



DIAGNÓSTICO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CAETÉ/PA COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Filipe Gomes **Dias**¹, Brenda Batista **Cirilo**²

(1 – Universidade Federal do Pará, Especialista em Gestão Ambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA/UFPA), Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA), dias.filipe@live.com; 2 – Universidade Federal do Pará, Mestre em Planejamento do Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA/UFPA), Doutoranda em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA/UFPA), Técnica em Gestão Ambiental na Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS/PA), brendacirilo@hotmail.com).

Resumo: O conhecimento das potencialidades e limitações dos sistemas naturais é fundamental para que as ações antrópicas empreendidas nestes estejam de acordo com suas características, dinâmicas e funcionalidades. A utilização das Geotecnologias, integrada à análise sistêmica da paisagem, é cada vez mais indispensável nos estudos relacionados às problemáticas ambientais. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi elaborar o diagnóstico da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté a partir da proposta metodológica de Crepani et al. (2001), como instrumento de subsídio para tomada de decisão no âmbito do planejamento e gestão ambiental do território da bacia. Para tanto, foram confeccionados os mapas-base das unidades geoambientais da bacia do rio Caeté como: Declividade, Tipos de Solo, Geologia, Geomorfologia e Uso da Terra. O resultado do diagnóstico da fragilidade ambiental apresentou o nível predominantemente médio (51,04%), com o nível alto (32,90%) em seguida. Tal resultado decorre da utilização do uso da terra, onde as atividades econômicas desenvolvidas, de maneira não sustentável, impulsionam, juntamente com os componentes naturalmente susceptíveis, a intensificação do processo de fragilidade dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio Caeté.

Palavras-Chave: Planejamento e Gestão Ambiental; Fragilidade Ambiental; Bacia Hidrográfica.



DIAGNOSIS OF THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE CAETÉ RIVER BASIN AS A SUBSIDY FOR ENVIRONMENTAL PLANNING

Abstract: The knowledge of the potentialities and limitations of the natural systems is fundamental so that the anthropic actions undertaken in these are according to their characteristics, dynamics and functionalities. The use of Geotechnologies, integrated to the systemic analysis of the landscape, is increasingly indispensable in the studies related to environmental problems. Thus, this work aims to elaborate the Environmental Fragility map of the Caeté Hydrographic Basin based on the methodological proposal of Crepani et al. (2001), as a subsidy instrument for decision-making in the planning and environmental management of the basin's territory. We constructed the base maps of the geoenvironmental units of the Caeté river basin as: Declivity, Soil Types, Geology, Geomorphology and Land Use. The result of the diagnosis of environmental fragility presented the predominantly medium level (51.04%), with the high level (32.90%) afterwards. This result arises from the use of land, where the economic activities developed, in an unsustainable way, together with the naturally susceptible components impel the intensification of fragility process of the environmental systems of the Caeté hydrographic basin.

Keywords: Environmental Planning and Management; Environmental Fragility; Hydrographic Basin.

DIAGNÓSTICO DE LA FRAGILIDAD AMBIENTAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO CAETÉ / PA COMO HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

Resumen: El conocimiento de las potencialidades y limitaciones de los sistemas naturales es fundamental para que las acciones antrópicas emprendidas en estos estén de acuerdo con sus características, dinámicas y funcionalidades. La utilización de las Geotecnologías, integrada al análisis sistemático del paisaje, es cada vez más indispensable en los estudios relacionados a las problemáticas ambientales. De esta forma, el objetivo de este trabajo fue elaborar el mapa de fragilidad ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Rio Caeté a partir de la propuesta metodológica de Crepani et al. (2001) como herramienta para la toma de decisiones en el



âmbito de la planificación y la gestión ambiental del territorio de la cuenca hidrográfica. Para ello, fueron realizados los mapas-base de las unidades geoambientales de la cuenca hidrográfica del río Caeté, como: declividad, tipos de suelo, geología, geomorfología, y uso de la tierra. El resultado del diagnóstico de la fragilidad ambiental presentó el nivel predominantemente medio (51,04%), con el nivel alto (32,90%) a continuación. Este resultado se deriva de la utilización del uso de la tierra, donde las actividades económicas desarrolladas, de manera no sostenible, impulsan, junto con los componentes naturalmente susceptibles, la intensificación del proceso de fragilidad de los sistemas ambientales de la cuenca hidrográfica del río Caeté.

Palabras clave: Planificación y Gestión Ambiental; Fragilidad Ambiental; Cuenca hidrográfica.

Introdução

O desenvolvimento dos estudos de Planejamento Ambiental tendo a bacia hidrográfica como unidade de estudo busca realizar análises ambientais por meio da dinâmica dos componentes naturais e socioeconômicos em determinado recorte temporal.

A bacia hidrográfica é entendida como o conjunto de escoamento hídrico que drena uma área delimitada topograficamente, onde se expressa as relações e interações sistêmicas dos aspectos naturais e socioeconômicos (TUCCI, 2007; SILVA; RODRIGUEZ, 2014). Desse modo, apresenta-se como uma unidade de análise fundamental para os estudos ambientais (BOTELHO e SILVA, 2012), pois ela reflete espacialmente os impactos das ações desordenadas no ambiente.

Nesse sentido, a problemática ambiental demanda uma abordagem integrada entre os aspectos naturais e sociais, e a bacia hidrográfica aparece com destaque no direcionamento das abordagens ambientais integradoras para o planejamento e gestão ambiental.

De acordo com Rodriguez e Silva (2016), o Planejamento Ambiental consiste no ponto de partida das diretrizes a serem produzidas da forma e intensidade pela qual se utilizará o espaço físico-ambiental de um determinado território, constituindo-se, assim, em um processo organizado de coleta de informações, análises e reflexões sobre as potencialidades e limitações dos sistemas ambientais.



Os estudos referentes às fragilidades dos ambientes são de suma importância ao planejamento ambiental. O conhecimento integrado dos ambientes naturais e suas fragilidades permite a adoção de medidas de acordo com as características do espaço físico-territorial, dando as bases para o planejamento e gestão do território (Spörl; Ross, 2004).

Nesse sentido, a proposta metodológica estabelecida por Ross (1994), baseada na abordagem ecodinâmica de Tricart (1977), busca avaliar a fragilidade ambiental a partir do grau de estabilidade (pedogênese) e instabilidade (morfogênese) por meio de variáveis naturais e socioeconômicas. Portanto, a fragilidade ambiental pode ser entendida como as alterações ocorridas no equilíbrio dinâmico das características naturais e socioeconômicas de determinado espaço.

As técnicas de Geoprocessamento, Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto são essenciais como ferramentas metodológicas para a elaboração de produtos cartográficos voltados para o Planejamento Ambiental, uma vez que o uso dessas metodologias possibilita a análise das ações impostas à paisagem pelo homem em razão de sua grande capacidade de manipular e organizar dados e informações espaciais (OLIVEIRA, 2013).

O Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Pará, instituído a partir da Lei 6.381 de 2001 que cria a Política Estadual de Recursos Hídricos, divide o estado em sete Regiões Hidrográficas. A saber, são elas: Região Hidrográfica do Xingu, Região Hidrográfica do Tocantins – Araguaia, Região Hidrográfica da Calha Norte, Região Hidrográfica de Portel – Marajó, Região Hidrográfica do Tapajós, Região Hidrográfica do Baixo Amazonas e a Região Hidrográfica da Costa Atlântica – Nordeste.

A Região Hidrográfica da Costa Atlântica - Nordeste é banhada pelos rios Guamá, Capim, Piriá, Caeté e Gurupi, que servem como meio de acesso a outros municípios, assim como uma ligação entre o meio urbano e meio rural. Estes rios são de fundamental importância na economia, pois é através deles que circulam a produção transportada por barcos e canoas.

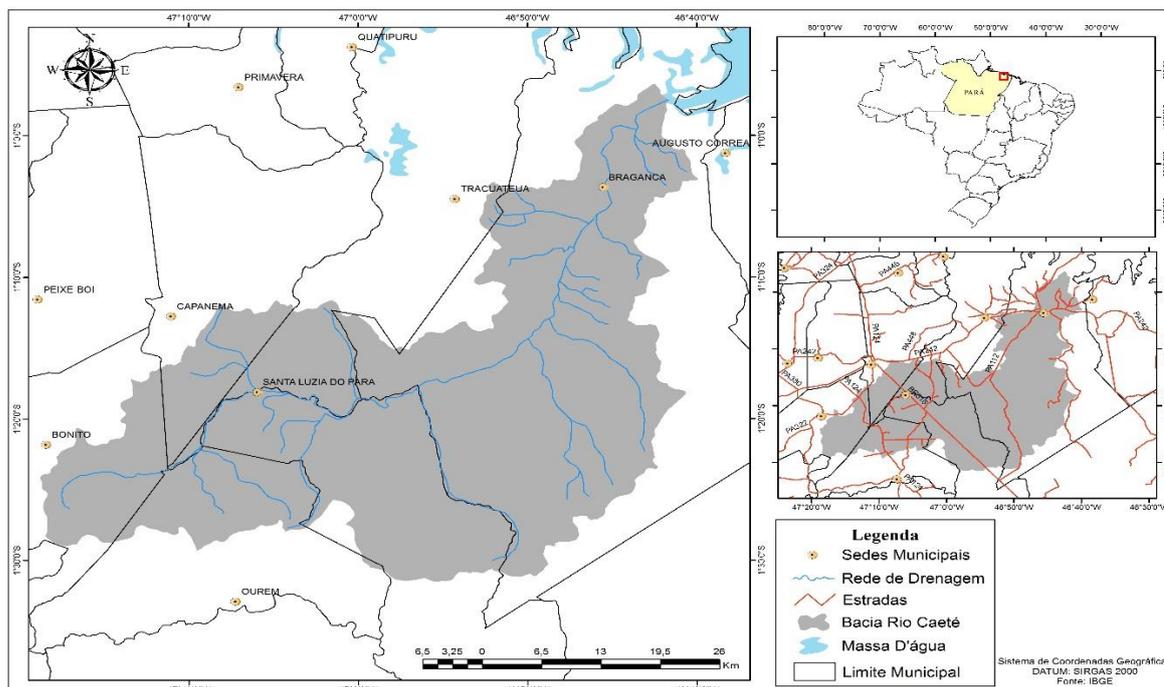
O presente trabalho tem como objetivo central diagnosticar a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté/PA como subsídio para o planejamento ambiental, analisando de forma integrada todos os componentes geoambientais.

Procedimentos Metodológicos

Área de Localização

A bacia do rio Caeté (Figura 1) está situada na Região do Nordeste Paraense, abrangendo seis municípios: Bonito, Santa Luzia do Pará, Ourém, Capanema, Tracuateua e Bragança. A maior parte da bacia abrange o município de Bragança, ocupando uma área de 1.065,22 km², ou seja, 48,52% da área total.

Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A bacia tem uma área de aproximadamente 2.149,63 km², com o seu rio principal apresentando uma extensão longitudinal de 149 km, desde sua nascente, no município de Bonito, até sua foz, nos municípios de Bragança e Augusto Corrêa, formando o complexo hidrológico da baía Caeté-Urumajó.

Geomorfologicamente, essa bacia é formada principalmente pelo planalto costeiro, também possui áreas de planície fluvial, estuarina e litorânea, apresentando cotas máximas de 80 metros (GORAYEB, 2008). A cobertura vegetal da região é formada por florestas secundárias (capoeiras que ocorrem sobre os planaltos costeiros) e vegetação de mangue, campos herbáceos (que ficam sobre a planície costeira) e arbustivos (SILVA, 2002). A bacia do rio Caeté se situa na faixa equatorial e apresenta um clima do tipo Af/Am de acordo com a classificação de Köppen, caracterizando um clima tropical úmido com temperatura média de

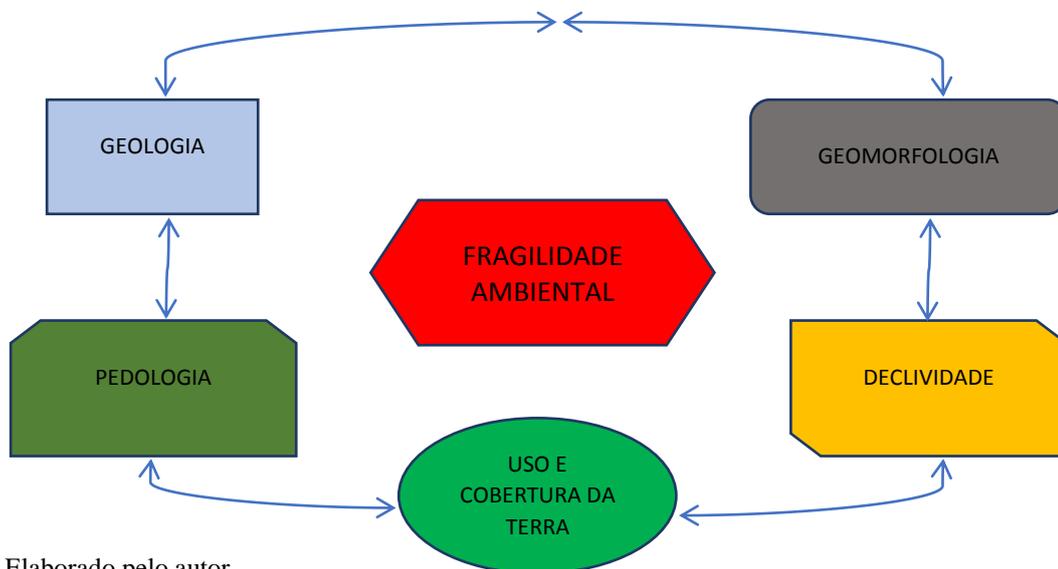
22,4° C e 31, 4° C (RODRIGUES et al., 2001). O índice de pluviosidade gira em torno de médias de 2.384mm e amplitude térmica em torno de 5° C.

Materials e Métodos

A execução do presente trabalho contou com o levantamento bibliográfico de autores como Crepani et al. (2001), Ross (1994), Cruz et al. (2010), para o estudo da Fragilidade Ambiental e de autores como Rodriguez e Silva (2016), Porto e Porto (2008), para dar bases aos estudos de planejamento e gestão ambiental em bacias hidrográficas, bem como para ação reflexivo-analítica do problema em questão.

O fluxograma da figura 2 apresenta as variáveis geoambientais utilizadas para a geração do mapa de Fragilidade Ambiental da Bacia hidrográfica do Rio Caeté. A escolha das variáveis geoambientais foi estabelecida de acordo com a proposta metodológica de Crepani et al. (2001). As etapas metodológicas utilizadas para a confecção dos mapas temáticos de cada variável geoambiental são detalhadas posteriormente de forma individual.

Figura 2 – Fluxograma para geração do Mapa de Fragilidade Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizou-se então a obtenção e sistematização dos dados e informações geográficas. A sistematização do banco de dados geográficos foi realizada nos softwares SPRING 5.2.6.1 e ArcGIS 10.1, considerando o sistema de projeção SIRGAS 2000, no Laboratório de Estudos e Modelagens Hidroambientais (LEMHA) da Universidade Federal do Pará. A aquisição dos



dados para geração do produto temático de Geomorfologia e Geologia foram obtidos a partir de mapas digitais do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Os arquivos vetoriais da rede de drenagem e a área delimitada da bacia do rio Caeté utilizados são provenientes da Agência Nacional de Águas (ANA)

Mapa de declividade

O mapa de declividade foi elaborado por meio do software ArcGis 10.1 através da ferramenta Project Raster para reprojeter no formato UTM, visto que é necessário que as unidades estejam em metros para que o programa possa realizar o cálculo para medição da declividade da feição. Logo após aplicou-se o recurso Fill que realiza algumas correções de pequenas imperfeições nos dados Raster e, por fim, foi realizado o procedimento Slope (declividade), que gerou o arquivo de declividade, a partir daí foram definidas as classes de declividade.

A tabela 1, a seguir apresenta as classes de declividade geradas para a bacia do rio Caeté e a atribuição dos valores de fragilidade para cada classe. Os valores utilizados foram de acordo com os estabelecidos por Oliveira et al. (2011), que adaptaram da proposta metodológica desenvolvida por Crepani et al. (2001).

Tabela 1 – Valores de Fragilidade de acordo com a declividade.

DECLIVIDADE	VALORES DE FRAGILIDADE
0 -3,5	1,0
3,51 – 5,8	1,1
5,81 – 8,2	1,2
8,21 – 10,3	1,3
10,31 – 12,9	1,4
12,91 – 15,1	1,5
15,11 – 17,4	1,6
17,41 – 18,4	1,7

Fonte: Adaptada Crepani et al (2001) e Oliveira et al (2011).

Mapa de tipos de solos

Na formulação do mapa de tipos de solo realizou-se a plotagem do arquivo e posteriormente o recorte na área da bacia hidrográfica do rio Caeté, definindo-se a simbologia de acordo com o solo.



A tabela 2 apresenta os valores de fragilidade de acordo com os tipos de solos pertencentes à bacia do rio Caeté. A determinação das classes de fragilidade ambiental seguiu os critérios adaptados pela metodologia proposta por Crepani et al. (2001).

Tabela 2 – Valores de Fragilidade de acordo com o Tipo de Solo.

TIPOS DE SOLO	VALORES DE FRAGILIDADE
Latossolo Amarelo Distrófico	1,0
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1,0
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico	3,0
Gleissolo Tiomórfico Órtico	3,0

Fonte: Adaptada Crepani et al (2001).

Mapas de geologia e geomorfologia

Os mapas de geologia e geomorfologia da área de estudo foram confeccionados a partir dos dados estabelecidos pelo MMA (2010). Esses aspectos foram adaptados de acordo com a escala e a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Caeté. As tabelas 3 e 4 são referentes aos valores de Fragilidade Ambiental de geologia e geomorfologia, respectivamente.

Tabela 3 – Valores de Fragilidade de acordo com a Geologia.

GEOLOGIA	VALORES DE FRAGILIDADE
Depósitos Fluvio-marinhos e Marinhas	3,0
Formação Gurupi	1,5
Formação Pirabas	3,0
Formação Santa Luzia	1,5
Grupo Barreiras	1,5
Grupo Tromai	1,5

Fonte: Adaptada Crepani et al (2001) e Oliveira (2011).

Tabela 4 – Valores de Fragilidade de acordo com a Geomorfologia.

GEOMORFOLOGIA	VALORES DE FRAGILIDADE
Acumulação Fluvio-marinha	3,0
Dissecação Convexa	1,5

Fonte: Adaptada Crepani et al (2001) e Oliveira (2011).

Mapa de uso e cobertura da terra

O mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Caeté foi confeccionado a partir do levantamento do programa TerraClass do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do ano de 2014.

O quadro 1 apresenta a definição das classes temáticas de uso e cobertura da terra utilizadas na bacia do rio Caeté.

Quadro 1 – Definição das classes temáticas de uso e cobertura da terra.

Classe	Definição
Agricultura Anual	Expressa às áreas com predominância de cultivos de ciclo anual, onde se tem o emprego de padrões tecnológicos elevados como mecanização, uso de sementes certificadas, agrotóxicos, etc.
Área Não Observada	É a classe temática onde não foi possível identificar os alvos na imagem de satélite pela presença de nuvens ou sombra de nuvens.
Área Urbana	É definida como manchas urbanas que concentram o contingente populacional e que possuem estruturas diferenciadas das áreas rurais como arruamentos, casas, prédios e demais equipamentos públicos.
Floresta	Remete as áreas florestais primárias que não sofreram processo de interferência, ou seja, as áreas não modificadas.
Pasto com Solo Exposto	Corresponde às áreas constituídas pelo superpastejo, ou seja, são aquelas que apresentam elevado grau de degradação ou a intensa circulação de animais.
Pasto Limpo	Está relacionada às áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de gramíneas entre 90 e 100%.
Pasto Sujo	Também predomina a vegetação herbácea, porém com cobertura de gramíneas entre 50 e 80%, associado à presença de vegetação arbustiva esparsa com cobertura entre 20 e 50%.
Vegetação Secundária	Áreas que tiveram a supressão da vegetação florestal e encontra-se em etapa avançada de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea.

Fonte: Elaborado pelo autor de acordo com TerraClass (2008).

As informações de uso e cobertura da terra de algumas partes da região do Nordeste Paraense são bastantes precárias devido ao elevado índice de nuvens, dificultando, assim, o mapeamento das classes temáticas da área. Dessa forma, o presente trabalho também perpassou tal obstáculo, onde o grau de detalhamento do uso e cobertura da terra da bacia do rio Caeté é bem abaixo do desejável. Entretanto, a variável do componente de uso e cobertura da terra é de suma importância para completude dos estudos geoambientais, portanto, faz-se necessário a utilização das informações disponíveis, mesmo em seu âmbito incompleto.

Entretanto, utilizou-se uma imagem Landsat 7 do ano de 2014, órbita-ponto 222/61 bandas ETM 3, 4 e 5, para minimizar as ausências de informações da área a partir da vetorização de polígonos das classes temáticas da bacia do rio Caeté.

A tabela 5 a seguir apresenta as classes temáticas de uso e cobertura da terra da bacia do rio Caeté, e seus respectivos valores de Fragilidade Ambiental.

Tabela 5 – Valores de Fragilidade de acordo com o uso e cobertura da terra.

USO E COBERTURA	VALORES DE FRAGILIDADE
Agricultura Anual	2,5
Área Urbana	3,0
Floresta	1,0
Pasto com Solo Exposto	3,0
Pasto Limpo	2,0
Pasto Sujo	2,5
Vegetação Secundária	1,5

Fonte: Adaptada Crepani et al (2001) e Oliveira (2011).

Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Caeté

A elaboração do produto cartográfico da fragilidade ambiental da bacia do rio Caeté foi apoiada na proposta metodológica de Crepani et al. (2001) e Ross (1994), onde os mapas digitais das unidades geoambientais da paisagem selecionadas foram convertidos para o formato Raster no software ArcGIS 10 o qual promoveu a criação de *grids* para cada unidade. A partir disso, os *grids* foram reclassificados na ferramenta Reclassify para os valores entre 1 a 3.

Nesse sentido, utilizou-se o método de Álgebra de Mapas em que os *grids* das unidades geoambientais foram processados a partir da média aritmética expressada pela fórmula abaixo.

$$F = \frac{(G+R+S+UCT+D)}{5}$$

5

Onde: F= Fragilidade; G= Geologia; R= Geomorfologia; UCT= Uso e Cobertura da Terra; D= Declividade.

Com o processamento do mapa de fragilidade ambiental finalizado, a etapa seguinte foi definir os níveis de fragilidade da bacia do rio Caeté. Os níveis de fragilidade ambiental foram definidos de acordo com a tabela 6.

Tabela 6 – Níveis de Fragilidade Ambiental.

Fragilidade Ambiental	Intervalo
Muito Baixa	1 – 1,3
Baixa	1,31 – 1,7
Média	1,71 – 2,2
Alta	2,21 – 2,6
Muito Alta	2,61 – 3,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

O nível de fragilidade ambiental Muito Baixa corresponde aos valores entre 1 a 1,3, o nível de fragilidade ambiental Baixa varia entre 1,31 e 1,7, o nível de fragilidade ambiental Média está situada entre 1,71 a 2,2, o nível de fragilidade ambiental Alta está entre 2,21 e 2,6, e o nível de fragilidade ambiental Muito Alta está entre 2,61 e 3,0.

Unidades Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté

Os estudos geoambientais buscam dar respostas para as problemáticas socioambientais. A análise geoambiental através do entendimento dos componentes geocológicos das paisagens procura estabelecer medidas que minimizem ou mitiguem os impactos ambientais.

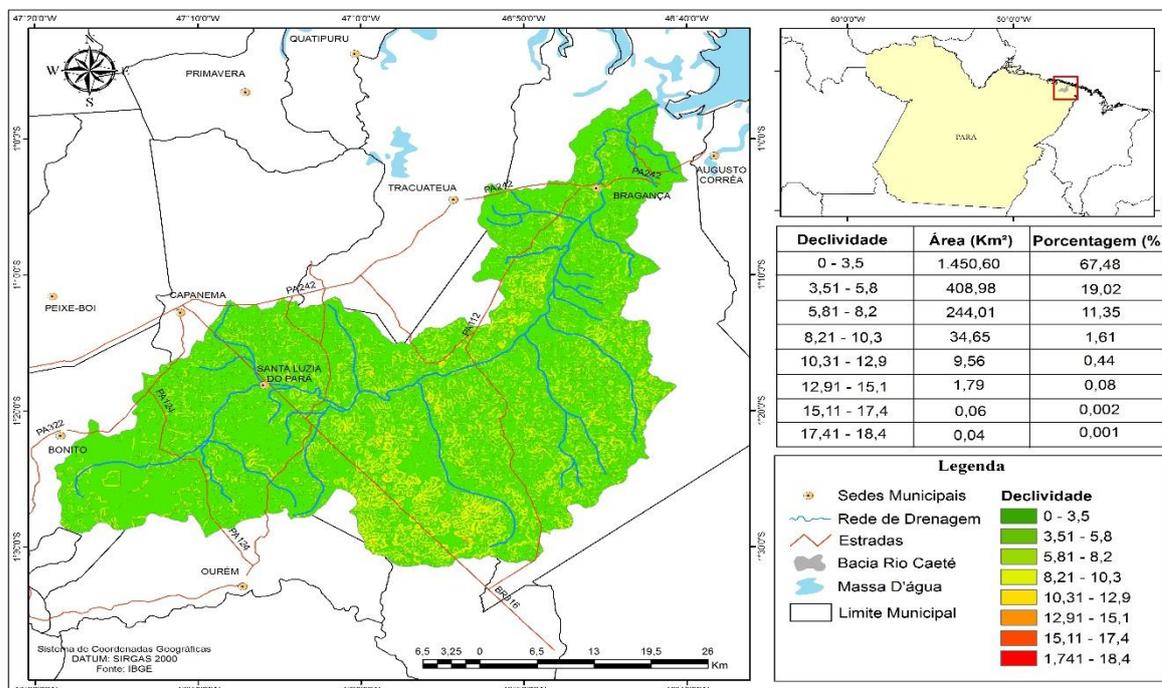
Dentre as tarefas da análise geoambiental o mapeamento é um processo de suma importância que objetiva delimitar determinada área em unidades, de acordo com os seus aspectos e atributos. Para Trentin e Robaina (2012, p. 38) as unidades geoambientais são “áreas com heterogeneidade mínima quanto aos parâmetros e, em compartimentos com respostas semelhantes frente aos processos de dinâmica superficial”.

A seguir apresentam-se os mapas temáticos das unidades geoambientais da paisagem selecionados para compor a confecção do produto cartográfico síntese da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Caeté.

O mapa da figura 3 apresenta as classes de declividade da bacia do rio Caeté onde predomina um relevo plano caracterizado por preponderar áreas de declive de 0 a 10,3%, com a presença bem reduzida de áreas com valores maiores de declive que 10,4%.

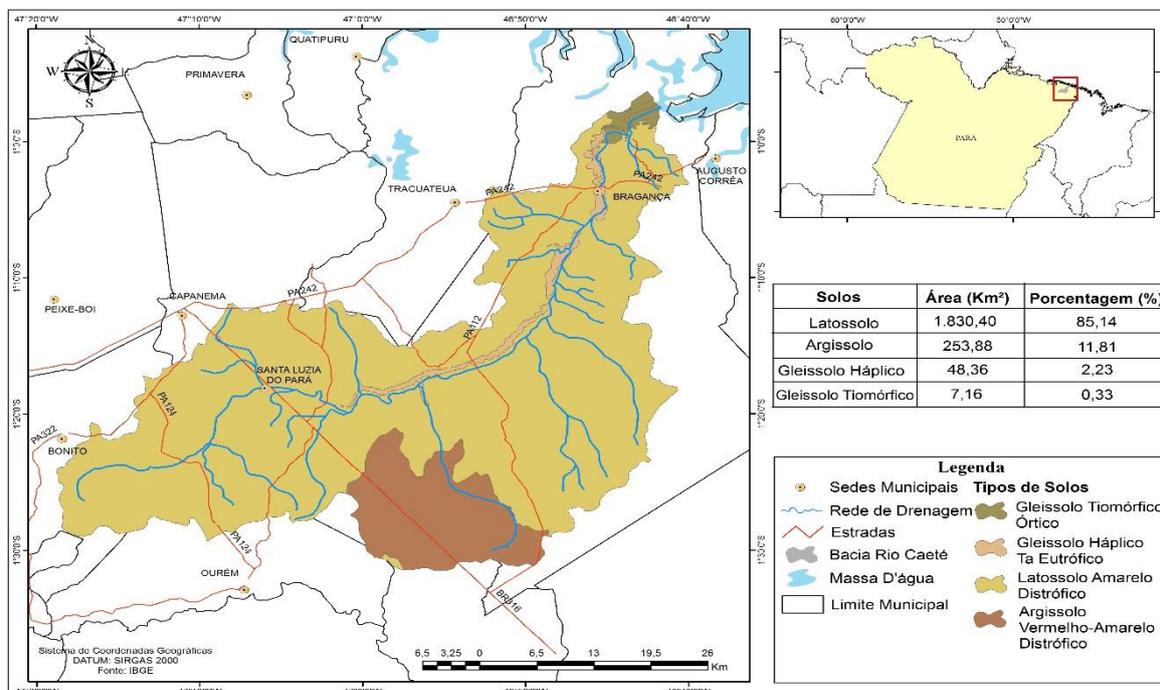
O mapa da figura 4 corresponde aos tipos de solos presentes na bacia hidrográfica do rio Caeté. Silva (2011) explica que a formação dos solos resulta a partir da alteração dos processos físicos e químicos dos minerais que formam as rochas. Os fatores que atuam para a formação dos solos são: o clima, organismos, materiais de origem, relevo e o tempo. A interação desses fatores é que proporciona o surgimento dos solos com características diversas e diferentes graus de evolução.

Figura 3 – Mapa de Declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4 – Mapa de Tipos de Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor.



A classe Latossolo Amarelo Distrófico é predominante na área da bacia, compreendendo com aproximadamente 85,14% da área total. O Latossolo Amarelo é oriundo de material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. O Latossolo Amarelo Distrófico são solos com saturação por bases baixa ($V < 50\%$) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (SANTOS et al., 2006).

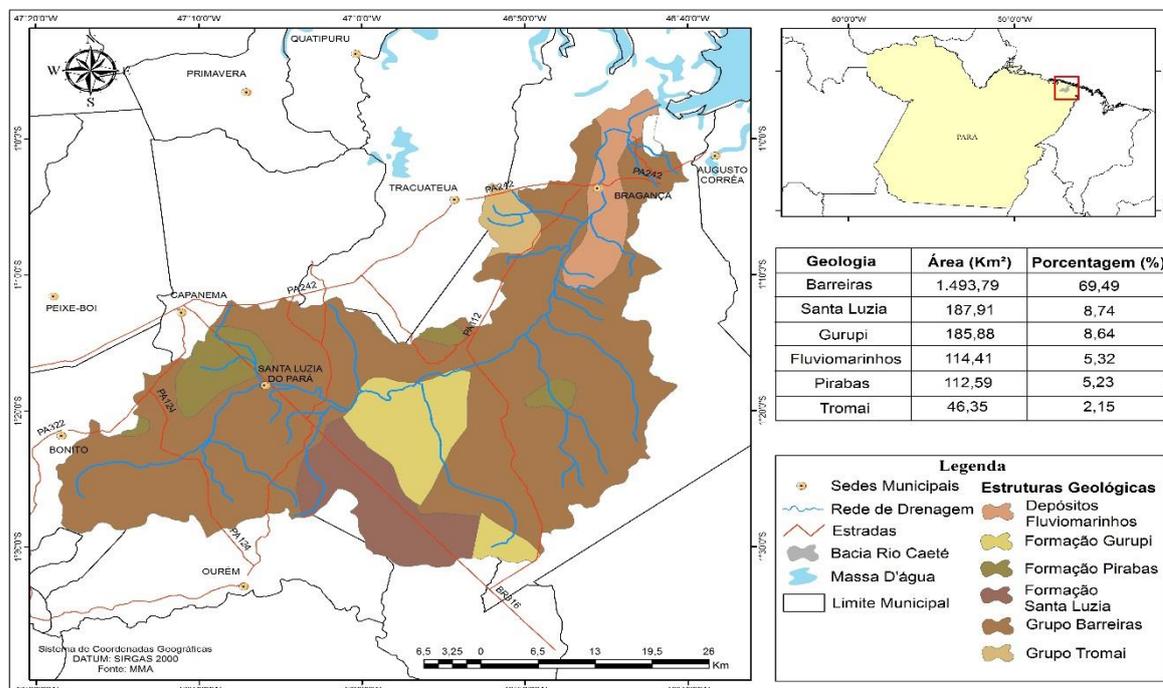
Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B. A fase Argissolo Vermelho-Amarelo, abarcando cerca de 11,81% da área total da bacia, é um tipo de solo de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas demais classes de Argissolos (SANTOS et al., 2006).

Os Gleissolos são caracterizados por suas classes estarem permanente ou periodicamente saturados por água, e são constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E (SANTOS et al., 2006). As classes presentes na bacia do rio Caeté são Gleissolo Háptico Ta Eutrófico abrange aproximadamente 2,23% da área total, e a classe Gleissolo Tiomórfico Órtico compreende aproximadamente 0,33%.

O mapa da figura 5 apresenta a Geologia da bacia hidrográfica do rio Caeté. Percebe-se que a unidade do Grupo Barreiras é predominante na área da bacia, compreendendo aproximadamente 69,49% da área total. O grupo Barreiras é oriundo da divisão da Formação Barreiras que predomina na região do nordeste paraense. Esse grupo é caracterizado pela constituição de camadas argilosas, arenoargilosas, argiloarenosas e arenosas.

A Formação Santa Luzia abrange aproximadamente 8,74%, sendo a segunda maior unidade presente na área total da bacia do rio Caeté. Essa unidade é caracterizada por apresentar depósitos de origem vulcano sedimentar como biotita xisto, muscovita xisto, xistos granatíferos, estauroilita xistos e xistos grafitosos. Em seguida, a Formação Gurupi é a unidade referente aos sedimentos metamórficos, ou seja, de origem metassedimentar como os filitos, ardósias, micaxistos, quartzitos e veios de quartzo com cerca de 8,64%.

Figura 5 – Mapa de Geologia da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor.

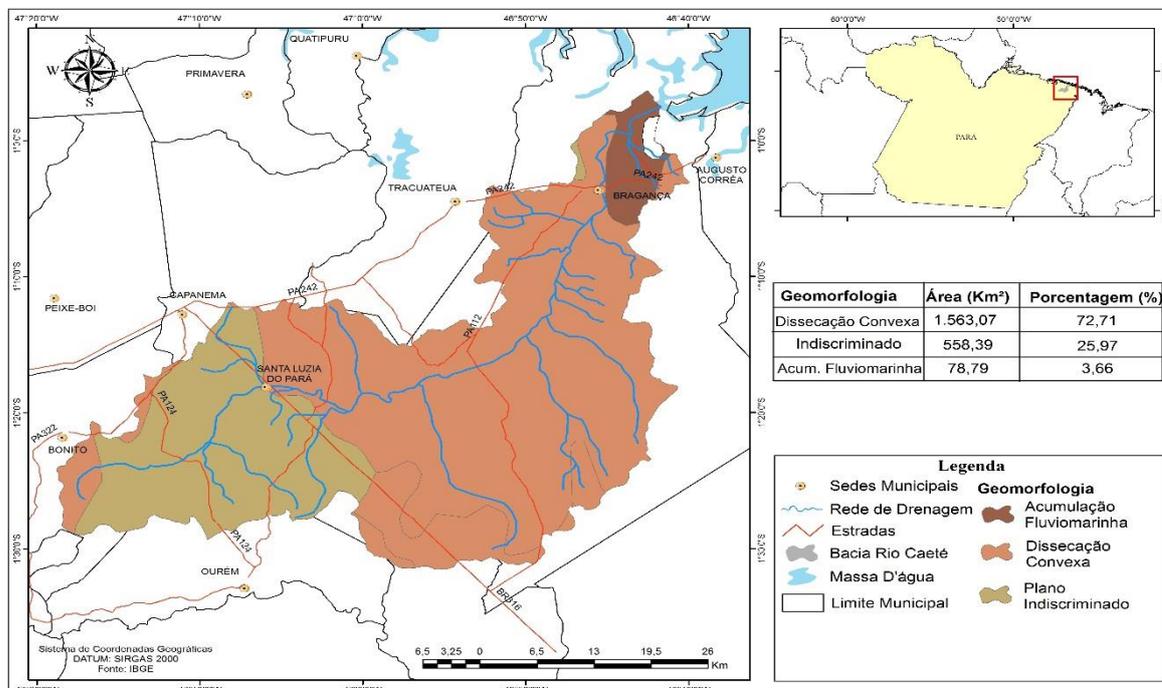
A unidade Depósitos Fluviomarinhos e Marinheiros, de origem sedimentar como areias e cascalhos, compreende aproximadamente 5,32% da bacia.

A unidade Formação Pirabas que corresponde a 5,23% da bacia do rio Caeté, é caracterizada por evidenciar um padrão geral prográdacional do arranjo dos depósitos. As litologias desses depósitos estão relacionadas às gradações laterais e verticais, vinculadas a outros depósitos de sistemas estuarinos como delta de maré, baía/laguna estuarina, planície de maré e mangue (TÁVORA et al., 2010).

E, por último, a unidade do Grupo Tromai, de origem geológica vulcano plutonismo, tendo como exemplo as rochas tonalíticas, somou-se cerca de 2,15% da área total.

O mapa da figura 6 representa a Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Caeté. Percebe-se que a classe Dissecção Convexa é predominante na área da bacia, compreendendo com aproximadamente 68,9% da área total. A classe Plano Indiscriminado vem logo em seguida abarcando com cerca de 22% da área total da bacia. A classe Acumulação Flúviomarinha abrange aproximadamente 8% da área total.

Figura 6 – Mapa de Geomorfologia da Bacia do Rio Caeté.



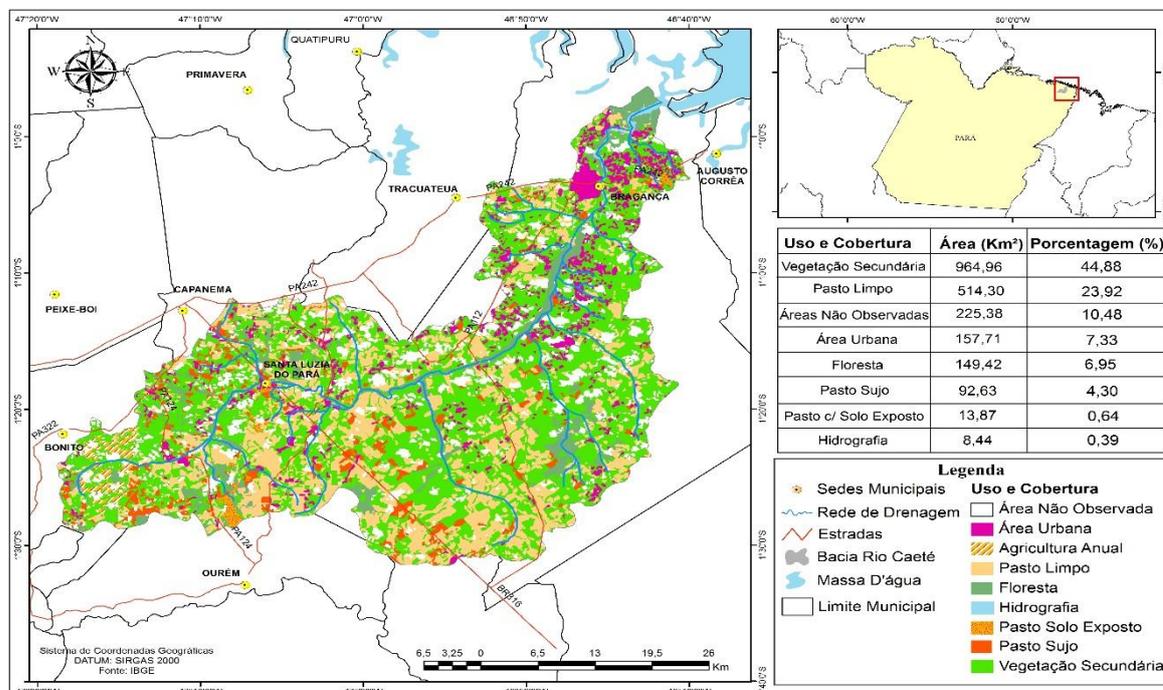
Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia do rio Caeté apresentou uma série de dificuldades de informação devido ao elevado índice de nuvens na região do Nordeste Paraense. Contudo, a figura 7 abaixo apresenta o mapa com as classes temáticas extraídas do projeto TerraClass da área de estudo.

O mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Caeté evidencia o processo de colonização consolidada da área de estudo, pois apresenta a predominância de áreas que já passaram pela retirada da cobertura florestal primária. Dessa forma, a classe de vegetação secundária é responsável por quase metade da área da bacia com 44,88% do total.

As áreas de pastagens são bastante presentes na bacia do rio Caeté, o que acarreta agravos ambientais significativos através da compactação do solo pelo pisoteio do gado, dificultando, assim, o processo de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial e o processo erosivo. Portanto, A classe de pasto limpo é o principal tipo de pastagem presente na área da bacia com 23,92%, seguida pela classe de pasto sujo com 4,30% e pasto com solo exposto com 0,64%.

Figura 7 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um dos maiores obstáculos da utilização de técnicas de sensoriamento remoto no Nordeste Paraense é a elevada presença de nuvens na região, dificultando ou até impossibilitando a identificação das classes de uso e cobertura da terra. A classe de áreas não observadas correspondeu a 10,48% da área total da bacia.

A classe de área urbana corresponde principalmente as sedes municipais presentes dentro do limite da bacia do rio Caeté. Essa classe compreende cerca de 7,33% da área total.

As áreas de florestas estão distribuídas pela bacia em fragmentos. Elas concentram-se, principalmente, na foz e às margens do rio Caeté, sendo quase inexistente nos afluentes. Essa classe é responsável por 6,95% do total da bacia.

Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté

O conhecimento das potencialidades e limitações dos sistemas naturais é fundamental para que as ações antrópicas empreendidas nestes estejam de acordo com suas características, dinâmicas e funcionalidades. Nesse sentido, o mapeamento da fragilidade ambiental a partir

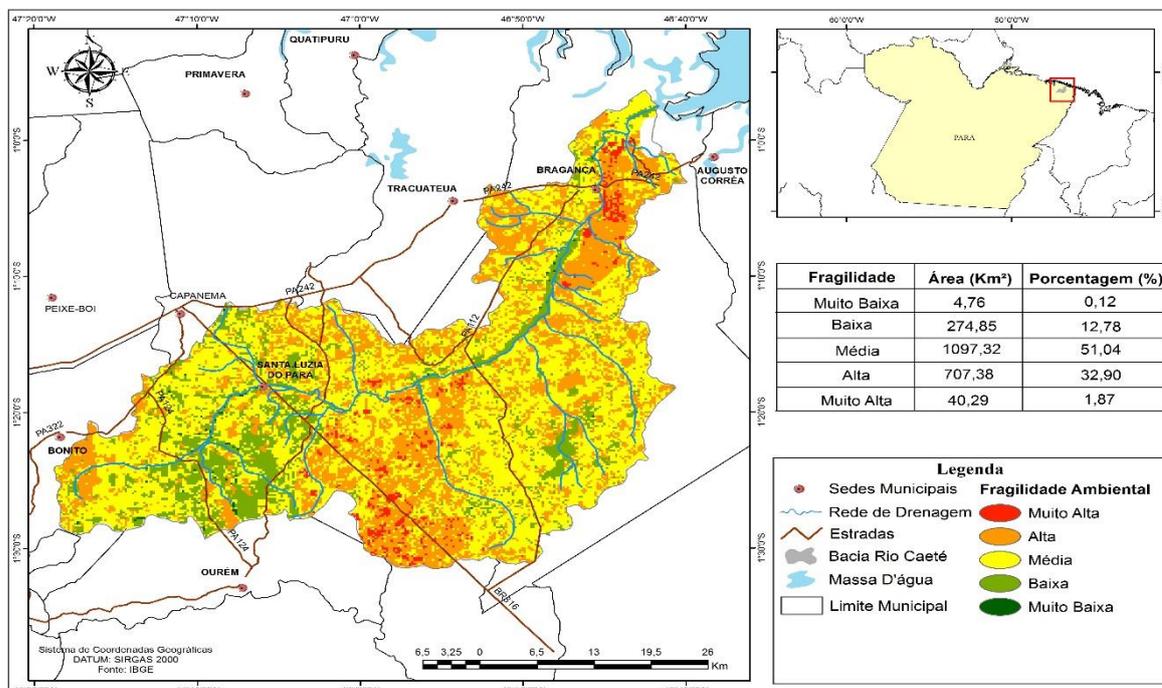
da proposta metodológica desenvolvida por autores como Ross (1994) e Crepani et al. (2001), e adaptadas por outros, é uma ferramenta bastante eficaz na identificação das áreas mais ou menos propensas aos processos dinâmicos presentes na natureza.

A identificação das áreas a partir da proposta cartográfica de estudo da fragilidade ambiental tem como ponto central informar, de forma integrada, as variáveis geoambientais da natureza (ROSS, 1994). Ainda assim, os produtos cartográficos resultantes são ótimos subsídios para as ações de gestão e planejamento:

Esses produtos analíticos e de sínteses, fazem parte da abordagem geográfica dos diagnósticos ambientais, que dão suporte para estabelecer prognósticos sócio-econômicos e ambientais. Tais prognósticos se revelam pela definição de instrumentos de gestão, tais como o estabelecimento de Zoneamento Ecológico-Econômico, legislação específica e sobretudo a determinação de diretrizes gerais e específicas que possibilitam antever e projetar Cenários Prospectivos ou Cenários Futuros (ROSS, 1994, p. 73).

Portanto, compreendida a importância dos estudos dos componentes geoambientais de maneira integrada a figura 8 apresenta o mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Caeté.

Figura 8 – Mapa de Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté.



Fonte: Elaborado pelo autor.



A fragilidade ambiental Média é o nível predominante na bacia do rio Caeté, correspondendo 51,04% da área total. Isso é resultante dos componentes geoambientais da paisagem que contribuem para manter relativa estabilidade frente aos processos morfodinâmicos. Nesse sentido, enfatiza-se o predomínio do latossolo na bacia, que é um tipo de solo bastante resistente ao processo de erosão, bem como da estrutura litológica e geomorfológica da área através da dissecação convexa e o grupo barreiras, materiais moderadamente susceptíveis ao processo erosivo (GORAYEB, 2008).

O nível de fragilidade ambiental Alta na área da bacia do rio Caeté correspondeu 32,90% do total, sendo o segundo nível presente. A fragilidade ambiental Muito Alta abrange 1,87% da área da bacia. Essas classes estão espacializadas, principalmente, nas áreas de cabeceiras dos rios, maiores declives e nas proximidades da foz do rio Caeté. Tal fato é entendido pois as cabeceiras dos rios são as áreas com terreno mais íngreme e maiores altitudes da bacia, o que potencializa o escoamento superficial, estando, dessa forma, mais sujeitas aos processos erosivos. Já as áreas próximas a foz do rio correspondem a um material litológico e geomorfológico mais suscetíveis ao processo erosivo.

Outro componente de suma importância para os resultados obtidos dos elevados níveis de fragilidade ambiental Média e Alta da bacia do rio Caeté é a utilização do uso da terra. As principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia são a pecuária e a agricultura. Essas atividades são responsáveis por provocar a derrubada da cobertura florestal, aliada, também, a ausência de manejo no uso da terra posterior, contribuindo para a perda de solo, que tem como destino o leito do rio Caeté e seus afluentes, causando o assoreamento do leito dos rios (GORAYEB, 2008; COSTA, 2017).

Analisando os parâmetros morfométricos da bacia do rio Caeté, Gorayeb (2008) explica que as características da área da bacia, ou seja, densidade de drenagem baixa, elevado índice de permeabilidade do terreno e a predominância de relevo plano, são favoráveis para infiltração de poluentes, suscetibilidade à erosão e vulnerável à ação antrópica.

Uma informação que pode ser visualizada no mapa de fragilidade ambiental da bacia do rio Caeté é a espacialização dos maiores níveis de fragilidade ambiental concentrados, em sua maioria, no médio e baixo curso do rio Caeté. Isso vai de encontro aos resultados obtidos no diagnóstico ambiental da bacia realizado por Costa (2017), o qual explica que o



assoreamento, advindo do processo erosivo, dos leitos dos rios são mais intensos nesses dois cursos da bacia.

Os níveis de fragilidade ambiental Muito Baixa e Baixa estão espacializados, principalmente, no alto curso da bacia e em determinadas áreas de margem do rio Caeté, correspondendo 0,12% e 12,78%, respectivamente. Alguns fatores contribuíram para esse resultado como a ausência de informações de uso e cobertura da terra e dados geomorfológicos.

A presença na área de componentes geoambientais da paisagem que possuem baixa influência no grau de fragilidade favoreceram para a informação gerada, como a declividade por possuir valores não acentuados e os fragmentos florestais restante na bacia. A cobertura florestal desenvolve papel significativo na proteção do solo dos impactos das gotas de chuva, diminuindo o escoamento superficial e a ocorrência de processos erosivos (GUERRA, 1999).

A área da bacia que não possui informação de fragilidade ambiental é referente aos corpos hídricos, os quais não estavam presentes nos produtos temáticos de geologia e geomorfologia, sendo assim, não foram considerados no processamento do mapa de fragilidade ambiental da bacia do rio Caeté.

Considerações Finais

O resultado do diagnóstico da fragilidade ambiental apresentou o nível predominantemente médio (51,04%), com o nível alto (32,90%) em seguida. Tal resultado decorre da utilização do uso da terra, onde as atividades econômicas desenvolvidas, de maneira não sustentável, impulsionam, juntamente com os componentes naturalmente susceptíveis, a intensificação do processo de fragilidade dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do rio Caeté.

Nesse sentido, frente aos resultados alcançados, se faz urgentemente necessário a recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo do rio Caeté e seus afluentes, visto a função ecológica fundamental estabelecida pelas matas ciliares.

A utilização da bacia hidrográfica como instrumento de análise e unidade de planejamento e gestão ambiental é de suma importância, pois esta consegue abranger os aspectos socioambientais, naturais e econômicos e todas as dinâmicas processuais, funcionais e estruturais que envolvem as unidades geoambientais da paisagem.



Os estudos ambientais são importantes na compreensão sistêmica dos elementos da natureza e as transformações exercidas pela atividade antrópica, estabelecendo, assim, bases sólidas para a fundamentação de ações de planejamento e gestão ambiental.

O diagnóstico da fragilidade ambiental através do mapeamento cartográfico da bacia do rio Caeté demonstra ser uma excelente ferramenta de subsídio para a tomada de decisão que busque prevenir e mitigar impactos socioambientais decorrentes da utilização inapropriada dos recursos naturais. Entretanto, ressalta-se a dificuldade de se obter base de dados na mesma escala de análise para a região.

Nesse sentido, as ferramentas de Geotecnologias apresentam-se como fundamentais para estudos de natureza geoambientais, possibilitando a obtenção da informação espacial das ações impostas nas unidades de paisagem, sendo úteis para ações de planejamento e gestão em diversos aspectos.

Referências Bibliográficas

- BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (org.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil 2004. p. 153 -192.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.; D'ALGE, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001 (on-line, 2a. edição, revista e ampliada).
- COSTA, F. E. V. **Gestão dos Recursos Hídricos do Rio Caeté/Pará – Brasil**. 2017. 313 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília, n. 62, v. 3, p. 505-516, 2010.
- GORAYEB, A. **Análise Integrada da paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Caeté– Amazônia Oriental**. 2008. 204 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.



GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17 – 55.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: Ed. IBGE, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 07 Set. 2017.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TerraClass Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia**. disponível em: <http://www3.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php> acesso em 15 de outubro de 2017.

LEITE, E. F.; ROSA, R.; Análise do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. **Observatorium**, Uberlândia, v. 4, n. 12, p. 90-106, 2012.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7527-base-cartogr>>. Acesso em 18 de outubro de 2017.

OLIVEIRA, R. R. S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N.; LIMA, A. M. M. Dinâmica de uso e cobertura da terra das Regiões de Integração do Araguaia e Tapajós/PA, para os anos de 2008 e 2010. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasília, v. 68, p. 1411-1423, 2016.

OLIVEIRA, R.R.S.; WATRIN, O.S.; VALENTE, M.A.; PIMENTEL, G. M. Análise da vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 4783-4790.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental em bacias hidrográficas. In: Silva, E. V.; Rodriguez, J. M. M.; Meireles, A. J. (Org.). **Planejamento ambiental e bacias hidrográficas Tomo I** Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas. 1 ed. Fortaleza. Ceará: Edições UFC, 2011, v. 1, p. 29-47.



- RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e Gestão Ambiental: Subsídios da Geoecologia das Paisagens e da Teoria Geossistêmica**, 2ª Ed. – Fortaleza: Edições UFC, 2016.
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n° 8, FFLCH/USP, p. 65-76, 1994.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C. & ANJOS, L.H.C. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006.
- SILVA, A. S. da. Solos Urbanos. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 280 p.
- SILVA, M. E. P. et al. **Diagnóstico e Planejamento de Desenvolvimento do Território Rural do Nordeste Paraense**. Capanema: Fundação Sócio-Ambiental do Nordeste Paraense - FANEP, 2006.
- SILVA, R.C. S. **Aplicação dos Métodos Geofísicos Elétrico e Eletromagnético na Determinação de Unidades Sedimentares Costeiras Tropicais em Bragança, Nordeste do Pará**. 63 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. **GEOUSP: Espaço e Tempo**. n. 15, p. 39-49, 2004.
- TÁVORA, V. A.; SANTOS, A. A. R.; ARAÚJO, R. N. Localidades fossilíferas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.**, Belém, v. 5, n. 2, p. 207-224, 2010.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Unidades Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 23, p. 267-287, 2012.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.