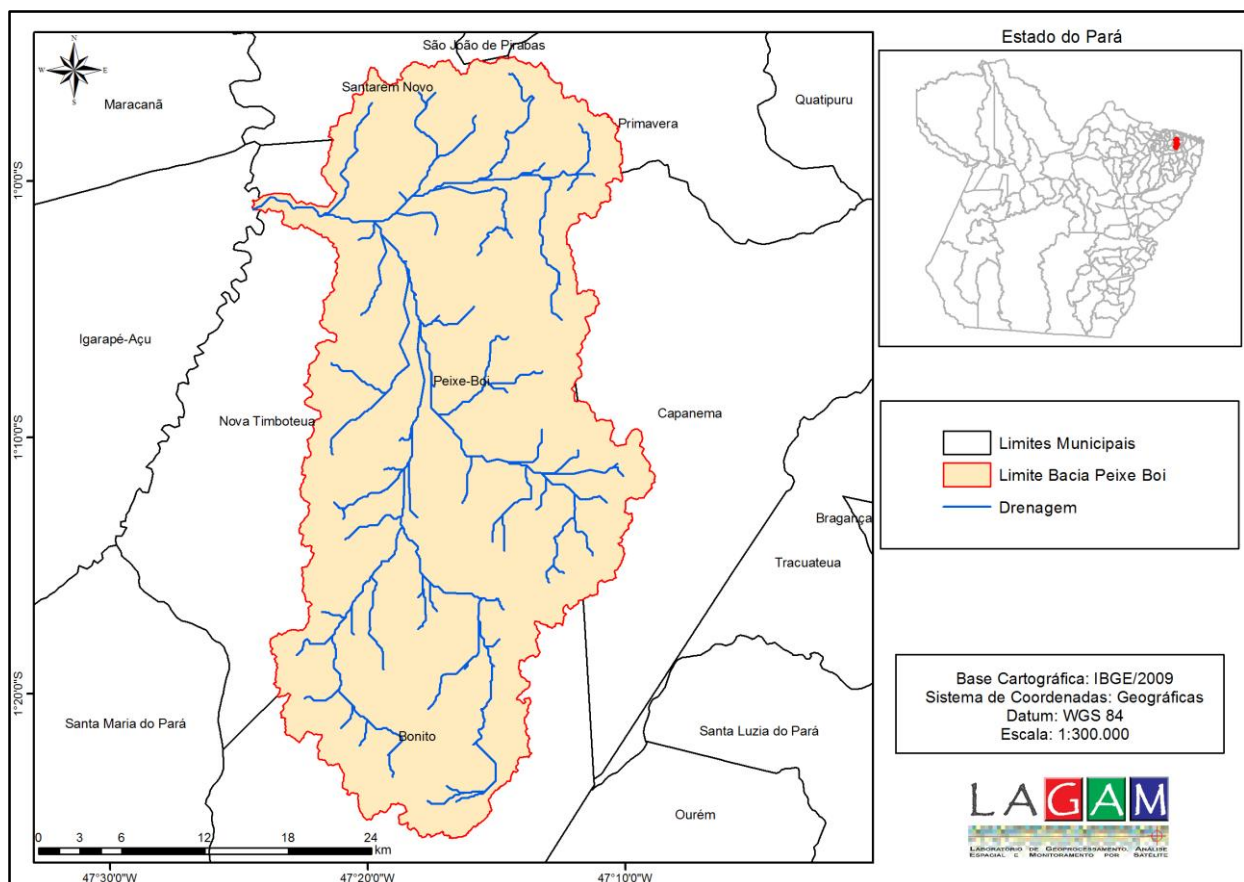


Figura 1: Delimitação espacial e da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

A região apresenta o clima do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica média está em torno de 2.200 mm anuais. A temperatura varia entre 29 e 31 °C, sendo que a temperatura média fica em torno de 26 °C. Também apresenta elevada umidade, oscilando em torno de 75 a 92%. O relevo apresenta formas suaves de tabuleiros e elevações ligeiramente colinoformes, além de planaltos e planícies fluviais, e sua constituição geológica inserida no Terciário da Formação Barreiras e sedimentos do Quaternário Atual e Subatual (IBGE, 2008).

Os solos que abrangem a área da bacia do rio Peixe Boi são representados pelos Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico Típico, com estrutura média de nível plano e suavemente ondulado tendo ainda a presença de Plintossolo Petrico Concrecionário Argissolico (FFc), são encontrados também em alguns municípios que fazem parte da bacia o Gleissolo Háptico Eutrófico Típico, muito Argiloso e estrutura plana (IBGE, 2012).

A cobertura vegetal primitiva de Floresta Densa de Terra Firme foi quase que totalmente substituída por vegetação secundária em vários estágios de sucessão, pela ação dos desmatamentos demandados para a implantação do sistema produtivo, representado pelo plantio de espécies agrícolas de subsistência e principalmente por pastagens cultivadas, destinados à pecuária de leite e de corte. Restam relativamente íntegras, ainda, alguns trechos de florestas ripárias, representadas pelas matas de várzea e de igapó, que ocupam as margens dos rios e outros trechos sob influência da inundação periódica dos mesmos. Segundo estudos de Silva e Lima (2000), as espécies de árvores mais encontradas na vegetação florestal presente na região da bacia do rio Peixe-Boi são: *Eschweilera coriácea* (Matamatá-preto), *Lecythis idatimon* (Matamatá), *Rinorea neglecta* (Quariquarana), *Protium pilosum* (Breu), *Trichilia rubra* (Caxuá vermelho), *Vismia guianensis* (Lacre), *Lacistema pubescens* (Apuizinho), *Croton matourensis* (Maravuvuia), *Rollinia esxucca* (Envira) e *Inga thibaudiana* (Ingá roceiro).

2.2.2 Materiais

Como material inicial obtido para a realização deste trabalho foram utilizados os dados altimétricos SRTM/Topodata, com resolução espacial de 30 metros, obtidas a partir da grade vetorial no banco de dados do projeto Topodata do INPE (INPE/DPI, 2014), oriundos da interpolação por krigagem de dados SRTM. Foram utilizadas duas

imagens (Cenas) do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE) de números 00S48 e 01S48, articulada às cartas na escala de 1:250.000. Para fazer o mosaico das imagens, a delimitação da bacia hidrográfica e a extração da rede de drenagem foram utilizadas ferramentas do software ArcGis 10.1, especificamente o módulo Hydrology Modeling.

Posteriormente foi necessário a reprojeção cartográfica da imagem de WGS 84 para UTM Zona 23S, a fim de parear os parâmetros dos arquivos raster. Utilizando-se do módulo Spatial Analyst do software ArcGis 10.1, e com as ferramentas Hydrology foram realizados os processamentos e análises hidrológicas da bacia do rio Peixe-Boi.

2.2.3 Procedimentos metodológicos

2.2.3.1 Delimitação da bacia e extração da rede de drenagem

Seguindo a orientação de Dias et al. (2004), o processo de delimitação automática da bacia hidrográfica foi metodologicamente subdividido em quatro etapas, sendo: preenchimento de depressões (“fill sinks”), direção de fluxo (“flow direction”), fluxo acumulado (“flow accumulation”) e delimitação de bacias (“Watershed”).

A etapa de preenchimento de depressões é o primeiro tratamento dado à matriz de altitudes e serve para corrigir erros em dados referentes a terrenos com relevo íngreme, com inclinação acima de 20°, devido ao sombreamento ocasionado no radar.

Na etapa de direção de fluxo foi gerada uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno. Essa grade numérica gerada determina a direção de maior declividade de um *pixel* em relação a seus oito *pixels* vizinhos, mostrando assim a direção que a água irá percorrer após atingir cada *pixel*.

Já na etapa de fluxo acumulado obtém-se grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões. O fluxo acumulado representa a rede hidrográfica, sendo possível montar nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada *pixel*. Desse modo, cada *pixel* recebe um valor correspondente ao número de *pixels* que contribuem para que a água chegue até ele.

Finalmente na etapa de delimitação da bacia que ocorre o delineamento da bacia por meio do processamento dos mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado. A delimitação da bacia foi realizada a partir da entrada da direção de fluxo (*Basin*), onde o

produto raster obtido foi transformado em arquivo do tipo shapefile pelo algoritmo *Raster to polygon*, resultando na forma da bacia.

2.2.3.2 Caracterização Morfométrica da Bacia

As relações morfométricas, a geomorfologia e o relevo propriamente ditos expressam a taxa de deflúvio, isto é, sobre o regime de produção de água, conseqüentemente sobre a taxa de sedimentação. O padrão de drenagem da bacia, ou seja, o caráter e extensão de seus canais vão exercer influência sobre a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio. A estrutura geológica também exerce influência e controle sobre as características físicas da bacia hidrográfica (STIPP et al., 2010).

O processo de caracterização morfométrica foi delineado a partir de parâmetros geométricos, de relevo e de drenagem da bacia hidrográfica descritos segundo Tonello et al. (2006). A escolha dos parâmetros hidrológicos foi baseada nos trabalhos de Machado et al. (2011), Santos et al. (2012) e Ferrari et al. (2013), sendo selecionados os mais recorrentes e relevantes aos objetivos deste trabalho:

2.2.3.2.1 Parâmetros Geométricos: Esses parâmetros relacionam as primeiras e principais medidas da bacia.

→ Área de drenagem (A) e Perímetro (P): Refere-se a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial e o perímetro referido para essa área, fornecidos respectivamente em Km² e Km. Tais parâmetros foram obtidos a partir das ferramentas de cálculo de área e perímetro, do software ArcGis 10.1.

→ Comprimento do eixo: Corresponde ao comprimento horizontal ou vertical da bacia (dependente da orientação da mesma). Para a obtenção deste parâmetro foi utilizada a ferramenta *measure*, do software ArcGis 10.1.

→ Coefficiente de compacidade (Kc): Consiste na relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo hipotético cuja área seja igual à área de drenagem desta bacia. Quando o coeficiente é igual a 1 a bacia é circular, quando superior a 1 ela é alongada. Para obtenção de Kc foi utilizada a fórmula desenvolvida por Villela e Mattos (1975): $Kc = 0,28 \times P / \sqrt{A}$

Onde: K_c é o coeficiente de compacidade; P é o perímetro (Km); A é a área de drenagem (Km²).

→ Fator forma (Ff): Representa a relação entre a área e o comprimento axial da bacia. Foi determinado utilizando-se a seguinte equação desenvolvida por Villela e Mattos (1975): $Ff = A / L^2$

Onde: Ff é o fator de forma; A é a área de drenagem (Km²); L é o comprimento do rio principal (Km).

→ Índice de circularidade (Ic): Refere-se a relação entre a área total da bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia em questão. O índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. Para sua determinação, utilizou-se a seguinte equação desenvolvida por Christofolletti (1980): $Ic = 12,57 \times A / P^2$

Onde: Ic é o índice de circularidade; A é a área de drenagem (Km²); P é o perímetro.

2.2.3.2.2 Parâmetros de Relevo: As características de relevo de uma bacia, tem fundamental influência sobre os fatores hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial, e conseqüentemente o tempo de concentração, são determinados pela declividade do terreno (MOSCA, 2003). Assim, é de grande importância a determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica.

→ Altitude Máxima, Altitude Mínima e Altitude Média: Parâmetros determinados através software ArcGis 10.1, pelo módulo 3D Analyst Tools.

→ Declividade Máxima, Declividade Mínima e Declividade Média: Foram obtidas através software ArcGis 10.1 após a modelagem das classes de declividade.

→ Amplitude Altimétrica (Hm): Para a determinação deste parâmetro utilizou-se a seguinte equação proposta por Schumm (1956): $Hm = H_{max} - H_{min}$

Onde: Hm é Amplitude Altimétrica; H_{max} é Altitude Máxima; H_{min} é Altitude Mínima.

→Relação de Relevo (Rr): Para a determinação da relação de relevo foi utilizada a seguinte equação desenvolvida por Schumm (1956): $Rr = Hm / L$

Onde: Rr é a relação de relevo; Hm é a amplitude altimétrica; L comprimento do eixo da bacia.

→Índice de Sinuosidade (Is): Este índice foi determinado através da equação desenvolvida por Schumm (1956): $Is = Lt / L$

Onde: Is: é o índice de sinuosidade; Lt é o comprimento do rio principal; L é o comprimento do eixo da bacia.

→Índice de Rugosidade (Ir): Índice utilizado para análise dimensional da topografia, combinando informações pertinentes à amplitude topográfica e à densidade de drenagem: $Ir = H \times Dd$

Onde: Ir é o índice de rugosidade; H é a amplitude Altimétrica; Dd é a densidade de drenagem.

→Textura Topográfica (Tt): Esta característica define o grau de entalhamento e dissecação do relevo, expressando o espaçamento entre canais de drenagens em mapas topográficos com curvas de nível: $Tt = 1,6582462 / Dd^{1,115}$

Onde: Tt é a Textura topográfica; Dd Densidade de drenagem.

→Fator Topográfico (Ft): Representa as relações entre os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, usando parâmetros hipsométricos e hidrológicos, com a finalidade de verificar a capacidade de escoamento superficial de uma bacia (TEIXEIRA; CRUZ, 2005). É a combinação do índice de circularidade com a densidade hidrográfica e a gradiente do relevo expresso pela razão de relevo: $Ft = Dh \times Ic \times Rr$

Onde: Ft é o fator topográfico; Dh é a densidade hidrográfica; Ic é o índice de circularidade e Rr é a razão de relevo.

2.2.3.2.3 Parâmetros da Rede de Drenagem: Esses parâmetros relacionam as principais medidas da rede hidrográfica bacia.

→ Comprimento do rio principal (L): É a distância da foz até a nascente mais distante da mesma. Para a obtenção do comprimento do canal principal da bacia foi utilizada a ferramenta *calculate Length* do software ArcGis 10.1.

→ Comprimento total da rede de Drenagem (Lt): Representa a soma de toda a rede de drenagem que compõe a bacia. Para a obtenção do comprimento de todos os canais da bacia foi utilizada a ferramenta *calculate Length*, do software ArcGis 10.1.

→ Densidade de drenagem (Dd): Correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento e a área da bacia. A densidade da drenagem foi determinada através da equação proposta por Horton (1945): $Dd = L/A$

Onde: Dd é a densidade da drenagem; L é o comprimento de todos os canais; A é a área da bacia.

→ Densidade hidrográfica (Dh): Também chamada de densidade de rios, corresponde à relação entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica. Segundo Christofolletti (1980), a densidade hidrográfica é importante, pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área, em um de seus aspectos fundamentais, que é a capacidade de gerar novos cursos d'água. É obtido pela fórmula: $Dh = N/A$

Onde: Dh é a densidade hidrográfica; N é número total de canais; A é a área da bacia.

→ Densidade de Confluência (Dc): É uma forma mais simples de representar a densidade de drenagem de uma bacia e é obtida dividindo-se o número de bifurcações da rede de drenagem pela área da bacia segundo Christofolletti (1980), é dada pela expressão: $Dc = Nc/A$

Onde: Dc é a densidade de confluência; A é a área da bacia em km²; Nc é o número de confluências da rede de drenagem.

→ Relação de Bifurcação (Rb): Indica o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indica relevo colinoso, segundo descrição de Castro e Carvalho (2009). É obtido pela fórmula $Rb = Nw/Nw+1$

Onde: Rb é a relação de bifurcação; Nw é o número de seguimentos de determinada ordem e, Nw+1 é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

→Coeficiente de torrencialidade (Ct): Possibilita quantificar a tendência de uma bacia hidrográfica em relação à ocorrência de inundações. Esta tendência será tanto maior quanto maior for o valor deste coeficiente. É dada pela expressão $Ct = Dh \times Dd$

Onde: Ct é o coeficiente de torrencialidade; Dh é a Densidade hidrográfica; Dd é a Densidade drenagem.

→Ordem da Bacia: A finalidade da ordenação dos canais é estabelecer a hierarquia fluvial que visa à classificação de determinado curso d'água no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. De um modo geral, a ordem dos cursos d'água foi determinada através do programa ArcGis, módulo *Hidrology*, o qual segue os critérios introduzidos por Strahler (1952).

2.3 Resultados e Discussão

A partir do processamento e análise dos dados de Modelo Digital de Elevação, obtidos pelos dados SRTM/TOPODATA (INPE), foi possível obter a delimitação da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, assim como a modelagem de toda a rede de drenagem que compõe esta bacia.

Foi verificado que a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi possui uma área de 1.034 km², abrangendo um total de seis municípios, sendo que 43,55% de sua área pertencem ao município de Peixe-Boi, 7,42% ao município de Capanema, 5,61% Santarém Novo, 15,39% Nova Timboteua, 24,34% Bonito e 3,60% ao município de Primavera. E apenas um pequeno percentual de 0,09% pertence aos municípios de São João de Pirabas e Igarapé-Açu, o que fez com que tais municípios fossem desconsiderados nas análises.

A determinação dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica de estudo podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Características morfométricas obtidas para a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNIDADES	RESULTADOS
Parâmetros Geométricos	Área de drenagem (A)	Km ²	1034
	Perímetro (P)	Km	219,15
	Comprimento do eixo	Km	55,07
	Coefficiente de compacidade (Kc)	Adimensional	1,9
	Fator forma (Ff)	Adimensional	0,255
	Índice de circularidade (Ic)	Adimensional	0,27
Parâmetros de Relevo	Altitude máxima	m	85
	Altitude média	m	52,5
	Altitude mínima	m	20
	Declividade máxima	%	28,06
	Declividade mínima	%	0
	Declividade média	%	3,11
	Amplitude altimétrica (Hm)	m	65
	Relação de relevo (Rr)	m/Km	1,18
	Índice de sinuosidade (Is)	Adimensional	1,15
	Índice de rugosidade (Ir)	Adimensional	22,75
	Textura topográfica (Tt)	Adimensional	5,34
	Fator topográfico (Ft)	Adimensional	0,004
Parâmetros da Rede de Drenagem	Comprimento do rio principal (L)	Km	63,62
	Comprimento total da drenagem (Lt)	Km	369,72
	Densidade de drenagem (Dd)	Km/Km ²	0,35
	Densidade hidrográfica (Dh)	Curso/ Km ²	0,118
	Densidade de confluência (Dc)	Adimensional	0,06
	Relação de bifurcação (Rb)	Adimensional	4,1
	Coefficiente de torrencialidade (Ct)	Adimensional	0,041
Ordem da bacia	Adimensional	4°	

Para fins de organização dos resultados alcançados, as discussões foram agrupadas em parâmetros Geométricos, de Relevo e de Drenagem, muito embora, em algumas situações, houve a necessidade de correlacionar fatores de diferentes classes de parâmetros buscando elucidar avaliações morfométricas mais complexas da bacia hidrográfica em estudo.

2.3.1 Parâmetros Geométricos

Considerando os valores alcançados para os parâmetros morfométricos como Área de drenagem, Perímetro e Comprimento do eixo, verificou-se que a bacia em questão é considerada de grande porte, pois segundo classificação de Gadelha (2011), o valor do parâmetro Área de drenagem é muito superior a 26 km², o que já a classificaria como bacia de elevado porte.

Para se alcançar uma análise mais verossimilhante das características geométricas encontradas na área da bacia e de sua suscetibilidade a enchentes, devem ser avaliados conjuntamente os parâmetros de Coeficiente de compacidade, Fator de Forma, e Índice de circularidade. A análise conjunta destes parâmetros demonstrou que bacia apresentou baixa propensão a enchentes, evidenciado tanto pelo valor do Coeficiente de compacidade, superior a 1,5, quanto pelo Fator de forma, cujo valor foi menor que 0,5, conforme as classes propostas por Silva e Mello (2013). Esse fato deve-se a forma da bacia hidrográfica em questão ser mais alongada que circular, inferência esta obtida através do Índice de circularidade, onde valores menores que 0,51 sugerem a tendência da bacia em ser alongada (BORSATO; MARTONI, 2004).

Apesar dos valores do Kc e do Ff encontrados na bacia serem indicativos que a mesma possui forma alongada, como evidenciado na Figura 1, cabe lembrar que o número calculado independe da área considerada, e sim apenas da forma da bacia. Deve-se notar que o Kc se traduz pela relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de uma circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Para Cardoso et al. (2006), o parâmetro Kc associado à análise de outros índices pode mensurar a susceptibilidade a enchentes depende da proximidade do valor obtido da unidade, isto é, quanto mais próximo de 1, maior será o risco de ocorrências de enchentes.

Foram observados valores semelhantes dos parâmetros Kc e Ff por Romanovski (2001), na bacia hidrográfica da Rua Nova, em Viçosa, MG. Este autor encontrou

valores de 1,402 para o coeficiente de compacidade e 0,5669 para o fator de forma, indicando que a vazão máxima de enchente seria menor do que ocorreria caso a bacia tivesse a forma de uma circunferência. Tal forma geométrica apresenta eficiência na produção da vazão máxima, o que, em casos de chuva convectiva associada com a densa rede de drenagem, poderia provocar enchentes.

Tonello et al. (2006), descreve que em bacias de forma circular, há maiores possibilidades de que chuvas intensas ocorrem simultaneamente em toda a sua extensão da mesma, concentrando grande volume de água no tributário principal. Entretanto, como o valor de Índice de Circularidade encontrado na área de estudo é de 0,27, a bacia apresenta assim um valor menor que 0,51 (limiar de bacias circulares), implicando que a bacia tende a ser alongada, conseqüentemente favorecendo o processo de escoamento fluvial.

2.3.2 Parâmetros de Relevô

Em se tratando de parâmetros de relevô, a altitude é um fator de muita importância, pois indica as variações topográficas da bacia. Neste trabalho observou-se uma Amplitude altimétrica de 65m, caracterizada por pequenas variações de altitude, sendo a Altitude Máxima de 85m nas áreas de nascente e a Altitude Mínima de 20 m na foz do rio, ficando a Altitude Média em 52,5m sendo que as maiores elevações foram encontradas nas bordas da bacia, especificamente na região extremo Sul (Figura 2). Segundo Tonello et al., (2006), a altitude média influencia diretamente na quantidade de radiação que a bacia recebe e, conseqüentemente, a evapotranspiração, temperatura e precipitação.

Estes valores se aproximam dos encontrados por Júnior (2013), na bacia hidrográfica da Estrada Nova - Belém, que mesmo se tratando de uma bacia relativamente menor que a do Peixe-Boi, apresentou os mesmos fatores climáticos e padrão altimétrico relativamente plano, característicos da região nordeste do estado do Pará.

Os resultados de altimetria encontrados são compatíveis e sustentados por Furtado e Ponte (2013), que em seu trabalho utilizando dados do Projeto RADAM Brasil, e, aliado ao mapa de Geomorfologia do Estado do Pará puderam confeccionar o mapa das unidades de relevô do Estado do Pará. Neste produto foi possível observar a compatibilidade altimétricas dos dados obtidos na bacia do rio Peixe-Boi com os dados

expressos da região Bragantina produzidos no Laboratório de Análise da Informação Geográfica LAIG/UFGA.

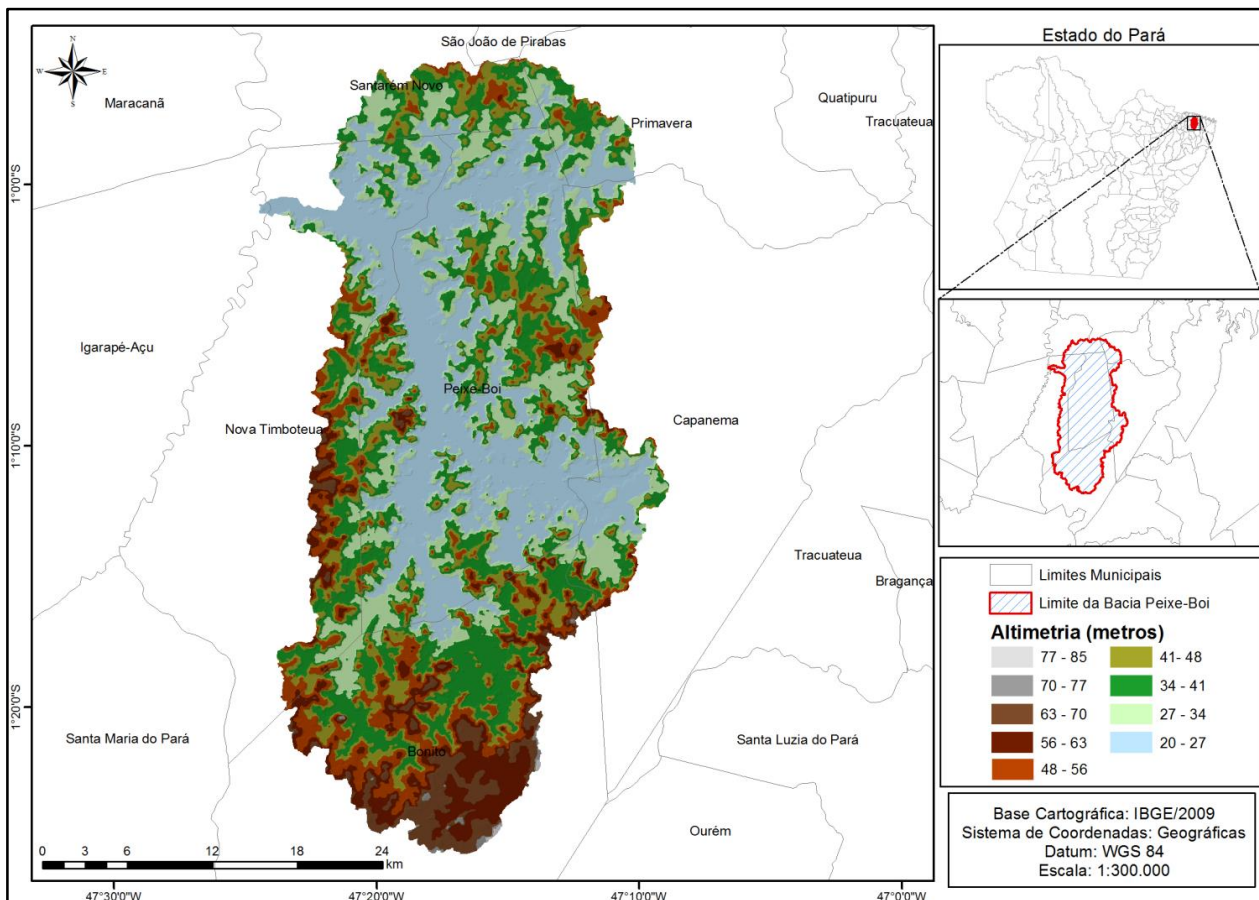


Figura 2: Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

No caso de altitudes elevadas, a temperatura é baixa e apenas uma pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água. Em altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada para evaporar a água. Constata-se, também, que altitudes elevadas tendem a receber maior quantidade de precipitação, além da perda de água ser menor. Nessas regiões, a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, ocasionando, dessa forma, um suprimento de água que mantém o abastecimento regular dos aquíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos d'água (CASTRO; LOPES, 2001).

O resultado obtido para a Altitude Média da bacia sugere um relevo quase plano, não apresentando variação significativa ou perceptível. Devido sua grande extensão e a baixa variação altimétrica da bacia, é enquadrada como de escoamento lento, favorecendo a infiltração e a evaporação. Nota-se que mais de 65% da área da bacia se

apresenta nas classes altimétricas mais baixas (<41m), e menos de 0,5% nas regiões mais elevadas (>70m), como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Quantificação espacial e distribuição percentual da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, por classe de Altimetria.

Classes Altimétricas (m)	Área (km ²)	%
20 - 27	318,38	30,79
27 - 34	195,84	18,94
34 - 41	167,44	16,19
41 - 48	142,62	13,79
48 - 56	104,99	10,15
56 - 63	68,01	6,57
63 - 70	32,38	3,13
70 - 77	3,56	0,34
77 - 85	0,71	0,07
TOTAL	1034	100

Um dos mais importantes parâmetros de relevo é representado pela declividade do terreno, que é expressa como sendo a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. As classes de declividade geradas neste tema foram reclassificadas em cinco intervalos distintos adaptados de Crepani et al. (2001), como apresentado na figura 3. As características de declividade do terreno também podem ser observadas na figura 3. O mapa trata-se de uma reclassificação da declividade em quatro classes, ao passo que a Tabela 3 apresenta as informações quantitativas associadas às classes de relevo. Observa-se que a grande parte da área da bacia corresponde às classes de relevo Muito baixo e Baixo (<6% de declividade), representando 84,38% da área total da bacia. A Declividade Máxima foi de 28,06%, a Declividade Mínima foi igual a zero e a Declividade Média encontrada para a bacia hidrográfica foi de 3,11%, sendo este valor condizente com o relevo pouco ondulado da região.

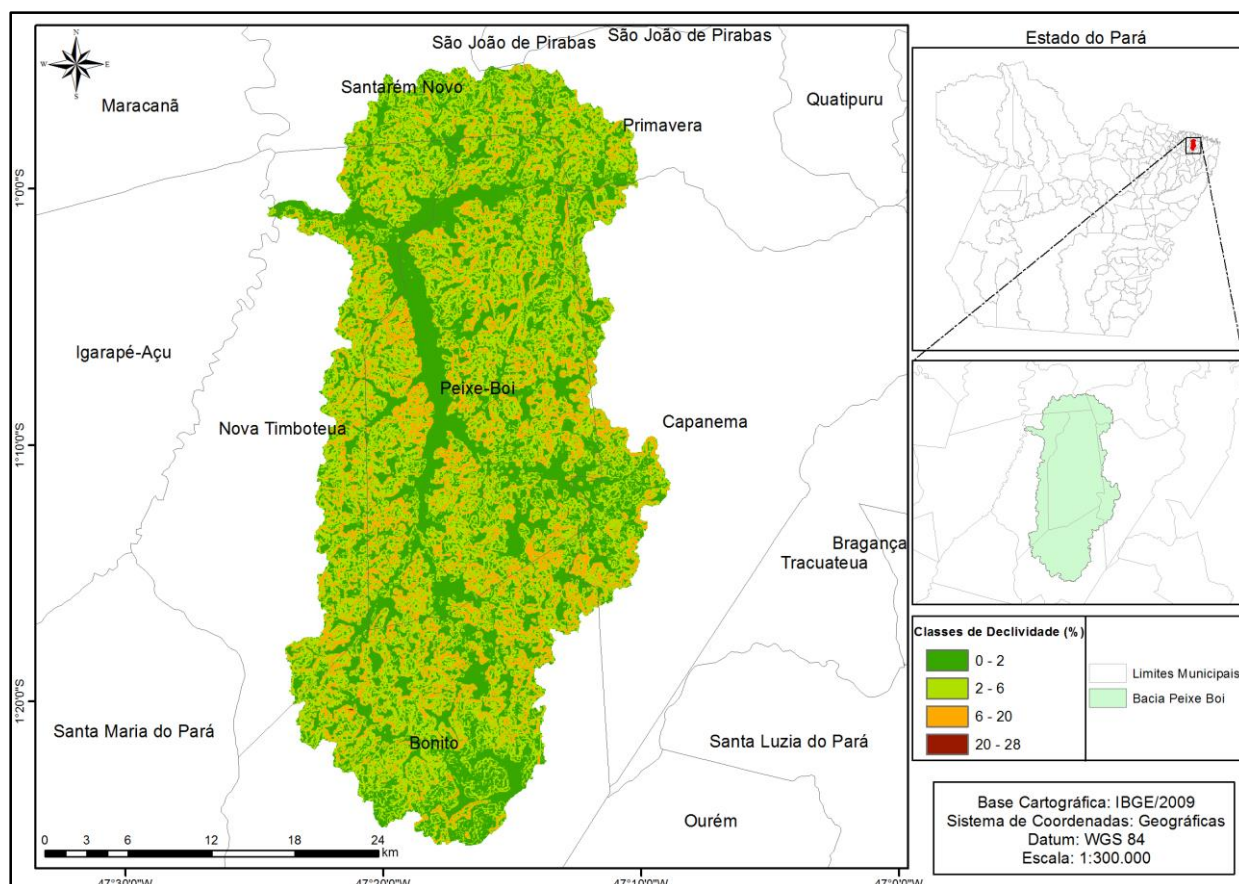


Figura 3: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

Tabela 3: Quantificação de áreas para cada classe de relevo na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.
Fonte: Adaptado de Crepani, et al., (2001).

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Área (km ²)	%
Muito Baixa	< 2	421,35	40,74
Baixa	2 – 6	451,30	43,64
Média	6 – 20	161,26	15,59
Alta	20 – 50	0,09	0,01
Muito Alta	> 50	0	0
TOTAL	–	1034	100

É possível observar na Tabela 3 que é praticamente irrisório o quantitativo de áreas com relevo acima de 20% de declividade, perfazendo uma área de menos de 0,1km². Novamente, esses dados se aproximam em muito com os valores obtidos por Júnior (2013), na bacia hidrográfica da Estrada Nova - Belém, que obteve 89,4% da área da bacia em áreas de declividade muito baixa e baixa, o que remete ao padrão normalmente plano das áreas localizadas ao nordeste do estado do Pará.

A declividade média da bacia ficou em 3,11% que é o valor mais representativo pra grande parte da Bacia. No que tange a declividade média sabe-se que ela expressa uma relação direta e complexa com os fatores infiltração, escoamento superficial, umidade do solo e a contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso d'água. Como o relevo predominante é plano, este é um dos fatores mais importantes que controla o tempo do escoamento superficial e da concentração da chuva, tendo uma importância direta em relação à magnitude da enchente. Entende-se que quanto maior a declividade maior a variação das vazões instantâneas (TONELLO et al., 2006).

Para Santos e Sobreira (2008), a baixa velocidade da água devido à declividade do terreno pode agir como agravante na ocorrência de enchentes da bacia hidrográfica. Entretanto, o escoamento rápido, também implica na aceleração do processo de retirada do solo, ocasionado pela erosão. Dessa forma, verifica-se que é imprescindível o equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial, bem como a preservação da vegetação, para que as áreas não impermeabilizadas tornem-se passíveis dos processos erosivos.

Quanto ao fator escoamento superficial, em relação à inclinação do relevo, torna-se importante considerar que a declividade atua como controladora de boa parte da velocidade do escoamento interferindo no tempo que a água da chuva leva para chegar até os leitos das drenagens (SALA; GASPARETTO, 2010).

No que tange ao Fator Topográfico (Ft), sabe-se que ele procura analisar a capacidade de escoamento de uma bacia por meio da densidade hidrográfica, índice de circularidade e a razão de relevo relativo. O valor encontrado desse fator para este estudo foi extremamente baixo 0,004, sendo assim a bacia apresenta praticamente nenhuma capacidade de enchente e com boa capacidade de escoamento. O valor obtido foi favorecido devido aos baixíssimos valores do índice de circularidade e de relação de relevo.

Compreende-se que além da constituição geológica do terreno e da cobertura vegetal do mesmo, a declividade é o fator topográfico mais relevante no condicionamento da

gênese e evolução do processo erosivo, haja vista que quanto maior for a inclinação da encosta, mais acentuado será o processo de escoamento superficial (TONELLO et al., 2006).

O resultado para o Índice de sinuosidade (Is) de 1,15 indicou para os rios da bacia, principalmente para o rio principal, uma tendência a serem pouco sinuosos como pode ser observado na figura 1. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares, com pequena capacidade de acúmulo de sedimentos (TEODORO et al., 2007). O rio Peixe-Boi praticamente não apresenta trechos com significativo acúmulo de sedimentos e/ou processos erosivos devido à sinuosidade. Por outro lado, a intensificação da ação antrópica e da ocupação desordenada das margens dos rios, principalmente no curso inferior médio do rio principal, próximo à Capanema e Peixe-Boi, tem promovido perturbações consideráveis em alguns pontos críticos.

O baixo valor referente ao parâmetro Relação de relevo (Rr) de 1,18m/Km indica um escoamento bastante lento nos canais da Bacia. Este índice compara a altimetria das regiões, sabendo-se que quanto maiores seus valores, mais acidentado é o relevo predominante na região, refletindo a relação infiltração/deflúvio, o que demonstra uma relação próxima com a densidade de drenagem (ROSSI; PFEIFER, 1999). Dessa maneira pode se inferir que o relevo é predominantemente baixo indicando uma boa estabilidade do relevo na área de estudo. Para Teodoro et al. (2007), o baixo valor de Relação de relevo indica vertentes curtas e confirma a baixa probabilidade natural de ocorrerem cheias relâmpagos na região da bacia com esta característica.

A informação de Relação de relevo alcançada para a bacia do rio Peixe-Boi é confirmada por Furtado e Ponte (2013), no seu trabalho de mapeamento de unidades de relevo do estado do Pará, onde a área referente à bacia está classificada como sendo de Planaltos Rebaixados da Amazônia, que são áreas de escoamento lento, onde a altimetria é menor e relativamente homogênea, indicando uma estabilidade do relevo.

O baixo valor do Índice de rugosidade (Ir) de 22,75, juntamente com o resultado do índice de Relação de relevo reforça a ideia de baixa possibilidade do evento de cheias exposta anteriormente. O valor desse índice foi pouco representativo e define menor risco de degradação da bacia, uma vez que apresenta pouca variação em seu relevo, com poucos desníveis entre a cabeceira e a seção de referência associados à densa rede de drenagem.

Isoladamente o índice de rugosidade não expressa precisamente as informações necessárias para se caracterizar o relevo, sendo necessário uma avaliação combinada com outros indicadores como a Relação de relevo e Fator topográfico para se chegar a um denominador mais eficaz (ROSSI; PFEIFER, 1999).

A Textura topográfica (Tt), indica o grau erosivo da área, sendo para Freitas (1952) classificado de acordo com os índices de valores de drenagem: abaixo de 4,0 como de textura grosseira, entre 4,0 e 10,0 como de textura média e acima de 10,0 como sendo de textura fina. Para o valor verificado (5,34), a textura topográfica pode ser classificada como sendo textura média, indicando a intensidade de entalhamento topográfico realizado pelos rios.

Christofolletti (1980) considera a textura topográfica como indicadora do estágio erosivo de uma determinada região. Assim, valores de textura topográfica estão diretamente relacionados aos de densidade de drenagem. Por sua vez, os valores de coeficiente de manutenção e da extensão do percurso superficial estão inversamente relacionados aos da densidade de drenagem.

Barbosa e Carvalho (2009), em estudos na bacia do Arroio do Padre - PR obtiveram valores dos parâmetros Textura topográfica e Índice de rugosidade, 4,35 e 20,06 respectivamente e, semelhante a esse estudo, também confirmando tal bacia como sendo de textura média, com pouca variação em seu relevo e baixo risco à inundação.

É importante observar que além do grau de entalhamento, a Textura de topografia também representa o grau de dissecação da superfície terrestre, por se tratar de um indicador do estágio erosivo da região.

2.3.3 Parâmetros da Rede de Drenagem

Para a realidade da área de estudo, os valores dos parâmetros Comprimento do Rio Principal (L) e Comprimento total da rede de drenagem (Lt) foram de 63,62km e 369,72Km, respectivamente. O comprimento do rio principal é um índice que compreende a distância que se estende ao longo do canal fluvial desde a desembocadura até uma determinada nascente no outro extremo. O critério utilizado para a determinação do comprimento do rio Peixe-Boi foi o estabelecido por Horton (1985),

no qual o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal, que neste caso é um canal de 4ª ordem (figura 4).

Sabe-se que os processos erosivos tendem a ser severos na região mais alta bacia hidrográfica, que é formada basicamente pelos rios de primeira ordem, porém, pequenos tributários também possuem ação erosiva devido à alta energia por desenvolverem-se em terrenos com os maiores declives da bacia hidrográfica como visto na figura 4.

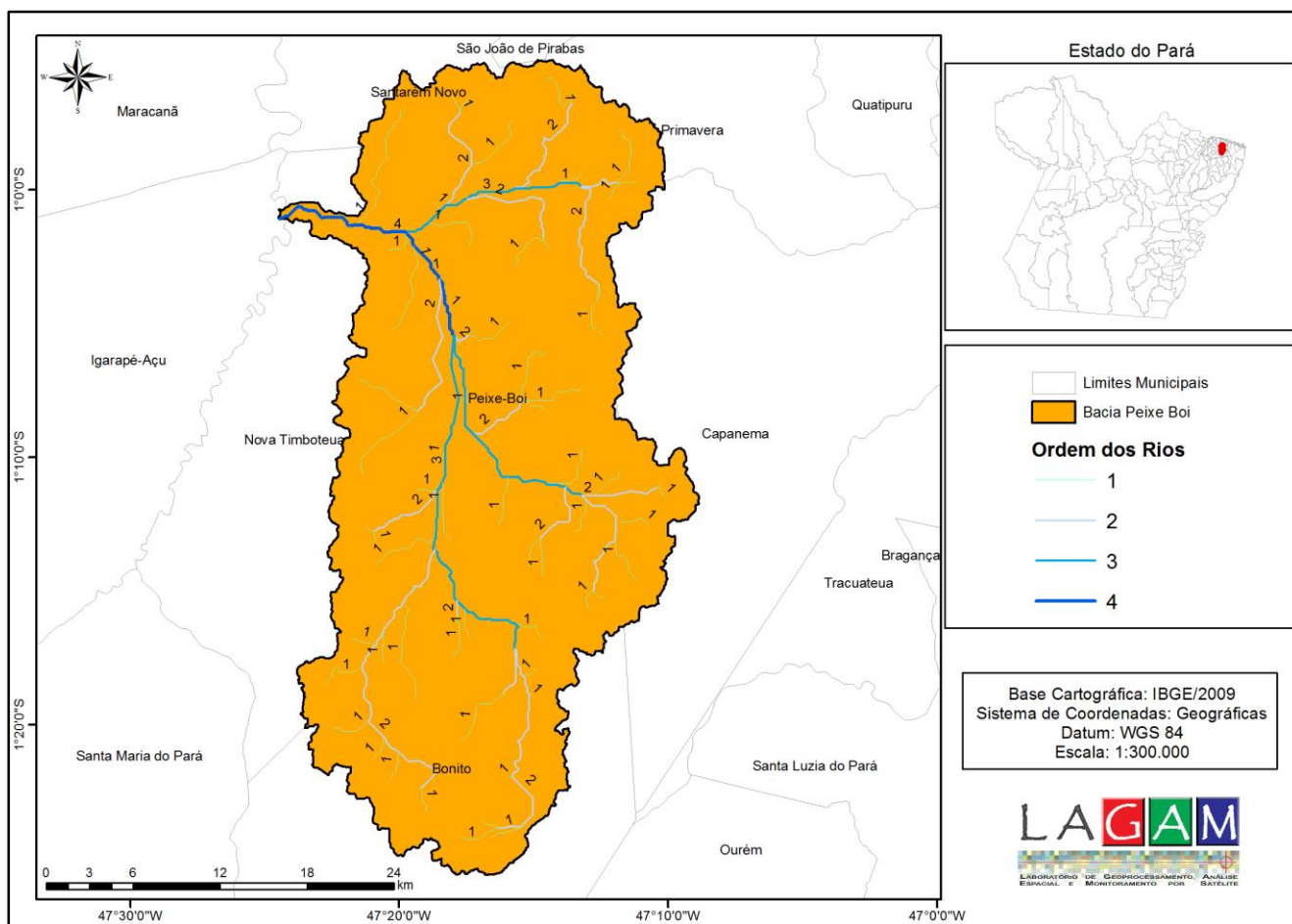


Figura 4: Mapa da Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

A partir do ordenamento dos canais apresentado na figura 4, verificou-se que a área de estudo apresentou grau de ramificação de 4ª Ordem, segundo a hierarquia proposta por Strahler (1952), que propõe uma ordenação que elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a extensão e a necessidade de se refazer a numeração a cada confluência. Este ordenamento indica que a bacia do rio Peixe-Boi mostra-se pouco ramificada, pois a ordem inferior ou igual a 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas e reflete os efeitos diretos do uso da terra e fragilidade

dos recursos hídricos. Sabe-se que, quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem.

Pela análise da Tabela 4, foi possível concluir que mais de 96% da drenagem da bacia é constituída por rios de 1ª e 2ª ordens, sendo os comprimentos médios dos rios para essas ordens estão classificados como pequenos, assim como o número de rios dessas ordens estão abaixo do estipulado por Alcântara e Amorim (2005), para uma bacia desse porte. Quanto mais seguimentos apresentar um rio, mais diversidade de habitat e maior disponibilidade de nichos ecológicos sustentarão o ambiente (THORP et al., 2010).

Tabela 4: Quantificação percentual do número, comprimento e bifurcação de rios da bacia do rio Peixe-Boi conforme sua ordem hierárquica.

Ordem dos Rios	Nº de Rios	Extensão (Km)	Comprimento Médio dos Rios	Percentual	Relação de Bifurcação
1º	50	174,03	2,52	76%	-
2º	13	120,35	3,43	20%	3,84
3º	2	56,93	28,46	3%	6,50
4º	1	18,39	18,39	1%	2,00
TOTAL	66	369,72	-	100%	-

No que tange aos resultados encontrados para a Relação de bifurcação, 3,84 observou-se para a relação entre o número de canais de segunda ordem, para os canais de terceira ordem o resultado foi 6,5, e a relação de bifurcação entre os canais de quarta ordem foi de 2. Todos os resultados foram superiores ou iguais a dois ($R_b \leq 2$), como estabelecido por Strahler (1952). Este índice indica o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indicam relevo colinoso.

Segundo Silva e Lima (2000), o valor desse parâmetro é maior para áreas amorreadas, com bacias de drenagem muito dissecadas, do que para bacias com áreas colinosas, sendo de 3 a 4 para as primeiras e de somente 2 para as últimas.

Um ponto que merece atenção são as maiores altitudes observadas na porção sul da bacia, indicando uma relativa influência na estruturação da drenagem da área de estudo. Como essa porção da bacia possui maiores altitudes, logo se observa um maior entalhamento dos cursos de água e também na ordenação dos canais, onde a maioria dos

canais de primeira ordem são encontrados nessa porção da bacia. Ao todo são contabilizados 50 canais de primeira ordem em toda área da bacia, e a maioria deles (37), localizam-se em áreas com altitude superior a 40m, indicando que o fator morfológico é determinante para a configuração da bacia em questão (Tabela 5).

Barbosa et al. (2011) e Furrier et al. (2012) encontraram resultados semelhantes ao descrito acima em bacias hidrográficas com características de relevo semelhantes.

Tabela 5: Quantificação de canais em cada classe de altimetria para a bacia do rio Peixe-Boi.

Altimetria (m)	1° Ordem	2° Ordem	3° Ordem	4° Ordem
20 – 40	13	11	2	1
40 – 60	16	2	-	-
60 – 80	20	-	-	-
> 80	1	-	-	-
TOTAL	50	13	2	1

A Densidade de drenagem de 0,35 Km/Km² foi considerada muito baixa, segundo a classificação de Silva e Mello (2013), com sistema de drenagem pouco desenvolvido, pois o valor encontrado foi menor que 0,5 km/km². Este padrão indica que a bacia hidrográfica apresenta baixa relação entre o comprimento de rios e a área ocupada pela mesma (Tabela 4), possivelmente devido a um eficiente escoamento de fluxo de água e boa infiltração para o lençol freático, apresentando menor propensão a inundações, fato este corroborado pelo valor baixo do Coeficiente de Torrencialidade (0,041).

A classificação dos canais fluviais através do índice Densidade de drenagem proposta por Silva e Mello (2013), aponta que a densidade de drenagem pode variar de 0,5 Km/Km² (bacias mal drenadas devido a elevada permeabilidade ou precipitação escassa) a 3,5 Km/Km² (bacias excepcionalmente bem drenadas ocorrendo em áreas com elevada precipitação ou muito impermeáveis).

A análise do coeficiente de torrencialidade precisa estar diretamente correlacionada à precipitação pluviométrica média da área estudada. No caso da bacia do rio Peixe-Boi, a média pluviométrica anual da região está em torno de 2.200mm, sendo considerada

elevada. Neste caso temos um coeficiente de torrencialidade baixo e um índice de pluviosidade elevado, assim, os fatores decisivos para caracterizar um risco de enchentes seriam conjuntamente a densidade de drenagem, o fator topográfico e a permeabilidade do solo.

Rodrigues e Adami (2005), afirmam que com o uso dos dados de Densidade de drenagem e Coeficiente de Torrencialidade é possível separar áreas mais ou menos aptas à recepção de infra-estrutura viária, por exemplo. Esses dados também podem ser um valioso auxílio para interpretações sobre morfogênese e morfodinâmica baseadas em inferências sobre diferenças de permeabilidade ou de diferença sobre a profundidade dos materiais permeáveis.

Outro parâmetro que demonstra a baixa susceptibilidade da bacia em sofrer inundações pode ser verificado pela Densidade Hidrográfica de 0,118 Curso/Km², mostrando que existe aproximadamente um rio para cada dez quilômetros quadrados da bacia. Isto indica um ambiente deficitário quanto a drenagem e pouco favorável à geração de novos cursos fluviais, segundo apresentado por Castro e Carvalho (2009), em semelhante estudo. Nota-se, também, que dentro de dez quilômetros quadrados a probabilidade de encontrar pelo menos uma união de dois cursos d'água ou mais é muito baixa, fato este encontrado a partir do valor de Densidade de Confluência de 0,06, bem longe do valor unitário (1).

É importante observar a correlação inversa existente entre a Densidade de drenagem e a Densidade hidrográfica, visto que, quanto mais canais existirem, menos extensos eles serão.

A densidade hidrográfica é um índice de grande relevância, pois indica se a bacia é bem servida de boa rede de canais ou não. Representa também o comportamento hidrográfico das bacias, uma vez que, em bacias com alta densidade hidrográfica, pode-se inferir uma maior capacidade de gerar canais, independentemente de suas extensões. Uma bacia é considerada bem drenada quando tem um canal por km² (BARBOSA; CARVALHO, 2009).

2.4 Conclusões

Os resultados obtidos por este trabalho nos permitem concluir que as geotecnologias apresentam ferramentas de fundamental importância para se extrair informações

espaciais do meio físico para a caracterização e avaliação ambiental de bacias hidrográficas. Os produtos de sensoriamento remoto e as ferramentas de geoprocessamento mostraram-se eficientes na modelagem, identificação, análise, interpretação e quantificação de variáveis do relevo e drenagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

A análise dos dados morfométricos e a interpretação dos resultados obtidos permitiram concluir que a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi possui a forma alongada, evidenciando um menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade anual. A bacia apresenta o relevo relativamente plano em sua maior área, sendo caracteriza como pouco ondulado, uma amplitude altimétrica relativamente baixa, e drenagem caracteriza como baixa, com sistema de drenagem pouco desenvolvido e precipitação pluviométrica média anual elevada. Esses parâmetros têm grande influência sobre o escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre o processo de erosão e inundação e atestam que escoamento da água na bacia em questão é lento.

A drenagem da bacia apresenta um padrão pouco sinuoso formado por reduzidos cursos d'água e tributários, que são de grande relevância para a população local que utiliza da água para sua subsistência, com a utilização das margens para o plantio de hortaliças, o que contribui para o assoreamento dos canais. Nessa perspectiva, faz-se necessário estudo sobre o uso e cobertura do solo na área da bacia, assim como estudos sedimentológicos no rio principal, objetivando analisar a relação da ocupação das suas margens e do despejo de resíduos sólidos com casos de eventuais enchentes e poluição hídrica.

É importante destacar que a bacia do rio Peixe-Boi sofre com o avanço da ocupação desordenada e sem planejamento, atrelado a falta de saneamento básico, uma vez que a população lança no rio, resíduos sólidos e efluentes domésticos sem tratamento, através de ligações de esgoto clandestinas.

Considerando o contexto em que se encontra esta bacia, os resultados alcançados nesse trabalho podem abrir novas perspectivas quanto a medidas de planejamento estratégico e gestão dos recursos hídricos da área em questão. De posse dos dados morfométricos e dos diversos produtos gerados por este trabalho, apresenta-se potencial perspectivas de realizar diversos outros estudos voltados à conservação dos recursos hídricos e de políticas públicas voltadas para a bacia hidrográfica em questão.

2.5 Referências

ALCÂNTARA, E. H.; AMORIM, A. de J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo e caso. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, vol.14, n. 7, p. 70-77, 2005.

BARBOSA, M. E. F.; FURRIER, M. Análise de bacia hidrográfica como subsídio para detecção de Neotectônica: estudo da bacia hidrográfica do rio Guruji, Litoral Sul do estado da Paraíba. **Cadernos de Geociências**, vol. 8, n. 1, p. 10-18, 2011.

BAKER, W.; CAI, Y. The r.le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. **Landscape Ecology**. vol. 7. P. 291-302, 1992.

BARRETO, M. P. S. L.; SANTOS, P. C. T. C. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio Caraparu. **RCA**, Belém. vol. 4, n.1, p.125-141. 2001.

BORSATO, F.H.; MARTONI, A.M. Estudo da Fisiografia das Bacias Hidrográficas Urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Human and Social Sciences. vol.26, n. 2, p.273-285, 2004.

BARBOSA, Y. B.; CARVALHO, S. M. Análise morfométrica da bacia do Arroio do Padre, Ponta Grossa – PR. **Caminhos de Geografia Uberlândia** vol. 10, n. 30, p. 160 - 173 Página 160, Mar/ 2009.

CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, vol. 5, n. 2, 2009.

CASTRO, P.; LOPES, J.D.S. Recuperação e Conservação de nascentes. Viçosa: **CPT**, p. 84 - 89, 2001.

CARDOSO, C. A. PONTE, V. C. SANTOS, S. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, vol. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CREPANI, E. M.; MEDEIROS, J. S. de; 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. São José dos Campos: 124 p. **INPE**, 2001.

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

CRUZ, F. M.; Cavalcante, L. M.; OLIVEIRA, W. P.; SANTOS, V. J. C.; SANTOS, S. A. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Peixe-Boi como subsídio à construção de um plano de manejo de bacia hidrográfica . In: XVIII **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande** – MS, Anais, ABRH, p.183-198, 2009.

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, vol. 4, n.2, p.265-271, 2004.

FERRARI, J. L.; SILVA, S. F.; SANTOS, A. R.; GARCIA, R. F. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 8, n. 2, p. 181-188, 2013.

FREITAS, R. O. Textura da drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 11, p. 53-57, jul. 1952.

FORTUNATO, I.; FORTUNATO NETO, J. Sustentabilidade e meio ambiente sob a ótica da educação ambiental. Fortaleza, CE, **Revista da FA7**, v. 8, n. 1, p. 81-91, 2010b.

FURTADO, A. M. M., PONTE, F. C. MAPEAMENTO DE UNIDADES DE RELEVO DO ESTADO DO PARÁ, **Revista GeoAmazônia**, Belém, vol. 02, n. 2, p. 56 - 67, jul./dez. 2013.

FURRIER, M; BARBOSA, T. S. Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Marés – PB, para verificação de influência neotectônica. **Cadernos de Geociências**, vol. 9, n. 2, p. 215-228, 2012.

GADELHA, C. T.: Utilização de Geotecnologias para Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Açude de Sumé-PB. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - **IFET-PB**. João Pessoa: 2011.

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. vol. 11, n. 128. p. 55-69, 1985.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de Geomorfologia/ IBGE, Coordenação de Recursos naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : **IBGE**, 2009.

IBGE. Banco de Dados. 2008. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1246&id_pagina=1. Acesso em: 24 maio 2014.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, diretoria de geociências, mapas-tematicos_pedologia/unidades_federação/pa_pedologia, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS/ DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS (INPE/DPI). **Topodata**: banco de dados morfométricos do Brasil. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acessado em Dezembro. 2014.

JUNIOR, A. C. R. A. Fatores de risco a inundação na bacia hidrográfica da Estrada Nova Belém – PA, Brasil. **Geografia** (Londrina), vol.22, n.2. p. 57-78, maio/ago. 2013.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Ed. Oficina De Textos. 1ª Edição – p. 424 – 431, 2009.

LIRA, E. M.; NASCIMENTO, F. I. C.; ALMEIDA, G. O.: Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Igarapé Amaro, Acre-Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, Vol.3, N.4, p. 606-616, 2012.

MACHADO, Ricardo Augusto Souza et al. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -**SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1441. 2011

MOSCA, A.A.O. Caracterização hidrológica de duas microbacias visando à identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas. 2003. 96f. **Tese** (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, SP, 2003.

OLIVEIRA, E. D.; CUNHA, M. C.; VESTENA, L. R. e THOMAZ, E. L. Aspectos Morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel, Guarapuava – PR. In: V SimpGeo (**Simpósio Paranaense de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia**, UFPR, Anais, Curitiba, 36-51 p. 2010.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**, vol.2, n.2, p. 84-95, 2008.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (org.) **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 2005.

ROMANOVSKI, Z. Morfologia e aspectos hidrológicos para fins de manejo da microbacia da Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo. 2001. 99f. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

ROSSI, M.; PFEIFER, R.M. Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão (SP). **Bragantia**, Campinas, vol. 58, n.1, p.141 - 156, 1999.

SALA, M. G.; GASPARETTO, N. V. L.: Fragilidade Ambiental dos solos em Bacias Hidrográficas de pequena ordem: o caso da Bacia do Ribeirão Raringá-Pr. **Bol. Geografia.**, Maringá, vol. 28, n. 2, p. 113-126, 2010.

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. **Revista Ambiente & Água**, vol. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. **Revista Escola de Minas (REM)**, vol. 61, n. 1, p. 77-85, 2008.

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

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal da Cartografia**, Londrina, vol. 3, n. 1, 2010.

SILVA, A. M.; LIMA, L. C. Caracterização fisiográfica da bacia do rio Peixe-Boi. Brasil. **Revista Ambiente & Água**, vol. 2, n. 2, p. 151-203, 2000.

SILVA, A.M.; MELLO,C.R. Apostila de Hidrologia. Universidade Federal de Lavras. InSite:www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng170.htm. Acesso em: 10 Julho 2013.

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

TEIXEIRA, A.J.A., CRUZ, C.B.M. Classificação de bacias de drenagem com o suporte do sensoriamento remoto e geoprocessamento - o caso da Baía de Guanabara. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., Goiânia, 2005. Anais XII SBSR, p. 2779-2786.2005.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**. n. 20, p. 137-155, 2007.

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 Guanhães - MG. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, vol. 30, n. 5, p.849-857, 2006.

THORP, J. H.; FLOTEMERSCHE, J. E.; DELONG, M. D.; CASPER, A. F.; THOMS, M. C.; BALLANTY, F.; WILLIAMS, Bradley S. Linking ecosystem services, rehabilitation, and river hydrogeomorphology. **BioScience** 60: 67-74, 2010

VALERIANO, M.M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos, SP: **INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais** (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.

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

CAPÍTULO 2

(Este capítulo está formatado nas normas de apresentação bibliográfica do periódico Ambiente e Água)
Foi aprovado em 02/2016 e será publicado no Vol. 11, n. 2, em Maio deste ano.

**3. CONFLITOS NO USO DA TERRA EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO
PERMANENTE E A DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PEIXE-BOI, PA³****RESUMO**

A bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi exerce um importante papel no contexto dos recursos hídricos da zona Bragantina, mesorregião do Nordeste Paraense. Contudo, em função do avanço da urbanização e do crescente processo de ocupação e uso conflitante das áreas de proteção permanentes da bacia hidrográfica, a qualidade da água começa a sofrer forte impacto, transparecendo um processo de contaminação de seus corpos hídricos. O presente trabalho, objetivou mapear a cobertura e uso do solo na área de abrangência da bacia do rio Peixe-Boi, identificando conflitos de uso nas áreas de preservação permanente, e relacionar este uso com a qualidade da água na bacia, objetivando dar subsídios a políticas públicas que visem equalizar o processo de degradação ambiental. Os resultados obtidos revelam que 46% das APPs da bacia estudada, encontram-se em conflito de uso, sobretudo pela ocupação indevida das classes área urbana, solo exposto e pastagem dentro das APPs. A classe pastagem, representou mais de 84% da área em conflito de uso dentro das áreas de proteção permanente, representando a tipologia de maior incidência dentro das APPs e na bacia como um todo. Contatou-se que os registros das piores condições de qualidade da água, estão ligados às áreas de uso e ocupação irregulares dentro das APPs, especialmente nas áreas mais antropizadas, localizadas nas regiões extremo leste e sudoeste. Em alguns pontos amostrais, foram observados níveis críticos de Oxigênio dissolvido chegando a 2,14 mg/L e pH de 5,12, valores muito abaixo do estabelecido pela resolução 357/05 do CONAMA. Diante do exposto, verifica-se a necessidade, emergencial, de planejamento do uso e ocupação das terras na área da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, e a adoção de práticas sustentáveis de manejo do solo e dos recursos hídricos, que propiciem a recuperação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica.

PALAVRAS-CHAVE: Uso e cobertura, desmatamento, recursos hídricos, CONAMA.

³ Este capítulo segue as normas de apresentação da Ambiente e Água.

**CONFLICT IN LAND USE IN PERMANENT PRESERVATION AREAS AND
WATER QUALITY DETERIORATION IN THE WATERSHED OF THE
PEIXE-BOI RIVER, PA.**

ABSTRACT

The watershed of the Peixe-Boi river plays an important role in the context of water resources of Bragantina area, middle region of Pará Northeast. However, due to the advance of urbanization and the growing process of occupation and conflicting use of permanent protected areas of the watershed, water quality begins to suffer severe impact, transpiring a contamination process of its water bodies. This study aimed to map the coverage and land use in the catchment area of the Peixe-Boi river, identifying use conflicts in the areas of permanent preservation, and relate this usage to water quality in the basin, aiming to give subsidies public policies to minimize the process of environmental degradation. The results show that 46 % of APPs of the study area, are in conflict of use, especially for the unauthorized occupation of urban classes, exposed soil and grassland within the APPs. The pasture class, represented more than 84 % of the area in use conflicts within the areas of permanent protection, representing the type of higher incidence within the APPs and the basin as a whole. It was found that the records of the worst conditions of water quality are linked to uneven areas of use and occupation within the APPs, especially in the disturbed areas, located in the extreme east, and southwest regions. In some sampling points were observed critical levels of dissolved oxygen reaching 2.14 mg / L and pH of 5.12, far below the values established by Resolution 357/05 of CONAMA. Before the facts, there is the need, emergency, planning the use and occupation of land in the catchment area of the watershed of the Peixe-Boi river, and the adoption of sustainable practices of soil management and water resources, conducive to recovery the environmental quality of the watershed.

KEYWORDS: Use and coverage, deforestation, Water resources, CONAMA.

3.1 Introdução

O processo de ocupação do território brasileiro é marcado, historicamente, pela intensa exploração de seus recursos naturais e supressão da vegetação nativa, voltadas para diversas atividades antrópicas, com destaque para a agropecuária e expansão da urbanização. Na região Amazônica, ausência de práticas conservacionistas, voltadas à sustentabilidade ambiental e econômica desencadeou severos problemas e impactos negativos, com destaque a erosão hídrica, perda de qualidade dos solos, redução de oferta hídrica e drástica alteração da cobertura vegetal (FERREIRA e COELHO, 2015).

Os dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES), apontam que as taxas de desmatamento registradas na região, vem decrescendo nos últimos 10 anos, alcançando uma redução de 82% no período de 2004 a 2014, redução atribuída a diversos programas governamentais como o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (INPE, 2015).

No Estado do Pará, a diminuição foi de 8870km²/ano em 2004, para 1887 km²/ano em 2014, o que representa uma redução de 79%, conforme dados mapeamento consolidado pelo PRODES ainda em 2014. Contudo, embora os resultados indiquem eficácia no combate ao desmatamento, ainda há muito o que ser feito para se atingir níveis aceitáveis de sustentabilidade ambiental para a região (SCHMITT e PAIVA, 2015).

Para que haja um processo sustentável que possibilite o desenvolvimento da produção agrícola, paralelo à preservação do meio ambiente, faz-se necessárias ações de políticas públicas, que viabilizem o desenvolvimento econômico e a manutenção dos ecossistemas naturais. Assim, com o intuito de disciplinar e limitar as alterações antrópicas negativas ao meio ambiente, o Código Florestal Brasileiro – Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, instituiu a criação das Áreas de Preservação Permanente -APPs (BRASIL, 1965).

Foi estabelecido por Lei que a vegetação nativa nas margens dos rios e lagos, deveriam ser preservadas pois desempenham um fundamental papel na manutenção e preservação ambiental, da qualidade dos recursos hídricos, da estabilidade geológica, da manutenção da biodiversidade e dos ciclos biológicos (MMA, 2013). A Lei nº 4.771 perdurou por mais de quatro décadas, vindo a ser revogada em maio de 2012 pela Lei nº

12.651, contudo, mantendo o mesmo conceito de APP, e acrescentando novos parâmetros de caráter protetivo (BRASIL, 2012).

É importante ressaltar que além do Código Florestal, a Constituição Federal também prevê quanto ao uso dos recursos naturais, onde no artigo 186, toda propriedade rural deverá cumprir sua função social, promovendo, a “utilização adequada dos recursos naturais disponíveis e preservação do meio ambiente” (Brasil, 1988). Dessa forma, os proprietários de imóveis rurais, tem por obrigação adotar as normas de proteção do meio ambiente legalmente instituídas, uma vez que, os benefícios socioambientais de proveito coletivo, prevalecem sobre as garantias individuais de uso do proprietário.

Araújo et al. (2013), reiteram, que monitorar as alterações na paisagem da região Amazônica, é um fator de primordial importância no controle e planejamento racional de utilização do uso da terra, em função do avanço da ocupação do espaço físico. Nesse sentido, Pires (2013), complementa, discutindo a necessidade do eficaz mapeamento das APPs, para manutenção das bacias hidrográficas, para o planejamento territorial, e monitoramento do uso sustentável e legal dos recursos naturais.

As APPs desempenham um papel vital na integridade e perenidade das bacias hidrográficas, uma vez que estão diretamente responsáveis pela preservação dos ecossistemas ali existentes (ORIGE et al., 2015). As bacias hidrográficas, por sua vez, representam unidades biogeofisiográficas, que conduzem grande parte das relações de causa/efeito através da rede de drenagem, sendo necessário um planejamento criterioso que mensure os conflitos gerados pelos seus usos, os quais podem ser observados através dos aspectos econômicos, sociais e ecológicos (MENDES et al., 2015).

Para Pires et al. (2012) e Elydeise et al. (2015), o estudo de bacias hidrográficas, mostra-se cada vez mais necessário na correlação com as Áreas de Preservação Permanente (APPs), pois, a existência de conflitos entre uso e ocupação e o descumprimento da legislação nessas áreas, põem em xeque a integridade dos recursos hídricos, afetando a qualidade da água, devido à dinâmica fluvial e ao escoamento superficial da água ao longo da bacia de drenagem.

Costa et al. (2015), expõe que a alteração da qualidade das águas em bacias hidrográficas, voltadas para fins de consumo e abastecimento doméstico, é decorrente de poluição causada por diversos agentes causadores, tais como efluentes industriais, efluentes domésticos, e deflúvio superficial agrícola e urbano, ratificando a importância das APPs na manutenção da qualidade da água.

Segundo Moura et al. (2013), no caso dos efluentes domésticos, por exemplo, são constituídos basicamente por contaminantes orgânicos, por nutrientes e por microrganismos, que podem ser patogênicos e extremamente prejudiciais a qualidade do ambiente. Já os efluentes Industriais são os principais responsáveis pelo lançamento de substâncias tóxicas nos esgotos, lançamento da fumaça possibilitando chuvas ácidas, e compostos tóxicos oriundos de pesticidas utilizados na agricultura entre outros.

Desta forma, a análise da qualidade de água dentro das APPs da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi vem como instrumento norteador de políticas públicas para qualificar e quantificar a realidade existente na região da bacia. Com isto será possível estabelecer metas de planejamento dos recursos hídricos nos municípios abrangidos pela bacia, equalizando a problemática e evitando a contaminação de seus mananciais.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), somados aos produtos do sensoriamento remoto, são importantes ferramentas para o monitoramento de bacias hidrográficas, assim como para o mapeamento e quantificação das áreas de preservação permanentes e dos conflitos de uso terra, fornecendo subsídios indispensáveis na tomada de decisões voltadas para práticas de manejo em conformidade com a legislação ambiental vigente. (BARROS et al., 2013 e; REIS et al., 2012)

Adicionalmente, Neves et al. (2009) e Johnson, (2009), reforçam a aplicabilidade dos SIG's, mostrando que permitem reunir informações espacialmente fragmentadas, oferecendo suporte de forma lógica e estruturante à gestão, permitindo a construção de indicadores baseados em análises geográficas com ganho em facilidade no compartilhamento de informações, baixo custo para elaboração de saídas gráficas e uma maior facilidade na identificação de padrões espaciais.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo, mapear a cobertura e uso do solo na área de abrangência da bacia do rio Peixe-Boi, identificando conflitos de uso nas áreas de preservação permanente, de acordo com o Código Florestal (Lei 12.727/2012), relacionando este uso com a qualidade da água na bacia, segundo a resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, por meio do uso integrado de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, visando subsidiar ações de gestão, a fim de mitigar o processos de degradação dos corpos hídricos superficiais da bacia em questão.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi está localizada na mesorregião do Nordeste Paraense, mais precisamente na microrregião denominada Bragantina (figura 1). Ela estende-se entre as coordenadas $0^{\circ} 53' 57''$ S e $1^{\circ} 26' 10''$ S de Latitude e $47^{\circ} 24' 29''$ W e $47^{\circ} 7' 24''$ W de Longitude. Esta bacia tem como rio principal o rio Peixe-Boi, com cerca de 60Km de extensão, sendo sua nascente está situada próxima município de Bonito e caminha no sentido norte, até sua foz na confluência com o rio Maracanã. Os principais afluentes do Peixe Boi são: pela margem direita, os rios Jaburu, Pedras, Urucuri, Jiquitaia e os igarapés Tauarí, Cachorro, Bambu, entre outros; pela margem esquerda, encontram-se os rios Timboteua e Cupu e os Igarapés Urubuquara e Abaeté. Além destas, outras drenagens importantes que aparecem na bacia hidrográfica são: os rios Meruíra, Piquiarina, e os Igarapés das Cobras, Pajurá e Jutaizinho.

Entre os principais usos da água na bacia do rio Peixe-Boi, destacam-se: consumo doméstico, lazer e recreação, lavagem de roupas e utensílios domésticos, corpo receptor de efluentes, irrigação, e abastecimento público.

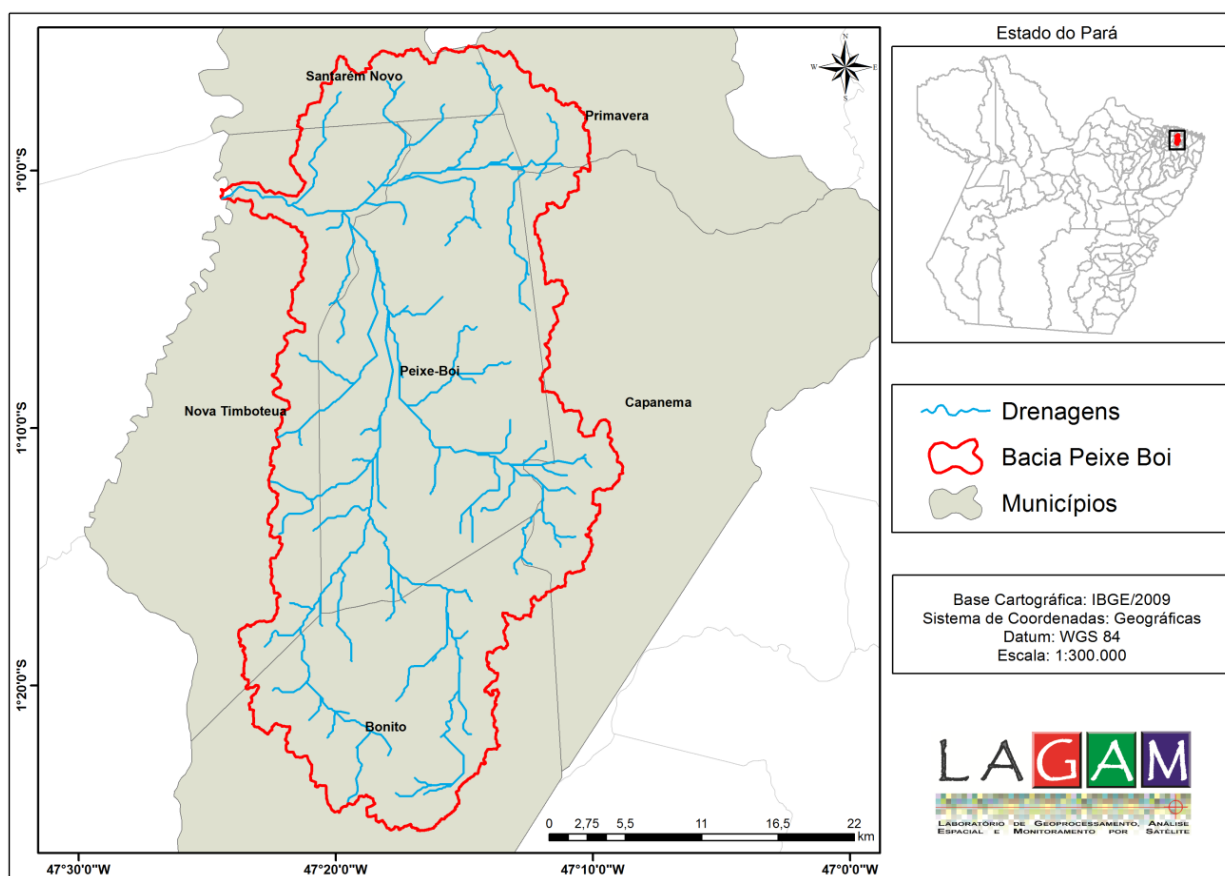


Figura 1: Localização e delimitação espacial da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

A bacia hidrográfica possui uma área de 103400,42ha, abrangendo um total de seis municípios, sendo que, 43,55% de sua área pertencem ao município de Peixe-Boi, 24,34%, ao município de Bonito, 15,39% Nova Timboteua, 7,42% Capanema, 5,61% Santarém Novo e 3,60% ao município de Primavera (PEREIRA et al. 2015a).

Apenas um pequeno percentual de 0,09% pertence aos municípios de São João de Pirabas e Igarapé-Açu, o que fez com que tais municípios fossem desconsiderados nas análises. Em estudos anteriores Cruz et al. (2009), constataram que a bacia mostra-se inadequada para a geração de energia elétrica e para navegação de grandes embarcações em função do seu pequeno calado.

A região apresenta o clima do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluviométrica média está em torno de 2.200 mm anuais. A temperatura varia entre 29 e 31 °C, sendo que a temperatura média fica em torno de 26 °C. Também apresenta elevada umidade, oscilando em torno de 75 a 92%. Segundo dados do MMA (2006), e ANA (2012), em a precipitação média na Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental é da ordem de 1.869 mm/ano com a máxima de 2.565 mm no litoral do Pará, enquanto a evapotranspiração real me dia é de 1.371 mm/ano.

O relevo apresenta formas suaves de tabuleiros e elevações ligeiramente colinoformes, além de planaltos e planícies fluviais, e sua constituição geológica inserida no Terciário da Formação Barreiras e sedimentos do Quaternário Atual e Subatual (IBGE, 2008).

Os solos que abrangem a área da bacia do rio Peixe Boi apresentam-se, em geral, ácidos e álicos (toxidez alumínica), necessitando calagem para sua correção. São representados pelos Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico Típico, com estrutura média de nível plano e suavemente ondulado, ocorrendo quase sempre na superfície de erosão estabilizadas mais antigas, nas pediplanícies e fluvioplanícies interiores, tendo ainda a presença de Plintossolo Petrico Concrecionário Argissolico (FFc), são encontrados também em alguns municípios que fazem parte da bacia o Gleissolo Háplico Eutrófico Típico, muito Argiloso e estrutura plana (IBGE, 2012).

A cobertura vegetal da área da bacia é característica de vegetação secundária em vários estágios de sucessão, por motivo da ação dos desmatamentos demandados para a implantação dos sistemas produtivos locais, representado em geral pelo plantio de espécies agrícolas de subsistência e principalmente por pastagens cultivadas, destinados à pecuária de leite e de corte. O rio Peixe-Boi é caracterizado pela constante presença de

mata ciliar e outras variedades de vegetação aquática, como as macrófitas, as quais se tornam fundamentais para organismos que dependem da vegetação para se alimentar, reproduzir e desenvolver, além de serem indicadores do estado trófico dos ecossistemas.

3.2.2 Coleta e avaliação da qualidade da água: Amostragem

O trabalho de campo foi realizado nos meses de maio (período chuvoso) e outubro (período seco), onde foram coletadas as amostras de água em pontos pré-estabelecidos da bacia hidrográfica. É importante considerar que, segundo HURTIENNE (2005), a região nordeste do Estado do Pará, localizada próxima da faixa litorânea, apresenta seu período seco entre os meses de julho a outubro.

As coletas foram realizadas em 28 pontos, visitados nos meses citados, e distribuídos ao longo dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Peixe Boi, a fim de se traçar o background local dos padrões de qualidade das águas da área de estudo dentro das APPs, desde suas nascentes, no município de Bonito, passando pelo seu curso principal, onde a ele contribuem os igarapés que nele deságuam, até sua desembocadura no Rio Maracanã (Figura 2).

No ponto exato de cada estação de amostragem foram registradas as coordenadas geográficas, utilizando-se um GPS de navegação modelo Garmin 76Cx, configurado e calibrado adequadamente para a precisão necessária (Tabela 1).

As amostragens foram baseadas nas recomendações do Guia de coleta e preservação de amostras de água Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB, 1988). Para análise dos padrões ambientais mínimos de qualidade de água foram seguidas as recomendações da Resolução CONAMA 357/(2005).

Foi seguida a resolução 357 CONAMA, para a classificação das águas doces segundo seu uso, onde temos:

Classe 1- Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas.

Classe 2- Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação, irrigação, aquicultura e a atividade de pesca.

Classe 3- Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário, dessedentação de animais.

Classe 4- Navegação, harmonia paisagística.

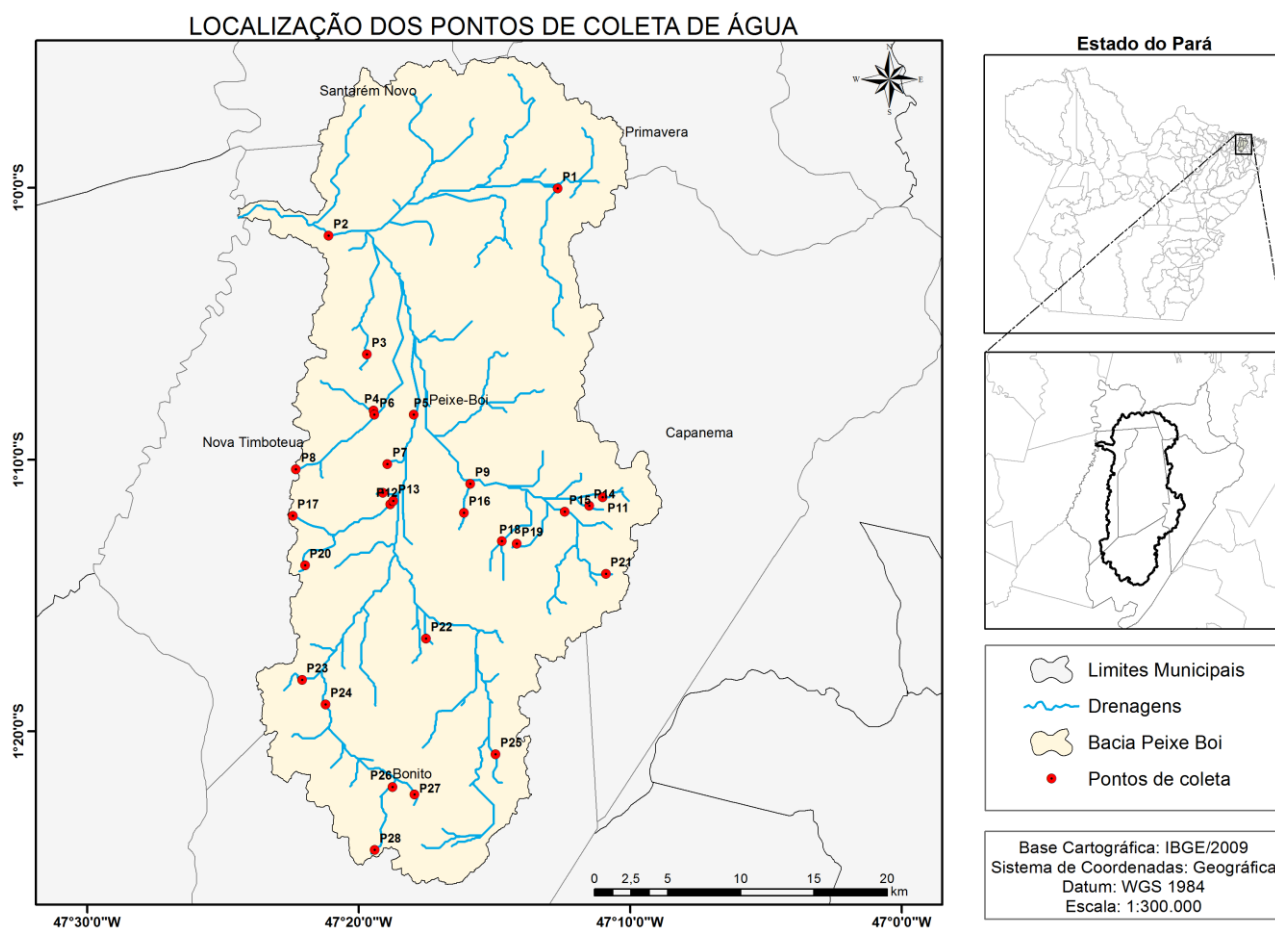


Figura 2: Localização espacial dos pontos de coleta de água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

PONTOS	REFERÊNCIA	COORDENADAS (UTM)	
		X (Long)	Y(Lat)
P1	Rio Jaburu (Estrada Primavera)	253913,46	9889342,69
P2	Rio Peixe-Boi (Velha Timboteua)	238260,41	9886123,70
P3	Igarapé Ananim	240883,24	9878061,25
P4	Igarapé Braço Grande	241342,79	9874245,15
P5	Lago da Fazenda Edilson	244104,35	9873970,81
P6	Igarapé Abaeté	241398,68	9873979,70
P7	Igarapé Urubuquara	242303,31	9870617,54
P8	Nascente do Igarapé BI-1	236112,88	9870158,80
P9	Rio Urucuri	247949,40	9869294,74
P10	Igarapé Tatajuba	241982,03	9868681,39
P11	Rio Urucuri	257012,85	9868394,98
P12	Igarapé Apuí (Atrás da Sede)	242483,73	9867896,40
P13	Rio Peixe-Boi	242706,22	9868128,89
P14	Igarapé Tubinho	256089,26	9867808,01
P15	Rio Capanema	254408,44	9867408,45
P16	Igarapé Buraco Fundo	247539,08	9867314,34
P17	Nascente do Igarapé Apuí	235825,99	9867116,34
P18	Igarapé Água Fria	250134,82	9865402,83
P19	Igarapé “Sem Nome”	251137,00	9865215,61
P20	Nascente do Rio Cupu	236664,04	9863754,05
P21	Nascente do Rio Capanema	257239,74	9863163,25
P22	Rio das Pedras (BR-316)	244952,25	9858772,35
P23	Igarapé Panelão (Quatro Bocas)	236470,74	9855965,83
P24	Rio Peixe-Boi (Burrinho)	238086,76	9854296,91
P25	Nascente do Rio das Pedras	249702,20	9850933,84
P26	Nascente do Rio Peixe-Boi 1	242656,95	9848692,69
P27	Nascente do Rio Peixe-Boi 3	244171,58	9848185,29
P28	Nascente do Rio Peixe-Boi 2	241447,59	9844421,50

Os equipamentos utilizados para as coletas dos parâmetros de qualidade de água foram as sondas multiparâmetros HANNA HI9828 e YSI 6600, onde foram utilizados para avaliar as seguintes variáveis físicas e químicas: temperatura (°C), oxigênio dissolvido - OD (mg/L), pH, sólidos totais dissolvidos (ppm), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Salinidade (ppt), nitrato (mg/L), cloretos (mg/L), turbidez (MTU), e clorofila (mg/L). Os dados coletados ficam armazenados no sistema integrado dos equipamentos, que gravam as informações específicas de registro.

No Laboratório de Geologia de Ambientes Aquáticos (LGAA/UFRA), as amostras de água foram manipuladas para a medição de outros parâmetros, como por exemplo a determinação da concentração do nitrato (mg/L), por meio de uma subamostra.

3.2.3 Processamento digital dos dados espaciais

Na classificação da cobertura vegetal e uso da terra utilizou-se o software ENVI 4.5, e uma imagem multiespectral de 2013 do satélite RESOURCESAT-1, sensor LISS III, no Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), datum WGS84, com 7 bits de resolução radiométrica e 23,5m de resolução espacial das bandas espectrais (vermelho, IV próximo, IV médio). Utilizou-se a metodologia adotada para a classificação supervisionada, por meio do algoritmo de máxima verossimilhança, onde foram expressadas as classes de uso e cobertura da bacia hidrográfica.

Então, após a coleta de amostras das classes de interesse, foi efetuada uma análise do desempenho das mesmas sendo gerada a classificação final visando obter o maior índice Kappa.

3.2.4 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente

Para as análises envolvendo os dados espaciais e tabulares referentes à área de estudo, na confecção dos buffer das APPs e para a confecção dos mapas, utilizou-se o software ArcGIS 10.1 e suas extensões. Foram consideradas neste trabalho, somente, as APPs ao longo dos cursos d'água e de nascentes, sendo extraídas da rede hidrográfica do IBGE (2010). As delimitações das APPs, foram criadas por meio da geração de buffer's partindo do leito dos cursos d'água da bacia, seguindo a legislação do Código Florestal

Brasileiro (Lei 12.727/2012). A delimitação foi baseada na digitalização dos dados vetoriais dos cursos d'água, com larguras de 10, 50, 100, 200 e maior que 600 metros.

Enquanto as APPs das nascentes, foram traçadas a partir 50 m, tendo a nascente como ponto central, como determinado pelo Código Florestal.

3.2.5 Estudo do conflito de uso da terra

Com o intuito de identificar as áreas de incidência de conflitos de uso da terra, nas áreas de preservação permanente, foi realizada uma sobreposição, ou *overlay*, do mapa de uso e cobertura vegetal sob os polígonos de delimitação das APPs, de acordo com o Código Florestal Brasileiro de 2012. Então, realizou-se um recorte para determinar a localização das áreas consolidadas, e os polígonos obtidos, corresponderam às áreas de usos conflitantes inseridos nas APPs, ou seja, áreas que deveriam estar preservadas, mas que estão sendo utilizadas para fins de ocupação, pasto, agricultura etc.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Classificação e Determinação dos Conflitos

Na classificação do uso e cobertura do solo na área da bacia hidrográfica, foram identificadas oito classes: área urbana, solo exposto, agricultura, pastagens, campos naturais, vegetação arbórea, água e nuvens/sombra (Figura 3). A classe de maior incidência foi a pastagem, ocupando mais de 54% da área total da bacia, seguida pela vegetação arbórea, com 28,47%, indicando uma intensa degradação ambiental e alteração da paisagem (Tabela 2). Pereira et al. (2015b), estudando a mesma bacia hidrográfica, obteve uma cobertura de 43% de vegetação arbórea, e 35% de pastagem, utilizando imagem TM-Landsat 2008, o que revela a acelerada transição da cobertura natural da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, para pastos, em função do crescimento da pecuária extensiva e a baixa sustentabilidade do sistema de agricultura tradicional praticado na região.

A classe agricultura, apresentou uma área pouco expressiva 3.733,74ha, quando comparada às quantificações realizadas por Pereira et al. (2015b), e INPE e EMBRAPA

(2011), para os anos de 2008 e 2010, onde foi verificado cerca de 14.994,78ha e 8.115,19ha, respectivamente. Essa retração indica que os municípios que compõem a bacia, acompanham a tendência de pecuarização do nordeste paraense, evidenciada por estudos de Sacramento et.al. (2010) e Almeida et al. (2013).

É possível constatar, que os maiores fragmentos de tipologia florestal, encontram-se diretamente relacionadas às margens dos recursos hídricos, principalmente no quadrante oeste, formando uma rede de corredores denominados de mata ciliar.

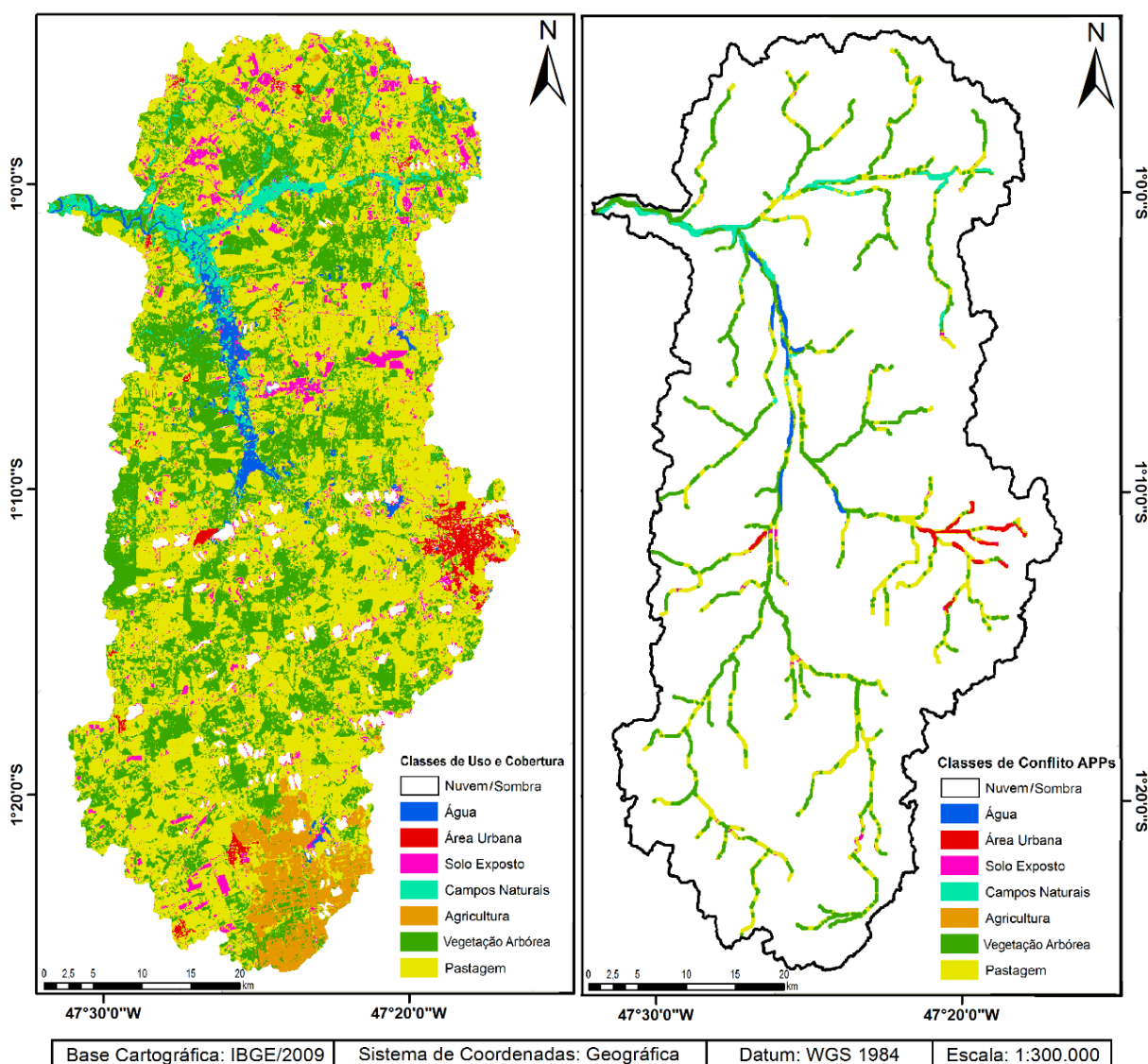


Figura 3: Classificação de uso e ocupação do solo e áreas de conflito de uso nas APPs.

Tabela 2: Distribuição das áreas e porcentagens de conflitos de uso do solo em APPs.

CLASSES	BACIA		APP		CONFLITO	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
ÁREA URBANA	1.494,19	1,45	32,44	1,13	32,44	2,45
SOLO EXPOSTO	5.608,9	5,43	124,72	4,35	124,72	9,44
AGRICULTURA	3.733,74	3,62	53,03	1,85	53,03	4,02
PASTAGEM	55.971,65	54,13	1.111,67	38,68	1.111,67	84,09
CAMPOS NATURAIS	3.207,86	3,1	323,28	11,25	-	-
VEGETAÇÃO ARBÓREA	29.446,83	28,47	990,26	34,46	-	-
ÁGUA	1.888,19	1,82	165,34	5,75	-	-
NUVEM/SOMBRA	2.049,06	1,97	72,75	2,53	-	-
TOTAL	103.400,42	100	2.873,49	100	1.321,86	100

De acordo com a legislação, a área mínima de preservação permanente ao longo dos cursos d'água e das nascentes, na bacia do rio Peixe-Boi, deveria ser de 2.873,49ha, o que equivale a 2,77% da área total da bacia. Contudo, temos que 46% da área total das APPs, encontram-se em conflito de uso, o que representa 1.321,86ha, como pode ser constatado na tabela 2 e observado na figura 3. Souza et al. (2012), em seus estudos, corroboram a situação alarmante com relação aos conflitos de uso do solo, em que se encontram as APPs no Nordeste Paraense.

As classes campos naturais, vegetação arbórea, e água, compuseram o montante de, aproximadamente 54%, do total das APPs, que possuem sua vegetação original preservada, contribuindo, assim, para a manutenção da qualidade da água nessa bacia.

As áreas de pastagem presentes na bacia, compreendem às áreas cobertas por gramíneas, plantas graminóides, pequenos arbustos e árvores dispersas, onde a pastagem foi sendo introduzida artificialmente com sucessivas plantações de forrageiras, e em muitos casos, sem respeitar as áreas de proteção. Foi observado que, do total das áreas em conflito de uso, a classe pastagem é responsável pela maior área conflitante, ocupando 38,68% desse conflito. Estudando a mesma bacia hidrográfica, no ano de 2009, Pereira et al. (2015b), já verificaram a presença de grandes áreas de pastagens próximos aos rios da região, e Watrin et al. (2009), caracterizavam esse padrão como sendo uma realidade observada em quase todo o Nordeste paraense.

A classe solo exposto, também apresentou-se em conflito dentro das áreas de proteção permanente, concentrando-se com maior evidência em dois pontos das APPs, na área central da bacia, próximo a cidade de Peixe-Boi, e na porção extremo Leste da bacia, nas imediações da cidade de Capanema, como pode ser visto na figura 3.

O Nordeste paraense, em especial os municípios mais desenvolvidos, populosos, e de economia essencialmente agropecuária, vem apresentando uma crescente problemática socioambiental, em função da sua crescente demanda por áreas produtivas cada vez maiores, sem se preocupar com a preservação das áreas de matas ciliares, que por vezes, são descampadas, e transformadas em áreas que possam servir para a agricultura ou pecuária extensiva (KRAG, 2013).

As classes área urbana e agricultura, juntas, correspondem a menos de 7% das áreas em conflito de uso, porém, não são menos relevantes em sua contribuição para a degradação ambiental das APPs, sendo, essencialmente, grandes fontes poluidoras, produtoras de resíduos industriais, domésticos, e de agentes agrotóxicos (CORDEIRO, 2014). A contribuição dos poluentes produzidos pelos tratos químicos nas plantações, e pelos efluentes advindos das áreas urbanas, afetam diretamente na qualidade da água da bacia hidrográfica como um todo.

3.3.2 Classificação e mapeamento da qualidade da água

A classificação dos pontos amostrais, segundo a resolução 357/2005 do CONAMA, para os períodos com e sem chuva, indicaram as condições da qualidade da água nos pontos de coleta, como pode-se constatar na figura 4.

A figura abaixo, revela que mais de 35% dos pontos coletados, para ambos os períodos, apresentaram-se como sendo de classe 4, ou seja, com uso restrito para navegação, sem condições para o consumo humano, mesmo em áreas próximas às nascentes. Tal condição, indica uma significativa fragilidade ambiental na bacia hidrográfica como um todo. As estações amostrais P6, P15 e P25, localizadas respectivamente, no Igarapé Abaeté, Rio Capanema e na Nascente do Rio das Pedras, mantiveram-se enquadradas na classe 4 para ambos os períodos de coleta, devido a baixas concentrações de oxigênio. Silva e Ferrari (2012), apontam a deficiência de Oxigênio, em função do seu consumo pelos microrganismos, decorrentes do lançamento de matéria orgânica e efluentes nos rios.

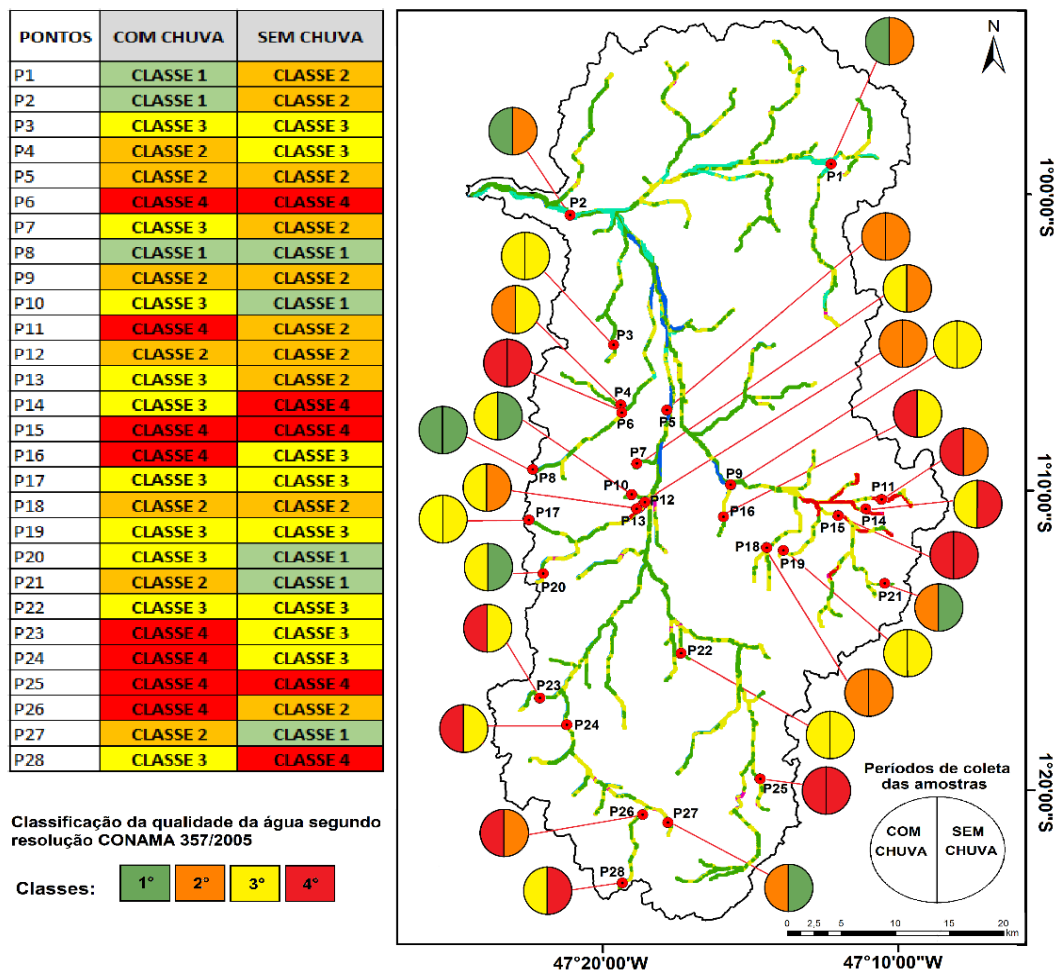


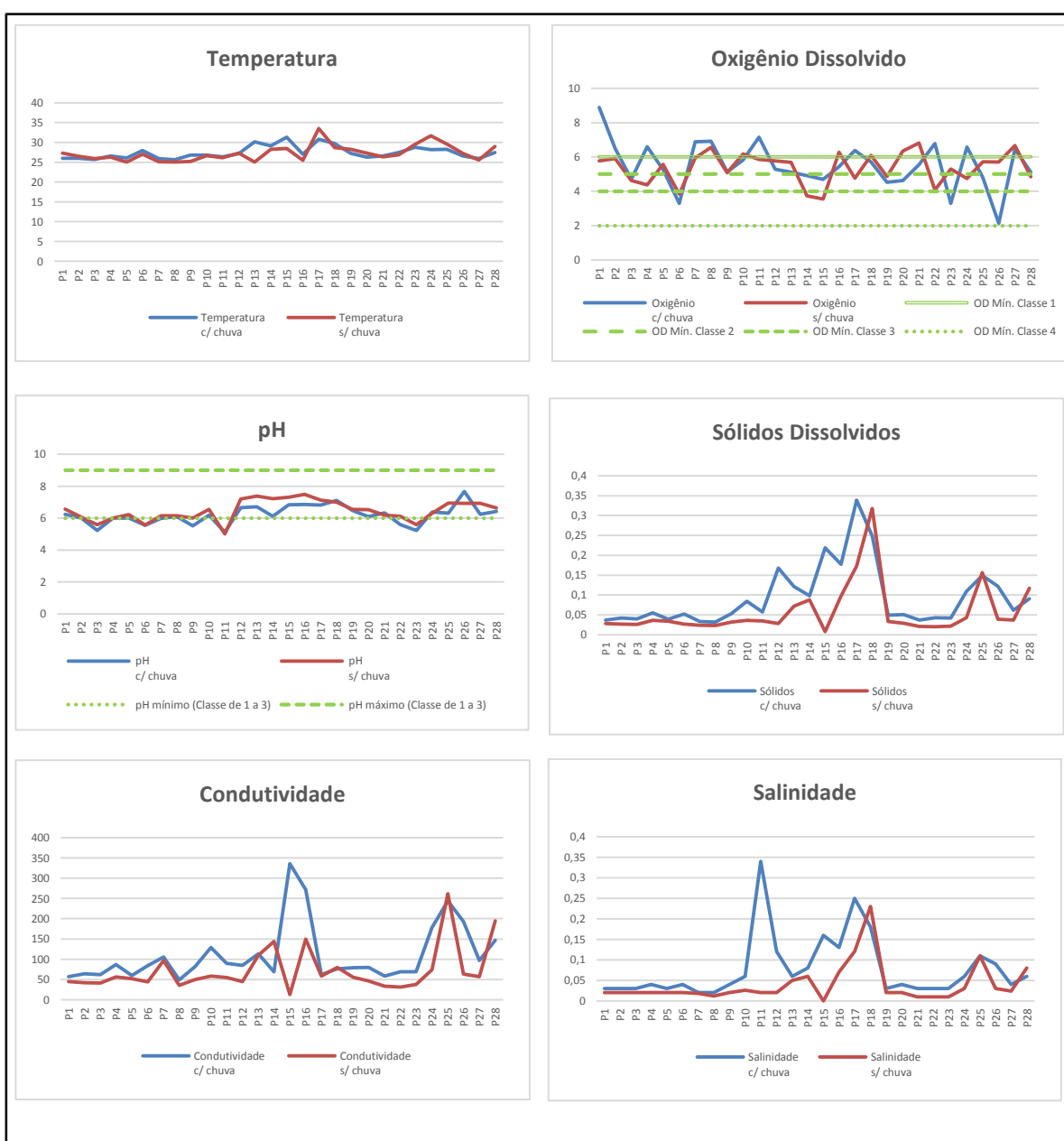
Figura 4: Localização e classificação dos pontos de coleta de água na bacia hidrográfica.

A porção norte da bacia, expressa os melhores valores para qualidade da água, variando de 1ª a 3ª classe, onde os parâmetros que resultaram no enquadramento para 3ª classe foram o oxigênio e o pH, por estarem abaixo dos limites permitidos. O ponto P8, coletado em uma nascente cercada por floresta de mata primária densa, dentro do Batalhão de Infantaria em Nova Timboteua, apresentou os melhores valores nos dois períodos amostrais.

Os pontos P11 e P26 apresentaram resultados diferenciados quanto aos dois períodos de coleta, partindo da classe 4, no período chuvoso, para classe 2, no período seco. O ponto P11, localizado em um canal onde são despejados efluentes domésticos, foi influenciado pela elevada concentração de nitrato no período chuvoso, 20,52 mg/L, o limite aceitável é 10 mg/L. Enquanto o ponto P26, localizado ao lado de uma plantação de dendê, foi influenciado no período chuvoso, pela elevada condutividade 193 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e pela baixa concentração de oxigênio dissolvido 2,14 mg/L, decorrente do

seu consumo pelos microrganismos. A variação da qualidade da água, de acordo com a pluviometria local, é confirmada por estudos de Oliveira e Cunha (2014), e Oliver e Ribeiro (2014).

Verificou-se, ainda, que para todos os pontos amostrais, a qualidade da água coletada nos dois períodos, foi inversamente proporcional à sua proximidade em relação às áreas antropizadas (figura 4). Constatou-se que as variáveis que mais influenciaram na deterioração da qualidade da água foram o oxigênio, a condutividade e o pH (Figura 5), o que também foi constatado por Souza e Gastaldini (2014), Barros et al. (2014), e Anelli (2015), em 3 diferentes bacias hidrográficas.



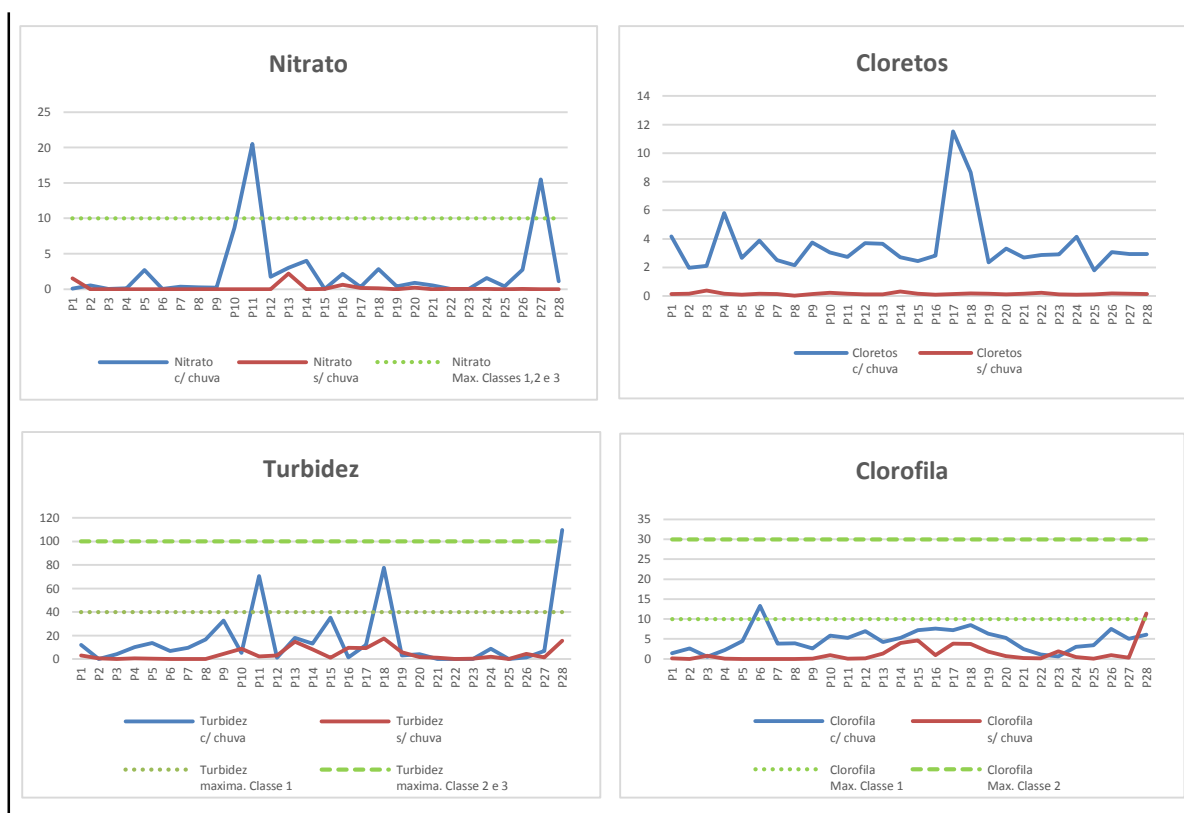


Figura 5: Concentração das variáveis de água em cada ponto de coleta nos dois períodos amostrais, com relação aos limites estabelecidos pelo CONAMA/2005.

De acordo com figura 5, observa-se que o valor da média da temperatura para os períodos com e sem chuva, são respectivamente 27,4 e 27,2°C, variando com mínima de 25°C e máxima de 33,53°C, não apresentando diferenças relevantes entre os períodos. É importante salientar que para a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 357/2005, não existem valores limitantes para a temperatura, entretanto, no que tange a manutenção das populações de espécies aquáticas dos rios, valores ótimos de temperatura são sempre inferiores a 40°C (BRASIL, 2011).

Complementarmente, Silva e Ferrari (2012), verificaram que temperaturas inferiores a 23°C podem acarretar problemas na alimentação, reprodução e desenvolvimento de espécies, afetando o sistema imunológico e propiciando sua susceptibilidade a doenças. Então é possível afirmar, que valores de temperatura, para este estudo, encontram-se dentro dos parâmetros adequados.

Em ambos os períodos, e para os 28 pontos amostrais, não foram observadas temperaturas extremas, o que para Bleich et al. (2009), poderiam interferir diretamente

na alcalinidade, pH, e saturação de oxigênio dissolvido, proporcionando a elevação da toxicidade do meio.

Com relação ao oxigênio dissolvido (OD), mais de 69% dos pontos amostrais, para ambos os períodos, apresentaram valores inferiores ao estabelecido como mínimo pelo CONAMA. O OD é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas decorrentes de despejos orgânicos. Segundo a resolução CONAMA 357/2005, não são aceitos valores de oxigênio dissolvido inferiores a 6mg/L. Esses dados, expressam a delicada situação que se encontram determinadas áreas da bacia, onde valores críticos de níveis de oxigênio dissolvido são encontrados, como é o caso do ponto amostral P26, no período chuvoso, apresentando 2,14 mg/L, o que representa 1/3 da concentração mínima aceitável.

Em trabalho correlato, Souza e Gastaldini (2014), constataram em sua coletas que valores inferiores a 6mg/L eram normalmente encontrados em coletas mais próximas a áreas antropizadas às margens dos rios, e onde haviam lançamento direto de matéria orgânica e outras substâncias, o que também foi constatado no rio Peixe-Boi.

O pH teve importante participação para o desequilíbrio da qualidade da água na bacia hidrográfica, sobretudo no período chuvoso. No gráfico do pH, observa-se que, no geral houve pouca variação nos pontos com relação aos dois períodos, exceto no ponto P17, localizado na área urbana periférica do município de Capanema. A pequena variação no pH, revelou uma boa capacidade de tamponamento pelo ecossistema, principalmente no período sem chuva, uma vez que, os valores determinados do pH variaram em uma faixa de baixa acidez, devido principalmente à contribuição da bacia hidrográfica e decomposição da matéria orgânica, até uma relativa alcalinidade, provavelmente devido à contribuição geológica da região (LIMA et al. 2015; VASCO et al. 2011).

Para a resolução CONAMA 357/2005, são aceitos valores de pH entre 6 e 9, pois são considerados compatíveis a longo prazo para a sobrevivência de grande parte dos organismos aquáticos. Sair destes limites por um período longo de tempo, ou a oscilação demasiada do pH em curto prazo, resultam na inibição dos processos metabólicos, e na redução da população de espécies de organismos.

A condutividade apresentou valores bastante elevados, especial no período chuvoso, chegando a 336 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no rio Capanema (P15), próximo a uma área desmatada de uma fazenda. Souza et al. (2014) e Siqueira et al. (2012), explicam que a condutividade é originada da presença de sais dissolvidos na água na forma de íons dissociados

eletroliticamente. Estes íons, quando de origem antropogênica, são resultantes de descargas industriais, esgotos domésticos entre outros.

Quanto as variáveis sólidos dissolvidos, salinidade, nitrato, cloreto, turbidez e clorofila, em ambos os períodos amostrais, pouco contribuíram para a dilapidação da qualidade da água nesta bacia, por apresentarem, em geral, concentrações dentro dos padrões exigidos pelo CONAMA.

3.3.3 Relação da cobertura vegetal e do uso do solo nas APPs com a qualidade da água na bacia do rio Peixe-Boi

A qualidade da água nas áreas de proteção permanente, está diretamente relacionada a tipologia de uso e cobertura do solo nas imediações da bacia. Odum (2001), postula que a substituição da vegetação natural das margens dos cursos d'água, por outra tipologia não original da zona ripária, é prejudicial pois altera o equilíbrio da composição original do ecossistema, interferindo na qualidade da água do corpo receptor.

Foram caracterizadas oito tipologias de uso e cobertura na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, e constatou-se que os 28 pontos de coleta de água estavam inseridos em 5 destas tipologias; vegetação arbórea, pastagem, água, solo exposto e área urbana. As classes campos naturais e agricultura, se fazem presentes dentro das áreas de APPs, assim, também entram nas análises no que tange a alteração da qualidade da água.

Ao relacionar os resultados obtidos pelo mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo nas áreas de APPs, com a classificação da qualidade da água nos diversos pontos de análise, obteve-se como resultado, uma alta relação entre a preservação da vegetação natural nas APPs e a manutenção de uma boa qualidade da água na bacia, nos períodos amostrais com e sem chuva (Tabela 3).

Tabela 3: Relação da qualidade da água com as tipologias encontradas nos pontos de coleta.

PONTOS	TIPOLOGIAS NAS APPs	CLASSES SEGUNDO CONAMA (357/2005)	
		Com Chuva	Sem Chuva
P1	Pastagem	CLASSE 1	CLASSE 2
P2	Vegetação Arbórea	CLASSE 1	CLASSE 2
P3	Vegetação Arbórea	CLASSE 3	CLASSE 3
P4	Pastagem	CLASSE 2	CLASSE 3
P5	Água	CLASSE 2	CLASSE 2
P6	Vegetação Arbórea	CLASSE 4	CLASSE 4
P7	Pastagem	CLASSE 3	CLASSE 2
P8	Vegetação Arbórea	CLASSE 1	CLASSE 1
P9	Pastagem	CLASSE 2	CLASSE 2
P10	Vegetação Arbórea	CLASSE 3	CLASSE 1
P11	Área Urbana	CLASSE 4	CLASSE 2
P12	Solo Exposto	CLASSE 2	CLASSE 2
P13	Solo Exposto	CLASSE 3	CLASSE 2
P14	Pastagem	CLASSE 3	CLASSE 4
P15	Vegetação Arbórea	CLASSE 4	CLASSE 4
P16	Pastagem	CLASSE 4	CLASSE 3
P17	Vegetação Arbórea	CLASSE 3	CLASSE 3
P18	Pastagem	CLASSE 2	CLASSE 2
P19	Pastagem	CLASSE 3	CLASSE 3
P20	Vegetação Arbórea	CLASSE 3	CLASSE 1
P21	Pastagem	CLASSE 2	CLASSE 1
P22	Pastagem	CLASSE 3	CLASSE 3
P23	Pastagem	CLASSE 4	CLASSE 3
P24	Vegetação Arbórea	CLASSE 4	CLASSE 3
P25	Pastagem	CLASSE 4	CLASSE 4
P26	Pastagem	CLASSE 4	CLASSE 2
P27	Pastagem	CLASSE 2	CLASSE 1
P28	Pastagem	CLASSE 3	CLASSE 4

A tipologia referente a vegetação arbórea, responde por 34,46% do total das APPs da bacia em questão (tabela 2), sendo a segunda maior classe na área da bacia, e presente

em 9 pontos de coleta de água. Apresentou uma elevada amplitude de variação para as classes de qualidade de água, permeando pelas quatro classes propostas pela resolução 357 de 2005, do CONAMA.

Os pontos com melhores avaliações da qualidade da água, na classe vegetação arbórea, e para ambos os períodos (com/sem chuva), foram o P2 e P8, no rio Peixe-Boi e em uma nascente dentro do batalhão de infantaria, respectivamente, ambos localizados em Nova Timboteua (Figura 4). Ressalta-se que nas áreas da classe vegetação arbórea, naturalmente, ocorre pouco escoamento superficial, em decorrência da maior cobertura do solo, o que irá refletir positivamente sobre a qualidade da água, uma vez da diminuição do processo erosivo, e da lixiviação do solo para os cursos d'água (DECHEN et al. 2015).

Os pontos com as piores avaliações da qualidade da água (classe 4), em ambos os períodos amostrais, foram o P6, P15 e P24, todos localizados em áreas próximas a zonas antropizadas, onde a população usa as margens para lavar roupas, depositar entulhos, e despejar efluentes. O enquadramento na classe 4, para os três pontos, se deu fundamentalmente, pela baixa concentração de oxigênio dissolvido, e pH próximo da acidez (Figura 5). Freitas et al. (2013), explicam que as florestas protegem a zona ribeirinha funcionando como área tampão, porém, a depreciação da qualidade da água, pode se dar, mesmo em ambientes de cobertura arbórea preservada, desde que hajam pressões poluentes nas proximidades, o que justificaria os resultados obtidos para os pontos amostrais em questão.

A pastagem representa a tipologia de maior abundância na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, e também é a classe mais presente nas áreas de preservação permanente da bacia, correspondendo a 38,68% do total das APPs (Tabela 2). Apresentou uma grande amplitude de variação para as classes de qualidade de água, variando pelas quatro classes propostas pelo CONAMA. Parte desse fenômeno é explicado pela grande variedade de ambientes em que as pastagens estão inseridas, em vezes localizadas próximas às áreas relativamente preservadas, e outras, inseridas nas imediações de áreas fortemente antropizadas.

Para a classe pastagem, os pontos com as melhores avaliações da qualidade de água, com pouca variação para os períodos com e sem chuva, foram os pontos P1, P21, e P27, localizados no rio Jaburu (Capanema-PA), rio Capanema (Capanema-PA), e na nascente do Rio Peixe Boi (Bonito-PA), respectivamente (Figura 4). Esses pontos localizam-se em áreas circundados por vegetação de mata primária e secundária, em bom estado de

preservação. Para Marmontel e Rodrigues (2015), ambientes tamponantes influenciam positivamente suas áreas adjacentes, assim como uma APP não preservada, de uma nascente, por exemplo, pode influenciar negativamente todo o curso d'água.

Ainda para a classe pastagem, os pontos com as piores avaliações da qualidade da água (classe 4), foram o P14, P16, P23, P25, e o P26, nesta categoria sobressaiu-se o período chuvoso, apresentando os piores índices para a qualidade da água. Lima et al. (2015), constataram que ao redor das nascentes, principalmente no período chuvoso, deságuam produtos químicos e fertilizantes utilizados na pastagem, contribuindo fortemente para a degradação da qualidade da água.

Os pontos P25 e P26, são especialmente preocupantes, pois são duas das principais nascentes do rio Peixe-Boi, localizam-se dentro de fazendas produtoras de dendê, e apresentam taxas muito baixas de oxigênio dissolvido ($\geq 2 \text{ mg L}^{-1}$) e elevada condutividade ($>150\mu\text{m}$) (Figura 5). A matéria seca advinda da pastagem, ocasiona o aumentando o teor de matéria orgânica da água, elevando a condutividade, e intensificando o desenvolvimento de microrganismos que consomem o oxigênio. Ressalta-se que os cinco pontos encontram-se às margens de áreas periféricas e em todos os casos cortam rodovias estaduais, através de tubulações de concreto.

As tipologias referentes ao solo exposto e agricultura, correspondem a apenas 6,20% do total das APPs da bacia (tabela 2), ficando entre as classes menos presentes na bacia, contudo, contribuem direta e indiretamente para a depreciação da qualidade da água, de forma pontual, e ao longo da bacia de drenagem. Os pontos P12 e P13, localizados no igarapé Apuí e no rio Peixe Boi, ambos no município de Peixe-Boi, são representativos dessas tipologias, e especificamente, para esses pontos amostrais, expressaram valores que enquadraram a qualidade da água em um patamar que varia de intermediário a ruim, quanto à qualidade (Classes 2 e 3).

Para Souza et al. (2012), a retirada total da cobertura natural do solo nas APPs, e as áreas recém plantadas, expõem o solo às intempéries, e imprime aos recursos hídricos uma carga de defensivos e corretivos agrícolas, propiciando um desequilíbrio na qualidade dos recursos hídricos, especialmente nos períodos chuvosos, como pode ser observado para os pontos P12 e P13 (Tabela 3). A condutividade elétrica apresentou-se bem elevada para ambos os pontos, especialmente para o P13 (113 μm), devido a sua localização às margens da rodovia estadual PA-282, e ao lado de um balneário, injetando diariamente partículas e substratos no igarapé.

Em grande parte da bacia, as tipologias solo exposto e agricultura, estão sempre relacionadas aos piores índices locais da qualidade da água, com exceção de pontos cercados por ambientes tamponantes de vegetação nativa (Figura 3).

No que tange a tipologia área urbana, esta corresponde a 32,44ha, ocupando apenas 1,13% do total das APPs da bacia hidrográfica (tabela 2), sendo a classe menos presente na área da bacia, e apresentando apenas 1 ponto representativo (P11), de coleta de água. Ele localiza-se na área urbana central do município de Capanema, e recebe diretamente todos os efluentes domésticos locais, despejados por meio de tubulações.

O ponto coletado revelou uma grande variação das classes de qualidade da água, quando comparados os dois períodos amostrais, onde a pior leitura da qualidade da água se deu no período chuvoso, influenciado fortemente pela elevada concentração de nitrato ($20,52 \text{ mg L}^{-1}$), o dobro do valor máximo estabelecido por Lei (Figuras 4 e 5).

Souza et al. (2015), explicam este resultado, relatando que o lançamento de lixo, entulhos, e de despejos domésticos do município, sem tratamento, é conduzido pelas chuvas até os mananciais, alterando o pH natural, a concentração de nitrogênio e oxigênio, aumentando a turbidez das águas através da incorporação de carga orgânica, e injetando substâncias químicas diversas, o que afeta os padrões estabelecidos pelo CONAMA para qualidade das águas doces destinadas ao consumo humano.

As figuras 3 e 4, revelam que os pontos amostrais mais próximos da tipologia área urbana e solo exposto, são os que apresentam as piores classes de qualidade de água, em especial para o período com chuvas.

As classes campos naturais e água, ocupam 17% da área total das APPs, e assim como a classe vegetação arbórea, representam as áreas de cobertura original das zonas ripárias da bacia de drenagem, sendo responsáveis pela proteção e manutenção da qualidade dos recursos hídricos da bacia do rio Peixe-Boi. O ponto P5 é representativo dessas classes, e expressa uma boa classificação da qualidade da água para ambos os períodos amostrais analisados, o que reforça a ideia da importância ambiental que esses ambientes desempenham para a conservação da qualidade dos recursos hídricos.

Segundo Oliver e Ribeiro (2014), o ambiente de campos naturais é uma zona fundamental para a preservação da qualidade da água e diversificação de habitats, constituindo uma interface entre o ambiente terrestre e o aquático. Esta lógica de preservação da qualidade da água, é observada na porção Norte e Centro-Norte onde está localizada a maior concentração da classe de campos naturais na bacia do rio Peixe-Boi (figuras 3 e 4).

3.4 Conclusões

A investigação da distribuição espacial da qualidade da água nas diversas classes de uso e cobertura do solo, dentro das áreas de proteção permanente da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, permitem as conclusões apresentadas a seguir.

Por meio do uso de geotecnologias, foi possível mapear as APPs existentes na bacia, e constatou-se que 46% delas encontram-se em conflito de uso, frente ao que determina a legislação vigente. Assim como apontou-se as classes área urbana, solo exposto e pastagem, como sendo as responsáveis pelo uso indevido do solo nas APPs.

Não houve interferência significativa da variação sazonal das chuvas na qualidade da água, o que indica que grande parte das alterações físico-químicas da água, são preponderantemente influenciadas pelas características das classes em conflito de uso do solo dentro da zona ripária.

A qualidade da água dos rios da bacia objeto de estudo, segundo padrões do CONAMA, vem sofrendo um forte efeito da antropização, demonstrando tendências de piora ou estabilizar os níveis de comprometimento. O atual avanço, desordenado, da ocupação das APPs, por pastagens, agricultura, e moradias, sem infraestrutura de saneamento básico, agravada pela carência de políticas públicas, certamente contribui de forma decisiva para depauperar a qualidade da água e a estrutura dos ecossistemas lá presentes.

Os piores índices de qualidade da água na bacia em estudo, estão normalmente associados às áreas de uso e ocupação irregulares das APPs, onde a cobertura vegetal original foi substituída antropicamente por outras classes. Desta forma, verifica-se a necessidade, emergencial, de planejamento do uso e ocupação das terras e a adoção de práticas de manejo do solo e da água mais sustentáveis na bacia em questão.

Diante das condições que foram explicitadas e considerando o contexto atual da Bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, no que tange a qualidade da água em seus rios, e os conflitos de uso e ocupação de suas APPs, é notória a necessidade da implementação de medidas de planejamento estratégico vinculado à gestão dos recursos hídricos, e uso das zonas ripárias. Visando, assim, contribuir no processo de recuperação da bacia hidrográfica e por consequência a melhoria da qualidade da água, o que contribuirá para manutenção da saúde da população, dos ecossistemas e sua biodiversidade.

3.5 Referências

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G.; ROCHA, D. P. N. Cenários para a Amazônia: clima, biodiversidade e uso da terra. Caracterização e mapeamento dos padrões de uso da terra na área de endemismo Belém. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, p. 170, 2013.

ARAÚJO, E.; MARTINS, H.; BARRETO, P.; LIMA, A. C. Áreas Protegidas da Amazônia Legal com mais Alertas de Desmatamento em 2012-2013. **Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON)**, Belém-Pará, p. 32, 2013.

ANA - Agência Nacional de Águas; Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2012- **Cadernos de recursos hídricos**. Ed. Especial. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2012.

ANELLI, R. L. S. Uma nova cidade para as águas urbanas. **Estudos avançados**. [online]., vol.29, n.84, p. 69-84, 2015.

BARROS, K. O. et. al. Análise temporal das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, vol. 5, n. 2, caderno I, p. 43-54, ago. 2013.

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.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constitui%C3%A7ao.htm. Acesso em: 13 de maio de 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF**. set. 1965.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, 18 out. 2012.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrão de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, 16 maio, p. 58-63, 2011.

BLEICH, M. E.; SILVA C. J.; ROSSETE, A. N. Variação temporal e espacial das características limnológicas de um ecossistema lótico no Cerrado do mato Grosso. **Biotemas**, Vol. 22, p. 161-171, 2009.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, **CETESB**; [s.d]. p. 50, 1988.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução n. 357 de 17 de março de 2005**. Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais. Conselho Nacional do Meio. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 16 Jun 2010.

CORDEIRO, T. T. S.; FERREIRA, E. M.; RODRIGUES, V. J. O. Contenção de erosão em área de preservação permanente (APP). **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.10, n.18; p.1032-1041, 2014.

COSTA, C. W.; MORAES, M. C. P.; CANÇADO, C. J.; LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E., Potencial de Contaminação de Aquíferos por Atividades Antrópicas da Bacia do

Ribeirão do Meio – Município de Leme – SP, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 20, n.1, p. 218 – 225, 2015.

CRUZ, F. M.; CAVALCANTE, L. M.; OLIVEIRA, W. P.; SANTOS, V. J. C.; SANTOS, S. A. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Peixe-Boi como subsídio à construção de um plano de manejo de bacia hidrográfica . In: XVIII **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande – MS**, Anais, ABRH, 183-198 p. 2009.

DECHEN, S. C. F; TELLES, T. S.; GUIMARAES, M. F.; MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia** [online]. vol.74, n.2, p. 224-233, 2015.

ELYDEISE, C. A. S.; LINCOLN, E. A.; ALINY, S. M., Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, vol.19, n.1, p.9–14, 2015.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista Economia Sociologia Rural**. Brasília, vol.53, n.1, p.91-108, 2015.

FREITAS. E. P.; MORAES, J. F. L.; FILHO, A. P. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.17, n.4, p.443–449, 2013.

HURTIENNE, P. T. Agricultura familiar e desenvolvimento rural sustentável na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, vol. 8, n. 1, p. 019-071, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Downloads, Geociências. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: dez. 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, diretoria de geociências, mapas-tematicos_pedologia/unidades_federação/pa_pedologia, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados. 2008. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1246&id_pagina=1. Acesso em: 24 maio 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Projeto PRODES**: monitoramento da Floresta Amazônica brasileira por satélite. 2015. Disponível em: http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm >. Acesso em: 27 set. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Projeto TerraClass**. 2011. Disponível em: www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php>. Acesso em: 20 dez. 2013.

KRAG, M. N.; VALE, R. S.; OLIVEIRA, F. A. Avaliação qualitativa de impactos ambientais considerando as etapas de limpeza e preparo do terreno em plantios florestais no Nordeste paraense. **Revista Árvore** [online]. vol.37, n.4, p. 725-735, 2013.

LIMA, C. R. N.; ZEILHOFER, P.; DORES, E.; CRUZ, I. F. Variabilidade espacial da Qualidade de Água em Escala de Bacias - Rio Cuiabá e São Lourenço, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 20, n.1, p. 169 – 178, 2015.

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V.A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta & Ambiente**. [online]. vol.22, n.2, p. 171 181, 2015.

MENDES, N. G. S.; CORREA, T. P.; SANTOS, A. R. Usos do solo em Áreas de Preservação Permanente da microbacia do córrego da Feliz Lembrança, Alegre/ES. **VÉRTICES**, Campos dos Goytacazes/RJ, vol.17, n.1, p. 111-119, 2015.

MMA. Plano de Ação para prevenção do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta / Ministério do Meio Ambiente. Brasília. p. 174, 2013.

MMA. Caderno da Região Hidrográfica Amazônica. **Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, (85-7738-066-1), p. 124. 2006.

MOURA, V. M.; BRITO, S. M.O.; SILVA, A. B., Avaliação dos Parâmetros Indicadores da Qualidade da Água para Verificar o Estado de Conservação das Represas do Rio Ipitanga, Salvador, BA, Brasil, **Revista Virtual Química**. vol. 5, N. 5, p. 869-890, 2013

NEVES, C. B.; CASTRO, S. S.; SANTOS, N.; BORGES, R. O.; Análise das relações entre solos, relevo e a legislação ambiental para a delimitação das Áreas de Preservação Permanente: o exemplo da alta bacia do ribeirão João Leite, Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol.10, n.1, p. 3 – 21, 2009.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 6 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p.250-252, 2001.

OLIVEIRA, B. S. S.; CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Rev. Ambient. Água** [online]. vol.9, n.2, p. 261-275, 2014.

OLIVER, S. L.; RIBEIRO, H. Variabilidade climática e qualidade da água do Reservatório Guarapiranga. *Revista Estudos avançados* [online]. vol.28, n.82, p. 95-128, 2014.

ORIGE, M.; OLIVEIRA, T. S.; JULIÃO, R. P. Integração de informações geoespaciais para analisar a ocupação do solo na área de preservação permanente da bacia hidrográfica do rio Criciúma/SC/Brasil. São Paulo, UNESP, **Geociências**, vol. 34, n. 1, p.145-152, 2015.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, H. A. S.; BRAGA, T. G. M.; FIGUEIREDO, B. Estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi com base na fragmentação da vegetação. **Revista de Ciências Agrárias**. vol.58, n.2, p. 159-167, 2015b.

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**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.12 n.22; p. 2960 – 2974, 2015a.

PIRES, M.O. O Cadastro Ambiental Rural: das origens às perspectivas para a política ambiental. **Conservação Internacional do Brasil**, Brasília, p.44, 2013.

PIRES, E. V. R.; SILVA, R. A.; IZIPPATO, F. J.; MIRANDOLA, P. H. Geoprocessamento Aplicado a Análise do Uso e Ocupação da Terra para Fins de Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Revista Geonorte**, vol.2, n.4, p.1528 – 1538, 2012.

REIS, A. A. et al. Land use and occupation analysis of Permanent Preservation Areas in Lavras County, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, vol. 36, n. 3, 2012.

SARMENTO, CÉLIA M. B.; FRAGA, P. O.; DIAS, R. M. Caracterização e avaliação da pastagem do rebanho de agricultores familiares do nordeste paraense. **Acta Amazonica**. [online]. vol.40, n.3, p. 415-423, 2010.

SILVA, S.F.; FERRARI, J. L. Análise espacial de atributos físico-químicos da água em viveiros de piscicultura com geometrias diferentes. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.8, n.14; p. 51-63, 2012.

SIQUEIRA, G.W.; APRILE, F.; MIGUÉIS, A.M. Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará –Brasil). **Acta Amazonica**. vol. 42, n. 3, p. 413 –422, 2012.

SCHMITT, J. S.; PAIVA, F. A descentralização das competências ambientais e a fiscalização do desmatamento na Amazônia. **Revista Administração Pública** [online]. vol.49, n.5, p. 1121-1142, 2015.

SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. C. C. Water quality assessment in watersheds with different anthropogenic impacts. **Eng Sanit Ambient**, vol.19, n.3 p. 263-274, jul/set 2014.

SOUZA, J.R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE -Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, Brasil, vol.8, n.1, p. 26-45, 2014.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, Nordeste do Pará. **Floresta**. Curitiba, vol. 42, p. 701, 2012.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; CONDÉ, N. M.; CARVALHO, W. B. Análise das condições de potabilidade das águas de surgências em Ubá, MG. **Rev. Ambiente & Água** [online]. vol.10, n.3, p. 614-622, 2015.

VASCO, A. N.; BRITTO, F. B.; PEREIRA, A. P. S.; JÚNIOR, A. V. M.; GARCIA, C. A. B.; NOGUEIRA, L. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: vol. 6, n. 1, p. 118-130, 2011.

WATRIN, O. S.; GERHARD, P.; MACIEL, M. N. M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no nordeste do estado do Pará. **Geografia**, vol. 34, n. 3, p. 455-472, 2009.

CAPÍTULO 3

(Este capítulo está formatado nas normas de apresentação bibliográfica do periódico *Ciência e Natura*)
Foi submetido em 03/2016 e encontra-se em avaliação.

**4. VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PEIXE-BOI, NORDESTE PARAENSE, POR MEIO DE AVALIAÇÃO
MULTICRITÉRIO⁴****RESUMO**

A intensificação das ações antrópicas nos ambientes naturais, como nas bacias hidrográficas, reflete em múltiplas problemáticas ambientais e na perda da estabilidade dos ecossistemas. A bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, encontra-se em pleno processo de descaracterização da paisagem natural, devido à crescente demanda por áreas a serem utilizadas pelas atividades Agropecuárias, refletindo em uma notória evolução dos processos erosivos. O objetivo deste trabalho foi avaliar o grau da Vulnerabilidade Natural à Erosão do solo na área da referida bacia hidrográfica, considerando a integração de vários aspectos do meio físico, assim como os padrões de cobertura vegetal e uso do solo. Para isso, utilizou-se técnicas de geoprocessamento, e metodologia de análise ambiental baseada em multicritérios. Foi constatado que grande parte da bacia em estudo (46,40%), é constituída por ambientes classificados como sendo de média vulnerabilidade, sendo caracterizada por plurais tipologias de uso do solo, como pastagem e agricultura. Os ambientes que apresentaram significativa fragilidade com relação a vulnerabilidade a erosão, foram os que apresentaram maior declividade, tipologia variando de Neossolo Flúvico ao Gleissolo Háplico, e cobertura do solo do tipo campos naturais e algumas faixas de área urbana. E os ambientes que expressaram muito baixa vulnerabilidade, estavam normalmente associados às baixas declividades, tipologias de Latossolo Amarelo, e cobertura vegetal caracterizada por vegetação arbórea densa. Dessa forma, intenta-se que este estudo contribua para a compreensão dos fatores e dinâmicas relacionadas ao processo de vulnerabilidade natural à erosão, possibilitando a tomada de decisões mais sustentáveis na gestão ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Erosão do solo, Degradação Ambiental, Variáveis Ambientais, Geotecnologias.

⁴ Este capítulo segue as normas de apresentação da *Ciência e Natura*.

**ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF THE WATERSHED OF THE
PEIXE-BOI RIVER, NORTHEASTERN OF PARÁ, BY MULTICRITERIA
EVALUATION**

ABSTRACT

The intensification of human activities in natural environments, such as watersheds, reflected in multiple environmental problems and the loss of stability of ecosystems. The watershed of the Peixe-Boi river, is in the process of mischaracterization of the natural landscape because of the increasing demand for areas to be used for agricultural activities, resulting in a marked evolution of erosive processes. The objective of this study was to evaluate the degree of Natural Vulnerability to soil erosion in the area of that river basin, considering the integration of various aspects of the physical environment, as well as the patterns of vegetation cover and land use. For this, we used GIS techniques, and environmental analysis methodology based on multicriteria. It has been found that much of the basin under study (46.40%), consists of classified environments as medium vulnerability, characterized by plural land use types, as pasture and agriculture. Environments that showed significant weakness regarding erosion vulnerability were those with the highest slope, type ranging from Fluvisol to Gleysol Haplic, and land cover type natural fields and some urban tracks. The environments that expressed very low vulnerability, were usually associated with low steepness, yellow Oxisol typologies, and vegetation characterized by dense arboreal vegetation. Thus, it intends that this study contribute to the understanding of the factors and dynamics related natural vulnerability to erosion process, making it possible to take more sustainable decisions in environmental management.

KEYWORDS: Soil erosion, Environmental Degradation, Environmental Variables, Geotechnology.

4.1 Introdução

Historicamente a fixação do homem junto às margens dos recursos hídricos se deu em função dos benefícios que lhes eram proporcionados, em forma de água, caça, pesca e matérias-primas, suprindo suas necessidades vitais. Comparados ao cerrado e aos campos, às margens dos rios apresentavam-se muito mais produtivas, em função de sua fertilidade natural, assim, iniciou-se o processo de antropização nesses ecossistemas, perdurando até a atualidade (ABUD et al., 2015).

O crescimento demográfico, a escassez de terras férteis e a ocupação desordenada das terras, determinaram fortes impactos ao meio ambiente por conta do desmatamento das matas ciliares, das queimadas, do assoreamento dos rios, da mineração, entre outros, resultando na compactação e impermeabilização do solo, diminuição da matéria orgânica, erosão, redução da fauna e flora, e a contaminação dos corpos hídricos (PINTO et al., 2014 e CABRAL et al., 2013).

Dentre as ações antrópicas ocasionadoras do processo de degradação ambiental, o desmatamento apresenta-se como uma das principais fontes deste fenômeno, servindo como mediador à inserção da agricultura e da pecuária, que representam fontes de inúmeras problemáticas ambientais, especialmente quando ocorrem em áreas de grande sensibilidade, como as bordas de fragmentos florestais, nas proximidades das nascentes de corpos hídricos, e nas margens das bacias hidrográficas (ROZON et al., 2015).

Segundo Carvalho et al. (2011), as bacias hidrográficas são elementos de fundamental importância para o equilíbrio ambiental e para a manutenção do ciclo hidrológico, sobretudo na sua fase terrestre, que engloba o escoamento superficial e a infiltração. As bacias são produtos da interação da água com diversos outros componentes estruturais da natureza, como a topografia, vegetação, clima, e a material de origem, resultando em áreas distintas, impares, separadas das demais bacias por meio de divisores de águas, e caracterizando-se como relevantes unidades de área para o estudo e planejamento integrado dos recursos naturais (ELYDEISE et al., 2015).

A Bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, vem enfrentado ao longo dos anos, fortes impactos da antropização do meio ambiente, causados pela aceleração da urbanização na Microrregião Bragantina, e a expansão das cidades em direção às zonas de amortecimento, no entorno das unidades de conservação (MORAES et al., 2015). Como

agravante, Almeida et al. (2013), e Souza et al. (2012), revelam, nos últimos 20 anos, um processo de intensificação da agropecuária no nordeste paraense, contribuindo diretamente para o incremento da degradação ambiental da bacia do rio Peixe-Boi, segundo revelam os estudos de Pereira et al. (2015).

Com o intuito de identificar, mapear e monitorar as áreas degradadas, se faz necessário a implementação de programas de monitoramento ambiental, utilizando-se das geotecnologias para avaliar o grau de comprometimento de determinadas áreas, e assim, implementar os procedimentos cabíveis, afim de mitigar os danos ambientais causados pelas atividades antrópicas (BHERING et al. 2014). As geotecnologias são amplamente aplicadas nos estudos ambientais, proporcionando respostas mais rápidas, práticas e detalhadas aos estudos de caso, proporcionando análises individuais para cada elemento compositor do espaço geográfico (solo, água e vegetação), e viabilizando o cruzamento de informações temporais, sociais e econômicas da região em estudo (GASPARINI et al. 2013).

Na visão de Lorenzzetti (2015), os produtos do sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento, são hoje, ferramentas indispensáveis nas análises das perturbações ambientais, integrando os banco de dados computacionais, com coletas e observações feitas *in loco*, o que permite traçar diagnósticos mais complexos e precisos, em escalas de maior detalhamento, e integrados à bancos de dados geográficos, resultando em produtos de menor custo, redução do tempo de tabulação dos dados, e maior segurança da informação.

Para Medeiros et al. (2013), a vulnerabilidade ambiental, está sempre relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente, e representa a resposta do ecossistema diante de uma perturbação antrópica ou natural, manifestando-se de forma sistêmica por todo o território. Complementando, Oliveira et al. (2014), relatam que a amplitude dos efeitos desencadeados pela perturbação, dependerá do grau de resiliência área, da interação entre as características intrínsecas e extrínsecas de cada fração do território, assim como, do tipo, persistência, e magnitude da perturbação sofrida.

Nesse contexto, Bhering et al. (2014), propõe o uso de ferramentas e métodos que deem suporte às tomadas de decisão em gerenciamento de recursos naturais, por meio de indicadores de vulnerabilidade e da degradação ambiental, correlacionando variáveis ambientais de forma multicriterial. A interação das múltiplas variáveis ambientais, com um sistema de informação geográfica, simplifica a representação do estado de vulnerabilidade ambiental para uma determinada região. As análises multicritério,

também conhecida como árvores de decisões, ou como análise hierárquica de pesos, são diversos procedimentos metodológicos de correlação e cruzamento de variáveis, largamente aplicado para análises espaciais e ambientais (JÚNIOR et al., 2008).

As análises multicritério permitem transparecer a realidade ambiental por meio de modelos, representando atualmente um dos mecanismos mais eficazes e práticos, possibilitando a integração e o cruzamento de uma grande quantidade de variáveis geoespaciais (CARVALHO et al., 2014).

Avaliações multicriteriais para a definição do grau de vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas, sob forte pressão antrópica, são estudos relativamente recentes, contudo, tem se mostrado satisfatoriamente viáveis em expressar, através de pesos estipulado para cada variável, o grau da fragilidade estrutural e a propensão à degradação ambiental por meio de processos erosivos em áreas específicas das bacias hidrográficas (CARVALHO e CURI, 2013). Os procedimentos metodológicos de Análise Hierárquica de Pesos (AHP), ou Análise Multicritérios, para Jansen et al. (2014), devem ser fundamentados, não somente na pura análise dos arquivos vetoriais e raster, produzidos para a área em estudo, mas também, por meio de excursão in loco, coleta de informações e estudos realizados na área objeto de pesquisa.

O presente artigo, busca analisar os níveis de risco ao processo de degradação das terras da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, por meio das análises multicritérios, visando fornecer um diagnóstico da vulnerabilidade natural à erosão na área da bacia. Os critérios (fatores), considerados para a análise foram: Cobertura vegetal e uso do solo, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, e Declividade.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Caracterização da área de estudo

O presente trabalho teve como foco de estudo a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, localizada na Zona Bragantina, ou microrregião Bragantina, pertencente a mesorregião do Nordeste do estado do Pará (Figura 1).

Estende-se entre as coordenadas 0° 53' 57" S e 1° 26' 10" S de Latitude e 47° 24' 29" W e 47° 7' 24" W de Longitude. O rio principal desta bacia é o rio Peixe-Boi, com cerca de 60Km de extensão, sua nascente está situada próxima município de Bonito e

caminha no sentido norte, até sua foz na confluência com o rio Maracanã. Em pequenos trechos apresenta uma mata ciliar com relativo grau de preservação de algumas espécies arbóreas.

Seus afluentes principais são: pela margem direita, os rios Jaburu, Pedras, Urucuri, Jiquitaia e os igarapés Tauarí, Cachorro, Bambu, entre outros; pela margem esquerda, encontram-se os rios Timboteua e Cupu e os Igarapés Urubuquara e Abaeté. Além destas, outras drenagens importantes que aparecem na bacia hidrográfica são: os rios Meruíra, Piquiarina, e os Igarapés das Cobras, Pajurá e Jutaizinho. Entre os principais usos da água na bacia do rio Peixe-Boi, destacam-se: consumo doméstico, lazer e recreação, lavagem de roupas e utensílios domésticos, corpo receptor de efluentes, irrigação, e abastecimento público.

O uso do solo encontra-se distribuído para o lazer, agropecuária e agricultura. A produção no campo está baseada no plantio de culturas permanentes como banana e coco, e de culturas temporárias como abacaxi, arroz, feijão, malva, milho e mandioca.

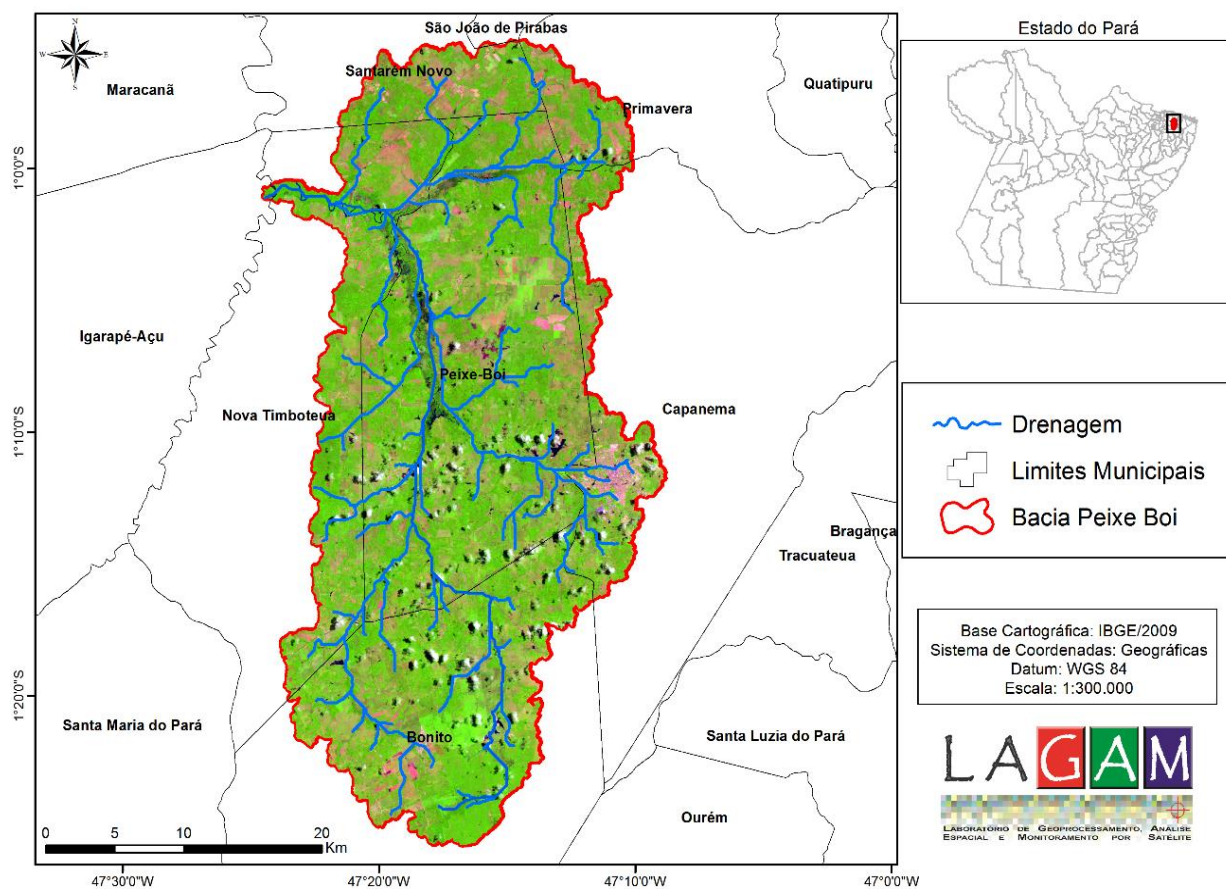


Figura 1: Localização espacial e rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

4.2.2 Materiais

Inicialmente utilizou-se como material para realizar este trabalho a base dos dados altimétricos SRTM/Topodata, com resolução espacial de 30 metros, obtidas a partir da grade vetorial no banco de dados do projeto Topodata do INPE (INPE/DPI, 2014 e INPE, 2015). Utilizou-se duas imagens (Cenas) do tipo Modelo Digital de Elevação (MDE) de números 00S48 e 01S48, articulada às cartas na escala de 1:250.000. Objetivando fazer o mosaico das imagens, a delimitação da bacia hidrográfica e a extração da rede de drenagem, foram utilizadas ferramentas do software ArcGis 10.1, em especial o módulo Hydrology Modeling. Posteriormente, foi necessária a reprojeção cartográfica da imagem do Datum WGS 84, para UTM Zona 23S, a fim de parear os parâmetros dos arquivos raster.

Para a elaboração do mapa cobertura vegetal e uso do solo foi utilizado o software ENVI 4.5, e uma imagem multiespectral de 2013 do satélite RESOURCESAT-1, sensor LISS III, no Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), datum WGS84, com 7 bits de resolução radiométrica e 23,5m de resolução espacial das bandas espectrais (vermelho, IV próximo, IV médio).

No mais, foram utilizadas informações temáticas preexistentes, correspondentes à geologia, geomorfologia do estado do Pará (IBAMA, 2010) na escala de 1:100.000 e pedologia (EMBRAPA, 2001) na escala de 1:50.000, todos em formato shapefile.

4.2.3 Procedimentos metodológicos

4.2.3.1 Ponderação dos Critérios e determinação da Vulnerabilidade Natural à Erosão

4.2.3.1.1 Cobertura vegetal e uso do solo

No processo de classificação da imagem RESOURCESAT-1, para a criação do mapa de Cobertura Vegetal e Uso do Solo, utilizou-se a metodologia de classificação supervisionada, por meio do algoritmo de máxima verossimilhança, onde foram identificadas as classes de cobertura vegetal e uso do solo da área referente a bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

As categorias identificadas foram: área urbana, solo exposto, agricultura, pastagens, campos naturais, vegetação arbórea, água e nuvens/sombra. Após a coleta de amostras

das classes de interesse, foi efetuada uma análise do desempenho das mesmas sendo gerada a classificação final visando obter o maior índice Kappa.

As classes do mapa de Cobertura Vegetal e Uso do Solo 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 (Tabela 1).

Tabela 1: Classes de Cobertura Vegetal e Uso do Solo, ponderadas segundo o grau de vulnerabilidade.

Cobertura Vegetal e Uso do Solo		
Classes	% da Bacia	Pesos
Vegetação Arbórea	28,47	1
Pastagens	54,13	2,5
Agricultura	3,62	2,5
Campos Naturais	3,10	3
Solo Exposto	5,43	3
Área Urbana	1,45	3
Água/Nuvem	1,97	-

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

4.2.3.1.2 Geologia

Para análise da geologia da área pertencente a bacia hidrográfica, utilizou-se arquivo Shapefile confeccionado pelo IBAMA (2010), na escala de 1:100.000, contendo as descrições e detalhamentos geológicos do estado do Pará. Também fora utilizado o Mapa Geológico do Estado do Pará, arquivo digital –PDF, extraído do IBGE (2016), na escala de 1:1.000.000, afim de reiterar as análises e refinar a avaliação geológica para a área de estudo.

Conforme observado nos mapas geológicos do estado, constatou-se apenas duas unidades geológicas na área de estudo, sendo representadas na tabela 2.

Tabela 2: Unidades Geológicas segundo sua vulnerabilidade.

Geologia	
Classes	Pesos
Grupo Barreiras	1,5
Depósitos Fluviomarinhos	3

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

4.2.3.1.3 Geomorfologia

Para o estudo 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. Em função desses quesitos, foram ponderados valores de vulnerabilidade às classes geomorfológicas do mapa geomorfológico.

Para tal, utilizou-se como base o arquivo Shapefile confeccionado pelo IBAMA (2010), na escala de 1:100.000, com o detalhamento morfométrico do estado do Pará.

Foram notadas três classes morfométricas presentes na bacia, dentre elas, a classe Dissecação Convexa 22, por apresentar as declividades mais elevadas da região (acima de 20%), e drenagem de média densidade, recebeu o valor maior valor de avaliação de vulnerabilidade. Já a classe Plano Indiscriminado, por representar terrenos caracteristicamente bem planos e sujeitos a inundações, atribuiu-se o menor valor, caracterizando-o como de muito baixa vulnerabilidade (Tabela 3).

Tabela 3: Unidades Geomorfológicas segundo sua vulnerabilidade.

Geomorfologia	
Classes	Pesos
Plano Indiscriminado	1
Acumulação Fluviomarinhos	1,3
Dissecação Convexa 22	1,5

4.2.3.1.4 Pedologia (tipologia do solo)

Para a avaliação da erodibilidade do solo foi utilizado como base o mapa pedológico do Estado e o mapa de solos do município de Peixe-Boi na escala de 1:50.000 obtido do acervo do laboratório de Sensoriamento Remoto da EMBRA (2001).

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.

No geral, os solos de textura arenosa são relativamente mais suscetíveis à erosão que os solos de textura argilosa, uma vez que as partículas finas de areia possuem pouca agregação, sendo mais facilmente arrastadas pelas águas das enxurradas.

Foram encontradas quatro classes de solo na área de estudo (Tabela 4), onde o maior peso foi atribuído ao Neossolo Flúvico, formado de materiais bastante arenosos, o que lhe confere elevada vulnerabilidade à erosão, e ao Gleissolo Háptico, ambos com peso 3 de vulnerabilidade.

Tabela 4: Classes de solos segundo sua vulnerabilidade.

Tipologia do Solo	
Classes	Pesos
Latossolo Amarelo Distrófico	1
Argissolo Amarelo	2
Gleissolo Háptico	3
Neossolo Flúvico	3

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

4.2.3.1.5 Declividade

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 mapa de Declividade utilizado foi extraído de Pereira et al. (2015a), apresenta seus valores em percentagem, expresso na escala de 1:100.000, tendo como base cartográfica

IBGE (2009). Os intervalos de declividade foram gerados a partir de grades altimétricas segmentadas em cinco intervalos, cada um deles associado a uma classe de vulnerabilidade como exposto na tabela 5.

Tabela 5: Intervalos de declividade, grau e classes de vulnerabilidade na área da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

Classe de Vulnerabilidade	Declividade (%)	Peso	Área (km²)	%
Muito Baixa	< 2	1	421,35	40,74
Baixa	2 – 6	1,5	451,3	43,64
Média	6 – 20	2	161,26	15,59
Alta	20 – 50	2,5	0,09	0,01
Muito Alta	> 50	3	0	0
TOTAL	–	–	1034	100

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

As cinco variáveis (cobertura vegetal e uso do solo, geologia, geomorfologia, declividade, e pedologia) utilizadas na confecção do mapa final, contribuíram, de forma diferenciada, na identificação da vulnerabilidade natural, na região de abrangência da bacia em estudo, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural da região da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

Variável	Peso
Declividade	3,0
Cobertura Vegetal e uso do Solo	2,5
Pedologia	2,5
Geologia	1,2
Geomorfologia	0,8

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

4.2.3.2 Análise multicriterial para a determinação da vulnerabilidade natural à erosão

Os arquivos referentes aos dados estudados, foram processados no software ArcGis 10.1, após serem adequados quanto aos sistemas de coordenadas e Datum local. Os arquivos, em formato Shapfile, foram transformados para o formato Raster (Cobertura vegetal e uso do solo, Geologia, Geomorfologia, Declividade, e Tipo de Solo), por meio da ferramenta *Feature to Raster*. Em seguida foram atribuídos pesos de vulnerabilidade à erosão 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 vulnerabilidade tiveram que ser indicados para cada atributo dos critérios em estudo utilizando-se para isso a ferramenta *Reclassify*.

A obtenção do mapa de vulnerabilidade à erosão, foi possível, apenas após a álgebra de mapas das grades de vulnerabilidade natural à perda do solo para os critérios citados anteriormente, de acordo como segue:

$$VNE = (V * p + R * p + S * p + G * p + D * p)$$

Onde: VNE = vulnerabilidade natural à erosão;

p = peso da vulnerabilidade para cada critério;

V = critério cobertura vegetal e uso do solo;

G = critério geologia;

R = critério geomorfologia;

S = critério pedologia;

D = critério declividade.

Tal método, considera as diferentes de influências dos diversos fatores envolvidos na vulnerabilidade natural a erosão.

O método multicritério adotado baseia-se na avaliação ponderada dos diversos parâmetros do meio físico, conforme a capacidade dos ecossistemas de resistir às degradações ambientais. Assim, foram elencados os seguintes critérios ambientais indicadores da vulnerabilidade natural: Cobertura Vegetal e Uso do Solo, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, e Declividade.

Afim de viabilizar a análise dos critérios ambientais, tais elementos foram reduzidos para uma escala contínua de vulnerabilidade, variando de 1 (menor vulnerabilidade) a 3 (maior vulnerabilidade), segundo os intervalos apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Classes de vulnerabilidade e seu correspondente grau de classificação.

Grau de Vulnerabilidade	Classificação da Vulnerabilidade
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: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Nesta avaliação considera-se o grau de influência de cada um dos critérios analisados para com o processo de degradação ambiental, atribuindo a cada um deles um peso que indica o seu grau de contribuição para este processo.

A atribuição destes pesos foi obtida através de extensas revisões de trabalhos elaborados na área, como os de Crepani et al. (2001), Cemin et al. (2012), Jansen et al. (2014), e através das informações existentes sobre a área de estudo em questão.

Para a confecção dos mapas de vulnerabilidade foi utilizado o software ArcGis 10.1, por meio do cruzamento de mapas temáticos de critérios, através do interpolador Média Ponderada.

Por meio da máscara dos limites da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, realizou-se o recorte dos mapas de Vulnerabilidade Ambiental, resultando em um mapeamento com distribuição contínua da vulnerabilidade para cada um dos cinco critérios estudados (CORVALÁN e GARCIA, 2011)

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Avaliação da Vulnerabilidade dos Critérios Ambientais

Cada critério selecionado neste estudo contribuiu de forma diferenciada para a vulnerabilidade ambiental da bacia em questão. Assim, os produtos representativos da vulnerabilidade da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, para cada critério, avaliado neste trabalho, ponderados por seus respectivos valores de vulnerabilidade segundo Crepani et al. (2001), e Jansen et al. (2014), estão expressos na figura 2.

A respeito do mapa de vulnerabilidade do critério Cobertura Vegetal e Uso do Solo, a classe Vegetação Arbórea foi classificada como sendo de baixa vulnerabilidade (peso 1), uma vez que representa tipologias com vegetação densa ou média cobertura arbórea, proporcionando maior proteção ao solo em relação as intempéries. Esta classe representa cerca 28% da área da bacia, e está sendo rapidamente convertida em pastos, fato que também foi constatado por Cruz et al. (2009) e Pereira et al. (2015), na mesma bacia hidrográfica. Almeida e Vieira (2014), relatam o processo de desconstrução da estrutura do solo quando retirada a cobertura vegetal protetiva, pois além da proteção física que as copas proporcionam em relação a ação mecânica das chuvas, as raízes, por sua vez, participam da agregação estruturante dos solos, resultando em firmeza e estabilidade para o mesmo.

As classes Agricultura e Pastagem foram classificadas como sendo de alta vulnerabilidade (peso 2,5), uma vez que ambas representam ambientes fragilizados no que diz respeito a proteção e integridade da estrutura do solo. Elas representam pouco mais de 57% da área total da bacia do rio Peixe-Boi (tabela 1), revelando que grande parte da bacia em estudo está ocupada por classes de elevada vulnerabilidade em função do seu uso e cobertura. Vale et al. (2014), em seus estudos sobre recomposição da floresta ciliar da bacia do rio Peixe-Boi, verificaram o avanço da agricultura, e sobretudo da pastagem, sobre as áreas de florestas nativas, inclusive em áreas de preservação permanente.

A pequena cobertura do solo proporcionada pelos pastos, e pelas culturas agrícolas, não são suficientes para proteger e conservar as características do solo, uma vez que permitem uma maior penetração da água da chuva, favorecendo o escoamento superficial da água e conseqüente intensificação da erosão do solo (FANTINEL e BENEDETTI, 2016).

As classes Campos Naturais, Área Urbana, e Solo Exposto, foram classificadas como sendo de muito alta vulnerabilidade (peso 3), pois representam ambientes de uso e cobertura de elevada fragilidade ambiental. Elas representam menos de 10% da área total da bacia do rio Peixe-Boi (tabela 1), ainda assim, constituem as áreas de maior

preocupação ambiental no que diz respeito a instabilidade do solo, devido à pouca/nenhuma cobertura natural, ou da inundação periódica decorrente do índice pluviométrico, como é o caso dos campos naturais.

Santos e Martins (2016), reiteram acerca das problemáticas embutidas na conversão dos ambientes naturais em áreas antropizadas, como as áreas urbanas e plantios agrícolas, 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.

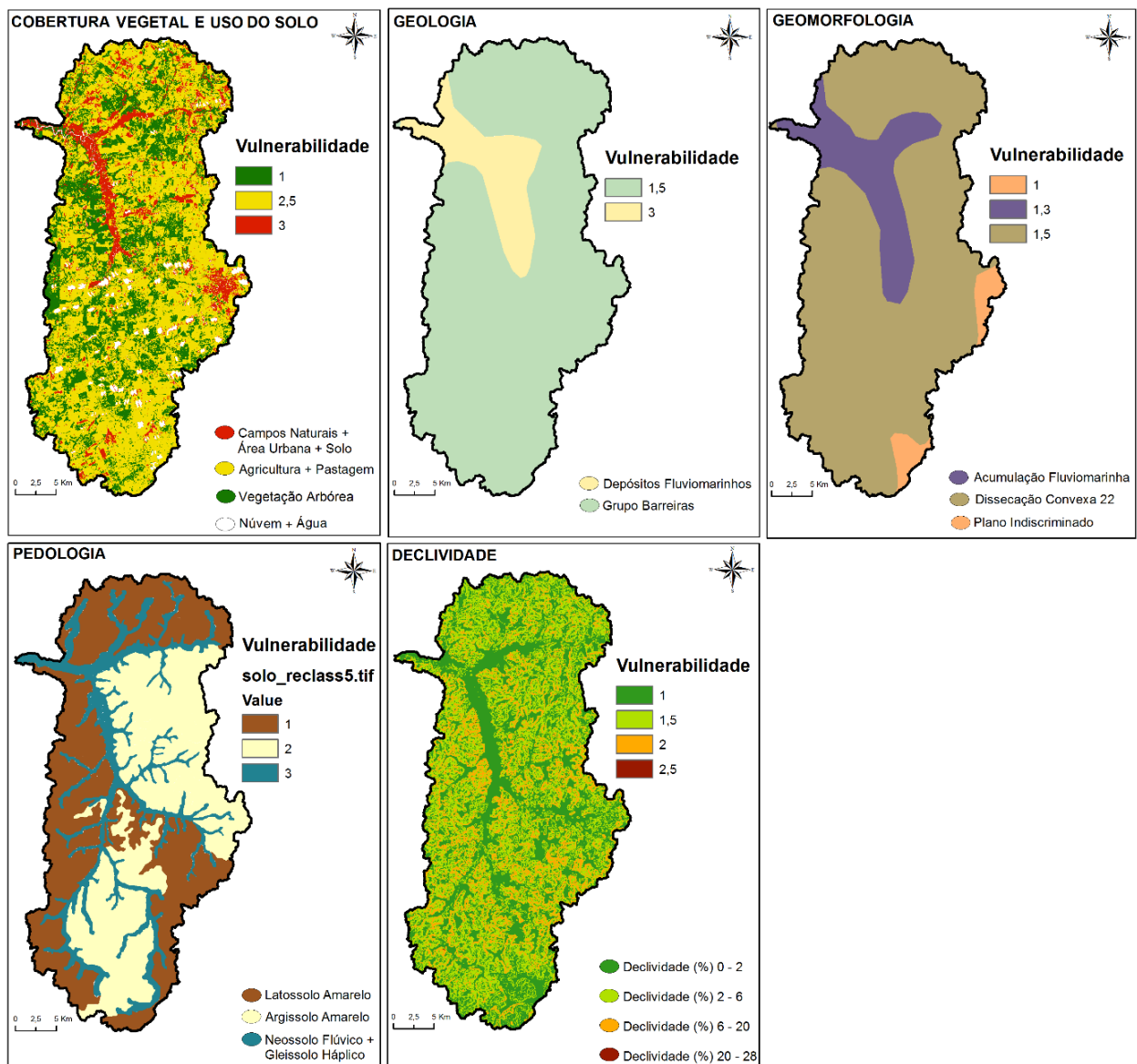


Figura 2: Mapas de vulnerabilidade dos critérios avaliados na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

No mapa de vulnerabilidade do critério Geologia, observamos que área de estudo é formada duas constituições geológicas, o Grupo Barreiras e os Depósitos Fluvio-marinhos. 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, 2010). Segundo Santos e Freitas (2015), o Grupo Barreiras apresenta origem sedimentar, suscetíveis à erosão por processos marinhos ou eólicos, provocando desmoronamentos, principalmente durante períodos mais chuvosos.

A unidade dos Depósitos Fluvio-marinhos, representa apenas uma pequena faixa da bacia em estudo, partindo do município de Nova Timboteua para o município de Peixe-Boi, acompanhando o rio Peixe-Boi. Esta unidade é classificada por Crepani et al. (2001), como sendo de muito alta vulnerabilidade (peso 3), sendo constituída por sedimentos siltico-argilosos, ricos em matéria orgânica, altamente vulneráveis as ações intempéricas, sendo assim facilmente erodidas, e são diretamente afetados por qualquer perturbação advinda dos corpos hídricos à que estão relacionados. Linhares et al. (2014), complementam em seu trabalho, que estes depósitos originam-se pela ação combinada de processos fluviais e marinhos, sendo as áreas sob influência das marés com ecossistemas de manguezais e vales fluviais subordinados às oscilações das marés, na área em estudo, restringe-se ao curso principal do rio Peixe-Boi.

No mapa de vulnerabilidade do critério Geomorfologia foram identificadas três classes distintas de vulnerabilidade: Dissecação Convexa 22, caracterizada como de média vulnerabilidade (peso 1,5), com áreas relativamente onduladas que representam grande parte da área da bacia em estudo, Acumulação Fluvio-marinha caracterizada como de baixa vulnerabilidade (peso 1,3), e o Plano Indiscriminado, representando as áreas mais planas na área de estudo, sendo de muito baixa vulnerabilidade (peso 1), contudo essa classe representa apenas 4% da área total da bacia do rio Peixe-Boi.

No geral, a geomorfologia da área de estudo caracterizar-se por apresentar relativa estabilidade frente aos processos de dissecação. 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.

Quanto a composição pedológica da área de estudo, foram diferenciados quatro tipologias constituintes da bacia do rio do rio Peixe-Boi; o Latossolo Amarelo, tipologia mais predominante, de elevada estabilidade e conseqüentemente baixa vulnerabilidade (peso 1), o Argissolo Amarelo, são as áreas de risco moderado, considerada de média vulnerabilidade (peso 2), e as tipologias Neossolo Flúvico e Gleissolo Háptico, ambas consideradas hidromórficas de elevada erodibilidade, são pouco desenvolvidos e com baixa evolução dos perfis de solo, estão localizadas nas vertentes convexas próximas ao canais de drenagem, apresentando os maiores valores de vulnerabilidade (peso 3), segundo boletim publicado pela Embrapa, (2001).

Verificou-se que 55% dos solos da bacia hidrográfica estudada, pertencem a classe Latossolo Amarelo, sendo caracterizada por uma grande porosidade, permeabilidade e textura arenosa. Quanto a formação, estes solos são classificados como bastante maduros, atribuindo uma elevada estabilidade uma vez que não favorecem a erosão, prevalecendo assim o processo da pedogênese, apresentando baixa vulnerabilidade.

É notório que as tipologias pedológicas mais vulneráveis estão diretamente relacionadas aos canais de dissecação da bacia do rio Peixe-Boi, assim, a atual intensificação dos processos antrópicos às margens dos recursos hídricos, estão diretamente relacionados a deterioração da estabilidade dos solos e a ocorrência de erosão hídrica.

Ainda sobre a figura 2, no que dispõe sobre a declividade da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, e levando em consideração os dados da tabela 5, observa-se o predomínio de áreas com declividades muito baixas e baixas (84,38% da área total), estas declividades menores são menos vulneráveis aos processos erosivos e ao escorregamento de massa, estão associadas a relevos com formas praticamente planas, localizadas desde as nascentes até a sua foz do rio principal desta bacia. Tal situação foi relatada por Junior et al. (2013), na bacia hidrográfica da Estrada Nova – Nordeste Paraense, onde foi verificado que aproximadamente 90% da área total da bacia apresentava declividades abaixo de 6%, padrão médio para o nordeste paraense.

Verificamos no mapa de declividade o predomínio de áreas com vulnerabilidade a erosão igual a 1, apresentando declives variando de 0 – 3%, e em segundo lugar as áreas com vulnerabilidade a erosão igual a 1,5, com declives variando de 3 – 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.

Foi observado que apenas cerca de 16% da área da bacia, apresentou declividade classificada como de média fragilidade (peso 2), e um percentual irrisório de 0,01% da bacia, apresentou declividades classificadas como de alta fragilidade (peso 2,5). Tais áreas, de relevo moderadamente ondulado, localizam-se em torno das drenagens e do rio Peixe-Boi, e contribuem a para a elevação da velocidade do escoamento superficial, representando áreas de maior e a vulnerabilidade à erosão na bacia em estudo (PEREIRA et al., 2015).

Muito embora o processo erosivo esteja relacionado a uma série de fatores, como por exemplo, a topografia, a geomorfologia, natureza do substrato, cobertura vegetal e a atuação antrópica, 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 (tabela 6, peso 30), e essencial para uma avaliação de risco a erosão.

4.3.2 Avaliação Multicritério da Vulnerabilidade Ambiental segundo a Erodibilidade do Solo

Para a análise de vulnerabilidade foram integrados cinco critérios ambientais, conforme descrito na metodologia, resultando em uma análise multicritérios, que pôde mapear a Vulnerabilidade Ambiental à erosão da área em estudo, gerando dados que poderão subsidiar políticas públicas de planejamento estratégico ambiental (Tabela 8 e Figura 3).

Tabela 8: Distribuição das classes de Vulnerabilidade Ambiental à erosão.

Vulnerabilidade	Ha	% da Bacia
Muito Baixa	10391,74	10,05
Baixa	39478,28	38,18
Média	47977,79	46,40
Alta	3174,39	3,07
Muito Alta	--	--
Nuvem/Água	2378,22	2,3
TOTAL	103400,42	100%

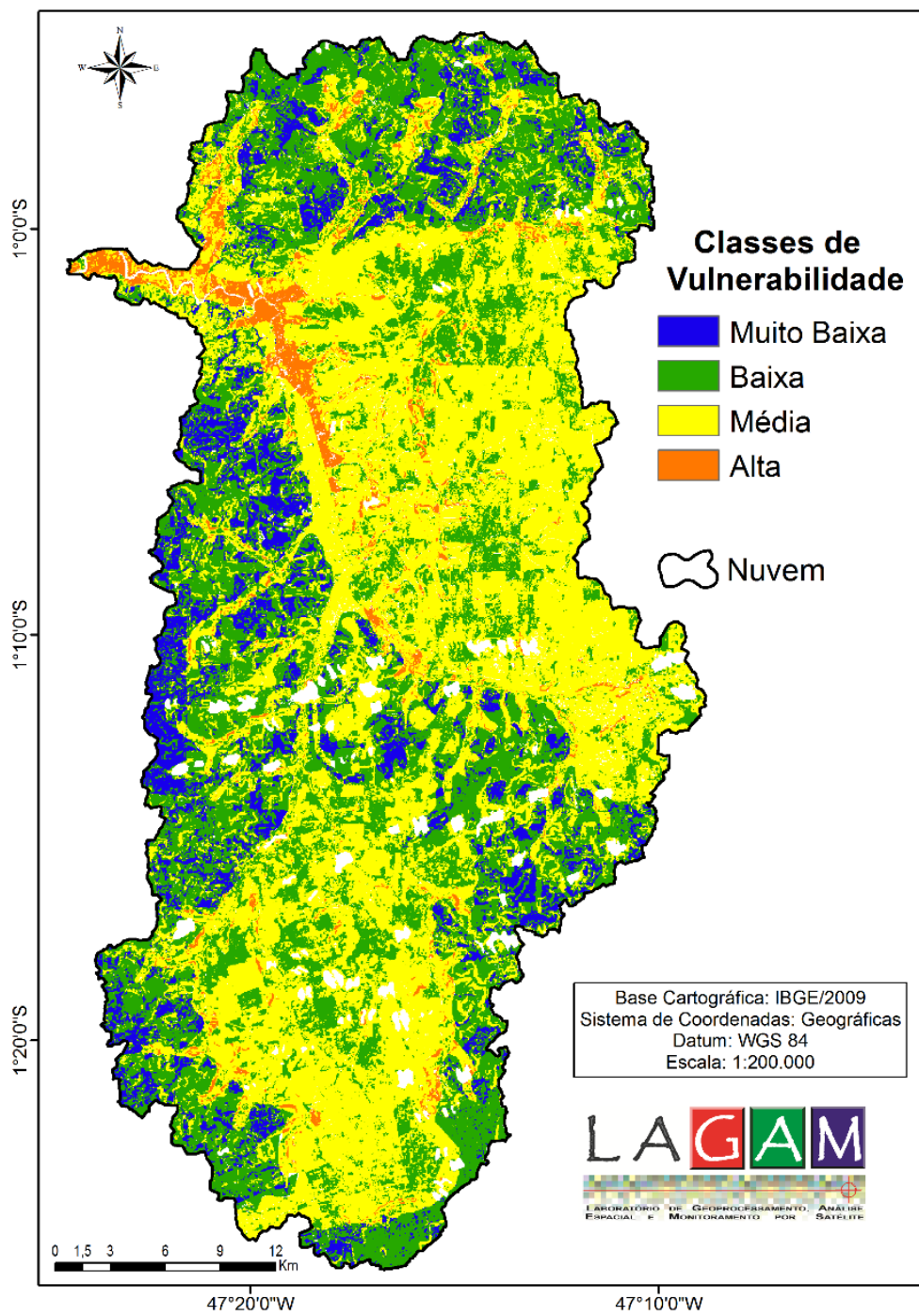


Figura 3: Mapa das classes de vulnerabilidade Ambiental à erosão da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi.

Observando a Figura 3, verificamos a distribuição espacial das classes qualitativas de vulnerabilidade à erosão das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, obtidas a partir da classificação expressa na Tabela 8, da seguinte forma:

- A) Vulnerabilidade Muito Baixa (1,00-1,35) - é representada pela cor azul, e ocupa aproximadamente 10% da área da bacia, sendo caracterizada por baixa declividade das vertentes ($< 2\%$), de tipologia plano indiscriminado, os solos são estáveis, prevalecendo a pedogênese, do tipo Latossolo Amarelo, a cobertura vegetal é composta majoritariamente por vegetação arbórea densa, oferecendo grande estabilidade frente aos processos de dissecação.
- B) Vulnerabilidade Baixa (1,35-1,75) – é representada pela cor verde, ocupa 38,18% da área da bacia, sendo a segunda maior classe existente, apresenta ainda baixas declividades (2 – 6%), com estabilidade dos solos variando do Latossolo Amarelo ao Argissolo Amarelo, e sua cobertura vegetal e uso do solo engloba pequenos fragmentos de vegetação arbórea e áreas de cultura temporária, oferecendo boa proteção ao solo.
- C) Vulnerabilidade Média (1,75-2,25) - representada pela cor amarela, constitui a classe predominante ocupando 46,40% da bacia estudada, caracterizada por maior dissecação do relevo com declividades de 6 – 20%, apresenta-se em todas as tipologias de solo com menor presença sobre o Latossolo, a cobertura vegetal e uso do solo é muito plural, sendo compostas predominantemente por agropecuária e pastagens, mas também compreende faixas de campos naturais e malha urbana.
- D) Vulnerabilidade Alta (1,75-2,25) - é representada pela cor laranja, ocupa cerca de 3% da área da bacia, sendo a classe menos evidente, apresenta ampla variação quanto a dissecação indo do plano ao moderadamente ondulado, os solos são acentuadamente instáveis, prevalecendo a morfogênese, do tipo Neossolo Flúvico e Gleissolo Háptico, e a cobertura vegetal e uso do solo é composta em grande parte por campos naturais e algumas faixas de área urbana.

Segundo a classificação de Crepani et al. (2001), existe ainda a classe de Vulnerabilidade Muito Alta (cor vermelha), para ambientes com grau de vulnerabilidade variando de 2,65 – 3,00, contudo, tal classe não se mostrou presente na bacia do rio Peixe-Boi.

O mapeamento da vulnerabilidade natural à erosão da bacia em estudo, nos permitiu classificar área em questão como sendo de vulnerabilidade intermediária, variando entre baixa e média vulnerabilidade, o que corresponde a mais de 84% da área total da bacia do rio Peixe-Boi. Este resultado expressa a tendência natural de equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese, resultantes das múltiplas combinações entre seus fatores naturais, e a interferência do fator antrópico, ocasionador do desequilíbrio.

Ainda de acordo com a figura 3, as informações extraídas do mapa apontam para uma relativa dominância das áreas mais estáveis nas bordas Norte (Santarém Novo e Primavera) e Oeste (Nova Timboteua), apresentando áreas bem mais preservadas e com baixa concentração populacional, quando comparada com as demais áreas da bacia hidrográfica. Para Sales et al. (2016), o cenário observado nestas paisagens, indica um bom potencial para exercer tamponamento ou amortecimento sobre às regiões adjacentes, uma vez que são caracterizadas pelo predomínio de solos razoavelmente maduros, apresentando boa agregação das partículas, e declividades pouco acentuada, ainda que apresente modesta cobertura vegetal devido às ações antrópicas.

Nota-se uma relativa 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).

As áreas de média de vulnerabilidade, estão significativamente concentradas sobre os Argissolos, em especial nas regiões onde se desenvolvem atividades produtivas, e apresentam cobertura vegetal insuficiente para proporcionar proteção aos processos erosivos. Rovani e Vieira (2016), em seu trabalho abordando vulnerabilidade natural do solo, também identificaram confluência entre os Argissolos e áreas de relativa vulnerabilidade, atribuindo tal fragilidade, às características não incomuns a esta tipologia de solo como relativa acidez, baixa saturação de bases e baixa CTC.

Observa-se que as áreas mais críticas quanto a fragilidade, estão localizadas, grande parte, no setor noroeste da bacia, em uma faixa próxima à montante do rio principal, em áreas ocupadas, basicamente, por campos naturais. Tais áreas, demandam maiores cuidados, uma vez que nelas predominam os processos modificadores do relevo (morfogênese). Dessa forma, indica-se cuidados mais direcionados, com relação aos agentes incrementadores da vulnerabilidade, fomentando boas práticas sociais integradas às políticas ambientais e no processo de tomada de decisões que busquem a valorização e proteção do meio ambiente (ROVANI et al. 2015).

4.4 Conclusões

Através do presente estudo, foi possível constatar que a vulnerabilidade natural à erosão da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi encontra-se predominantemente dividida entre as classes de baixa e média vulnerabilidade, com tendência ao equilíbrio dos processos morfoгенéticos e pedogenéticos nos ambientes menos antropizados.

A avaliação e quantificação da vulnerabilidade natural à erosão proporcionou a indicação das áreas de maior fragilidade na bacia estudada, identificando que as áreas localizadas junto aos Neossolo Flúvico e Gleissolo Háptico, em declividades mais elevadas, e em locais de solo descoberto, são potencialmente mais frágeis com relação aos processos erosivos.

Mais da metade da área de estudo (54,13%), é composta por pastagem, indicando a forte vocação regional para a pecuária, entretanto, essas áreas são elencadas entre as que mais contribuem para a intensificação da vulnerabilidade dos solos, especialmente quando associadas a áreas de relevos moderadamente ondulados, nas vertentes convexas próximas aos canais de drenagem, e em tipologias de solos menos desenvolvidos e com baixa evolução dos perfis de solo, que é o caso dos campos naturais.

Foi constatado que as áreas de menor vulnerabilidade à erosão localizam-se nos locais que apresentam cobertura vegetal relativamente preservada, baixas declividade das vertentes, e solos com maior estabilidade como o Latossolo. Na bacia do rio Peixe-Boi, essas áreas estão localizadas em fragmentos florestais próximas aos municípios Santarém Novo, Primavera e Nova Timboteua. Contudo, estes ambientes estão sofrendo grande pressão das atividades agrícolas e principalmente da pecuária extensiva, que vem convertendo estes fragmentos de vegetação arbórea em áreas de pouca ou nenhuma cobertura vegetal, potencializando os processos de perda de solo.

O estudo multicritério da fragilidade ambiental da bacia em estudo, por meio do mapa de vulnerabilidade natural à erosão, deve contribuir na gestão territorial e no planejamento estratégico, possibilitando a tomada de decisões mais sustentáveis.

E finalmente, diante dos dados levantados e resultados obtidos acerca das condições ambientais das áreas referentes bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, espera-se dar subsídios e auxiliar em políticas públicas que visem mitigar e ordenar as atividades antrópicas nesta e em outras bacias hidrográficas.

4.5 Referências

ABUD, E. A.; LANI, J. L.; ARAÚJO, E. A.; AMARAL, E.F. Caracterização morfométrica das sub-bacias no município de Xapuri: subsídios à gestão territorial na Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente e Água**. Taubaté. vol. 10 n. 2 p. 431-441, 2015.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G.; ROCHA, D. P. N. Cenários para a Amazônia: clima, biodiversidade e uso da terra. Caracterização e mapeamento dos padrões de uso da terra na área de endemismo Belém. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, p. 170, 2013.

ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Conflitos no uso da terra em áreas de preservação permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará. **Revista Ambiente e Água**. vol.9, n.3, p. 476-487, 2014.

BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.38 n.2, p. 557-564, 2014.

BHERING, S. B.; CHAGAS, C. S.; JUNIOR, W. C.; GONÇALVES, A. O. Geotecnologias aplicadas ao Zoneamento Agroecológico do estado do Mato Grosso do Sul. **Sociedade & Natureza**. [online]. vol.26, n.1, p. 171-187, 2014.

CABRAL, S. L.; REIS, R. S.; FRAGOSO, J. C. R. Avaliação do efeito da urbanização na produção de sedimentos da bacia do rio Jacarecica/AL mediante uso de modelo hidrossedimentológico distribuído. **Revista Brasileira Ciências do Solo** [online]. vol.37, n.4, p. 1073-1080, 2013.

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. **Sociedade & Natureza** (Online), vol. 23, n.1. 2011.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F. Building a index of sustainability trough hydro environmental multicriteria analysis: A study in municipalities of Paraíba (Brazil). **Sociedade & Natureza**. Uberlândia, vol. 25 n. 1, p. 91-106, 2013.

CARVALHO, J. R. M.; CARVALHO, E. K. M. A.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Metodologia para avaliar a saúde ambiental: uma aplicação em municípios empregando a análise multicriterial. **Saúde e Sociedade**. [online]. vol.23, n.1, p. 204-216, 2014.

CEMIN, G.; PÉRICO, E.; SCHNEIDER, V. E.; FINOTTI, A. R. Proposta metodológica para a elaboração de um zoneamento ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, N. 64/3, p. 301-316, 2012.

CORVALÁN, S. B.; GARCIA, G. J. Avaliação ambiental da APA Corumbatai segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal. São Paulo, UNESP, **Geociências**, vol. 30, n. 2, p. 269-283, 2011.

CPRM -SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, Mapas & SIG. Brasília: organizadores. p. 561, 2010.

CREPANI, E. M.; MEDEIROS, J. S. de; 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. São José dos Campos: 124 p. **INPE**, 2001.

CRUZ, F. M.; CAVALCANTE, L. M.; OLIVEIRA, W. P.; CORRÊA, L. V. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Peixe-Boi como subsídio à construção de um plano de manejo de bacia hidrográfica. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ANAIS**, p. 131-148, 2009.

DEMARCHI, J.C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 29, n.2, p.102-114, abril-junho,2014.

ELYDEISE, C. A. S.; LINCOLN, E. A.; ALINY, S. M., Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, vol.19, n.1, p.9–14, 2015.

EMBRAPA, Amazônia Oriental 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/laboratorio-de-sensoriamento-remoto>>. Acesso em 10/11/2006.

EMBRAPA. Avaliação da Susceptibilidade Natural a Erosão dos Solos da Bacia do Olaria-DF. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 14 - Embrapa, ISSN 1676-918x, novembro, 2001.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini-RS. **Ciência e Natura**. vol.38 n.1, p.156-163, 2016.

GASPARINI, K. A. C.; Gustavo, B. L.; Francelino, M.R.; Delgado, R. C. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na identificação de conflitos do uso da terra em Seropédica-RJ. **Floresta & Ambiente** [online]. vol.20, n.3, p. 296-306, 2013.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <<http://acordocoletivo.org/2010/11/06/shapes-siscom-ibama/>>. Acesso em 29/10/2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de Geomorfologia/ IBGE, Coordenação de Recursos naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro, 2009.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia/unidades_federacao/pa_geologia.pdf>. Acesso em: 4 Janeiro 2016.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4058> Acesso em: 2 Janeiro 2016.

JANSEN, D. C.; GOMES, M.; SANTOS, D. J. Natural vulnerability map of the speleological heritage comprising the region of “pan caves of San Francisco”. **Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp**, vol. 1, n. 4, p. 63-77, 2014.

JÚNIOR, O. A. C.; COELHO, M. A. N.; MARTINS, E. S. Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**. São Paulo, vol.26 no.3 p. 331-345, 2008.

JUNIOR, A. C. R. A. Fatores de risco a inundação na bacia hidrográfica da Estrada Nova Belém – PA, Pa, Brasil. **Geografia** (Londrina), vol.22, n.2. p. 57-78, maio/ago. 2013.

LINHARES, F. M.; ALMEIDA, C. N.; COELHO, V. H. R. Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame (PB). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 26 (1): p.139-157, 2014.

LORENZZETTI, J. A. Princípios físicos de Sensoriamento Remoto. EUA, **Editora Blucher**. 1ª edição. p. 121-129, 2015.

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.

MANNIGEL A.R.; CARVALHO, M. DE P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. Maringá: **Acta Scientiarum**, vol. 24, p. 1335-1340, 2002.

MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L.; MIGUEL, A. E. S. Implicações da vulnerabilidade ambiental na qualidade das águas superficiais da Bacia do Córrego das Antas, Tupi Paulista/SP. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. Vol. 9, n.2, p. 34-50, 2013.

MEDEIROS, M. D.; PEREIRA, V. H. C.; ALMEIDA, L. Q. Áreas de vulnerabilidade ambiental na zona oeste de Natal/ RN/ Brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, Vol.1, N.4, p.474 – 486, 2012.

MESQUITA C.; ASSIS A. Q. S.; SOUZA, R. M. Vulnerabilidade natural à perda de solos da bacia hidrográfica do Rio Sagrado – Morretes/PR. **Revista de Geografia**; Vol. 27(N. esp. 2), p. 249-264, 2010.

MORINAGA, M. S.; JIMENEZ-RUEDA, J. R. Análise morfoestrutural aplicada para avaliação de suscetibilidade à degradação ambiental por erosões hídricas lineares no interior do Estado de São Paulo. **Geologia**. USP, Série. Científica. [online]. vol.15, n.1, p. 45-56, 2015.

MORAES, M. C. P.; MELLO, K.; TOPPA, R. H. Análise da paisagem de uma zona de amortecimento como subsídio para o planejamento e gestão de unidades de conservação. **Revista Árvore** [online]. vol.39, n.1, p. 1-8, 2015.

OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. F. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres** [online]. vol.61, suppl., p. 800-807, 2014.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA, H. A. S.; BRAGA, T. G. M.; FIGUEIREDO, B. Estrutura da paisagem da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi com base na fragmentação da vegetação. **Revista de Ciências Agrárias**. vol.58, n.2, p. 159-167, 2015.

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**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.12 n.22; p. 2960 – 2974, 2015a.

PINTO, V. G.; LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M. Diagnóstico físico-ambiental como subsídio a identificação de áreas vulneráveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Ambiente e Água** [online]. vol.9, n.4, p. 632-646, 2014.

ROZON, C.; LUCOTTE, M.; DAVIDSON, R.; PAQUET, S. Spatial and temporal evolution of family-farming land use in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. **Acta Amazônica** [online]. vol.45, n.2, p. 203-2014, 2015.

ROVANI, F. F. M.; VIERA, M. Vulnerabilidade Natural do Solo de Silveira Martins-RS. **Floresta e Ambiente**. Seropédica ahead of print, 2016.

ROVANI, F. F. M.; WOLLMANN, R. C. C. A.; SIMIONI, J. P. D. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, vol. 29, p. 262 a 278, 2015.

SALES, J. C. A.; SILVA, D. C. C.; ROMAGNANO L. F. T.; BERTAGNA, R. Avaliação do impacto ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de Markov. **Ciência e Natura**, Santa Maria. vol.38 n.1, p. 115-124, 2016.

SANTOS, M. S.; FREITAS, G. M. A. Mapeamento geomorfológico da área correspondente às folhas Alhandra e Pitimbu 1:25.000 - estados da Paraíba e Pernambuco (Nordeste do Brasil). **Cuadernos de geografia** (Colombia). [online]. vol.24, n.1, p. 73-86, 2015.

SANTOS, L. P.; MARTINS, P. T. A. Mudanças temporais no uso e cobertura do solo na bacia do reservatório de Peixe Angical, Tocantins. **Ciência e Natura**, Santa Maria vol.38 n.1, p. 137-145, 2016.

SOUZA, S. R.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; JESUÍNO, S. A. Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, Nordeste do Pará. **Floresta**. Curitiba, vol. 42, p. 701, 2012.

VALE, I.; COSTA, L. G. S.; MIRANDA, I. S. Espécies indicadas para a recomposição da floresta ciliar da sub-bacia do rio Peixe-Boi, Pará. **Ciência Florestal**, Santa Maria, vol. 24, n. 3, p. 573-582, 2014.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A estrutura ambiental da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi encontra-se fortemente alterada devido à intensificação dos processos de ocupação e das atividades produtivas que se desenvolveram na região ao longo dos anos. É importante destacar que esta bacia está localizada no nordeste paraense, uma área de ocupação relativamente antiga (Século XVIII), apresentando um histórico de mais de dois séculos de constante alteração da sua paisagem natural.

A degradação ambiental da bacia é evidente, uma vez que, além do fato de aproximadamente 70% da sua área já ter sido convertida em ambientes antropizados, como áreas urbanas, plantações, e pastagem para o gado, ainda temos um preocupante processo de deterioração da qualidade da água, e uma crescente problemática relacionada à erosão do solo.

A bacia apresenta poucos e esparsos remanescentes de vegetação primária, devido ao intenso desmatamento para implantação de roças e pastagens, sendo mais da metade da área total da bacia ocupada por pastos. Este fato deve-se, sobretudo, ao desenvolvimento desordenado da atividade agropecuária, que avançou sobre a vegetação nativa, suprimindo-a, refletindo a fragilidade da fiscalização dos órgãos competentes e a necessidade efetiva do cumprimento da legislação ambiental.

Considerando as características intrínsecas da área em questão, e os resultados da análise morfométrica dos parâmetros fisiográficos da bacia, é possível traçar planos de ações quanto a gestão dos recursos hídricos para mesma, uma vez que foram dissecados os elementos fundamentais para o planejamento estratégico e de ações protetivas ao meio ambiente.

Quanto a degradação dos recursos hídricos, os resultados apontaram que o processo de ocupação desordenada, associada à deficiente estrutura de saneamento básico das áreas urbanizadas, e a carência de políticas públicas voltadas à sustentabilidade do meio ambiente, são os principais fatores responsáveis pelo processo de depauperamento da qualidade da água. Os baixos índices de qualidade da água em determinados pontos da bacia, expressam a urgente necessidade de um plano de recuperação dos corpos hídricos, e do monitoramento constante nos pontos críticos, visando o bem estar e a saúde da população local, assim como a preservação da biodiversidade.

Ainda sobre os recursos hídricos, a constatação de que os piores índices de qualidade da água estavam associadas aos entornos dos núcleos urbanos, e às áreas de conflito de uso dentro das APPs, revela o quão íntima é a relação entre a carência de políticas públicas na forma de programas ambientais, e a degradação dos recursos hídricos.

A ocupação irregular de quase metade das áreas de proteção permanente na bacia do rio Peixe-Boi, expressa a substancial contribuição da falta de fiscalização e do cumprimento da legislação vigente, para com o atual cenário de vulnerabilidade ambiental da bacia. Ressalta-se que a legislação ambiental tem especial preocupação com as APPs, buscando sempre disciplinar e limitar as ações antrópicas nestes ambientes, uma vez que a supressão da proteção natural exercida pelas matas ciliares sobre os corpos hídricos, proporciona uma aguda fragilidade ambiental aos rios e lagos.

Os níveis da fragilidade ambiental, equacionados a partir do cruzamento dos dados multicriteriais levantados neste trabalho, possibilitam traçar um modelo de fragilidade local, ferramenta importante no auxílio à gestão territorial e nos processos de zoneamentos ecológicos – econômicos. Muito embora a degradação ambiental da área tenha sido explicada, em parte, pelos critérios abordados neste estudo, outras variáveis como os índices pluviométricos, a distância dos recursos hídricos, e diversos fatores climáticos, também podem contribuir para confecção de modelos de espacialização da instabilidade ambiental.

Os estudos multicritérios da fragilidade ambiental da área em questão, revelaram bem mais do que apenas a vulnerabilidade natural à erosão do solo, pois expressaram claramente a relação pouco sustentável do homem e suas atividades transformadoras do espaço, com a crescente e irrefutável degradação dos recursos naturais, colocando em xeque as futuras gerações na região bragantina.

Por último, diante do reconhecimento do risco ambiental e da necessidade da preservação dos recursos naturais existentes na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, diante do exposto, recomenda-se a urgente institucionalização de políticas públicas, visando a recuperação de sua qualidade ambiental, por meio de mecanismos economicamente viáveis, e socialmente justos.