

Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: o Relevo como Elemento Chave

Environmental Vulnerability of the Buriticupu River Water Basin, Maranhão - Brazil: The Relief as a Key Element

Rafael Brugnolli Medeiros¹ 

Luiz Carlos Araujo dos Santos² 

José Fernando Rodrigues Bezerra³ 

Quesia Duarte da Silva⁴ 

Silas Nogueira de Melo⁵ 

Palavras-chave:

Amazônia
Planejamento Ambiental
Uso e cobertura da terra
Recursos Hídricos
Geoprocessamento

Resumo

Pesquisar uma bacia hidrográfica na região Amazônica requer assimilar que esta apresenta uma relevância nacional e mundial, estando a área de estudo situada no chamado arco do desmatamento, eleva a necessidade de entender seu contexto, vulnerabilidades e componentes físicos, ambientais e antrópicos. Esta pesquisa objetivou avaliar a vulnerabilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Buriticupu/Maranhão, com vistas a fomentar melhorias que possam contribuir com o processo de planejamento ambiental e, especificamente, de recursos hídricos. Para tanto, utilizou-se o ambiente de Sistema de Informação Geográfica para trabalhar com a Álgebra de Mapas, interrelacionando dados primários e secundários sobre a geologia, relevo, pedologia e uso e cobertura da terra, para gerar uma cartografia de síntese. Os resultados apontaram áreas com predominância das classes médias de vulnerabilidade, entretanto, o destaque fica por conta das planícies aluviais, que se tornaram, nas análises, as áreas mais frágeis do ponto de vista ambiental, sobretudo por serem solos saturados em água (gleissolos), depósitos inconsolidados de areia e silte (depósitos aluvionares) e por exibirem extensas vegetações úmidas, características de matas de igapó e de várzea. Este estudo foi capaz de gerar um documento que seja aplicável à área de estudo, além de propiciar, de modo sistêmico e integrado, um produto que contribuirá para possíveis planejamentos, sobretudo para um futuro comitê de bacia hidrográfica, algo necessário e ainda embrionário do Maranhão..

Keywords

Amazon
Environmental Planning
Land Use and Land Cover
Water Resources
Geoprocessing

Abstract

Studying a watershed in the Amazon region requires understanding that this region has national and global relevance. The fact that the study area is located in the so-called arc of deforestation raises the need to understand its context, its vulnerabilities, and its physical, environmental, and anthropic components. This research assesses the environmental vulnerability of the Buriticupu River Watershed in Maranhão State, Brazil. The aim is to foster improvements that may contribute to environmental planning and, specifically, to water resource management. For this purpose, the authors used the Geographic Information System environment to work with Map Algebra, interrelating primary and secondary data on geology, relief, pedology, and land use and land cover to generate synthesis cartography. The results pointed to areas with predominantly medium vulnerability. However, the analyses highlight alluvial plains, which became the most fragile areas from an environmental point of view. This is mainly because these areas comprise water-saturated soils (gleysols), unconsolidated deposits of sand and silt (alluvial deposits), and extensive humid vegetation, characteristics of igapó and floodplain forests. This research generated a document that applies is applicable to the study area. It also provided, in a systemic and integrated way, a product that will help in planning, which is very important for the creation of a watershed committee, something necessary and still embryonic in Maranhão State, Brazil.

¹ Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, MA, Brasil. rafael_bmedeiros@hotmail.com

² Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, MA, Brasil. luizcarlos.uema@gmail.com

³ Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, MA, Brasil. fernangeo@hotmail.com

⁴ Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, MA, Brasil. quesiaduartesilva@hotmail.com

⁵ Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, São Luís, MA, Brasil. silasmelo@professor.uema.br

INTRODUÇÃO

Artigos que discutem a vulnerabilidade ambiental chamam a atenção da comunidade científica, com diversas aplicações nas mais variadas escalas de análise e áreas distintas. O estudo de Crepani et al. (2001), talvez um dos mais citados, exhibe uma alta importância para aqueles que utilizam essa metodologia na avaliação da propensão à perda de solo, baseada nos processos de morfogênese e pedogênese. Dada sua importância no contexto de um zoneamento ecológico-econômico na Amazônia, os autores passaram a ser amplamente mencionados na comunidade acadêmica/científica, diante da metodologia concreta e coerente que fora criada, propiciando mapeamentos temáticos e cartografias de síntese.

A metodologia do estudo de vulnerabilidade passou por muitas adaptações ao longo dos anos, diante de avanços tecnológicos na geração de mapas e na capacidade de sobreposição e inter-relação entre os elementos da paisagem, além das variações teóricas que conduziam os pesquisadores a determinados objetivos específicos. Vulnerabilidade, fragilidade e suscetibilidade, cada qual a sua maneira e método, todas foram fundamentais para construir metodologias capazes de serem aplicadas à atual e complexa realidade das áreas de estudo.

Nesses processos, nota-se que as metodologias já consagradas de análise da vulnerabilidade ambiental (CREPANI *et al.*, 2001) e de fragilidade ambiental (ROSS, 1990; 1994), foram utilizadas ao longo do tempo diante de excessivas adaptações e até simplificações das metodologias, fazendo com que a importância da variável “relevo”, como elemento fundamental no processo de saída e entrada de matéria e energia do sistema ambiental, fosse relegada ao segundo plano. É o relevo o elemento capaz de redistribuir tais forças endógenas e exógenas, logo, entendê-lo é fundamental nesse “quebra-cabeça” metodológico.

Destaque semelhante foi feito em Gouveia e Ross (2019, p. 124), afirmando que tais problemas ocorreram devido a “dificuldades técnicas e do tempo despendido para a elaboração de produtos cartográficos intermediários”. Nesse sentido, a possibilidade de obtenção de dados vetoriais e matriciais nas mais variadas escalas e todos disponíveis gratuitamente, trouxe consigo: de um lado, aspectos positivos pela facilidade e

rapidez na obtenção e geração de mapas; por outro lado, pode proporcionar, e é muito comum, distorções do ponto de vista escalar (detalhamento).

Uma das variáveis que mais padece de simplificações, e que Guirra *et al.* (2016), Ross e Fierz (2017) e Gouveia e Ross (2019) exploram em suas pesquisas, é o relevo, sobretudo pelo não detalhamento geomorfológico e identificação de unidades de relevo, no caso, a importância das planícies fluviais, que comumente são classificadas por classes de baixa vulnerabilidade por apresentarem declive aplainado, o que, na realidade, não expressa a real vulnerabilidade de tais áreas. São locais com dinâmicas ligadas à erosão dos solos e aos episódios de inundações. A partir do momento que tais documentos cartográficos subsidiam ordenamentos, acabam por mascarar as restrições ambientais e legais e propiciar um uso inadequado.

Trazendo essa discussão para o viés da vulnerabilidade, isso se aplica de modo integral, pois segundo a *United Nations Development Program*, a vulnerabilidade é um processo resultante de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que determinam a probabilidade e a escala dos danos de algum tipo de impacto e/ou de determinado perigo (UNDP, 2004). As áreas de planície aparecerão nesse viés, ligado à sua probabilidade para a ocorrência de instabilidades dos terrenos e episódios de inundações periódicas.

A vulnerabilidade ambiental constitui uma ferramenta de grande valia para o entendimento da relação relevo-solo, face à intervenção desordenada da sociedade sobre os recursos naturais (BRUGNOLLI *et al.*, 2014), sendo considerada a pouca resistência que o sistema apresenta para manter-se em equilíbrio contínuo (ARGENTO, 1979) e esse equilíbrio pode ser rompido sempre que há a interferência antrópica (SPÖRL, 2007). Fato que responderá à maior ou menor vulnerabilidade, seja em qual for a escala de análise.

A escala aplicada e área de estudo desta pesquisa, corresponde a uma importante bacia hidrográfica maranhense, a Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu (BHRB), situada a leste do Maranhão, já na região Amazônica, com grandes e massivos problemas ambientais, tais como: fragmentação da paisagem, retirada de vegetações nativas, conflitos socioambientais, terras indígenas, agriculturas, pastagens, mineração, entre outros vários usos e conflitos que se entrelaçam nessa complexa bacia

hidrográfica.

É uma região que apresenta o alto e médio curso com grande predominância de duas terras indígenas: Araribóia e Governador. Ambas preservadas, contrastando com a aproximação do uso antrópico, sobretudo pastagens e agricultura que avançam até as bordas das terras indígenas, causando conflitos e impondo a necessidade de estudar essa bacia sob o viés da vulnerabilidade. Sem contar o fato de que a bacia abrange o Mosaico do Gurupi, que segundo Celentano *et al.* (2018), engloba seis Terras Indígenas (Alto Turiaçu, Awá, Caru, Araribóia, Rio Pindaré e Alto Rio Guamá) e uma Unidade de Conservação (Reserva Biológica do Gurupi).

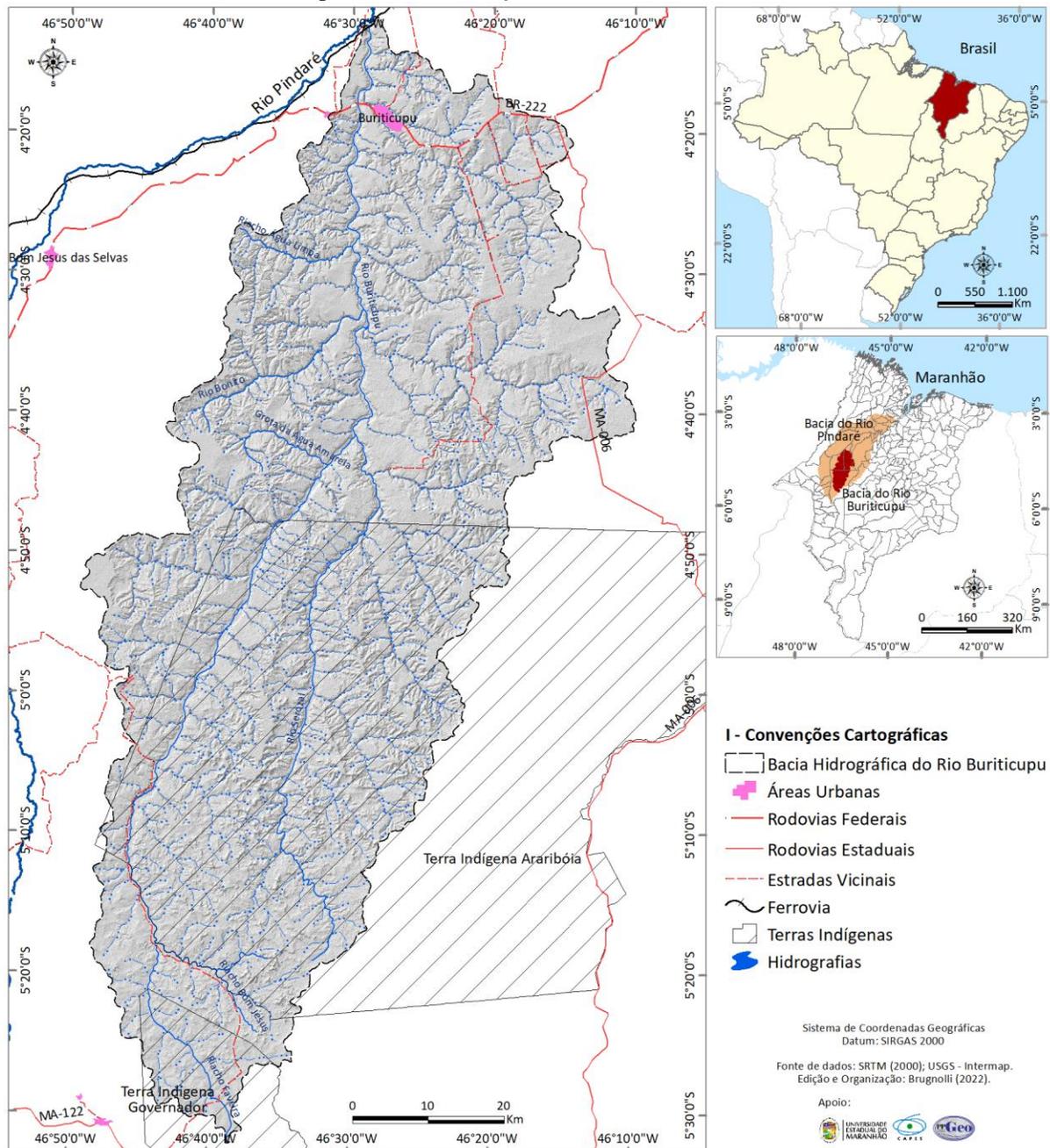
Logo, compreendê-la do ponto de vista ambiental é fundamental para sanar e/ou minimizar seus problemas e propiciar informações que auxiliem na produção de um banco de dados efetivo, com vistas a fomentar um comitê para a bacia que a BHRB está inserida, a saber, a bacia hidrográfica do rio Pindaré. Esse tipo de ferramenta auxilia no melhor aproveitamento do espaço geográfico, pois indica quais as áreas mais vulneráveis não só aos processos naturais, mas principalmente, às ações

antrópicas, permitindo apontar as potencialidades dos ambientes de maneira sistêmica e indicando as restrições de utilização nessas bacias.

Diante do que foi colocado, objetivou-se, neste trabalho, a avaliação de forma analítico-sintética da vulnerabilidade ambiental da BHRB, diante do levantamento das rochas, do relevo (declividade, hipsometria e compartimentos geomorfológicos), dos solos e de uso e cobertura da terra. Contando que, dentro da metodologia empregada, a delimitação das unidades geomorfológicas ganha destaque em virtude da sua importância perante aos processos hidrossedimentológicos.

A BHRB abrange 5.342,27 km² e é afluente da margem direita do rio Pindaré, um dos rios mais importantes e mais degradados da Amazônia maranhense, fazendo parte da borda oriental da Amazônia Legal. O rio Buriticupu tem suas nascentes nas áreas mais elevadas da Terra Indígena Araribóia, preservada e com grandes vales encaixados e declives acentuados, em que percorre, da nascente até sua foz, 169,07 km (Figura 1).

Figura 1 – Localização da BHRB, Maranhão



Fonte: Os autores (2022)

METODOLOGIA

A metodologia inicia-se com a análise geológica, em que se buscou dados disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) por meio de seu portal *GeoBank*, através do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC) e do Instituto Brasileiro de Geografia Física (IBGE).

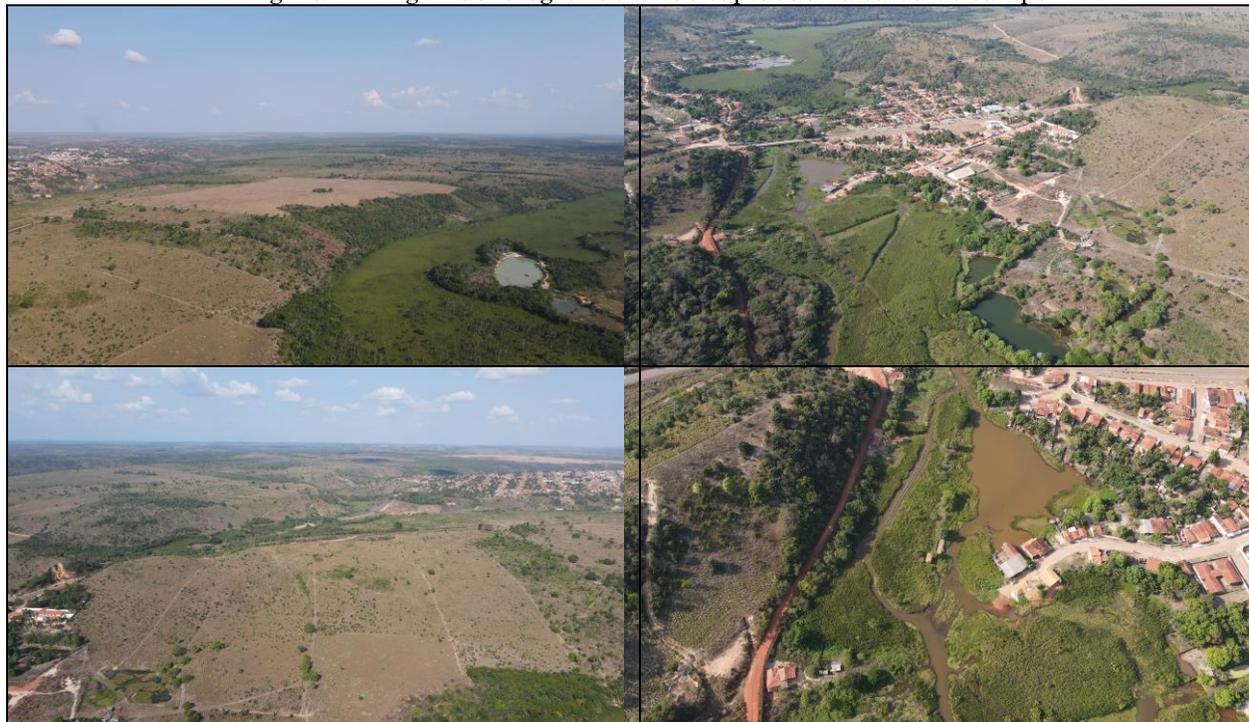
Todos esses mapeamentos apresentam escalas distintas de detalhamento, contando com a necessária saída de campo para realização da veracidade terrestre e correção dos polígonos que se mostraram equivocados/imprecisos. Utilizando, para esse fim, o ambiente de Sistema de Informação Geográfica através do QGIS Desktop 3.22.5.

Tal saída de campo foi realizada ao longo de cinco dias percorrendo a BHRB (Figura 2)

durante o período seco de 2021 (setembro), utilizando equipamentos como um *GPS Portátil Garmin eTrex 22x SA*, câmera fotográfica e um Drone *DJI Mavic*. Mesmo com uma essência ligada ao Geoprocessamento, esse trabalho destaca que a saída de campo é fundamental para promover um panorama real e validar as

informações contidas nos órgãos oficiais do estado e do Brasil. Silva e Berezuk (2021) afirmam que o campo jamais pode ser substituído frente às experiências cognitivas e sensoriais que ele traz consigo, essenciais no auxílio à construção do conhecimento geográfico.

Figura 2 – Algumas fotografias áreas captadas na saída de campo.



Fonte: Os autores (2021)

A saída de campo foi fundamental em todos os processos metodológicos. Dessa junção e articulação, a realização de trabalhos de campo, sempre se configurou como um dos instrumentos mais importantes no desenvolvimento do olhar geográfico, não se tratando apenas de descrever e interpretar de modo avançado a configuração físico-natural de uma determinada área, contudo, também, de formular métodos e conceitos pelos quais haja uma compreensão integrada, sistêmica e orgânica possível e passível de compreensão e aplicação na Geografia Física.

Na análise pedológica foram utilizados dados do IMESC e IBGE que também passaram por longos processos de correção dos polígonos dos mapeamentos. A saída de campo foi essencial para essa conferência, perfis em estradas, caixas de retenção em estradas não pavimentadas, utilização do Modelo Digital de Terreno (MDT Alos Palsar) e imagens de satélite (Sentinel 2B), foram os produtos utilizados para fins de

verificação dos polígonos de solo.

O mapeamento de relevo contou com três etapas básicas, todas utilizam o MDT Alos Palsar, reamostrado para pixel de 12,5 metros, disponível no *Alaska Satellite Facility*. Esse modelo passou por um pré-processamento com vistas a eliminar ruídos e pixels espúrios (influência da vegetação nos pixels). No que diz respeito à hipsometria, também foi utilizada as curvas de nível e as altitudes da BHRB; para a declividade, utilizou-se a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) por meio do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS), que classifica o relevo em classes de declividade; e o último mapeamento consistiu na geração de um documento inédito do relevo da BHRB, tendo como base o IMESC e IBGE, em que determinou-se nomenclaturas descritas e identificadas em campo com o auxílio de um Drone *DJI Mavic* (mapeamento por meio da aerofotogrametria), do MDT Alos Palsar (para

identificar as feições existentes), imagens de satélite e relevo sombreado (*Hillshade*).

Para o uso e cobertura da terra, contou-se com a coleção 6 do MapBiomas (2020), que consistiu em um mapeamento utilizando a imagem Landsat 8 – sensor OLI e, conforme o MapBiomas (2020) enfatiza, a metodologia de classificação é dinâmica e processual, para aperfeiçoar a classificação de cada tipologia. Para buscar um maior detalhe, foi realizada a averiguação dos dados com imagens do Satélite Sentinel 2B (USGS, 2020), além da já citada saída de campo.

Por fim, na geração do mapa de vulnerabilidade ambiental, as cartografias foram agrupadas utilizando um *Raster Calculator* no QGIS Desktop 3.22.5, no método chamado de Álgebra de Mapas, isto é, uma sobreposição cartográfica em que cada elemento terá um peso sobre o outro, uma combinação pixel a pixel que resultará em uma cartografia de síntese. Os procedimentos podem ser de subtração, adição e multiplicação, nesse caso, utilizou-se a equação 1:

Equação 1 – Vulnerabilidade Ambiental:

$$VA = Ug + \left(\frac{ge + de + so + uct}{4} \right)$$

Em que:

VA: Vulnerabilidade Ambiental

Ug: Unidades Geomorfológicas

ge: Geologia

de: Declividade

so: Solo

uct: Uso e cobertura da Terra

Como pode ser visto, a variável relevo ganha destaque nessa proposta pelos motivos já citados na introdução. Todos os elementos apontaram

para uma hierarquia que vai desde a classe de vulnerabilidade: Muito Baixa (1), Baixa (2), Média (3), Alta (4) e Muito Alta (5). Para alcançar esses pesos em cada variável, adotou-se critérios pré-estabelecidos, conforme o Quadro 1.

É importante ressaltar que os critérios adotados não partiram apenas das metodologias discutidas na introdução, considerou-se os processos de saída de campo e o conhecimento dos pesquisadores, podendo ser replicada em outras áreas. Fatos que possibilitaram que o mapeamento gerado seja realmente aplicável à área e possa contribuir, não só no (re)ordenamento do uso da terra, na utilização mais racional, mas também propiciar dados relevantes para o manejo de recursos hídricos e para um futuro comitê da bacia do rio Pindaré

INVENTÁRIO DOS COMPONENTES DA BHRB

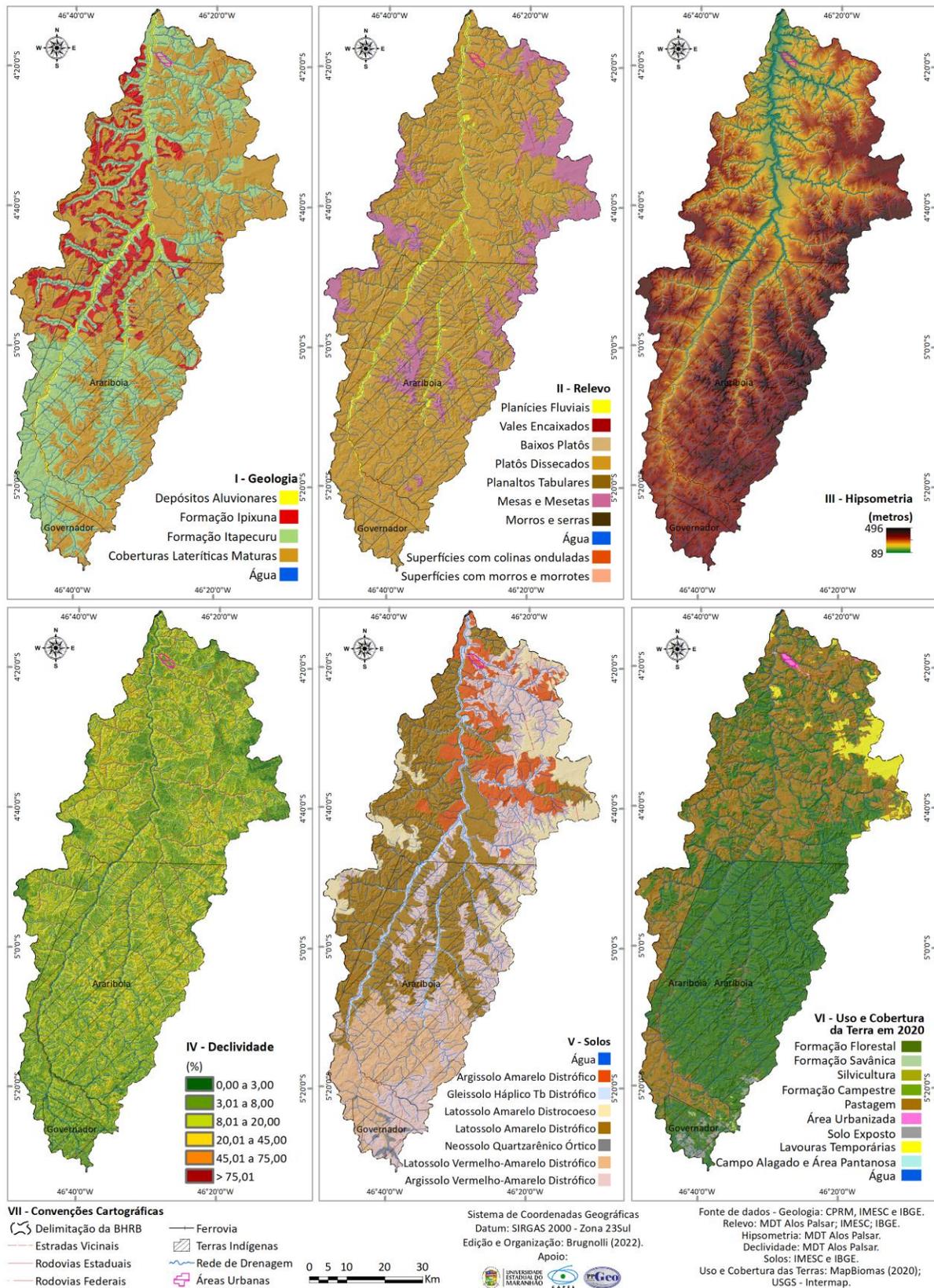
Partindo de uma compartimentação do relevo, base desta metodologia, propôs-se a descrição e o inventário dos componentes físicos da BHRB. Esse inventário é fundamental dentro do processo de alcance da vulnerabilidade. Deixando claro o destaque feito à questão climática, o clima da região é equatorial quente e úmido, uma subdivisão do clima tropical. Apresenta duas estações bem definidas: o período chuvoso, de dezembro a junho e o período de estiagem, de julho a novembro, que atingem um total pluviométrico de 1.800 mm e 2.000 mm. A temperatura média anual varia de 25°C a 27°C e a umidade relativa do ar é de 80%, em média (CAJAIBA *et al.*, 2019). No caso deste estudo, a relação sistêmica se deu diante das rochas, relevo, solos e uso e cobertura da terra (Figura 3).

Quadro 1 – Metodologia para a definição dos pesos dos indicadores ambiental

Indicadores	Elementos	Pesos adotados por critério			Pesos	Critérios
		• Tempo geológico	• Estabilidade dos minerais	• Resistência das rochas		
Rochas	Formação Itapecuru	2	2	2	2	O tempo obedecerá a se é mais ou menos recente, logo, rochas mais recentes tendem a ser mais vulneráveis aos processos pedo e morfogenéticos. A estabilidade e resistência trata-se dos minerais e rochas e sua vulnerabilidade ao intemperismo.
	Coberturas Lateríticas Maturas	2	2	2	2	
	Formação Ipixuna	2	2	2	2	
	Depósitos Aluvionares	5	5	5	5	
		• Topografia (posição na vertente)	• Inclinação das vertentes	• Relevo sombreado (amplitude)		
Unidades de Relevo	Baixos Platôs	1	1	1	1	A classificação do relevo irá discorrer sobre os patamares altimétricos, amplitudes altimétricas, dissecções do relevo, posição geográfica na vertente e, consequentemente, a maior ou menor propensão às erosões. *Lembrando nessa metodologia que a planície recebe peso 5 diante de ser uma área prioritária à preservação.
	Platôs Dissecados	2	2	1	2	
	Superfícies com colinas onduladas	3	2	2	2	
	Planaltos Tabulares	4	1	2	2	
	Superfícies com morros e morrotes	3	3	3	3	
	Mesas e Mesetas	5	4	4	4	
	Vales Encaixados	4	5	5	5	
	Morros e Serras	5	5	5	5	
Planícies Fluviais	1	1	1	5*		
		• Inclinação das vertentes				
Declividade	0,00% a 3,00%	1			1	Corresponde o quanto o relevo é íngreme ou aplainado dentro das classificações do SIBCS
	3,01% a 8,00%	2			2	
	8,01% a 20,00%	3			3	
	20,01% a 45,00%	4			4	
	45,01% a 75,00%	5			5	
	> 75%	5			5	
		• Impermeável	• Textura	• Profundidade e Maturidade		
Solos	Latossolo Amarelo Distrocoeso	1	2	1	2	A porosidade corresponderá se um solo é mais ou menos permeável (sua drenagem), valores mais elevados significam mais impermeável (favorecem o escoamento superficial em detrimento à infiltração). A profundidade e maturidade vai corresponder ao fator formação "tempo", que se relaciona ao grau de estabilidade pedogenética, valores mais elevados significam rasos e pouco evoluídos. A textura discorre sobre a granulometria, arenosa, argilosa a siltosa, valores mais elevados vão ser siltosa (mais frágil).
	Latossolo Amarelo Distrófico	1	2	1	2	
	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1	2	1	2	
	Argissolo Amarelo Distrófico	3	3	2	3	
	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	3	3	2	3	
	Neossolo Quartzarênico Órtico	5	5	5	5	
	Gleissolo Háplico Tb Distrófico	5	3	5	5	
		• Porte dessa cobertura vegetal	• Proteção ao solo	• Densidade da Vegetação		
Uso e cobertura da terra	Formação Florestal	1	1	1	1	A proteção ao solo diz respeito a menor ou maior proteção dada pelo dossel vegetativo. Valores menores significam maior proteção e menor vulnerabilidade. O porte diz respeito à altura dessa vegetação, o que também influencia na proteção. E a densidade corresponderá a distância entre as vegetações, minimizando a penetração de gotículas das chuvas diretamente sobre o solo.
	Formação Savânica	3	2	2	2	
	Silvicultura	2	2	2	2	
	Formação Campestre	4	2	2	2	
	Pastagem	4	3	3	3	
	Lavouras Temporárias	4	4	5	4	
	Área Urbanizada	5	5	5	5	
	Solo Exposto	5	5	5	5	
	Campo Alagado e Área Pantanosa	4	5	5	5	

Fonte: Os autores (2022).

Figura 3 – Componentes físicos e antrópicos da BHRB



Fonte: Os autores (2022).

De modo geral, o relevo da região é constituído por formações de tabuleiros, separados em faixas por drenos e grotões, situado a uma altitude de 200 m acima do nível do mar (LIMA *et al.*, 2018), exibindo a foz do rio Buriticupu à apenas 89 metros acima do nível do mar. Mais especificamente, na BHRB ocorreu uma compartimentação geomorfológica que ficou clara a relação destas com o contexto geológico regional. Nas planícies é possível notar a presença de depósitos aluvionares, que são depósitos inconsolidados de areia, silte e argila que, segundo a CPRM (2013) estão sendo transportadas e depositadas pelos rios e igarapés desde os últimos 10 mil anos, período caracterizado pelo Quaternário. Essas áreas são sazonalmente, ou permanentemente, alagadas por água, com declividades reduzidas (não alcançam mais que 3%), e devido a essa sazonalidade, seus solos são saturados em água, como os gleissolos.

Passando para um patamar hipsométrico mais elevado, tem-se os baixos platôs e os platôs dissecados, que segundo CPRM (2013), apresentam grandes extensões referentes às Formações Itapecuru e Ipixuna, ambas formadas por arenitos, argilitos, siltitos, folhelhos intercalados com arenitos. O que difere uma formação da outra, está no período geológico (Itapecuru mais antigo) e no processo de conglomerados de arenitos com pelitos, que a Formação Ipixuna apresenta. Outro fato que pode ser constatado na BHRB, é que a formação Ipixuna está situada nas áreas mais elevadas, e a Formação Itapecuru se apresenta nas vertentes mais baixas do médio e baixo curso (exceção feita aos fundos de vale, que são depósitos aluvionares).

Nesses locais há uma predominância de pastagens com extensas áreas desmatadas, tanto que, segundo o MapBiomias (*s.d.*), é notável a contínua retirada das vegetações nativas dessas áreas. De acordo com (IBGE, 2010; NICASIO *et al.*, 2019), as principais atividades econômicas no município são a produção extrativista vegetal, pecuária e fruticultura. Porém, ultimamente, atividades como a monocultura de eucaliptos e soja têm se expandido pelo município. Segundo Cajaiba *et al.* (2019), o município Buriticupu já perdeu 97% da cobertura vegetal nativa.

Inclusive, essas áreas de soja e eucalipto se encontram nos planaltos tabulares, áreas planas que apresentam solos profundos como os latossolos e que têm as Coberturas Lateríticas Maturas como destaque. Segundo o CPRM

(2013), essas áreas de Coberturas Lateríticas são resistentes ao intemperismo e à erosão e sustentam relevos tabulares em distintas cotas altimétricas representadas por chapadas. Esses perfis lateríticos são registrados sob topos aplainados e posicionados em cotas que variam, na BHRB, entre 300 m e 450 m, se vinculando aos interflúvios entre os rios da região, entre eles o Pindaré e Buriticupu.

Outra compartimentação que se destaca na região são os vales encaixados, que apresentam declives acentuados, alguns até passando de 45%, o que a deixa em áreas protegidas pelo Código Florestal (BRASIL, 2012), entretanto, nota-se que no baixo curso, as áreas de vales exibem a pastagem como predominante. Por outro lado, no médio e alto curso, as vegetações florestais se fazem presentes, sobretudo pelo fato de tais vales estarem localizados dentro da terra indígena Araribóia.

Nessa terra indígena, inclusive, é possível notar as mesas e mesetas, junto com os morros e serras, que são os pontos mais elevados da BHRB, chegando até 489 metros. Nesses locais são característicos os argissolos e latossolos, com grandes declives e vertentes íngremes, chegando até acima de 75%, isto é, um relevo escarpado, sobretudo nas bordas das mesas e mesetas. Segundo o CPRM (2013), destaca-se um relevo movimentado, caracterizado por franca dissecação de extensas superfícies planálticas. Nesse cenário, sobressaem-se as vertentes circunjacentes fortemente entalhadas, que, devido ao recuo progressivo dos declivosos rebordos erosivos, vêm destruindo as baixas superfícies planálticas. Esse relevo, localmente acidentado, caracteriza-se por colinas e morros dissecados com vertentes declivosas, esculpidas por vales incisivos com alta densidade de drenagem, o que denota expressivo controle estrutural no processo de esculturação do relevo regional.

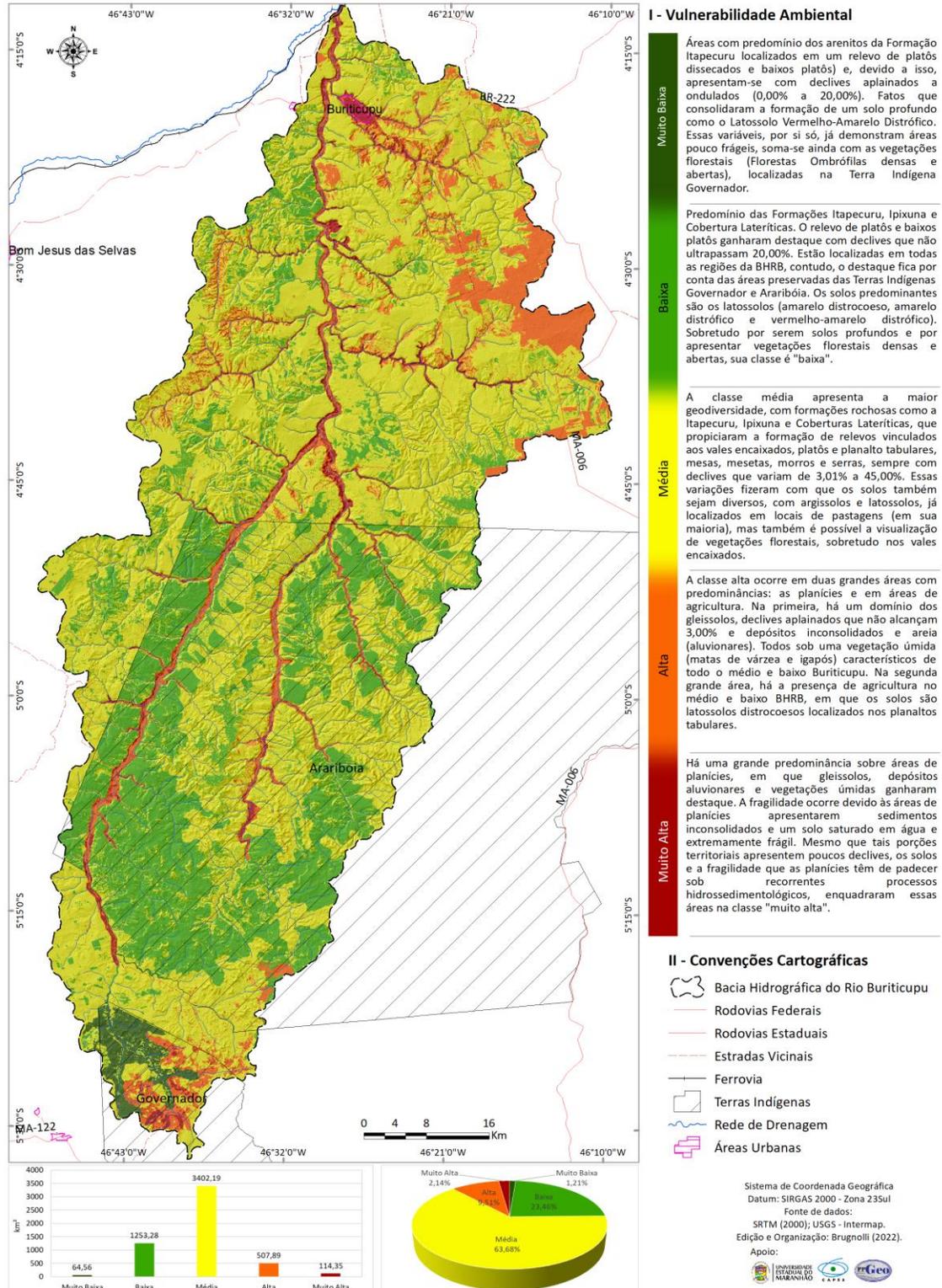
VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BHRB: PROPOSIÇÕES PARA O USO E COBERTURA DA TERRA

Essa avaliação da vulnerabilidade ambiental foi possível graças à interação entre os componentes físicos e antrópicos, que oferecem informações capazes de definir restrições e traçar algumas sugestões de melhoria ao uso e cobertura da terra. Em suma, as ações antrópicas oferecem ao

sistema ambiental desequilíbrios em maior ou menor grau, e essa vulnerabilidade ambiciona justamente identificar o quão frágil são os

ambientes naturais defronte às intervenções antrópicas (Figura 4).

Figura 4 – Vulnerabilidade Ambiental da BHRB, Maranhão



As áreas de vulnerabilidade muito baixa ficaram restritas à Terra Indígena Governador, em que a vegetação florestal ganhou destaque abrangendo apenas 64,59 km² (1,21% do total). Somado aos remanescentes florestais, que se vinculam à Floresta Amazônica (Ombrófila densa e aberta), os arenitos da Formação Itapecuru, um relevo de platôs dissecados que alcançam um máximo de 20% de declividade e solos profundos e bem drenados como o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico fazem com que ocorra uma redução das vulnerabilidades. São ambientes estáveis do ponto de vista geológico, geomorfológico e pedológico.

Para essas áreas, sugere-se que ocorra a manutenção dos remanescentes florestais, incentivando ações de fiscalização, visando a proteção da biodiversidade e contra a ocupação antrópica. Por ser uma Terra Indígena, há proteção legal amparada na Lei nº. 5.371 de 1967 que se vincula à garantia de cumprimento da política de respeito aos povos indígenas e a posse das terras que ocupam (BRASIL, 1967).

Na classe de vulnerabilidade baixa há um predomínio dos arenitos da formação e Cobertura Lateríticas Maturas e os conglomerados de arenitos e pelitos depositados da Formação Ipixuna. Nesses locais é possível notar a formação de um relevo plano a suavemente ondulado característico dos baixos platôs e até por serem áreas mais altas e planas, a predominância de solos bem desenvolvidos como o latossolo amarelo distrocoeso, amarelo distrófico e latossolo vermelho-amarelo distrófico.

É possível notar, ao longo de toda a BHRB que existem duas grandes manchas de vegetação florestal, que são as Terras Indígenas, fatos que mostram a importância destas para manutenção dos remanescentes, não apenas para o equilíbrio da bacia hidrográfica, pelo fato de existir importantes nascentes do rio Buriticupu e de seu principal afluente, o rio Serozal. Salienta-se ainda, que a proteção é fundamental para garantir a manutenção dos serviços ecossistêmicos, além da manutenção do regime hidrológico, que apesar de ser um rio extenso, não apresenta grande vazão hídrica.

Para essa classe salienta-se que devem manter seus remanescentes florestais e preservar as nascentes, inclusive aquelas situadas em áreas úmidas, fiscalizando-as para a proteção da biodiversidade e contra a

ocupação antrópica. Nas áreas que apresentam pastagens deve-se incorporar práticas de manejo para minimizar possíveis impactos negativos, sobretudo por algumas delas estarem situadas em relevo ondulado (próximo a 20% de declividade).

Na classe média é possível notar a apresentação de uma maior geodiversidade, as pastagens são destaque em terrenos aplainados que tenham solo mais frágil, como o caso do argissolo, bem como a presença florestal em áreas de declive fortemente ondulado a montanhoso, como na terra indígena Araribóia. Os aspectos geológicos acabam por não ser preponderantes na classe média, apresentando as Formações Itapecuru, Ipixuna e Cobertura Lateríticas Maturas.

Destaca-se que essas porções territoriais devem, sobretudo nas pastagens, exibir manejo das terras, o que potencializa e favorece proteção ao solo. Por exibirem uma vulnerabilidade ambiental média, é considerado um ambiente *integrades*, isto é, em que equaliza os processos morfo e pedogenéticos. Contudo, deve-se ter cuidado com o avanço antrópico sobre os remanescentes florestais, principalmente por já ser possível visualizar a fragmentação na paisagem, e o avanço antrópico atingindo até as margens dos mananciais, em muitos casos, já com a retirada da mata ciliar.

A classe alta inicia um processo de instabilidade, com culturas de soja e eucalipto adentrando em áreas frágeis. Aponta-se para latossolos amarelo distrocoesos localizados em planaltos tabulares e de relevo suave ondulado. O fato de apresentar alta vulnerabilidade se deve ao fato de o uso das terras exercer forte influência sobre os processos que causam instabilidade. A outra porção territorial está localizada nas áreas de planície, que apesar de exibir relevo aplainado, seu solo frágil (gleissolos), somado à vulnerabilidade da planície, o fato de ser local de ocorrência de processos de deposição de sedimentos e da ocorrência de inundações fazem com que ocorra tal classificação.

Há, ainda, importantes áreas de vulnerabilidade alta na terra indígena Governador que vem, ao longo do tempo (Figura 4), passando por processos de desmatamento pela extração de madeira, segundo Calentano *et al.* (2018), essa região vive sob ameaças constantes de desmatamento e de degradação pela extração ilegal de madeira, e por incêndios

criminosos. Os povos indígenas e lideranças comunitárias da região são vitimados pela violência associada a tais crimes.

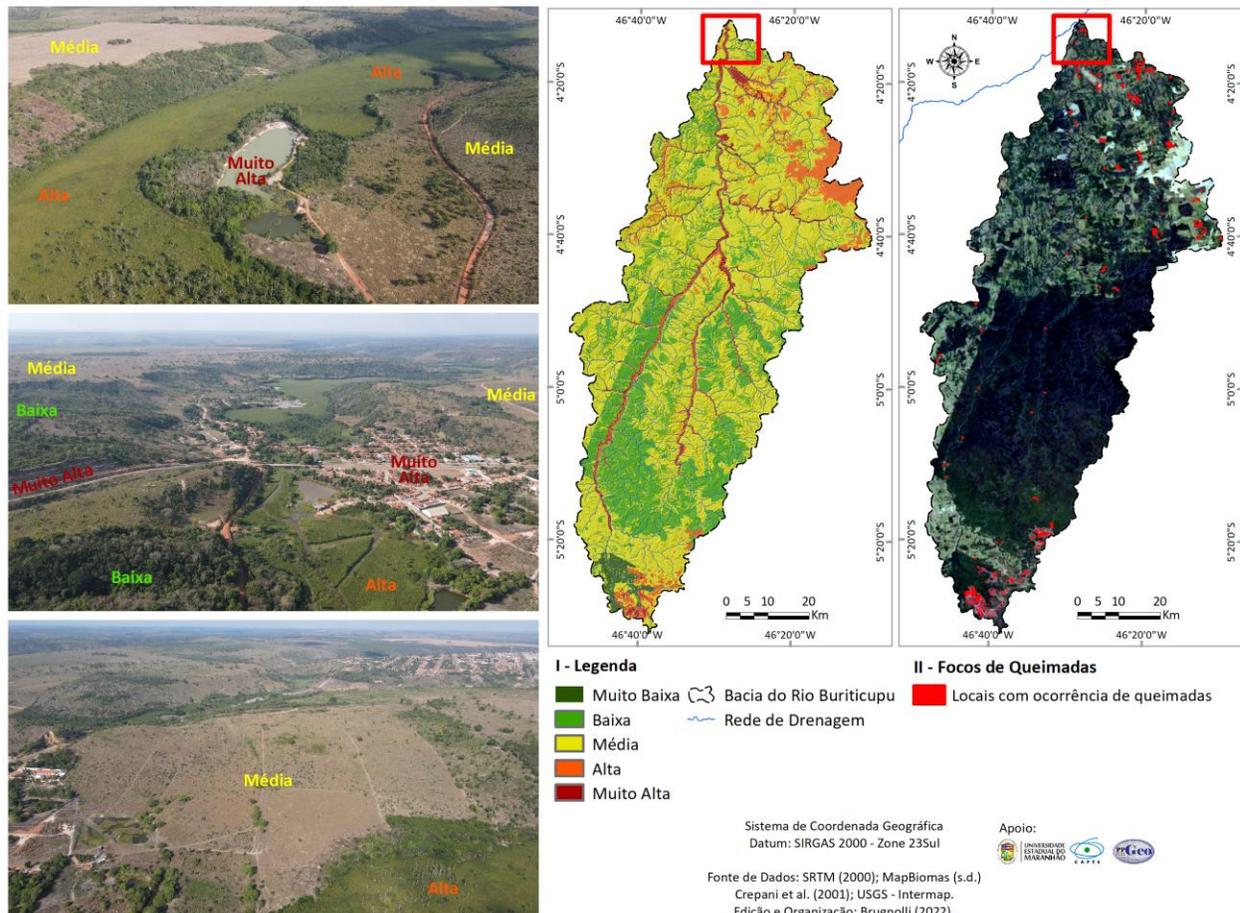
Ainda se discute sobre a possibilidade de criação do “corredor Ecológico da Amazônia Maranhense, que irá conectar os principais remanescentes florestais da região, por meio da restauração das matas ciliares ao longo dos rios Buriticupu, Pindaré e Zutiua” (CALENTANO *et al.*, 2018, p. 336). Essa proposta traria a proteção ambiental e a recuperação do equilíbrio para as bacias hidrográficas, fortaleceria os aspectos culturais e os povos indígenas, além de potencializar o patrimônio natural da região, que embora seja reconhecido por ser potencialmente rico, ainda é pouco estudado pela comunidade científica. O fato de ser uma das áreas mais impactadas da Amazônia Maranhense traz à tona o debate e necessidade de criação do corredor ecológico. Visto que as áreas como as terras indígenas de Governador e Araribóia, ambas fazendo parte da BHRB, e as outras que representam o Mosaico Gurupi, são fundamentais para a conservação dos recursos hídricos e conectividade dos remanescentes. Fatos que trariam uma grande contribuição dentro da proposta, ainda embrionária, de criação do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pindaré, a concretização institucional do comitê seguindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) e a iniciativa por parte do poder público possibilitaria uma possível efetivação das melhorias citadas e implantação do corredor ecológico. Há, portanto, a necessidade de manutenção dos remanescentes florestais, com a prática de ações de fiscalização que visam a proteção da biodiversidade e contra a ocupação antrópica nessas áreas restritas legalmente.

Segundo dados do MapBiomas (s.d.), nota-se que desde a década de 1980 a BHRB perpassa por processos contínuos de degradação ambiental, sobretudo retirada da vegetação nativa (Amazônica) para pastagens (em um primeiro momento) e, posteriormente, para agricultura. Essas alterações pressionam os recursos hídricos e transformam a bacia hidrográfica em um local de intensos processos hidrossedimentológicos, pois na época de colheita, a retirada de extensas áreas de soja deixa o solo desprotegido contra a ação pluvial, carreando sedimentos que vão atingir as planícies. Santos e Soares (2020) também confirmaram esses destaques em outra bacia hidrográfica maranhense, na região nordeste do estado, que a ocupação de soja e eucalipto (algo que também ocorre na BHRB) é responsável por deixar as áreas suscetíveis à aceleração dos processos erosivos.

Os mesmos autores ainda avançam na discussão, identificando que as queimadas fazem a limpeza das áreas agrícolas e pastagens, elevando o nível de degradação da bacia. Essas variáveis também se aplicaram na BHRB, pois segundo dados coletados junto ao MapBiomas (s.d.), é possível visualizar que nos últimos doze anos (2010 a 2022) constatou-se uma grande quantidade de focos de queimadas.

Por fim, a classe de vulnerabilidade muito alta, abrangeu, predominantemente, planícies, que apesar de apresentar vegetações nativas, são locais de deposição e que podem padecer sob recorrentes inundações e processos erosivos. Para esses locais, recomenda-se que seja mantida a vegetação, bem como reflorestada aquelas áreas da planície que apresentam pastagens e/ou mineração (Figura 5).

Figura 5 – Grande parte das ocorrências de queimadas estão localizadas em áreas de vulnerabilidade ambiental muito alta na BHRB, Maranhão



Fonte: Os autores (2022).

Nessas planícies, há fortes restrições à ocupação urbana e a implantação de edificações, as quais podem apresentar problemas de trincamentos e abatimentos frequentes (CPRM, 2013). Entretanto, o que se vê na BHRB é a ocupação do distrito de nas margens das planícies, ou mesmos na própria planície, padecendo periodicamente às inundações. Até por isso que, nessas áreas é indispensável a alteração total de seus usos atuais, buscando restabelecer e restaurar um alto valor ambiental mediante a recomposição da vegetação florestal.

O fato de compreender tal dinâmica é fundamental para propor, a curto, médio e longo prazo, mudanças na forma atual de ocupação, bem como em estratégias de manejo de paisagens (RITTERS *et al.*, 1995; STEFFEN *et al.*, 2004; TREVISAN *et al.*, 2018; LEAL *et al.*, 2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Propor alterações na metodologia clássica e inicial não é algo novo, tampouco inédito. Porém, a ideia de trabalhar com o relevo enquanto componente capaz de redistribuir energias do sistema e exibir, assim, controle sobre os demais elementos da paisagem, é algo importante e que ganhou destaque no presente estudo. Avaliar as áreas vulneráveis é um importante instrumento de planejamento, e somado à proposta de adoção das unidades geomorfológicas fez com que cada unidade seja controlada, condicionada ou dependente da declividade e dos compartimentos. Fato que promove não somente na identificação das unidades, mas propicia que estas tenham características relativamente homogêneas, facilitando no processo de tomada de decisão.

Dessa forma, os objetivos foram atingidos e os resultados encontrados possibilitaram identificar a vulnerabilidade e propor, além de alterações no

uso das terras, identificar a real vulnerabilidade das planícies, impossibilitando a ocupação ou, no mínimo, indicar uma maneira de adequar esses processos ante à propensão na perda de sedimentos e equilíbrio dessas porções territoriais.

Lançar mão desses indicadores trouxeram consigo a identificação que as áreas mais frágeis do ponto de vista ambiental estão situadas em três locais de destaque: a primeira são as planícies; a segunda diz respeito às áreas de lavouras de soja e plantio de eucalipto do médio curso e a terceira nos focos de queimadas ocorridos, que deixaram marcas/cicatrices na paisagem e trouxeram uma vulnerabilidade ambiental elevada, sobretudo na terra indígena Governador.

Um ponto fundamental deste estudo, e que poderá contribuir para os demais que estão por vir nessa importante região maranhense e Amazônica, está no fato da proteção exercida pelas terras indígenas, já que estas fizeram com que mais de 50% das vegetações nativas ainda tenham ficado resistentes às ações antrópicas, e tornando-se assim um importante refúgio da biodiversidade. Além de exibir uma possibilidade de criação do corredor ecológico do Gurupi, algo necessário e fundamental para as bacias hidrográficas da região. De fato, isso afetará positivamente em certa medida a BHRB. O desafio atual está justamente na aplicação de tal medida. Espera-se, portanto, que este trabalho seja um ponto norteador para as ações de melhoria frente ao avanço da agricultura e pastagens sobre as vegetações nativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento do projeto e pela concessão de uma bolsa de Estágio Pós-Doc.

REFERÊNCIAS

- ARGENTO, M. S. F. **A Planície Deltaica do Paraíba do Sul** - Um Sistema Ambiental. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1979.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, 25 de maio de 2012.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei nº 5.371 de dezembro de 1967. Autoriza a instituição da "Fundação Nacional do Índio" e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, 5 de dezembro de 1967; 146º da Independência e 79º da República.

BRUGNOLLI, R. M.; PINTO, A. L.; MIGUEL, A. E. S.; OLIVEIRA, G. H. de. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental na Área do Assentamento São Joaquim, Selvíria/MS. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia. v. 15, n. 49, p. 126-137. 2014. <https://doi.org/10.14393/RCG154923822>

CAJAIBA, R.L.; PEREIRA, K.S.; MARTINS, J.S.C.; SOUSA, E.S.; SILVA, W.B. Megasoma actaeon (Linnaeus) (Scarabaeidae: Dynastinae): first record for Maranhão state, northeastern Brazil. **Scientia Amazonia**, v. 8, p. 13-16, 2019. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2019a/bio/avaliacao.pdf>. Acesso em: 30 jul, 2022.

CELENTANO, D. *et al.* Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 92, p. 315-339, 2018. <https://doi.org/10.5935/0103-4014.20180021>

CPRM, COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Portal GeoBank**. 2013. Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/geosgb/>. Acesso em: 02 mai. 2021.

CREPANI, E. M.; *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento físico-territorial**. São José dos

- Campos INPE, 2001 (INPE-8454-RPQ72). 124p. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 15 Jun. 2021.
- EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Brasília, 2018. 353p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 25 Jan. 2022.
- GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevô. **Revista Do Departamento De Geografia**, São Paulo, v. 37, 2019. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>
- GUIRRA, A. M. P. *et al.* A evolução metodológica de Fragilidade Ambiental no Brasil e seu aspecto transdisciplinar In: IV Simpósio Nacional sobre Cidades Pequenas, Universidade Federal de Uberlândia [Anais...]. 2016. Observatório das Cidades, Ituiutaba, 2016, p. 234-250.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2010.
- IBGE, Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal Geociências**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 02 mai. 2021.
- IMESC, INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. 2020. Disponível em: <http://www.zee.ma.gov.br/Portal/basededados>. Acesso em: 28 abr. 2021.
- LEAL, J. M.; AQUINO, C. M. S.; AQUINO, R. P.; VALLADARES, G. S. Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí: Bases para o ordenamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p608-621>
- LIMA, J. S.; CAJAIBA, R. L.; MARTINS, J. S. C.; PEREIRA, K. S.; SOUSA, E. S. Educação ambiental em resíduos sólidos em escolas no município de Buriticupu-MA. **Scientia Amazonia**, v. 7, p. 122-127, 2018. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2017/08/v7-n1-122-127-2018.pdf>. Acesso em: 02 Mai. 2022.
- MAPBIOMAS. **Coleção MapBiomás**. 2020. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 05 mai. 2021.
- MAPBIOMAS. **Plataforma de mapas e dados**. s.d. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 05 mai. 2021.
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. **ASF Data Search**. 2020. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/>. Acesso em: 05 mai. 2021.
- NICASIO, K. L.; SANTOS, F. M. B. dos; SILVA, K. M. A. da; MARTINS, J. da S. C.; CAJAÍBA, R. L. Avaliação ambiental de lagoas naturais e artificiais no município de Buriticupu, MA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.16, n. 29, 2019. https://doi.org/10.18677/EnciBio_2019A136
- QGIS Development Team, 2022. **QGIS Desktop 3.22.5**. Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- RITTERS, K.H.; O'NEIL, R.V.; HUNSAKER, C.T.; WICKHAM, J.D.; YANKEE, D.H. TIMMINS, S.P. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. **Landscape Ecology**, v.10, n.1, p. 23-39, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF00158551>
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 88p.;
- ROSS, J. L. S. & FIERZ, M. de S. M. Geomorfologia aplicada ao planejamento ambiental territorial: potencialidades e fragilidades In: MAGNONI JÚNIOR, L. *et al* (org.). Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano, Centro Paula Souza, São Paulo, 2017. p.58-77
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia/USP**, São Paulo, n. 8, p. 63-73, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>
- SANTOS, L. C. A. dos; SOARES, I. G. Caracterização da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Preto, Maranhão - Brasil. **Geografia**, Londrina/PR, v. 29, n. 1, p. 85-105, 2020. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2020v29n1p85>
- SILVA, C. A.; BEREZUK, A. G. Geografia, Geografia Física: o pensar e o fazer geográfico em um mundo-tempo pandêmico, remoto e autocrático. In: Charlei Aparecido da Silva; André Geraldo Berezuk; Camila Riboli Rampazzo; Adelsom Soares Filho. (Org.).

Geografia & Pesquisa: do pensar e do fazer. 1ed. Porto Alegre (RS): TotalBooks, 2021, v. p. 13-40.

<https://doi.org/10.52632/978.65.88393.20.8.1>

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais.** 2007. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

STEFFEN, W.; SANDERSON, A.; TYSON, P. D.; JÄGER, J.; MATSON, P. A.; MOORE III, B.; OLDFIELD, F.; RICHARDSON, K.; SCHELLNHUBER, H. J.; TURNER, B. L.; WASSON, R. J. **Global change and the earth system: A planet under pressure**, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. <https://doi.org/10.1007/b137870>

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; DIAS, L. C. C.; GONÇALVES, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos – SP. **Revista Ra'eGa**, Curitiba, v. 44, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.50439>

UNDP, UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development.** A global report. Nova York: UNDP - Bureau for crisis prevention and recovery (BRCP), 2004.

USGS, UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer - Sentinel 2B.** 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 02 mai. 2020.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Rafael Brugnolli Medeiros concebeu o estudo, coletou, analisou os dados, elaborou os mapeamentos, redigiu e revisou o texto. Luiz Carlos Araujo dos Santos redigiu, orientou e revisou o texto. José Fernando Rodrigues Bezerra coletou, redigiu e revisou o texto. Quesia Duarte da Silva revisou e aprovou o texto. Silas Nogueira de Melo revisou e aprovou o texto.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.