

Fragilidade Ambiental da Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas (SRHI)

Environmental Fragility of the Itacaiúnas Hydrographic Sub-Region (SRHI)

Fragilidad Ambiental de la Sub-Región Hidrográfica de Itacaiúnas (SRHI)

Recebido: 22/02/2021 | Revisado: 26/02/2021 | Aceito: 08/03/2021 | Publicado: 14/03/2021

Kelvis Nunes da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1085-5494>
Universidade do Estado do Pará, Brasil
E-mail: kelvisnunesilva@gmail.com

Eduarda Costa Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9094-1151>
Universidade do Estado do Pará, Brasil
E-mail: eduardacostaferreira5@gmail.com

Glauber Epfanio Loureiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0801-5296>
Universidade Federal do Pará, Brasil
E-mail: epfanio@uepa.br

Resumo

A Sub-Região hidrográfica Itacaiúnas apresenta modificações significativas ao longo dos anos, devido à substituição de áreas florestais por pastagem, o que torna o território vulnerável e com altos potenciais de fragilidade ambiental. O presente estudo tem por objetivo analisar a dinâmica da fragilidade ambiental da Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas (SRHI) para fins de planejamento ambiental. A pesquisa baseou-se na utilização do sensoriamento remoto para levantamento das variáveis e a atribuição de pesos para elaboração de mapas de fragilidade relacionados às classes de declividade, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo ao longo dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2018. Os resultados indicaram que as condições humanas depreciam as condições naturais, uma vez que a classe muito baixa de fragilidade que ocupava 46,9% da área total em 1985 foi substituída pela classe média e passou a ocupar 48,6% no ano 2018, com isso, observou-se que a Bacia do Rio Parauapebas (BRP) apresentou maior grau de fragilidade, enquanto que a Bacia do Rio Catete (BRC), Bacia do Rio Sororó (BRS) e Bacia do Rio Vermelho (BRV) mostraram-se menos frágeis, indicando ser a principal mudança na SRHI. Nesse sentido, conclui-se que a área em estudo se mostrou vulnerável com relação à ecodinâmica por apresentarem grau de fragilidade média em sua maioria, o que mostra a necessidade de melhorias no que tange ao planejamento ambiental.

Palavras-chave: Planejamento ambiental; Degradação; Vulnerabilidade.

Abstract

The Itacaiúnas hydrographic sub-region has undergone significant changes over the years, due to the replacement of forest areas by pasture, which makes the territory vulnerable and with high potential for environmental fragility. This study aims to analyze the dynamics of environmental fragility of the Itacaiúnas Hydrographic Sub-Region (SRHI) for purposes of environmental planning. The research was based on the use of remote sensing to survey the variables and the allocation of weights for the elaboration of fragility maps related to the classes of slope, pedology, geomorphology and land use and occupation over the years 1985, 1995, 2005 and 2018. The results indicated that human conditions depreciate natural conditions, since the very low class of fragility occupied 46.9% of the total area in 1985 was replaced by the middle class and started to occupy 48.6% in 2018. Thus, it was observed that the Parauapebas River Basin (BRP) showed a higher degree of fragility, while the Catete River Basin (BRC) Sororó River Basin (BRS) and Rio Vermelho Basin (BRV) were less fragile, indicating to be the main change in SRHI. In this sense, it is concluded that the area under study was shown to be vulnerable in relation to ecodynamics, as it presents a medium degree of fragility in its majority, which shows the need for improvements in terms of environmental planning.

Keywords: Environmental planning; Degradation; Vulnerability.

Resumen

La subregión hidrográfica de Itacaiúnas ha experimentado cambios importantes a lo largo de los años, debido a la sustitución de áreas forestales por pastizales, lo que hace que el territorio sea vulnerable y con alto potencial de fragilidad ambiental. Este estudio tiene como objetivo analizar la dinámica de la fragilidad ambiental en la Subregión Hidrográfica de Itacaiúnas (SRHI) con fines de planificación ambiental. La investigación se basó en el uso de la teledetección para relevar las variables y la asignación de pesos para la elaboración de mapas de fragilidad relacionados con las clases de pendiente, pedología, geomorfología y uso y ocupación del suelo durante los años

1985, 1995, 2005 y 2018. Los resultados indicaron que las condiciones humanas deprecian las condiciones naturales, ya que la clase muy baja de fragilidad ocupaba el 46,9% del área total en 1985 fue reemplazada por la clase media y pasó a ocupar el 48,6% en 2018. Así, se observó que el río Parauapebas La cuenca (BRP) mostró un mayor grado de fragilidad, mientras que la cuenca del río Catete (BRC), la cuenca del río Sororó (BRS) y la cuenca del río Vermelho (BRV) fueron menos frágiles, lo que indica ser el principal cambio en la SRHI. En este sentido, se concluye que el área en estudio se mostró vulnerable en relación a la ecodinámica, ya que presenta un grado medio de fragilidad en su mayoría, lo que evidencia la necesidad de mejoras en términos de planificación ambiental.

Palabras clave: Planificación ambiental; Degradación; Vulnerabilidad.

1. Introdução

As modificações na cobertura do solo da região Amazônica têm ocorrido de forma ativa ao longo dos últimos anos, em virtude da substituição de áreas de floresta por pastagem, além da exploração dos recursos naturais que são fatores concomitantes para a redução do recurso (Delazeri, 2016). De acordo com Vieira; Santos Júnior e Toledo (2014) a floresta amazônica possui a maior extensão de florestas tropicais e biodiversidade do mundo, todavia as ações antrópicas causam vulnerabilidade ambiental na região, visto que são áreas sujeitas a impactos causados pela retirada da vegetação.

Dessa maneira, é notório que as intervenções humanas alteram significativamente o equilíbrio natural e a dinâmica do ambiente, com isso, pesquisadores buscam mecanismos que relacionam a causa e efeito dos impactos ambientais ocorrentes pelas formas de uso nessas áreas que causam consequentemente a fragilidade ambiental (Adami et al., 2015).

Para Milanezi e Pereira (2016) a fragilidade ambiental está associada ao maior ou menor grau de vulnerabilidade de uma determinada área, bem como a susceptibilidade de um ambiente em sofrer danos quando submetida a uma ação, sendo assim, o mapeamento é um processo de distribuição espacial, temporal e social utilizado como subsídio de análise dos impactos, bem como auxiliar no planejamento ambiental.

O estudo da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas é necessário para o levantamento das condições de uso ou de preservação do meio, levando em conta as características do meio, sendo assim, a fragilidade pode ser usada como mecanismo de planejamento, tanto a nível regional quanto local. Portanto, o uso dessa tecnologia se torna essencial para órgãos públicos, pequenos e grandes proprietários rurais ou empresas voltadas para o planejamento e avaliação de impactos ambientais (Valle; Francelino; Pinheiro, 2016).

Diante desse cenário, as técnicas de geoprocessamento se mostram eficientes para classificar uma área quanto ao uso e ocupação do solo, visto que são ferramentas que facilitam na observação das modificações das características naturais do ambiente, além de possibilitar o entendimento das possíveis causas e efeitos (Valadares, 2017). Portanto, as ações humanas são consideradas fatores externos de ocorrência não natural, que através das ferramentas de geoprocessamento torna-se possível a análise do nível de degradação produzido, com isso, a aplicação de estudos de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas, torna-se ferramenta necessária para a avaliação dos impactos.

Segundo Spörl e Ross (2004) a bacia hidrográfica é como uma unidade de manejo ambiental, em virtude de apresentar características como relevo, tipo de solo e geologia que associados, se convertem em um atributo denominado fragilidade natural. Nesse sentido, o planejamento ambiental e a análise da fragilidade ambiental estão associados diretamente às características naturais do meio, considerando principalmente a geomorfologia, pedologia, clima, uso do solo e a cobertura vegetal, com o objetivo de intensificar e viabilizar o gerenciamento ambiental (Ross, 2012).

Nessa perspectiva, a SRHI é uma Unidade de Planejamento da Região Hidrográfica Tocantins Araguaia, localizada no Estado do Pará, sendo o Rio Itacaiúnas o seu maior tributário devido aos municípios de Marabá e Parauapebas que são os mais importantes da Região Sudeste Paraense. A sub-região em estudo está situada em área de transição entre o bioma Cerrado e Amazônia e constam mudanças no uso da terra em razão da substituição de áreas florestais por atividades agropecuárias e mineração, que associados a outras atividades provocam desequilíbrio do regime hidrológico, que são fatores preponderantes

para o aumento da temperatura, aumento das vazões anuais e degradação do solo (Souza-Filho et al., 2016).

O estudo da SRHI é essencial, em virtude da mesma apresentar múltiplas formas de uso dos seus recursos. Dessa forma, segundo IBGE (2018) atualmente a área de drenagem da sub-região é de aproximadamente 42.000 km², abrigando 11 municípios que estão inseridos em toda a bacia, o que contribui para que o Produto Interno Bruto (PIB) seja de aproximadamente 270 bilhões de reais, através de atividades de pecuária, mineração, indústrias como, por exemplo, a siderúrgica, que fortalece o mercado e usufrui do recurso da bacia.

De acordo com Souza-Filho et al., (2015) a SRHI apresenta um contexto parecido à outras bacias da Amazônia em relação a remoção da vegetação para a inserção de pasto e com relação as atividades minerárias, uma vez que é uma região rica em ferro dentre outros minerais, contudo a região tem se mostrado fragilizada com essas ações. A Província Mineral de Carajás é uma das maiores do mundo e atua constantemente dentro da região, além disso, existem unidades de conservação e terras indígenas que necessitam de proteção quanto às ações antrópicas.

Nesse sentido, para fins de planejamento o levantamento de características físicas e antrópicas da SRHI são fundamentais para expor à sociedade e órgãos ambientais as potencialidades e fragilidades da localidade, uma vez que são áreas que necessitam de apoio da sociedade e dos órgãos ambientais para que políticas públicas no que tange aos planos e programas de proteção ambiental sejam inseridas na região, a fim de minimizar as causas e efeitos das ações humanas sobre a região.

2. Fundamentos Teóricos

2.1 Planejamento ambiental em bacias hidrográficas

O planejamento ambiental é um instrumento que auxilia na gestão e na organização de bacias hidrográficas, além de viabilizar em estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável no que tange aos recursos naturais, visto que o recurso seja usufruído em concordância com a sua capacidade de suporte (Farias; Silva; Nascimento, 2015).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRS) propõe melhorias nas formas de uso, aproveitamento e gestão hídrica, nesse segmento, ações voltadas ao gerenciamento e melhoria no que diz respeito ao aproveitamento dos recursos hídricos estão sendo desenvolvidos, primeiramente em estância federal e em seguida com a criação de novos instrumentos no âmbito estadual e municipal (Brasil, 1997).

O Planejamento Ambiental corresponde à organização de atividades, afim de que se alcancem comuns objetivos, uma vez que os impactos negativos ao meio ambiente resultantes sejam minimizados e que os impactos positivos sejam maximizados. O planejamento deve acontecer em todas as atividades, visto que para a obtenção de bons resultados, faz-se necessário que se elabore planos de melhoria, dado que se encontrem diretrizes para corrigir as lacunas improdutivas de um determinado trabalho e assim adquirir o desenvolvimento sustentável como produto final das atividades (Pires et al., 2012).

O planejamento ambiental em bacias hidrográficas é uma estratégia para buscar o gerenciamento de um determinado espaço territorial. Com isso, a inserção do planejamento em bacias deve ser sistematizada através de um conjunto de indicadores de diferentes áreas temáticas, pautado principalmente na avaliação da dinâmica ambiental e territorial da área de abrangência da localidade. Nesse segmento, pretende-se de maneira conectada e preditiva minimizar conflitos socioambientais ao propor formas de uso e ocupação compatíveis com as potencialidades e limitações da localidade, além de apontar ações que promovam a recuperação, preservação, conservação e manejo dos ecossistemas naturais, com vista à melhoria da qualidade de vida da sociedade (Soares et al., 2016).

Segundo Leal (2012) o planejamento de uma bacia é uma metodologia necessária para evitar a degradação dos recursos hídricos, dado que ações como a proteção da vegetação do entorno, ocupação do solo de forma adequada, são fatores que refletem diretamente na proteção dos recursos hídricos de maneira quali-quantitativa. Nessa conjuntura, pode-se inferir que

o planejamento além de ser necessário é considerado elemento básico para a elaboração de programas de cunho social e econômico.

2.2 Fragilidade ambiental

Segundo a metodologia de Ross (1994) a fragilidade ambiental caracteriza-se pelo estudo de áreas naturais e antropizadas e a sua modificação ao longo do tempo. A partir de análises do estrato geográfico e seus elementos como, declividade, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo, pode-se obter um diagnóstico eficiente de diferentes níveis de fragilidade ambiental ou vulnerabilidade do meio.

De acordo com Oliveira et al., (2010) a metodologia de Ross (1994) busca entender o estado de equilíbrio e desequilíbrio em que o meio ambiente fora submetido, para isso de forma sistemática e objetiva realizou uma hierarquia nominal da fragilidade, visto que é representada pelos pesos: Muito fraca (1), Fraca (2), Média (3), Alta (4) e Muito alta (5). Nesse sentido, o autor menciona que a fragilidade é correspondente à vulnerabilidade do solo a erosões, ou seja, o grau de erodibilidade do meio, uma vez que são fatores que estão diretamente ligados aos atributos físicos e químicos do solo.

Sendo assim, de acordo com Silva; Santos, Leal (2016) a elaboração dos mapas temáticos faz-se necessário para simplificar a observação da situação da atual da área e assim definir o grau de fragilidade ambiental das classes de declividade, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo e posteriormente atribuir os pesos, como mencionados acima para cada classe representada.

Portanto, mapear a fragilidade ambiental do meio é um método eficaz para o planejamento ambiental, uma vez que auxilia nas formas adequadas de uso do solo de acordo com o tipo de ambiente, afim de que haja a minimização potencial dos impactos. (Oliveira; Rodrigues, Rodrigues, 2008).

Nessa perspectiva, o estudo da fragilidade em bacias hidrográficas é importante, pois são áreas que possuem maior sensibilidade frente aos impactos antrópicos e naturais. A bacia hidrográfica possui diversos tipos de recursos, que se não utilizados adequadamente podem gerar danos ao restante da cadeia que sobrevive com o uso desses recursos (Franco et al., 2012; Queiroz Júnior et al., 2015).

Segundo Ross (1994) as bacias hidrográficas passam por transformações constantemente devido às ações antrópicas, com isso a metodologia de seu estudo tem por objetivo estudar esses ambientes naturais antropizados e analisar sua dinâmica através da fotointerpretação de dados captados por satélites. Essa metodologia pode direcionar para uma pesquisa integrada dos elementos componentes do estrato geográfico, como por exemplo, relevo, geologia, geomorfologia, clima e cobertura vegetal. Nesse contexto, o autor afirma que o tratamento desses elementos proporciona o diagnóstico da fragilidade ambiental em bacias.

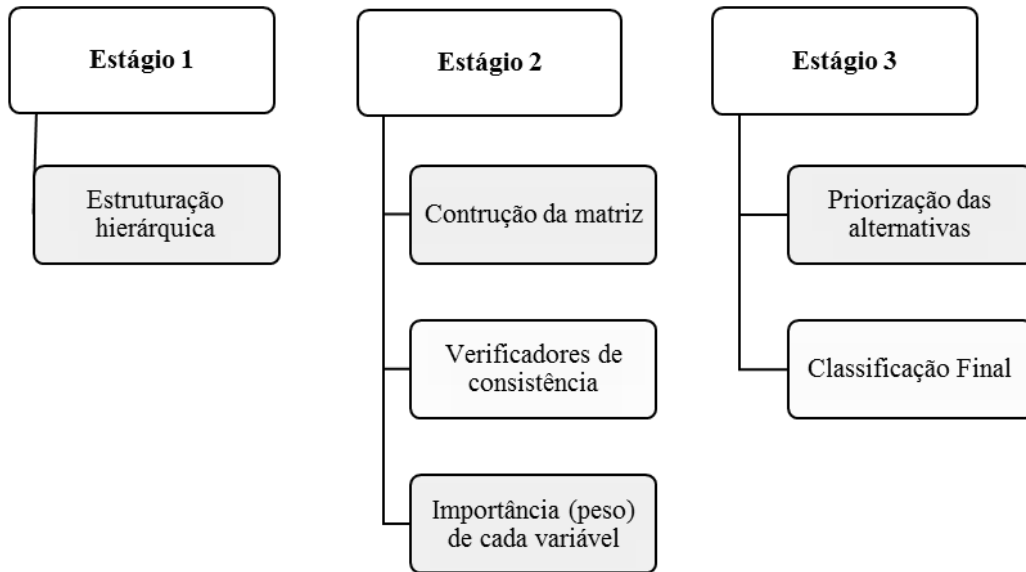
Para Gomes (2013) a metodologia proposta por Ross é relevante ao planejamento ambiental, uma vez que identifica os impactos e suas respectivas causas e fornece melhorias na definição das diretrizes e ações que necessitam ser implementadas no espaço físico e territorial, dado que é o passo inicial para o zoneamento e gestão do território.

2.3 Processo Analítico Hierárquico (AHP) como ferramenta de suporte

Segundo Raffo (2012) o Analytic Hierarchy Process (AHP) foi desenvolvido por Thomas L. Saaty ao longo da década de 1970. A metodologia matemática tem por finalidade criar uma hierarquia como suporte decisão, afim de que de maneira qualitativa seja possível avaliar a interação entre diversas variáveis a serem estudadas. O método utilizado em diversas áreas do conhecimento apresenta níveis de importância que auxiliam na visão global referente aos processos. Para isso, faz-se necessário a elaboração de planilhas e matrizes de comparação e atribuição de pesos, para que então de forma simples sejam ponderados.

De acordo com Pinese Júnior e Rodrigues (2012) a metodologia AHP é eficiente, uma vez que de forma categórica faz comparação entre variáveis do estudo e aponta as influências exercidas em cada variável com relação aos processos. Com relação aos estudos ambientais, o método apresenta desempenho favorável, devido dar a possibilidade de comparação de um número elevado de variáveis. Para os autores, a metodologia é dividida em seis etapas que podem ser agrupadas em três estágios como mostra a Figura 1.

Figura 1. Representação dos estágios do método AHP.



Fonte: Silva e Nunes (2009).

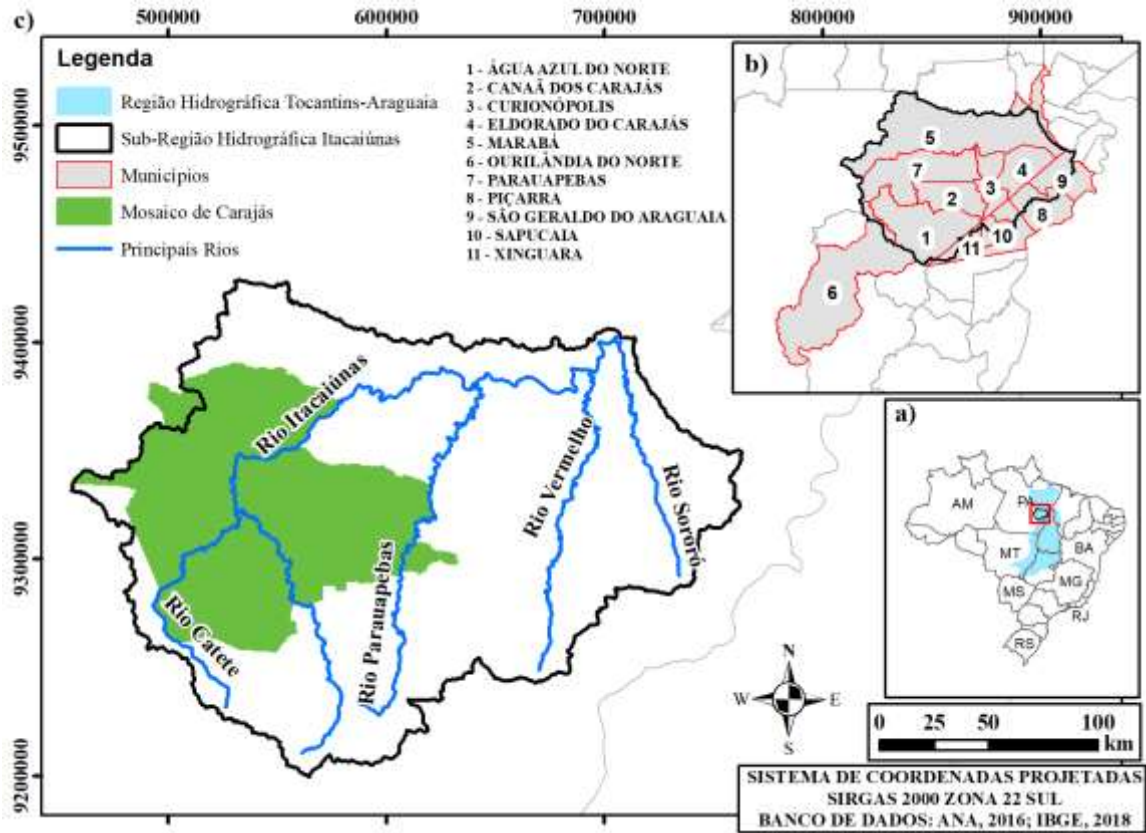
3. Material e Métodos

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende à Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas (SRHI) localizada no Estado do Pará, pertencente à Região Hidrográfica Tocantins Araguaia (RHTA) (Figura 2a) que possui como efluente o rio Tocantins. Para fins de planejamento, essas regiões são definidas como Unidades de Planejamento Hídrico (UPH), desta forma a SRHI apresenta uma delimitação única, tanto a nível estadual quanto a nível federal (ANA, 2008).

A SRHI está localizada abaixo da linha do equador, visto que a área pertence à região do arco do desmatamento no bioma Amazônico, uma vez que possui uma área de drenagem de aproximadamente 41.300 km². A área é delimitada por meio das coordenadas geográficas 05°10' a 07°15' S latitude e 48°37' a 51°25' W longitude. O perímetro da unidade de planejamento em estudo intercede 11 municípios (Figura 1b) em que 6 deles possuem centros urbanos inseridos na área com um total de 700.000 habitantes e com produto interno bruto (PIB) de 270 bilhões de reais (IBGE, 2018).

Figura 2. Mapa de localização: A) Região hidrográfica Tocantins-Araguaia; b) Municípios que interseccionam a Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas – SRHI; c) Principais efluentes da SRHI.



Fonte: Autores (2020).

A UPH Itacaiúnas é marcada pela Serra dos Carajás com faixa de altitude de 400 a 900 metros e possui uma altitude mínima de 80 metros. A bacia apresenta cobertura de vegetação limitada com floresta tropical e savana, enquanto que a pastagem atualmente ocupa a maior parte da paisagem. Além disso, existem Unidades de Conservação (UC's) e terras indígenas conhecidas como Mosaico de Carajás (Figura 01c) que ocupam 11.700 km² da área total da bacia (Souza-Filho et al., 2016).

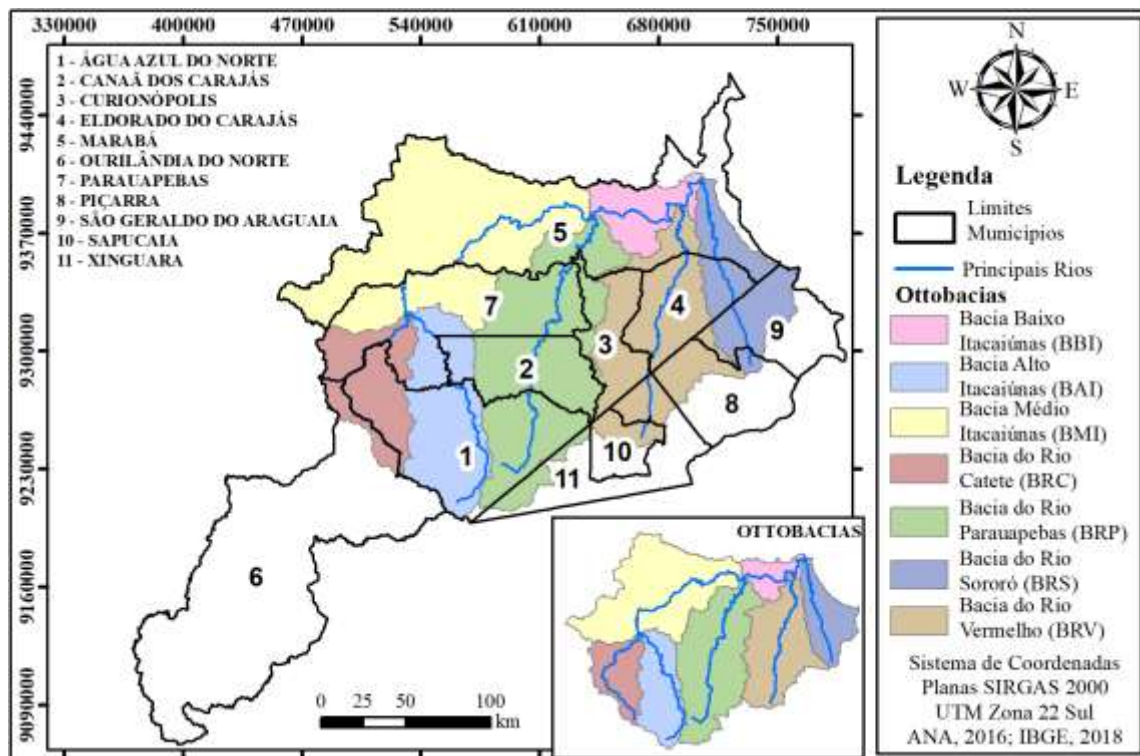
A região foi coberta originalmente pela floresta amazônica e dispõe de clima de monções com períodos chuvosos bem definidos (novembro a maio) e secas (junho a outubro) (Alvares et al., 2013). A Precipitação média local é de 1550 mm na estação chuvosa e 350 mm na estação seca (Moraes et al., 2005).

A economia da região baseia-se na exploração mineral e pecuária extensiva, além de pequenos núcleos de extração florestal e assentamentos característicos de agricultura familiar (Pontes; Cavalcante; Sahoo, 2019). A produção bovina na região em 2017 é de aproximadamente 6.157.000 cabeças distribuídas nos onze municípios segundo dados fornecidos pelo (IBGE, 2017). A exploração de minério de ferro no complexo de Carajás produz cerca de 250 toneladas por ano, visto que a Estrada de Ferro Carajás liga a maior mina de ferro a céu aberto ao Porto de Ponta Madeira em São Luís (MA), além de realizarem transporte de passageiros (Vale, 2019).

A Agência Nacional de Águas disponibiliza delimitações hidrográficas obtidas através do método de otto Pfafstetter proposto por Pfafstetter (1989). Nesse sentido, as bacias hidrográficas são distribuídas com base nos trechos de drenagem obtidas por meio de mapeamento planialtimétrico, com isso, dados de área de drenagem são disponibilizados com delimitação de macro (nível 1) à micro (nível 6) conhecidas como ottobacias.

Como forma de auxiliar na interpretação dos resultados e localizar as variáveis, foram utilizadas as ottobacias nível 4 (ANA, 2017) e recortadas para o perímetro da SRHI, com isso pode-se observar sete bacias referentes a cada rio principal, sendo elas: Baixo Itacaiúnas (BBI), Médio Itacaiúnas (BMI), Alto Itacaiúnas (BAI), Bacia do Rio Sororó (BRS), Bacia do Rio Vermelho (BRV), Bacia do Rio Parauapebas (BRP) e Bacia do Rio Catete (BRC). Nesse segmento, ainda para fins de interpretação espacial dos resultados, além das ottobacias foram adotados os municípios que intercedem e influenciam na ecodinâmica das ottobacias da Sub-Região Hidrográfica do Itacaiúnas (SRHI). A Figura 3 expõe os limites das sub-bacias juntamente com os municípios da região.

Figura 3. Delimitação das Ottobacias e Municípios da SRHI.



Fonte: Autores (2020).

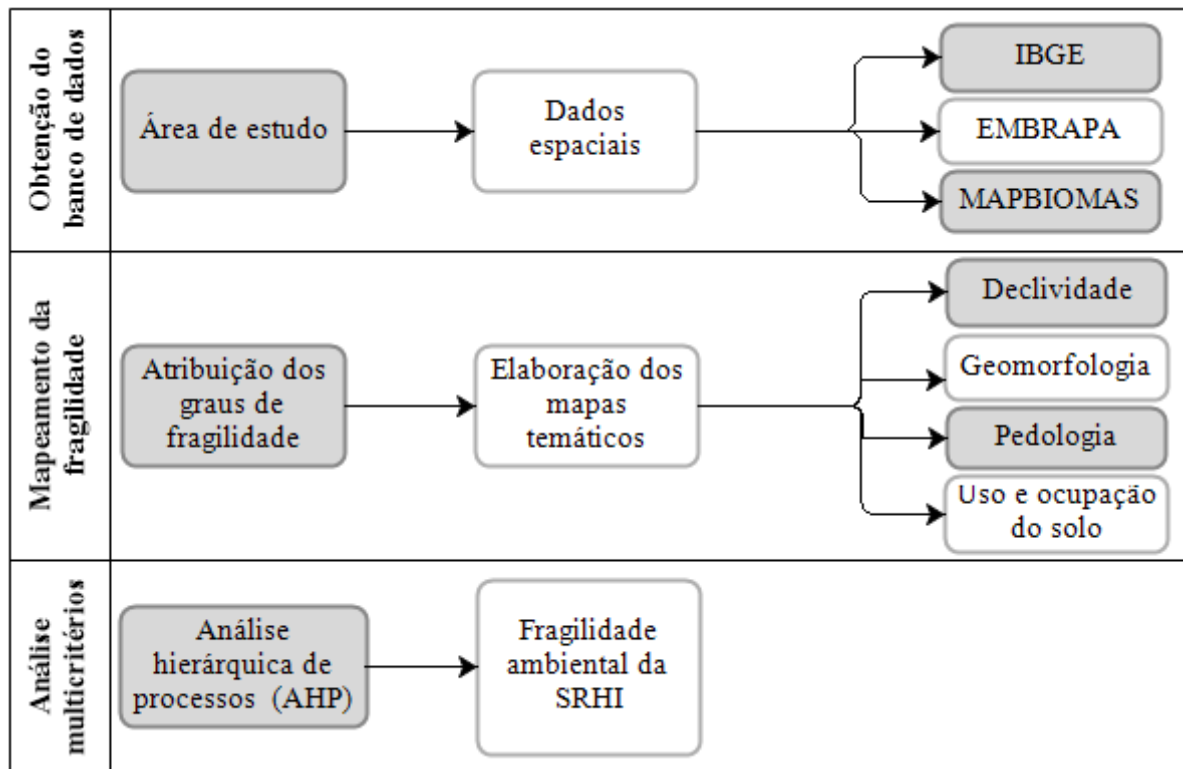
3.2 Procedimentos metodológicos

A metodologia adotada para a elaboração desse estudo foi aplicada, observacional e dedutiva. No que tange aos objetivos realizou-se uma pesquisa exploratória sintetizada (Prodanov; Freitas, 2013). Quanto aos procedimentos técnicos efetuou-se o levantamento bibliográfico e documental para compor a fundamentação teórica através da avaliação de periódicos e mapas relacionados à problemática, com o intuito de construir novas hipóteses sobre a área de estudo.

Nesse segmento, quanto à forma de abordagem, utilizou-se o método quali-quantitativo, posto que o estudo visa primeiramente atentar-se à qualidade em relação as características da área, para que posteriormente seja expressado de forma quantitativa os resultados obtidos com a aplicação da metodologia (Pereira et al., 2018). Para isso, a pesquisa acontece de maneira retrospectiva quanto ao desenvolvimento no tempo, visto que o estudo visa abordar fatos passados e realinhar aos fatos ocorrentes na atualidade.

A pesquisa desenvolveu-se em três fases, na primeira fase realizou-se a obtenção de dados, posteriormente efetuou-se o mapeamento da fragilidade de cada variável e a análise de multicritério para elaboração do mapa de fragilidade ambiental da SRHI. A Figura 4 ilustra o esquema dos processos adotados.

Figura 4. Etapas metodológicas do estudo.



Fonte: Autores (2020).

3.2.1 Obtenção do banco de dados

As variáveis utilizadas nesta pesquisa para a elaboração dos mapas de fragilidade e uso e ocupação do solo foram adaptadas do estudo de Ross (1994). Os fatores pedologia, declividade e geomorfologia utilizados para a obtenção da fragilidade foram evidenciados por (Oliveira; Rodrigues; Rodrigues, 2008) e (Campos et al., 2019).

Para a elaboração da declividade utilizou-se imagens Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) que são disponibilizadas através da plataforma da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pelo projeto Brasil em Relevo com resolução de 90 metros, uma vez que as imagens são processadas e corrigidas devidamente pela empresa (Miranda, 2005).

No que tange a pedologia e geomorfologia os arquivos vetoriais foram adquiridos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:500.000 e posteriormente foram recortadas, de maneira que as feições abrangessem ao perímetro da área de estudo (IBGE, 2018).

No que concerne ao uso e ocupação do solo, utilizou-se a Plataforma do Projeto Mapbiomas que tem como objetivo o mapeamento anual da superfície do solo a nível nacional. A plataforma dispõe de arquivos de imagens rasters com resolução dos pixels em 30 metros e os valores dos mesmos compreendem-se a uma classe de cobertura e uso do solo já estabelecido pelo algoritmo do projeto (MapBiomias, 2019).

3.2.2 Análise das variáveis e mapeamento da fragilidade

Para a elaboração dos mapas de fragilidade de cada variável, utilizou-se as classificações propostas pela metodologia de Ross (1994), que concerne cinco graus de fragilidade (1 à 5), uma vez que o numeral 1 corresponde as classes muito baixas e o numeral 5 diz respeito às localidades com um valor muito alto de fragilidade em relação à característica das classes. Nesse segmento, as variáveis foram analisadas individualmente (Tabela 1), e posteriormente foram gerados arquivos *rasters*

reclassificados.

Tabela 1. Classes das variáveis e seus respectivos graus de fragilidade.

Variáveis	Classes	Fragilidade
Declividade	0-6%	1 - Muito Baixa
	6-12%	2 - Baixa
	12-20%	3 - Média
	20-30%	4 - Alta
	>30%	5 - Muito Alta
Geomorfologia	Depressão do Baixo Rio Araguaia	1 - Muito Baixa
	Depressão da Amazônia Meridional	2 - Baixa
	Patamar de Marabá	3 - Média
	Planaltos Residuais do Sul da Amazônia	4 - Alta
	Serras do Sul do Pará	5 - Muito Alta
Pedologia	Latossolos: vermelho-amarelo (LVAd), Vermelho distrófico (LVd), amarelo distrófico (LAd)	1 - Muito Baixa
	Argissolo vermelho-amarelo (PVAd)	2 - Baixa
	Argissolo vermelho estrófico (PVe)	3 - Média
	Nitossolo vermelho estrófico (NVe)	4 - Alta
	Neossolos: quartzarênicos órtico (RQo), litólico distrófico (RLd). Plintossolos Pétrico concrecionário (FFc)	5 - Muito Alta
Uso e Ocupação do solo	Formação Florestal	1 - Muito Baixa
	Formação Savânica e Floresta Plantada	2 - Baixa
	Cultura Anual e Perene, Formação Campestre e Outras Formações Naturais não Florestais	3 - Média
	Pastagem	4 - Alta
	Mineração e Infraestrutura Urbana	5 - Muito Alta

Fonte: adaptado de Crepani et al., (2001) e Ross (1994).

De acordo com a Tabela 1 as categorias de uso do solo definidas para a fotointerpretação foram: formação florestal, formação savânica, floresta plantada, cultura anual e perene, formação campestre, outras formações naturais não florestais, pastagem, mineração e infraestrutura urbana.

Considera-se que as classes correspondentes à formação florestal possuem um grau de fragilidade muito baixa (1), pois proporcionam proteção elevada ao impacto das chuvas erosivas devido apresentarem alta cobertura vegetal e todos os remanescentes de vegetação nativa.

A formação savânica predomina naturalmente espécies arbóreas de pequeno porte em sua vegetação, além de vegetação de dossel semi-contínuo em que seu grau de fragilidade é Baixa (2) devido proporcionar um grau de proteção relevante aos efeitos da erodibilidade juntamente com a floresta plantada. A Cultura anual e perene são consideradas áreas predominantemente ocupadas com cultivos anuais como da cana de açúcar. As formações campestres são vegetações com predomínio de espécies herbáceas e possuem vulnerabilidade à inundação, por isso, podem ser classificadas como Média (3) por apresentar maior grau de fragilidade em relação às variáveis anteriores.

As áreas de pastagem, naturais ou plantadas, estão vinculadas a atividade agropecuária o que reflete em fragilidade Alta (4) aos processos erosivos. Já as áreas de mineração são localidades que apresentam extração mineral de grande porte, havendo clara exposição do solo por ação de maquinário pesado, o que a torna muito frágil (5) conforme é abordado por Ross (1994, 2012).

Na reclassificação da declividade, utilizou-se critérios estabelecidos por Ross (1994), que áreas planas são consideradas menos suscetíveis à degradação natural ou antrópica e áreas com inclinações elevadas tendem a possuir um elevado potencial de degradação. Com isso, Ross (1994) estabelece que valores de declividade sejam demonstrados de forma que, 0-6% seja muito baixa, 6-12% baixa, 12-20% média, 20-30% alta e maior que 30% muito alta.

O fator geomorfologia apresenta cinco classes, visto que os valores de fragilidade foram atribuídos com base no tipo

de relevo e na amplitude altimétrica, sendo assim, quanto maior for o valor de amplitude, maior será a energia potencial, ou seja, ações intempéricas são fatores que culminam para a conversão da energia potencial em energia cinética, com isso, maior será o arraste superficial, situações essas que aumentam a vulnerabilidade e degradação local (Crepani et al., 2001).

A atribuição de valores quanto à pedologia ocorreu através da metodologia de Ross (1994), em que a textura é o principal fator para determinação da fragilidade do tipo de solo. Os latossolos (LVAd, LVD e LAd) apresentam textura argilosa que variam de alta até muito alta, com isso tendem a ser menos vulneráveis à degradação, enquanto que o Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc) apresenta textura cascalhenta, o que a torna mais frágil à degradação. As representações das siglas estão de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solo segundo (IBGE, 2007).

3.2.3 Análise multicritério

Para a obtenção da fragilidade ambiental da SRHI, utilizou-se como critério de tomada de decisão a análise hierárquica de processos (AHP) (Saaty, 1980). As variáveis utilizadas como critérios de comparação em pares foram: declividade, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo.

Nesse segmento, as variáveis mencionadas anteriormente foram submetidas a julgamentos de maior grau de importância em relação à outra com embasamentos técnicos científicos que se basearam nos estudos de Ross (1994, 2012) e Crepani et al., (2001). Os valores de importância atribuídas para cada variável intercalam entre 1 para as menos importantes e 9 para as de maiores importâncias, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Escala Saaty de intensidade de importância do método AHP.

Intensidade de importância	Definição	Julgamento
1	Igual importância	Ambos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderada importância	Importância ligeiramente maior que o outro.
5	Forte importância	Claramente mais favorável que o outro.
7	Muito forte importância	Muito mais favorável em detrimento de outro; demonstrado na prática.
9	Absoluta importância	A maior importância dada em relação ao outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamento	Possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: adaptado de Pinese Júnior e Rodrigues (2012).

A partir da intensidade de importância, elaborou-se através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) a matriz de interação em relação os critérios adotados (Tabela 3), em seguida os dados foram processados por meio do ESRI (2010) por meio de algoritmos desenvolvidos para o método AHP conforme Marinone (2004) foram obtidos os pesos para cada variável em estudo (Tabela 4).

Tabela 3. Matriz de interação de importâncias pareadas.

Critérios	Declividade	Pedologia	Geomorfologia	Uso e ocupação do solo
Declividade	1	3	3	1/5
Pedologia	1/3	1	2	1/3
Geomorfologia	1/3	1/2	1	1/3
Uso e ocupação do solo	2	3	3	1

Fonte: Autores (2020).

Os valores inteiros representam a relação de importância em relação as variáveis e comparada. E de maneira contrária os valores fracionados representa a importância contrária definida por Saaty (1980) com o mesmo peso porem com importância contrária em relação a sua variável comparada.

Tabela 4. Peso das variáveis pelo método AHP.

Critérios	Pesos
Declividade	0,309
Pedologia	0,150
Geomorfologia	0,105
Uso e ocupação do solo	0,435

Fonte: Autores (2020).

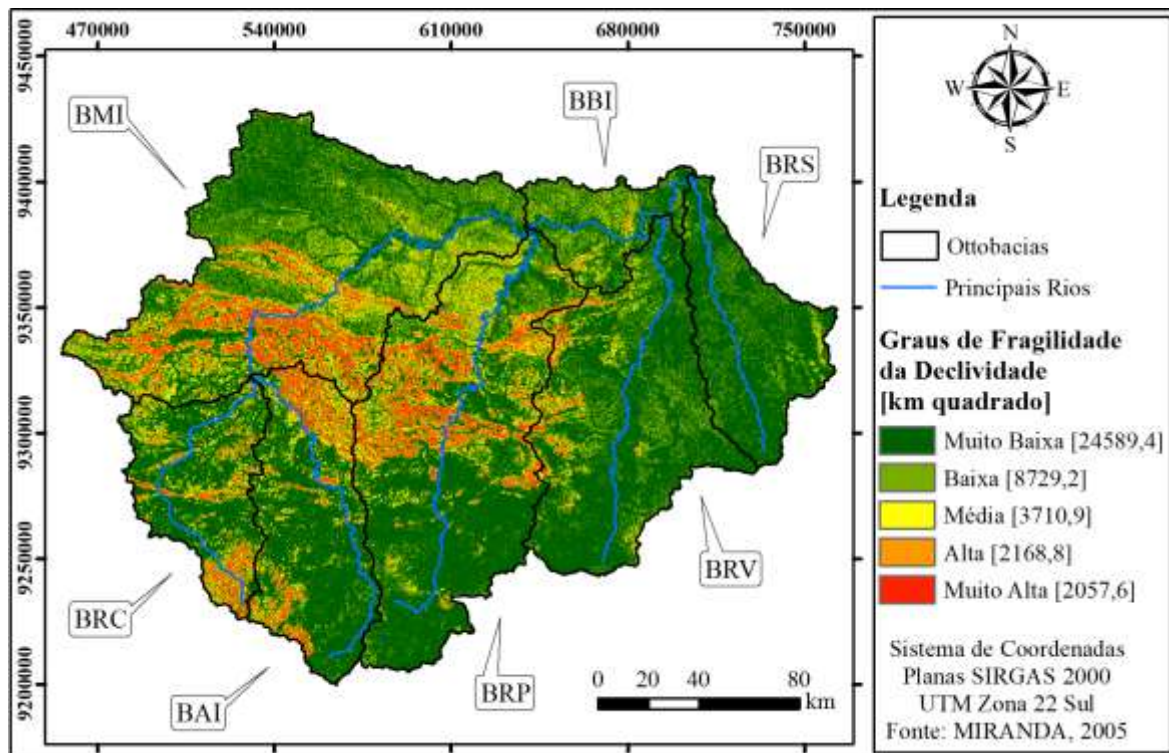
Nessa perspectiva, para a geração do mapa de fragilidade ambiental efetuou-se a média ponderada do grau de fragilidade e o peso de cada variável através do programa ESRI (2010).

4. Resultados e Discussão

4.1 Declividade

O grau de fragilidade potencial muito baixo é predominante na região da SRHI com (59%) seguido do baixo grau de fragilidade (21,1%), média (8,9%), alta (5,2%) e muito alta (4,9%).

Figura 5. Mapa de fragilidade com base na declividade.



(BBI) Bacia do Baixo Itacaiúnas; (BMI) Bacia do Médio Itacaiúnas; (BAI) Bacia do Alto Itacaiúnas; (BRS) Bacia do Rio Sororó; (BRV) Bacia do Rio Vermelho; (BRP) Bacia do Rio Parauapebas; (BRC) Bacia do Rio Catete.
Fonte: Autores (2020).

Com isso, pode se observar na Figura 5 que as classes de maior fragilidade estão situadas nas maiores cotas da bacia hidrográfica onde é caracterizada a região da Serra dos Carajás, entre a BRP, BAI e BMI. Essa região conta com Unidades de Conservação que apresentam flora e fauna diversificada, uma vez que é fator concomitante para a conservação da área em relação à degradação potencial intensificada pela declividade. Há também pequena fração pertencente ao município de Ourilândia do Norte situado ao sul da BRC e BAI onde a declividade frágil é observada.

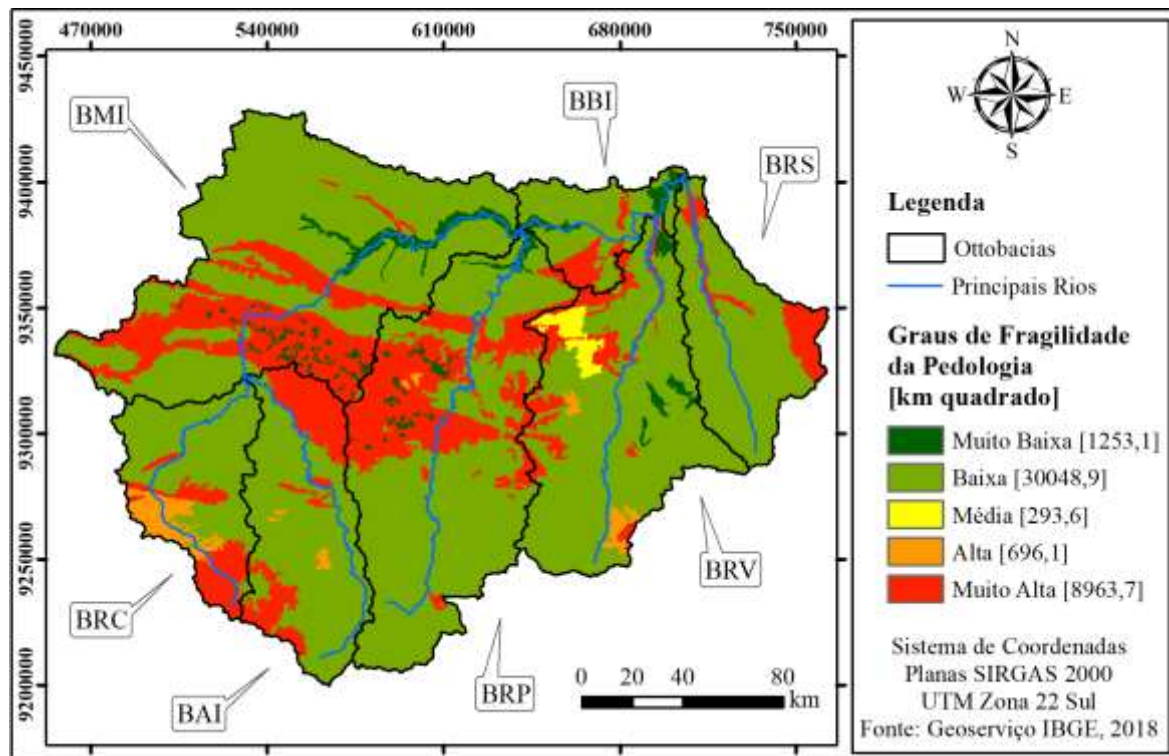
As regiões ao redor dessa alta declividade se tornam sujeitas ao maior depósito de sedimento devido ao arraste superficial intensificado pela declividade nas cotas superiores. Com isso, o uso do solo pode intensificar esse fenômeno caso a atividade degradante seja praticada sobre áreas com características de alto declive.

Em contrapartida, a BRV e a BRS com seus respectivos principais municípios Curionópolis e Eldorado do Carajás, são as regiões que apresentaram menor grau de declividade. Nessa conjuntura, com base na variável declividade essas situações podem ocorrer em virtude de serem áreas em que o terreno possui baixos índices de declive que possibilitam as práticas agrícolas com baixo desgaste por carregamento de massa e escoamento superficial, diferentemente de áreas onde as angulações elevadas proporcionam o contrário.

4.2 Pedologia

Com base na textura e na estrutura do solo as áreas de maior grau de fragilidade (21,7% da área total da bacia) estão, em sua maioria, no perímetro da Serra dos Carajás e nos divisores topográficos da BRV. Nesse sentido, as classes de baixa fragilidade apresentaram maior abrangência ao ocupar 70% de todo o território da SRHI (Figura 6).

Figura 6. Mapa de fragilidade com base na pedologia.



(BBI) Bacia do Baixo Itacaiúnas; (BMI) Bacia do Médio Itacaiúnas; (BAI) Bacia do Alto Itacaiúnas; (BRS) Bacia do Rio Sororó; (BRV) Bacia do Rio Vermelho; (BRP) Bacia do Rio Parauapebas; (BRC) Bacia do Rio Catete.
Fonte: Autores (2020).

A figura acima apresenta as dimensões espaciais dos graus de fragilidade, em que é possível observar que as regiões centrais apresentam elevados graus quanto a pedologia, portanto é notório o contraste dessas localidades com as áreas nas proximidades que apresentam baixos graus de fragilidade e que intercedem todas as ottobacias.

A predominância do solo Latossolos: vermelho-amarelo (LVAd), Vermelho distrófico (LVd), amarelo distrófico (LAd) que segundo Ross (1994) é considerado de muito baixa fragilidade e caracteriza-se pela alta fertilidade e melhor dinamismo em relação a absorção e retenção de água, sem ocasionar desmembramentos entre parcelas do mesmo solo.

Sendo assim, diferentemente dos solos mencionados anteriormente, os Neossolos: quartzarênicos órtico (RQo), litólico distrófico (RLd). Plintossolos Pétrico concrecionário (FFc) apresentam baixas densidades de argila e pequenos fragmentos de rocha com granulometria elevada, o que ocasiona na rápida infiltração sem a retenção na sua própria estrutura e consequentemente maior facilidade em desmembrar-se, o que facilita no arraste para cotas menores.

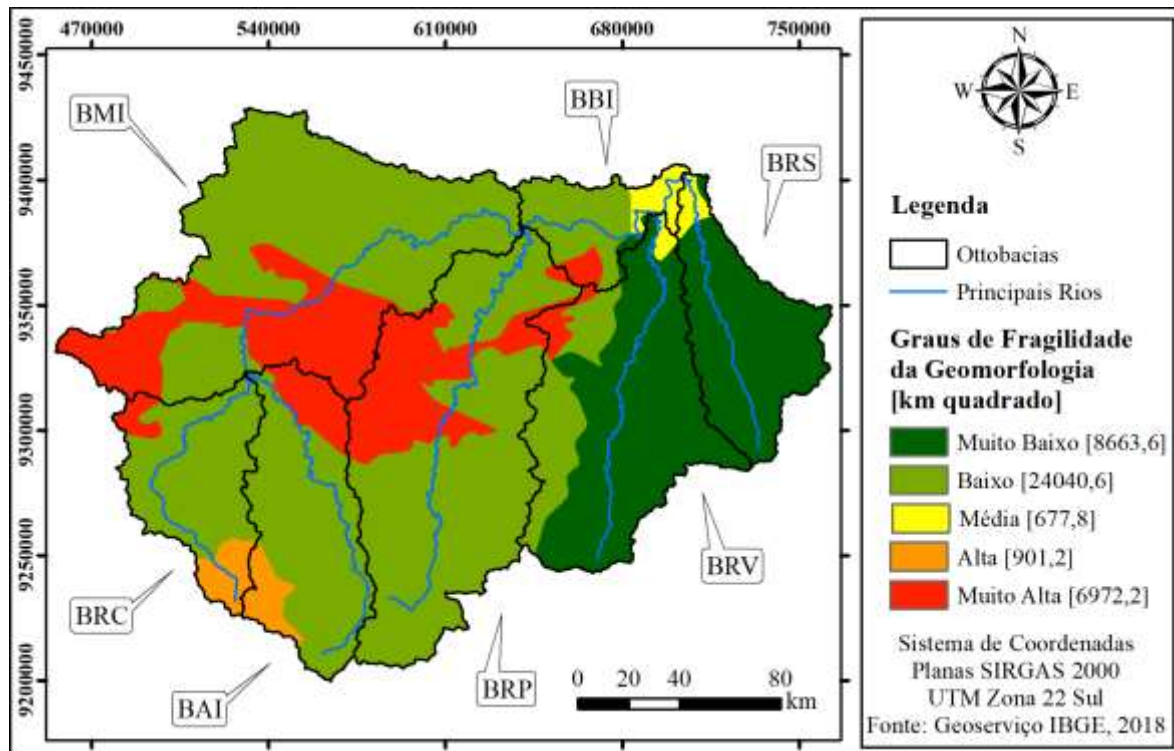
Para Farinasso et al., (2006) locais onde o Argissolo é predominante são característicos por deter alta capacidade em sofrer erosões, uma vez que as texturas mais argilosas são responsáveis pela maleabilidade elevada e consequentemente se mostram mais suscetíveis ao deslocamento, sendo assim, para a prevenção do surgimento de erosões faz-se necessário a adoção de técnicas conservacionistas, a fim de minimizar a intensidade e consequências de impactos concomitantes à fragilidade ambiental.

É válido ressaltar que o tipo de solo pode apresentar diferentes comportamentos em relação à sua composição estrutural e textura, uma vez que houve ações antrópicas sobre o mesmo. Com isso, as alternâncias entre estudos da superfície em ambientes naturais não antropizados devem ser analisados separadamente de uma área onde há ações de degradação como agricultura ou pecuária. Portanto assume que essa análise de solo está relacionada a potenciais degradações uma vez identificadas a situação atual do ambiente (Rodrigues et al., 2018).

4.3 Geomorfologia

As classes apresentaram em seu relevo determinada amplitude altimétrica segundo a tabela de atributos das feições de geomorfologia. Com isso, a fragilidade considerada muito alta se estende em sua maioria em torno da BMI, BBI e BRP (16% da área total da bacia). Em contrapartida a região aos arredores e a maior parcela da bacia são caracterizados com baixa fragilidade geomorfológica (58,3%) (Figura 7).

Figura 7. Mapa de fragilidade com base na geomorfologia.



(BBI) Bacia do Baixo Itacaiúnas; (BMI) Bacia do Médio Itacaiúnas; (BAI) Bacia do Alto Itacaiúnas; (BRS) Bacia do Rio Sororó; (BRV) Bacia do Rio Vermelho; (BRP) Bacia do Rio Parauapebas; (BRC) Bacia do Rio Catete.
Fonte: Autores (2020).

Nesse sentido, através do mapa de geomorfologia observa-se os cinco níveis de fragilidade na área de estudo, com isso, a região referente à Depressão do Baixo Rio Araguaia apresentou fragilidade muito baixa (21%) com longos domínios aplainados e baixa amplitude altimétrica, essa classe é pertencente às BRV e BRS. Todavia, constatou-se que a classe média equivale a 1,6% da área total, que está localizada à jusante do rio principal próximo ao centro urbano do município de Marabá, região essa caracterizada pelo relevo sedimentar sobreposto e suscetível à depreciação através de atividades intensivas.

Em contrapartida, a classe alta ocupou 2,2% da região à montante da BRC, pequena parcela do município de Ourilândia do Norte, enquanto que a classe muito alta (16,9%) caracteriza as Serras do Sul do Pará com rochas expostas e passíveis de deterioração e difícil fixação do solo, com destaque ao município de Parauapebas que está situado em sua maioria na classe muito alta.

4.4 Uso e ocupação do solo

Em relação às classes de uso e ocupação do solo, destacam-se a formação florestal e a pastagem como mostra a Tabela 5. Nessa perspectiva, observa-se que o crescimento da pastagem substituiu linearmente a formação florestal.

Tabela 5. Tipos de cobertura e uso do solo nos períodos observados na SRHI.

Classes	1985		1995		2005		2018	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Formação Florestal	36298,3	87,985	28794,0	69,795	21069,7	51,072	17380,9	42,130
Formação Savânica	13,7	0,033	19,4	0,047	13,4	0,032	1,3	0,003
Floresta Plantada	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,4	0,001
Formação Campestre	8,3	0,020	10,4	0,025	28,7	0,070	0,2	0,001
Outra Formação Natural não Florestal	388,4	0,941	232,7	0,564	393,2	0,953	242,1	0,587
Pastagem	4505,2	10,920	12100,1	29,330	19621,8	47,562	23328,1	56,546
Cultura Anual e Perene	0,0	0,000	0,0	0,000	12,3	0,030	17,5	0,042
Infraestrutura Urbana	16,5	0,040	16,1	0,039	33,1	0,080	128,6	0,312
Mineração	0,2	0,001	3,6	0,009	8,8	0,021	24,4	0,059
Rio, Lago e Oceano	24,6	0,060	78,8	0,191	74,0	0,179	131,3	0,318

Fonte: Autores (2020).

Nesse sentido na Tabela 5, pode-se observar que os crescimentos na infraestrutura urbana e na mineração apresentam grande impacto no solo, uma vez que essas práticas corroboram para a exposição do solo à degradação, contudo ambas as ações não podem ser representadas visualmente devido à extensão territorial da Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas, porém são acrescidas aos cálculos de fragilidade.

A substituição da floresta por pastagem está ligada diretamente a atividades de pecuária extensiva e progressiva com avanços anuais à medida que a demanda por espaço é solicitada pelo aumento do rebanho. Souza-Filho (2015) ao analisar a dinâmica do uso e ocupação do solo da mesma região de estudo, observou os valores parecidos em que a floresta natural é substituída em aproximadamente 40% pela classe de pastagem entre os anos de 1984 a 2013.

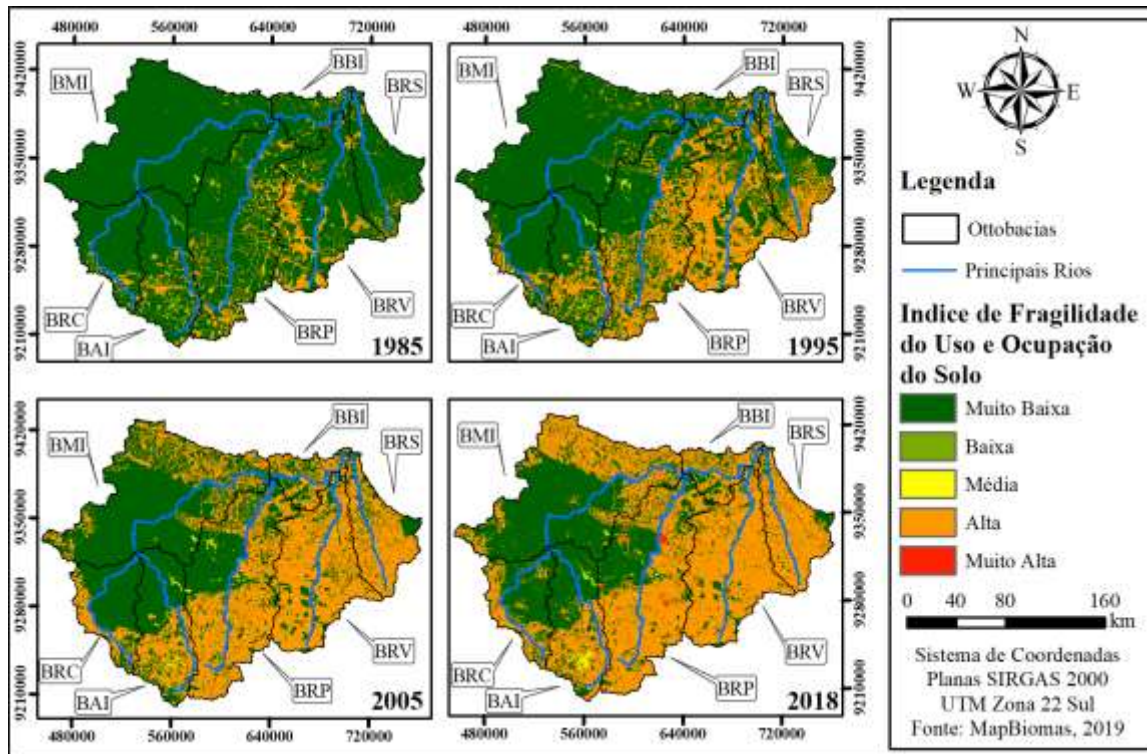
Barber et al., (2014) observou em seu estudo que o principal intensificador do desflorestamento na Amazônia está relacionado ao acesso dos interiores das florestas, tais como estradas, rodovias e rios navegáveis que intensificam a exploração e exportação dos produtos. Contudo, as áreas que ocorrem maior parte da substituição da vegetação por pastagem estão relacionadas preferencialmente à grandes proprietários com fazendas maiores de 500 hectares, uma vez que o sistema de criação de animais na região é considerado extensiva (Godar et al., 2014).

Souza-Filho (2015) com o estudo temporal de uso e ocupação do solo na SRHI constatou-se que a antropização foi expressiva, porém há baixo contraste entre as classes de mineração, urbanização e vegetação savânica em relação as classes de floresta e pastagem. Além disso, observou-se que as áreas já com pastagem nos anos iniciais da pesquisa permaneceram a mesma (10,9% da área total), ou seja, não houve mudanças no uso do solo de pastagem para outra formação vegetal, porém houve conversão de formação florestal para pastagem.

Nesse contexto, a dinâmica temporal da fragilidade do uso e ocupação do solo na SRHI se destaca pela mudança da

classe muito baixa para alta de fragilidade.

Figura 8. Análise temporal da fragilidade do uso e ocupação do solo.



(BBI) Bacia do Baixo Itacaiúnas; (BMI) Bacia do Médio Itacaiúnas; (BAI) Bacia do Alto Itacaiúnas; (BRS) Bacia do Rio Sororó; (BRV) Bacia do Rio Vermelho; (BRP) Bacia do Rio Parauapebas; (BRC) Bacia do Rio Catete.
Fonte: Autores (2020).

Na Figura 8 é possível visualizar que toda a região ao entorno das Unidades de Conservação sofreu em sua maioria, com a mudança do potencial de fragilidade e a BRV é a mais influenciada por essa variável, uma vez que é submetida aos processos antrópicos com a substituição da vegetação pela pastagem desde o início do estudo.

A dinâmica do uso e ocupação do solo no local proporcionou crescimento de 10,9% em 1985 para 56,5% em 2018 no índice de fragilidade alta e um declínio de 88% em 1985 para 42,4% em 2018. Todavia, a fragilidade muito alta também aumentou de 0,04% no início da pesquisa para 0,37% no ano de 2018, já que o uso do solo caracterizado exposto também aumentou com o crescimento das cidades e das áreas voltadas à mineração.

Com base no exposto, nota-se que todas as sub-bacias sofreram mudanças em relação ao grau de fragilidade, visto que inicialmente obtinham um índice de fragilidade muito baixa e transformaram-se em alta, contudo as mais afetadas foram as que não possuem mecanismos de proteção da vegetação. As BMI, BAI, BRC e BRP são as que possuem densas formações florestais, uma vez que as demais regiões apresentam antropização por pastagem, o que pode caracterizá-las como alta fragilidade em relação ao uso do solo.

A fragilidade média localizada nas BRP, BAI e BMI permaneceram praticamente constantes no decorrer dos anos, porém as áreas com graus de fragilidade muito alta aumentaram devido às infraestruturas urbanas e a classe de mineração, principalmente na BRP onde a prática integrada entre exploração de recursos e a preservação aos redores é adotada.

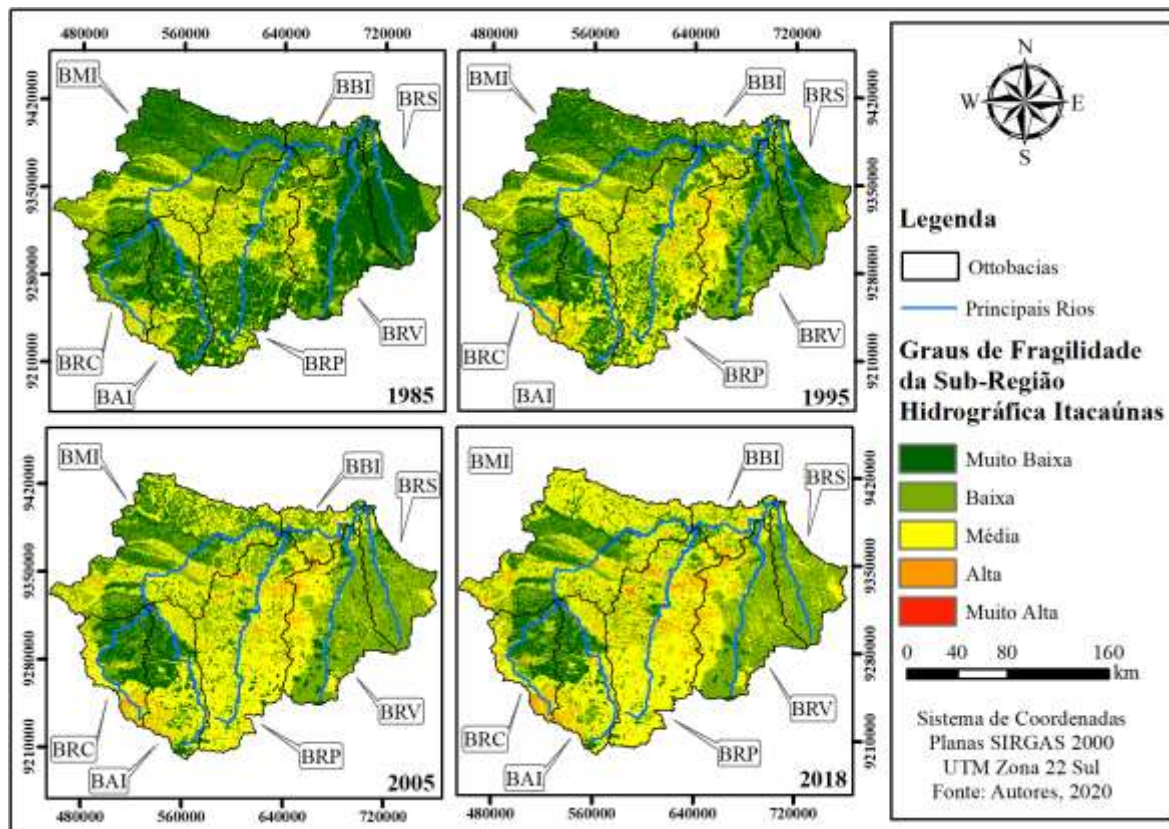
Nessa perspectiva, Souza-Filho (2016) destaca que a SRHI apresenta duas vertentes em relação ao uso e ocupação do solo, uma delas é a relação entre as unidades de proteção e a mineração, em que a parceria com as instituições pública-privada podem proporcionar a exploração no perímetro das unidades de conservação, enquanto que a segunda vertente está relacionada

ao aumento da pastagem devido o desflorestamento. Com isso, a fragilidade no que concerne a essa variável se torna dinâmica, e contrasta por exemplo, as zonas de mineração em meio a formação florestal e pastagem que contornam os perímetros florestais.

4.5 Fragilidade ambiental temporal

A partir dos pesos obtidos através do método AHP e a média ponderada entre as variáveis declividade, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo, obteve-se a fragilidade ambiental da SRHI para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2018 como mostra a Figura 9.

Figura 9. Análise temporal das classes de fragilidade da SRHI.



(BBI) Bacia do Baixo Itacaiúnas; (BMI) Bacia do Médio Itacaiúnas; (BAI) Bacia do Alto Itacaiúnas; (BRS) Bacia do Rio Sororó; (BRV) Bacia do Rio Vermelho; (BRP) Bacia do Rio Parauapebas; (BRC) Bacia do Rio Catete.
Fonte: Autores (2020).

Nesse sentido, pode-se observar que a classe muito baixa de fragilidade que ocupava 46,9% da área total em 1985 foi substituída para a classe média e passou a ocupar 48,6% no ano 2018, indicando ser a principal mudança na SRHI, e a Tabela 6 abaixo representa os valores de áreas e porcentagem que após a quantificação das áreas de cada grau de fragilidade.

Tabela 6. Quantificação das classes de fragilidade ambiental ao decorrer dos anos analisados.

Fragilidade Ambiental	1985		1995		2005		2018	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Muito baixa	19345,0	46,9	13820,0	33,5	8694,0	21,1	6630,0	16,1
Baixa	13639,0	33,1	14299,0	34,7	13805,0	33,5	12973,0	31,5
Média	7940,0	19,3	12347,0	30,0	17581,0	42,7	20045,0	48,6
Alta	278,0	0,7	709,0	1,7	1080,0	2,6	1454,0	3,5
Muito alta	9,0	>0,0	36,0	0,1	51,0	0,1	109,0	0,3

Fonte: Autores (2020).

De acordo com o exposto acima nota-se que as áreas de fragilidade muito alta ocupavam menos que 0,03% do total da bacia no primeiro ano de estudo, porém, nos últimos anos passou a ocupar 0,3% da área total. Mediante a esses fatores, considera-se os valores muito baixos em relação a toda extensão da bacia, fator este que está relacionado principalmente às regiões com altos índices de declividade, formas de uso do solo, além da infraestrutura urbana e atividades de mineração.

O principal município da BRP é Parauapebas, e se mostra a localidade mais frágil de acordo com a Figura 9, visto que apresenta mudanças expressivas entre os anos de 1995 e 2005. Através das informações obtidas, observa-se que a localidade sofreu altas modificações no que concerne à fragilidade, dado que as ações antrópicas, como por exemplo, o aumento da pastagem e a exploração mineral, além das características naturais como, formações de serras e declividade elevada contribuem diretamente para que bacia se torne vulnerável.

Em contrapartida, as bacias menos frágeis são as BRC, BRS e BRV que apresentam graus de fragilidade entre muito baixa e baixa. A BRC em sua maioria possui áreas que não sofreram alterações na sua vegetação, o que contribui significativamente para o grau de fragilidade ser muito baixa, no entanto, as BRS e BRV sofreram alterações no uso e ocupação do solo, todavia as demais variáveis nestas localidades são menos vulneráveis, principalmente com relação à declividade, devido serem bacias consideradas planas.

Com isso, os rios que cortam a região são significativamente afetados, principalmente o Rio Parauapebas situado na bacia mais frágil, dado que a fragilidade relacionada a essas variáveis estão diretamente ligadas a maior capacidade de deterioração do solo em que o fragmento do mesmo é depositado em terrenos menos elevados e por consequência, levados ao leito do rio, o que acarreta em problemas como assoreamento, alteração na qualidade da água e na diminuição da disponibilidade do recurso.

Em relação às áreas de interesse como Unidades de Conservação e terras indígenas, os mesmos apresentaram graus de fragilidade significativos com pontos de alto potencial de vulnerabilidade mesmo não apresentando grandes alterações na cobertura do solo. Dessa forma, sem mencionar a biodiversidade da região, a área é passiva de proteção em relação ao solo já que a declividade e a formação de serra possibilitam a degradação do meio e o mapa de fragilidade demonstra esse mecanismo.

Através dos estudos de Amaral e Ross (2009) observa-se que as modificações da cobertura do solo causadas pelas atividades agropecuárias degradam significativamente a terra, uma vez que essas práticas culminam para a exposição da superfície. Com isso, a exposição e consequentemente a compactação diminuem o grau de proteção do meio, uma vez que a ausência de vegetação faz com que ocorra o escoamento superficial, erosões, formações de voçorocas, dentre outras situações que tornam as áreas mais fragilizadas e instáveis (Braga et al., 2017).

Nessa perspectiva, pode-se comprovar que como esperado as ações humanas no meio intensificam os processos de depreciação das condições naturais, situações essas, visualizadas pela substituição das áreas de muito baixa fragilidade para média nas mesmas regiões em que a formação florestal foi substituída pela pastagem no decorrer dos anos.

5. Conclusão

As bacias estudadas apresentaram mudanças em sua ecodinâmica, visto que a fragilidade muito baixa foi substituída pela média na maior parcela da área. O mapa de fragilidade revelou cenários que possibilitam a compreensão da área de estudo. A BRP que tem como o município principal o de Parauapebas se mostrou frágil com base nas variáveis, contudo, observou-se que a BRC que abriga o município de Ourilândia do Norte, BRS com o município de Eldorado dos Carajás e BRV com a cidade de Curionópolis mostraram-se em menores graus de fragilidade.

As BRP, BAI, BMI se mostraram mais frágeis quanto à declividade, pedologia e geomorfologia, todavia, quanto ao uso e ocupação do solo entre os anos de 1985 a 2018 apresentaram menores alterações em comparação ao restante das bacias estudadas.

Os estudos acima apontam que as atividades agropecuárias e de mineração são as que mais afetam a SRHI favorecendo a perda da produtividade da região. Nesse sentido, faz-se necessário a inserção de políticas públicas que detenham planos de gestão que visam à educação ambiental para a comunidade do entorno, além e ações que promovam a recuperação das áreas florestais das bacias comprometidas pelas atividades que causam vulnerabilidade.

É incontestável que a pesquisa não pode ser utilizada como referencial único de outros estudos voltados à temática de planejamento e fragilidade ambiental de bacias hidrográficas, visto que cada área possui distinções de outras, sendo assim, torna-se necessário estudos mais elaborados e análises mais complexas de outros fatores e variáveis também importantes para o aprofundamento da pesquisa.

Nessa perspectiva, torna-se evidente que o estudo da fragilidade ambiental em bacias não se atém somente nas variáveis estudadas na presente pesquisa, com isso, sugere-se a outros pesquisadores que utilizem de variáveis socioeconômicas e hidrológicas, como precipitação e vazão dos corpos d'água, com o intuito de estabelecer melhores caracterizações da área de estudo e maximizar todas as relações ambientais que envolvem a região.

Referências

- Adami, M. et al. (2015) Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. João Pessoa-PB. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*.
- Alvares, C. A. et al. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil: *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Amaral, R., & Ross, J. L. S. (2009) As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno Teodoro Sampaio/SP. São Paulo – SP: *Revista GEOUSP*. 26(1), 59-78.
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2017). *Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas*. Brasília: ANA. <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>.
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2008). *Relatório Síntese: Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia*. Brasília: ANA. 204.
- Barber, C. P. et al. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. USA: *Biological Conservation*. 177, 203-209.
- Braga, C. C., Cabral, J. B. P., Lopes, S. M. F., & Batista, D. F. (2017). Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do reservatório da UHE Caçu – Goiás. Santa Maria. *Revista Ciência e Natura*: 39, p. 81-98.
- Brasil. (1997). *Lei Federal Nº 9.433 de janeiro de 1997*. Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília-DF.
- Campos, J. A., Aires, U. R. V., Silva, D. D., & Calijuri, M. L. (2019). Environmental fragility and vegetation cover dynamics in the Lapa Grande State Park, MG, Brazil: *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 91(2), 1-16. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920170940>.
- Crepani, E. et al. (2001). *Sensoriamento remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE. 124.
- Delazeri, L. M. (2016) Determinantes do Desmatamento nos Municípios do Arco Verde – Amazônia Legal: uma abordagem econométrica. Uberlândia-MG: *Revista Economia - Ensaios*. 30(2), 11-34.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. (2010). *Software ArcGIS desktop: version 10.6.1*. Redlands: Environmental Systems Research Institute.

- Farias, J. F., Silva, E. V., & Nascimento, F. R. (2015). Caracterização de sistemas ambientais como base metodológica para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas semiáridas Belém-PA: *Revista GeoAmazônia*. 3(6), 14-27.
- Farinasso, M., Carvalho Júnior, O. A., Guimarães, R. F., Gomes, R. A. T., & Ramos, V. M. (2006). Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da Eups – Equação Universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA: *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 7(2), 73-85.
- Franco, G. B. et al. (2012). Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada. Bahia: *Revista Brasileira de Geociências*. 42(1), 114-127.
- Godar, J. et al. (2014). Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon. USA: *Proceedings of The National Academy of Sciences*. 111(43), 15591-15591.
- Gomes, R. L. (2013). Avaliação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada-Bahia. Maringá: *Revista Boletim de Geografia*. 31(3), 41-53.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2017). Ministério do Meio Ambiente. *Agricultura, pecuária e outros: pesquisa da pecuária municipal - PPM*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=o-que-e>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2014). Ministério do Meio Ambiente. *Contas Regionais do Brasil*. 53, 97. <liv98881.pdf (ibge.gov.br)>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2018). Ministério do Meio Ambiente. *Geociências: Downloads*. <https://downloads.ibge.gov.br/>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2007). Ministério do Meio Ambiente. *Manuais técnicos em geociências: (2a ed.)*, 316. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2018). Ministério do Meio Ambiente. *Produto Interno Bruto dos Municípios: Produto Interno Bruto - PIB por Município 2018*. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=pi-b-por-municipio>.
- Leal, A. C. (2012). Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. Dourados-MS: *Revista Entre – lugar*. 3(6) 65-84.
- MapBiomias. (2019). *Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. <https://mapbiomas.org/download>.
- Marinone, O. (2004). Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. United Kingdom: *Computers & Geosciences*. 30(6), 637–646.
- Milanezi, C. H. S., & Pereira, J. G. (2016). Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia Do Córrego Azul, Ivinhema – MS. Londrina: *Revista de Geografia*. 25(1), 43-63.
- Miranda, E. E. (2005). *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>.
- Moraes, B. C. et al. (2005). Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará: *Acta Amazonica*. 35(2), 207-214. <http://dx.doi.org/10.1590/s0044-59672005000200010>.
- Oliveira, R. G. et al. (2010). Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego São João – MS utilizando Geoprocessamento. Aquidauana, MS: *Revista Brasileira de Cartografia*. 1(64), 15-24.
- Oliveira, P. C. A., Rodrigues, G. S. S. C., & Rodrigues, S. C. (2008). Fragilidade ambiental e uso do solo da bacia hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil: *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, 3(1), 54-67. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.42>.
- Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1
- Pfaffetter, O. (1989). *Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação*. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. https://drive.google.com/file/d/0B6T7sNg_aVgObEhKLWdDZVIXaGM/view.
- Pinese júnior, J., & Rodrigues, S. (2012). O método de Análise Hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio piedade (MG). São Paulo-SP: *Revista do Departamento de Geografia*. 23(1), 4-26.
- Pires, E. V. R., Silva, R. A., & Izippato, F. J. (2012). Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na bacia hidrográfica do córrego prata – três lagoas (MS). Três Lagoas-MT: *Revista Geonorte*. 2(4), 1519-1528.
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. D. (2013). *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico – 2ª Edição*. Editora Feevale.
- Pontes, P. R.M., Cavalcante, R. B. L., & Sahoo, P. K. (2019). The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia. *Journal of Environmental Management*. 235, 489–499. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479719301057>.
- Queiroz Júnior, V. S. et al. (2015). Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO). Jataí, GO: *Revista Geofocus*. 1(15), 193-212.
- Raffo, J. G. G. (2012). O processo analítico hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. São Paulo-SP: *Revista do Departamento de Geografia – USP*. 30, 26-37.

- Rodrigues, J. M., Monteiro, G. N., & Souza, J. O. P. (2018). Análise de fragilidade ambiental na Bacia da Barragem Camará, Areia (PB). Recife-PE: *Revista de Geografia*. 35(4) 231-241.
- Ross, J. L. S. (1994). Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. São Paulo-SP: *Revista do Departamento Geografia – FFLCH-USP*. 8, 63-74.
- Ross, J. L. S. (2012). Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. São Paulo-SP: *Revista do Departamento de Geografia – USP*. 38-51.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Silva, C. A., & Nunes, F. P. (2009). Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. Natal, RN: *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2009*. 5435-5442.
- Silva, M. P., Santos, F. M., & Leal, A. C. (2016). Planejamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego da Olga, UGRHI Pontal do Paranapanema – São Paulo. Uberlândia: *Revista Sociedade e Natureza*. 28(3), 300-314.
- Spörl, C., & Ross, J. L. S. (2004). Análise Comparativa da fragilidade ambiental com a aplicação de três modelos. São Paulo-SP: *Revista Geosp Espaço e Tempo*. (15), 39-49.
- Soares, L. S et al. (2016). Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. São Paulo, SP: *Revista do departamento de geografia*. 31 82-100.
- Souza-Filho, P. W. M. et al. (2015). Changes in the land cover and land use of the Itacaiúnas river watershed, arc of deforestation, Carajás, southeastern amazon. Berlin: *The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. .x1-7/w3, 1491-1496.
- Souza-Filho, P. W. M. et al. (2016). Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. *Journal of Environmental Management*. 167, 175-184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.039>.
- Valadares, A. A. (2017). *Análise da dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a vulnerabilidade ambiental em área do Distrito Federal*. Dissertação Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal.
- Vale. (2019). Brasil. Inovação. <http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/s11d/Paginas/default.aspx>.
- Valle, I. C., Francelino, M. R., & Pinheiro, H. S. K. (2016). Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. Seropédica: *Revista Floresta e Ambiente*. 23(2), 201-215.
- Vieira, I. C. G., Santos Junior, R. A. O., & Toledo, P. M. (2014). *Dinâmicas produtivas, transformações no uso da terra e sustentabilidade na Amazônia*. In: Siffert Filho, Nelson Fontes et al. Um olhar territorial para o desenvolvimento: Amazônia. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 370-395.