

Vulnerabilidade aos processos erosivos relacionada com a sazonalidade no município de Barcarena, Pará

No cenário das sociedades em desenvolvimento os padrões de crescimento econômico influenciam diretamente na degradação dos recursos naturais. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a vulnerabilidade ambiental à erosão de Barcarena (PA), considerando os meses das diferentes estações meteorológicas. Dessa forma, aplicou-se a metodologia de Vulnerabilidade Ambiental de Crepani et al. (2001), realizando junção das variáveis: geologia, geomorfologia, solos, uso e ocupação da terra e clima. O cruzamento de dados foi realizado no ambiente do software Arcgis, versão 10.5., foi realizando o mapeamento dos fatores geológico, geomorfológico, pedológico, climatológico e de uso e ocupação da terra. Pode-se observar a interferência sazonal presente em Barcarena, visto que 18.7% do município é moderadamente vulnerável no verão e inverno, comprovando que o clima é um dos principais fatores de acentuação da erosão. De forma geral nas quatro estações meteorológicas no município mais de 70% da unidade mapeada é medianamente estável/vulnerável, prevalecendo o equilíbrio entre morfogênese e pedogênese. Contudo, em todas as estações a zona portuária-industrial e urbana apresentam maior exposição com relação as demais áreas; desta forma recomenda-se uma atenção redobrada de todas as esferas de governo, iniciativa privada e sociedade civil no controle e monitoramento destas unidades de paisagem.

Palavras-chave: Erosão; Urbanização; Sazonalidade.

Vulnerability to erosive processes related to seasonality in the municipality of Barcarena, Pará

In the scenario of developing societies, economic growth patterns directly influence the degradation of natural resources. In this context, the objective of this study was to analyze the environmental vulnerability to erosion in Barcarena (PA), considering the months of the different weather stations. Thus, the Environmental Vulnerability methodology by Crepani et al. (2001), bringing together the variables: geology, geomorphology, soils, land use and occupation and climate. Data crossing was performed using the Arcgis software, version 10.5., the mapping of the geological, geomorphological, pedological, climatological and land use and occupation factors was mapped. It can be observed the seasonal interference present in Barcarena, since 18.7% of the municipality is moderately vulnerable in summer and winter, proving that the climate is one of the main factors of accentuated erosion. In general, in the four meteorological stations in the municipality, more than 70% of the mapped unit is moderately stable/vulnerable, with a balance prevailing between morphogenesis and pedogenesis. However, in all seasons, the port-industrial and urban areas have greater exposure compared to other areas; therefore, it is recommended that extra attention be given to all spheres of government, private initiative and civil society in the control and monitoring of these landscape units.

Keywords: Erosion; Urbanization; Seasonality.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **04/12/2020**

Approved: **21/12/2020**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Stephanie Jael Negrão de Freitas 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1432769722634758>
<http://orcid.org/0000-0001-9917-5342>
negro.stephanie@gmail.com

Márcia Aparecida da Silva Pimentel 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3994635795557609>
<http://orcid.org/0000-0001-9893-9777>
mapimentel@ufpa.br

Giordani Rafael Conceição Sodré 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0513329362156835>
<http://orcid.org/0000-0002-8918-973X>
giordani@ufpa.br

Marcos Ronielly da Silva Santos 
Universidade Federal do Pará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5695152705442948>
<http://orcid.org/0000-0002-1959-1424>
mronielly@yahoo.com.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0036

Referencing this:

FREITAS, S. J. N.; SILVA, M. A.; SODRÉ, G. R. C.; SANTOS, M. R. S..
Vulnerabilidade aos processos erosivos relacionada com a sazonalidade no município de Barcarena, Pará. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.448-462, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0036>

INTRODUÇÃO

No contexto de países em desenvolvimento como o Brasil, os padrões de crescimento econômico influenciam diretamente na degradação dos recursos naturais (CAPPS et al., 2016). Na Amazônia Brasileira em meados da década de 1960, a inserção de políticas de desenvolvimento introduziu grandes transformação nas unidades de paisagem com a intenção de atender as necessidades do capital externo com a demarcação de propriedades privadas, para dar início aos processos de produção (BROWN et al., 2016).

Neste contexto, no território de Barcarena (PA), foram introduzidos empreendimentos de beneficiamento mineral que concebeu o polo industrial. Para Kerguillec et al. (2019), zonas costeiras como Barcarena são naturalmente vulneráveis e a carência por um planejamento territorial somada as pressões exercidas neste espaço, desencadeou diferentes formas de uso e ocupação da terra e consequentemente um desequilíbrio ambiental de degradação da rica biodiversidade local (LEMOS et al., 2017).

Tendo consciência de que o solo é um recurso que pode ser degradado e que essa possibilidade está relacionada a ação antrópica no uso e ocupação. Dessa forma, pesquisas científicas a respeito do solo, passaram a ser o cerne de estudos que envolvem o planejamento territorial (ROVANI et al., 2015; ROVANI et al., 2016).

A influência sazonal pode ser um fator determinante na perda de solos e é a variável climatológica mais estudada na região amazônica (TRAVASSOS et al., 2019). De acordo com o estudo de Panagos et al. (2017) a zona climática tropical apresenta significativa erosividade média de chuvas. Para Santos et al. (2018) a cidade de Barcarena possui vulnerabilidade climática, por haver ocorrência de eventos extremos como o fenômeno La Niña correlacionado positivamente com a precipitação.

Dessa forma, mecanismos de planejamento ambiental e utilização de ferramentas integradas são eficazes para obtenção de informações valiosas a respeito de fatores que interferem sobre a vulnerabilidade do território, para assim haver políticas de gestão assertivas (GARCIA-AVLLON et al., 2015). A vulnerabilidade ambiental é entendida como a capacidade que o sistema tem para reagir diante de interações em escalas espaço-temporais, a partir dos atributos ecossistêmicos.

Modelos ambientais integrados são frequentemente construídos para ajudar decisões institucionais. O engajamento dos componentes geoambientais é um passo importante na modelagem integrada, pois através do sensoriamento remoto possibilita identificar áreas com probabilidade relativa de ser afetada devido a um conjunto de fatores identificados (SAHOO et al., 2016; TAKUYA et al., 2020).

Dessa forma, a realização de estudos de vulnerabilidade ambiental com abordagem sistêmica observando a sazonalidade, gera informações valiosas sobre os níveis de exposição das unidades de paisagens aos processos erosivos ao longo do ano (LEAL et al., 2019).

Santos et al. (2016) em seu estudo sobre a precipitação na Amazônia brasileira, considerou dividir os campos sazonais em dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); março, abril e maio (MAM); junho, julho e agosto (JJA); setembro, outubro e novembro (SON), representando as quatro estações do ano, verão, outono, inverno e primavera, respectivamente

Aquino (2017), afirma que a vulnerabilidade ambiental é expressa como o nível de incapacidade que um sistema exposto tem de resistir diante de pressões exteriores. Estas pressões podem advir por condições naturais ou antropogênicas.

Para Belato et al. (2018) a vulnerabilidade ambiental é definida pela relação entre as características ecossistêmicas e a influência antropogênica de um determinado recorte espacial. Tendo em vista que a análise de vulnerabilidade abrange uma esfera de fatores físicos e antrópicos sobre o local em estudo.

É possível observar casos de vulnerabilidade ambiental em municípios que assim como Barcarena, sofrem um processo voraz de urbanização. Hasan et al. (2019) identificou aquíferos vulneráveis de Savar upazila, uma zona altamente industrializada do distrito de Dhaka, Bangladesh. O mapa de vulnerabilidade resultante revelou que cerca de 45% da área é moderadamente vulnerável e 21% altamente vulneráveis à contaminação da água subterrânea.

Nos anos 80, Bahía Blanca tornou-se um centro agroindustrial e de empresas petroquímicas, Gentili et al. (2018) estudou a vulnerabilidade dessa área em torno de atividades industriais foram identificadas, principalmente no sudoeste da cidade, zonas registraram altos índices de vulnerabilidade ambiental, principalmente na área fronteira atividades industriais e portuárias.

Estudar os componentes naturais e antrópicos que levam à perda de solo no sistema ambiental tem sido recorrente no Brasil como as pesquisas de Crepani et al. (2001), Ribeiro (2016), Santos et al. (2018), Leal et al. (2019), também na Amazônia, a exemplo de Oliveira et al. (2018) que integraram informações, gerando resultados assertivos.

Dessa forma, indicadores podem retratar de modo eficaz atributos de uma unidade territorial. Ponderar e associar parâmetros a índices geram uma significância na categorização final. Lançar mão de indicadores é uma escolha assertiva e vantajosa, pois problemas de alta complexidade são simplificados para auxiliar tanto o poder público como a iniciativa privada na tomada de decisão (PAPATHOMA KOHLE et al., 2019).

A partir do questionamento sobre a influência sazonal na perda de solos definiu-se como objetivo principal deste estudo analisar a vulnerabilidade ambiental de Barcarena (PA), considerando os meses das diferentes estações meteorológicas.

DISCUSSÃO TÓRICA

Área de estudo

Localização de Barcarena

Barcarena está estabelecida na Mesorregião Metropolitana de Belém, no leste do Pará, na convergência dos rios Tocantins e Guamá sob as coordenadas geográficas: 01 ° 30'24'S e 48 ° 37'12'O (figura 1). Localizada na bacia hidrográfica do rio Murucupi insere-se na sub-região Guamá-Mojú, que incorpora a região hidrográfica Costa Atlântica-Norte. O clima predominante é tropical, quente e úmido; típico nas cidades Amazônicas, com temperatura média de 31,5 °C, precipitação total anual de 2.532 mm/ano (LEMOS

et al., 2018). O município possui 1.310,340 km² de unidade territorial e população estimada em 124.680 habitantes (IBGE, 2019).

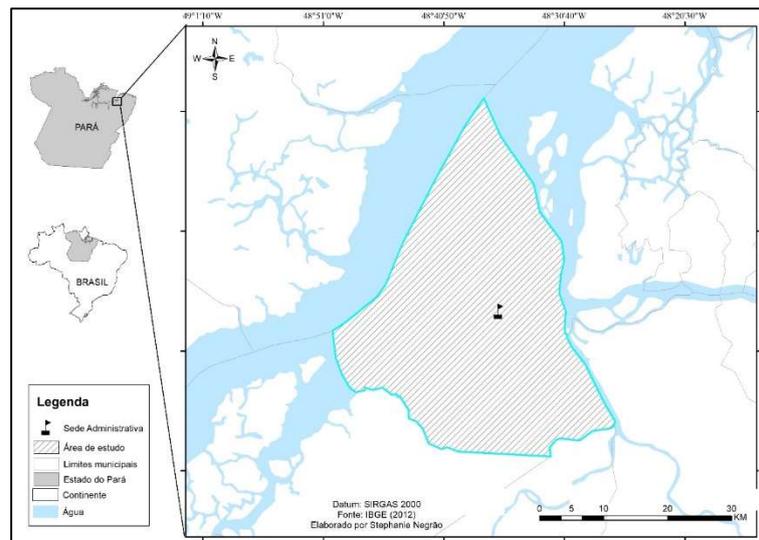


Figura 1: Localização geográfica do município de Barcarena, PA.

A dinâmica urbana e rural do município de Barcarena ocorreu de forma bem distinta ao longo dos últimos anos. Essa dinâmica, em sua maior parte influenciada pela industrialização, resultou na reestruturação do espaço, alterando a paisagem urbana e rural, além de modificar as relações socioespaciais do município. Antes da inserção de um novo momento industrial no município de Barcarena, as populações tradicionais utilizavam os recursos naturais para subsistência, através do saber local e o conhecimento ecológico pescando, caçando na prática do extrativismo.

Sobre os processos erosivos, no ano de dois mil e quinze a Prefeitura municipal de Barcarena isolou a extensa área de erosão que atingiu oitenta por cento da Praia do Caripi. A situação foi resultado da ação prolongada da erosão fluvial que já ocorria nos últimos dois anos. A cheia dos rios e o movimento das marés atinge a camada do solo abaixo da rua, comprometendo todas as estruturas próximas da praia.

A erosão é uma problemática recorrente no município, em fevereiro do ano de dois mil e vinte a prefeitura municipal iniciou os trabalhos para recuperar parte da orla da praia da Fazendinha, localizada na Vila dos Cabanos que desmoronou, devido a força da maré alta. De acordo com a Prefeitura Municipal de Barcarena (2020), cerca de trezentos e cinquenta metros de asfalto foram deteriorados.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para a análise de vulnerabilidade ambiental à perda de solo está embasada no método proposto por Crepani et al. (2001) para elaborar mapas de vulnerabilidade a partir do conceito da Ecodinâmica; em que a vulnerabilidade das unidades de paisagem é determinada através de uma escala dos valores de 1 a 3 estabelecidos previamente de acordo com os processos de morfogênese e pedogênese (tabela 1) de cada critério, ou seja, o grau de fragilidade apresentado, analisando individualmente os temas imprescindíveis Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação e Uso e Cobertura da Terra e Clima e posteriormente cruzando os dados através da técnica de álgebra de mapas no ambiente do *software* ArcGis

10.5.

Base Cartográfica

Para este estudo, a coleta de dados se deu por meio da base cartográfica disponível no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012) na escala de mapeamento de 1:250.000, que disponibiliza arquivos no formato *shapefile* com dados no que concerne as feições geológicas, geomorfológicas e pedológicas do território através do site¹.

As informações sobre o uso e ocupação da terra foram as imagens Landsat-8 referente às órbitas/ponto 224/1 e 223/61; extraídas do projeto Terra Class “Mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira com alta resolução espacial utilizando dados Landsat-8 /TM e MODIS, ano de 2014” elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta categoria reflete a densidade de cobertura vegetal e a veemência de culturas antrópicas no território Crepani et al. (2001). Os valores de vulnerabilidade foram determinados conforme o grau de antropização de cada classe.

A espacialização do clima no município foi gerada a partir da base de dados globais CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*) com série temporal anual da precipitação 1989/2019 incorporando imagens de satélite de resolução de 0,05° com dados de estação pluviométricas para criar séries temporais de pluviometria em grade². Os dados para o município de Barcarena foram processados no *software* QGis 3.10.

Após realizar a quantificação da intensidade pluviométrica a partir da divisão da precipitação anual pelo número de meses do outono, inverno, primavera e verão foi possível quantificar a média climatológica de cada estação verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto), e primavera (setembro, outubro e novembro).

Processamento de dados

A partir da compilação das variáveis, a confecção dos mapas temáticos foi realizada através do *software* Arc Gis 10.5 por meio da técnica de álgebra de mapas, com a aplicação da equação 1 foi possível gerar diferentes cenários e analisar as respostas das variáveis nas quatro estações meteorológicas. A tabela 1 apresenta a definição de classes de Vulnerabilidade de acordo com a relação morfogênese/pedogênese.

$$V = \frac{G+R+P+Uc+C}{5} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

V= Vulnerabilidade à Perda de Solo

G= Critério Geologia

R= Critério Geomorfologia

P= Critério Pedologia

Uc= Critério Uso e Cobertura da Terra

C= Critério Clima

¹ <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas>

² <ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>

Tabela 1: Determinação de estabilidade de acordo conforme às condições de vulnerabilidade ambiental.

Grau de Vulnerabilidade	Valor	Relação entre Morfogênese e Pedogênese
Estável	1,0 - 1,3	Prevalece a Pedogênese
Moderadamente estável	1,4 - 1,7	
Medianamente estável /vulnerável	1,8 - 2,2	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese
Moderadamente vulnerável	2,3 - 2,6	
Vulnerável	2,7 - 3,0	Prevalece a Morfogênese

Fonte: Crepani et al. (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise das variáveis

Geologia

Este critério refere-se à evolução geológica e grau de coesão das rochas que compõe o município de Barcarena (LOPES et al., 2016). Foram mapeadas quatro unidades geológicas no território (tabela 2) utilizando a base cartográfica preexistente disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), com suas respectivas particularidades, em conformidade com os critérios estipulados por Crepani et al. (2001), em que é levado em consideração os tipos de rochas que formam as unidades geológicas.

Tabela 2: Caracterização Geológica do município de Barcarena, PA.

Feições geológicas	Classe de vulnerabilidade	Área (km) ²	%
Cobertura sedimentar do baixo Tocantins	2.5	13.75	1,7
Depósitos Aluvionares Holocenicós	3	289.15	35,85
Grupo Barreiras	2.5	102.83	12,75
Cobertura Detrito-Laterítica Neo Pleistocénica	2.5	400.64	49,68
Total	-	806,37	100

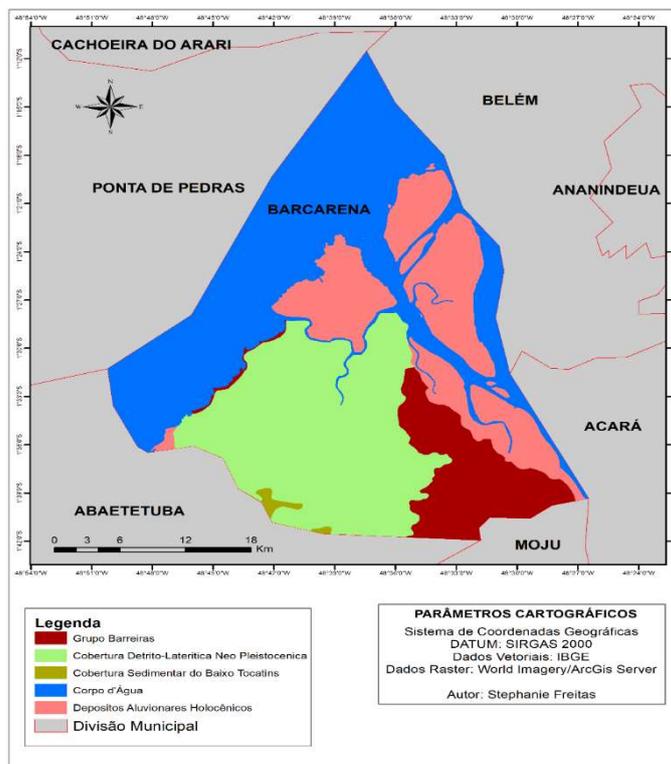


Figura 2: Unidades Geológicas do município de Barcarena, PA.

O território possui quatro unidades geológicas (figura 2). O período Quaternário é representado por depósitos aluvionares que se estendem pelas ilhas e formam uma planície de acumulação constituída por

cascalhos, areias, siltes e argilas (IBGE, 2010). Esta litologia está sujeita a inundações sazonais, portanto recebe a maior atribuição de vulnerabilidade com peso 3.

O período Terciário representa à área de terra firme, formado pela litologia sedimentar do baixo Tocantins e a formação barreiras, constituída por arenitos finos, siltitos e argilitos caulíníticos, com lentes de conglomerados e arenitos grosseiros, pouco inconsolidado, sendo atribuído o peso 2.5 para ambos. A formação detrito-laterítica neopleistocênica constitui a maior feição geológica do município, formada por sedimentos argilo-arenosos, parcial a totalmente pedogeneizados, portanto atribuiu-se vulnerabilidade de 2,5. (IBGE, 2010).

Geomorfologia

As características geomorfológicas caracterizam as formas de relevo e suas especificidades influem diretamente com a geologia, solos e hidrografia local (LOPES et al., 2016). A partir da elaboração do estudo, foram mapeadas três feições geomorfológicas (tabela 3), definidas de acordo com as características de cada unidade geomorfológica as respectivas pontuações de vulnerabilidade, tendo como base a relação entre a morfogênese e a pedogênese de acordo com a escala de Crepani et al. (2001).

Tabela 3: Caracterização Geomorfológica do município de Barcarena, PA.

Feições Geomófológicas	Classe de Vulnerabilidade	Área (km) ²	%
Litoral de mangues e rios	2	382.72	42,38
Planícies e Terraços Fluviais	1.5	100.86	11,16
Tabuleiros Paraenses	1.5	419,92	46,50
Total	-	903.05	100

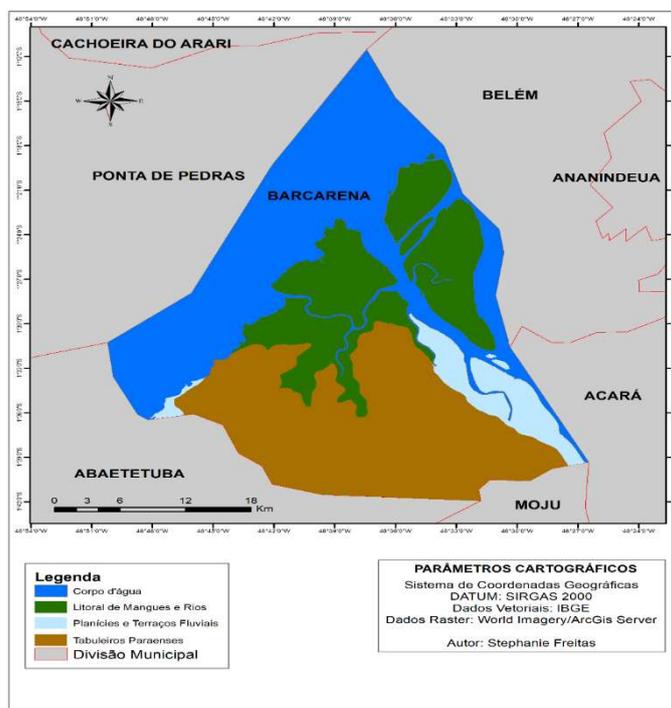


Figura 3: Unidades Geomorfológicas do município de Barcarena, PA.

As três feições geomorfológicas são apresentadas na figura 3. O Litoral de mangues e rios faz parte da Planície Amazônica formada por um relevo plano com pequena ondulação iniciando a margem do corpo hídrico situado na região das Ilhas, Murucupí e parte da Vila do Conde (IBGE, 2010). Parte da região das Ilhas

que são zonas de influência estuarina possuem feição de planície fluvial, relativas à planície flúvio-marinha ou planície costeira, ambas feições recebem atribuição de 2 para vulnerabilidade. Na sede do município predomina o relevo de tabuleiros paraenses de terra firme, que corresponde a vales rasos, apresentando vertentes de baixa a média declividade recebendo peso 1.5 (IBGE, 2010).

Pedologia

As mudanças climáticas repetidas nos últimos 2 milhões de anos tornaram as regiões tropicais alternadamente mais úmidas e mais secas e isto é refletido através do solo, visto que o intemperismo abre portas para erosão Crepani et al. (2001). Através do processamento de dados, foram mapeados três tipos de solos em Barcarena (figura 4). A definição das pontuações de vulnerabilidade, se deu por meio da análise do nível de maturidade de cada classe pedológica (tabela 4).

Tabela 4: Caracterização Pedológica no município de Barcarena, PA.

Classes Pedológicas	Classe de Vulnerabilidade	Área (km) ²	%
Espodossolo ferrihumiluvico	3	10,71	1,35
Gleissolo háplico	3	217,90	27,57
Latossolo vermelho amarelo	1	561,68	71,07
Total	-	790,29	100

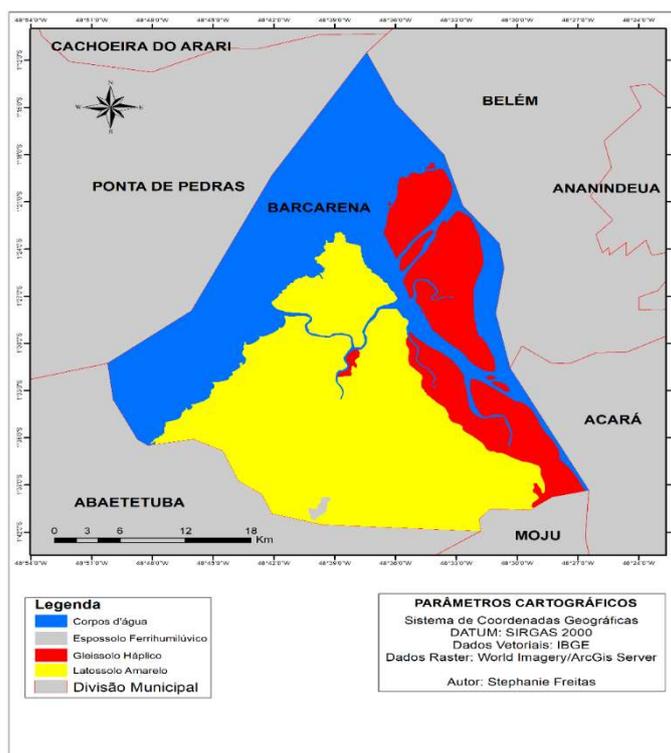


Figura 4: Unidades Pedológicas do município de Barcarena, PA.

Dessa forma, os Gleissolos Háplicos, que abrangem a macrozona rural das Ilhas, são solos que em sua composição argilosa, são regularmente ou constantemente saturados com água, sendo hidromórficos desenvolvendo problemas quando drenados, dificultando o crescimento de raízes e os Espodossolos Ferrihumilúvicos, muito arenosos, portanto suscetíveis à erosão receberam o peso de vulnerabilidade 3. No território predominam os Latossolos Vermelho-Amarelos, que são solos minerais, com valor de vulnerabilidade 1 pelo fato de serem profundos dessaturados, geralmente bem drenados e típicos de relevo

plano (EMBRAPA, 2017).

Uso e Cobertura da Terra

No contexto de uso e ocupação da terra, dentre as doze tipologias mapeadas (figura 5) as maiores atribuições de vulnerabilidade foram para focos de desflorestamento, área de mineração e área urbana, ambos com peso 3, (tabela 5) que se caracterizam pela ocupação de atividades industriais, portuárias, comerciais e ocupações urbanas.

Tabela 5: Caracterização do uso e ocupação da terra no município de Barcarena, PA.

Vegetação e uso da terra	Classe de Vulnerabilidade	Área (km) ²	%
Hidrografia	1	507.85	42.89
Floresta	1	180.75	15.26
Desflorestamento	3	7.23	0.61
Não Floresta	1	3.95	0.33
Regeneração com Pasto	1.5	2.52	0.21
Veg Secundaria	1.2	228.76	19.31
Área Urbana	3	220.84	18.65
Mineração	3	2.53	0.21
Área não observada	1	4.29	0.36
Mosaico de Ocupações	2.6	14.34	1.21
Outros	1	5.26	0.44
Pasto Limpo	2.9	2.78	0.23
Pasto Sujo	2.5	2.94	0.24
Total	-	1.183,92	100

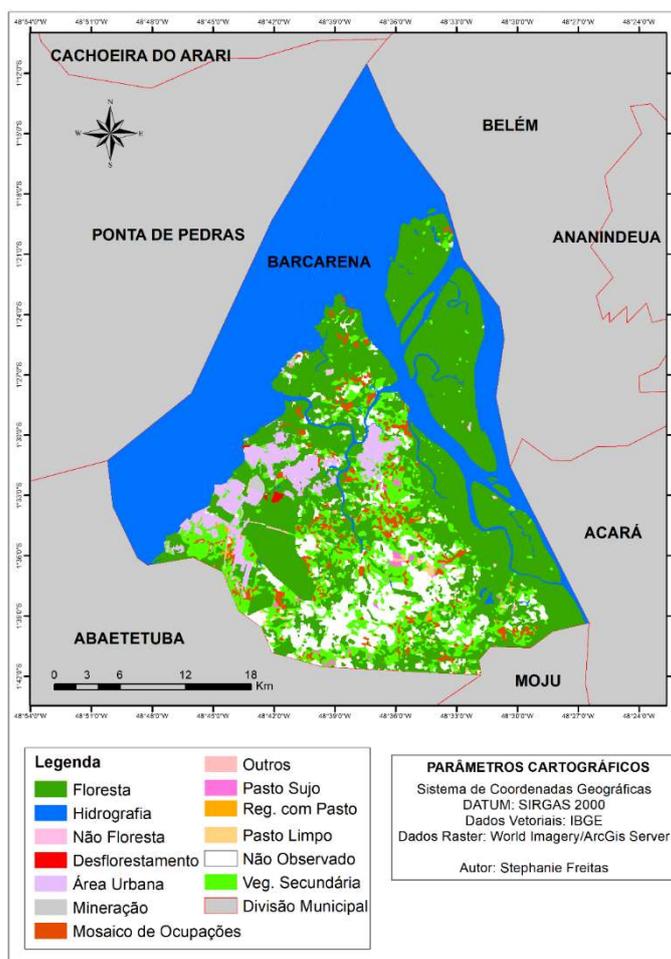


Figura 5: Uso e ocupação da terra no município de Barcarena, PA.

Parte da área urbana mapeada insere-se no contexto de uma zona especial de interesse portuário, que segundo o Plano diretor do município feito em 2016, esta área tem por objetivo conservar a floresta e desenvolver atividades de baixo impacto. Entretanto, o que gera preocupação é o fato de haver barragens, aterros de resíduos industriais e a atividade graneleira que ameaçam o corpo hídrico e a biodiversidade, fazendo desses recortes espaciais áreas suscetíveis.

Os focos de desflorestamento também estão na área especial de interesse portuário, que abriga grande extensão de floresta. Barcarena tem uma densa área de floresta tropical com espécies arbóreas que ultrapassam 50 metros, sendo possível visualizar em alguns recortes fragmentos de pastagem, vegetação secundária e vegetação em regeneração. Também há presença de formações pioneiras na zona costeira, que são mantidas pelas cheias periódicas e controladas pelas altas marés (PORFÍRIO et al., 2018).

Clima

O clima influencia diretamente no intemperismo, por meio da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região. A principal causa da perda de solos é a ação pluviométrica agindo sobre o solo removendo-o pela erosão hídrica, além de promover o arraste de contaminantes (CREPANI et al., 2001).

A tabela 6 apresenta a intensidade pluviométrica nas quatro estações meteorológicas reflete a sazonalidade pronunciada da precipitação durante o verão (DJF) com vulnerabilidade de 2 a 2.3 e o outono austral (MAM) com peso 2.3 por apresentar média maior. A estação seca ou menos chuvosa no inverno (JJA) peso 1.5 e primavera austral (SON) valores de 1.1 a 1.3 revelaram maior estabilidade.

Portanto, a maior intensidade pluviométrica no verão e outono pode ser explicada através da adjacência da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), como também o sistema de circulação de brisa, que compõem as conjunturas dinâmicas de grande e meso-escalas que possibilitam o desenvolvimento de Linhas de Instabilidade por toda extensão longitudinal da região norte e nordeste da Amazônia (SANTOS et al., 2018; CAVALCANTE et al., 2020).

Tabela 6: Caracterização climática no município de Barcarena, PA.

Intensidade pluviométrica (mm)/ mês	Vulnerabilidade	Classificação	Estação
361-370	2.3	Moderadamente Vulnerável	Outono
370 - 400	2.4		
152-169	1.5	Moderadamente Estável	Inverno
56-75	1.1	Estável	Primavera
75-100	1.2		
100-120	1.3		
250-275	1.9	Medianamente Estável/ Vulnerável	Verão
275-300	2		
300 - 325	2.1		
325 - 350	2.2		

Vulnerabilidade Ambiental

Com a aplicação da técnica álgebra de mapas e alicerçados no método proposto por Crepani et al. (2001), analisando os critérios de geologia, geomorfologia, solos, uso e ocupação da terra e clima considerando as estações do hemisfério sul, pôde-se gerar resultados que apresentam diferentes níveis de

vulnerabilidade ambiental à perda de solos.

A correlação de análises dos indicadores ambientais interfere na estabilidade física e espacial, somada a interferência antropogênica. Dessa forma, os mapas integram nos intervalos que quantificam a vulnerabilidade, dados valiosos das particularidades dos indicadores, não se tratando de um mero cruzamento de informações. Os diferentes cenários de vulnerabilidade ambiental podem ser observados na figura 6.

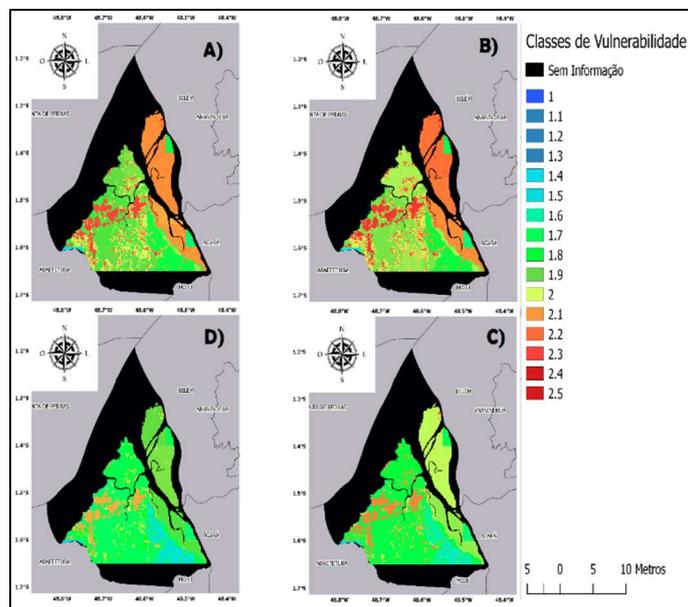


Figura 6: Variação sazonal da vulnerabilidade a erosão no município de Barcarena: A) Verão; B) Outono; C) Inverno; D) Primavera.

Nas estações de primavera, inverno, verão e outono os índices de vulnerabilidade corresponderam 2.2, 2.3, 2.5 e 2.5 respectivamente. Na primavera 60 km² são moderadamente estáveis e 635 km² medianamente estáveis. O inverno apresentou 60 km² moderadamente estáveis, 627 km² medianamente estáveis e 8 km² moderadamente vulneráveis, nessa estação foi possível observar o início da transição para estados de maior suscetibilidade e menor estabilidade, visto que as estações seguintes apresentam cenários moderadamente vulneráveis mais pronunciados. O verão e outono austral, que correspondem aos meses de DJF e MAM apresentou cenários moderadamente vulneráveis com percentual de 18.7 equivalente a 130 km² do território (tabela 7).

Estes resultados ratifica o resultado de Panagos et al. (2017) que demonstra, a maior sazonalidade, na Amazônia, no verão e outono correspondendo ao período mais chuvoso, relacionado aos padrões oceano-atmosfera de grande escala relacionados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

No outono, inverno primavera e verão, a classe de vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável predomina no território com 79.8 %, 89.5 %, 91.3 % e 74.8% correspondendo à maior unidade mapeada. As áreas com maior estabilidade correspondem a solos em estágio de melhor desenvolvimento e significativa cobertura vegetal, pois os processos pedogenéticos são favorecidos em unidades de paisagem que possuem vegetação mais densa.

Tabela 7: Caracterização da vulnerabilidade ambiental à erosão nas quatro estações no município de Barcarena, PA.

Estação	Moderadamente estável/vulnerável (km ²)	Medianamente estável/vulnerável (km ²)	Moderadamente Vulnerável (km ²)	Total (km ²)
Outono	10	555	130	695
Inverno	60	627	8	700
Primavera	60	635	-	700
Verão	35	520	120	685

Um autor em seu estudo na bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA identificou áreas com moderada e mediana estabilidade no período chuvoso, em que há precipitação máxima de 350 mm, diferente de Barcarena que apresenta um pico de 380 mm no mesmo período, mostrando que o clima é um dos principais fatores que influenciam na variabilidade da vulnerabilidade à erosão, tornando-se uma das maiores causas de depauperamento dos solos.

O estudo de Leal et al. (2019) no município de São Miguel do Tapuio, Piauí apontou 26,4% de Moderada vulnerabilidade, 63,9% de Moderadamente a alta vulnerabilidade e 9,5% na classe Alta de vulnerabilidade, o que pode explicar a diferença é o fato de que Barcarena possui um índice de vegetação de 411 km², significativamente maior, recebendo um valor de vulnerabilidade menor além de possuir boa estabilidade das variáveis pedologia, geologia e geomorfologia.

Vale salientar que por ser medianamente estável/vulnerável, essas áreas necessitam de monitoramento e necessitam de ações que reúnam todas as partes envolvidas na pesquisa e gerenciamento de riscos costeiros, criando uma dinâmica regional de observação baseada na governança original, que cria uma forte interface entre acadêmicos e gestores, combinando instituições públicas, centros de pesquisa, órgãos de decisão, e órgãos operacionais.

As porções das ilhas do Arapari e Trambioca, onde residem os povos varzeanos apresentam unidade geológica de depósitos aluvionares que se estendem pelas ilhas e formam uma planície de acumulação constituída por cascalhos, areias, siltes e argilas (IBGE, 2010). Os gleissolos háplicos, que em sua composição argilosa, são regularmente ou constantemente saturados com água, sendo hidromórficos desenvolvendo problemas quando drenados, dificultando o crescimento de raízes, que de acordo com os dados recebem índice pluviométrico mais elevado. A geomorfologia de mangue está sujeita às inundações e uma intensa atividade de sua tríade (erosão, transporte e deposição).

Correlações

Barcarena possui excelentes condições para rota marítima direcionada os mercados europeu e norte-americano dessa forma, na zona de interesse portuário concentram-se o porto de Vila do Conde, à margem direita do Rio Murucupi, além dos portos de uso privativo caulíniferos e de granéis sólidos além da produção mineral no polo industrial, mais especificamente caulim, alumina e alumínio (EMBRAPA, 2017). O advento da industrialização com a interferência antropogênica, no ato de desmatar, queimar consequentemente transformou as unidades de paisagem no município (SILVA et al., 2016).

As unidades de paisagem moderadamente vulneráveis ambas no verão e outono correspondem a sede do município (por ser altamente antropizada) e a faixa costeira da zona portuária e industrial. Por ser o

ponto mais importante em termos econômicos em todas as estações estes espaços correspondem ao maior índice de vulnerabilidade mapeada.

A região portuária e industrial além de ser suscetível aos processos erosivos sofre há mais de vinte anos com ações por parte de algumas empresas em lançar efluentes sem tratamento no solo e no copo hídrico (SILVA et al., 2019) portanto, a figura 7 apresenta os focos de deposição de rejeitos com base no “Boletim Barcarena Livre” elaborado pelo Instituto de Ciências Sociais Aplicada da Universidade Federal do Pará (2016). Quanto a problemática da deposição de efluentes, medidas de fiscalização, sanções e controle governamental devem ser tomadas para que os efeitos ambientais não possam causar uma paralisação da região responsável pelo desenvolvimento econômico local o que poderia levar ao desemprego e sair de uma vulnerabilidade ambiental para uma social.

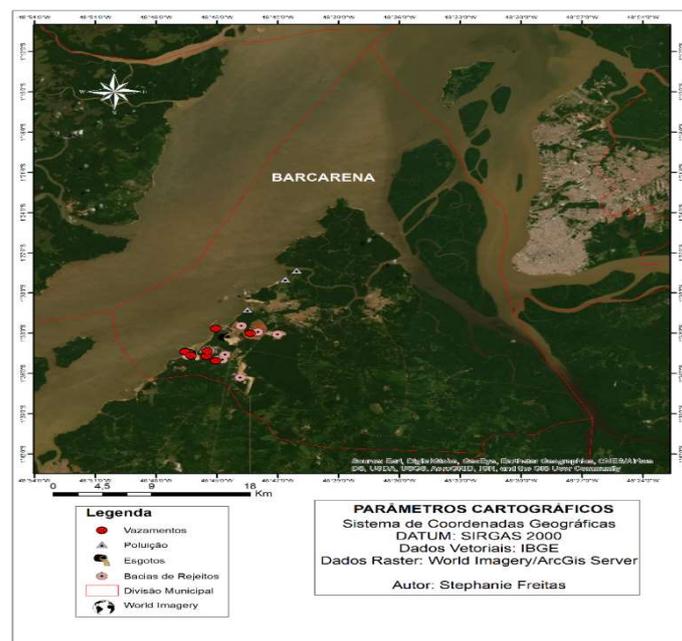


Figura 7: Foco de Deposição de Rejeitos Industriais, conforme boletim “Barcarena ambiental” UFPA/ICSA. **Fonte:** Adaptado de UFPA/ICSA (2016).

Controle e Monitoramento

Quanto ao controle e monitoramento dos processos erosivos, um bom exemplo de gestão a ser seguida é citado no estudo de Kerguillec et al. (2019) em que a região de Pays de la Loire, na costa atlântica da França, onde o poder público junto às instituições de ensino superior criou OR2C (Observatório Regional de Riscos Costeiros) em 2016, em um contexto de alta vulnerabilidade regional à erosão. O sistema reforça o conhecimento científico e melhora as ferramentas de gerenciamento de riscos costeiros, reduzindo assim a exposição. Essa gestão fortalece a dinâmica de observação da erosão e dos eventos extremos, melhorando a estratégia de monitoramento, a qual baseia-se em uma tecnologia que fornece dados topo-batimétricos anuais. Os dados obtidos são atualizados todos os anos e acessíveis gratuitamente. Os dados também são usados em uma inovadora caixa de ferramentas de análise espacial de riscos costeiros (MAP-RISC), que tem a capacidade de mapear a predisposição de setores expostos. O MAP-RISC fornece vários indicadores para apoiar a tomada de decisões.

CONCLUSÕES

Ao realizar o mapeamento dos fatores geológico, geomorfológico, pedológico, climatológico e de uso e ocupação da terra e com os resultados obtidos através do geoprocessamento pode-se observar a interferência sazonal nos processos erosivos presentes em Barcarena, visto que 18.7% do município é Moderadamente Vulnerável no verão e inverno austral comprovando que o clima é um dos principais fatores de acentuação da erosão. De forma geral nas quatro estações meteorológicas no município mais de 70% da unidade mapeada é medianamente estável/vulnerável, prevalecendo o equilíbrio entre morfogênese e pedogênese. E em todas as estações a zona portuária-industrial e urbana apresentam maior exposição com relação as demais áreas; desta forma recomenda-se uma atenção redobrada de todas as esferas de governo, iniciativa privada e sociedade civil no controle e monitoramento destas unidades de paisagem.

AGRADECIMENTOS: A primeira autora agradece à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (UFPA/EMBRAPA/MPEG). Os autores agradecem ao Grupo de Estudos Paisagem e Planejamento Ambiental (GEPPAM) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pelo suporte na pesquisa.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A. R. **Vulnerabilidade Ambiental**. São Paulo: Blucher, 2017.

BELATO, L. S.; SERRÃO, S. L. C.; GANDRA, A. L. F.; AMORIM, I. L. S.. Aplicação da vulnerabilidade ambiental do município de Moju, Estado do Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.5, p.218-230, 2018. DOI: <http://doi.org/doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.005.0020>

BROWN, D. S.; BROWN, J. C.; BROWN C.. Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v.54, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.003>

CAVALCANTE, R. B.; FERREIRA, D. B. S.; PONTES, P. R. M.; TEDESCHI R. G.; COSTA, C. P. W.; SOUZA, E. B.. Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazônia. **Atmospheric Research**, v.238, p.104-179, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104879>

CAPPS, K. A.; BENTSEN, C. N.; RAMIREZ, A.. Poverty, urbanization, and environmental degradation: Urban streams in the developing world. **Freshwater Science**, v.35, n.1, p.429-435, 2016. Disponível em: DOI: <http://doi.org/10.1086/684945>

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDES FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F.. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2017.

FRANCO, S. V.; DE SOUZA, E. B.; COSTA, C. P. W.; FERREIRA, D. S.; OLIVEIRA, J. V.; SODRÉ, G. R. C.; KUHN, P. A. F.; AZEVEDO, F. T.. Prognóstico sazonal da precipitação para o verão e outono austral da Amazônia oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n.1, p. 057-070, 2019. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p057-070>

GARCIA-AVLLON, S.; MIRALLES, J. L.. Novas estratégias para melhorar a governança na gestão territorial: evoluindo de 'cidades inteligentes' para 'territórios inteligentes'. **Procedia Engineering**, v.118, n.2, p.3-11, 2015.

GENTILI, J. O.; FERNANDE, Z. M. E.; CAMPO, A. M.. Vulnerability in Bahía Blanca. Estimating technology-related risks. **International Journal of Disaster Risk Reduction, Science Direct.**, v.31, p.659-667, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.07.005>

HASAN, M.; ISLAM, A.; HASAN, M. A.; ALAM, J.; PEAS, M. H.. Groundwater vulnerability assessment in Savar upazila of Dhaka district, Bangladesh: A GIS-based DRASTIC modeling. **Groundwater for Sustainable Development.**, v.6 n.2, p.31-45, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100220>

ICSA. Instituto de Ciências Sociais Aplicada. **Informativo Barcarena Livre: 37 Anos de desastres socioambientais**. Universidade Federal do Pará, 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Barcarena**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geodados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Mapeamento do uso e cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira com alta resolução espacial utilizando dados Landsat-8 /TM e MODIS**. São José dos Campos: INPE, 2014.

KERGUILLER, R.; AUDERE, M.; BALTZER, A.; DEBAINE, F.; FATTAL, P.; JUIGNER, M.; ROLLO, N.. Monitoring and management of coastal hazards: Creation of a regional observatory of coastal erosion and storm surges in the pays de la Loire region (Atlantic coast, France). **Ocean & Coastal Management**. v.13, n.1, p.61-81, 2019. DOI: <http://doi:10.1016/j.ocecoaman.2019.104904>

LEAL, J.; AQUINO, C. M.; 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**, v.12, n.2, p.608-621, 2019. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p608-621>

LOPES, M. S.; SALDANHA D. L.. Análise de Vulnerabilidade Natural à Erosão como subsídio ao Planejamento Ambiental do Oeste da Bacia Hidrográfica do Camaquã/RS. **Revista Brasileira de Cartografia** v.6, p.89-119, 2016.

OLIVEIRA, A. A.; BORGES, J. T.. Analysis of population vulnerability to environmental technological risks in the urban area of the city of Manaus-AM. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.49, 2018. DOI: <http://doi.org/10.5380/dma.v49i0.59260>

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K. J.; BALLABIO, C.. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific Reports**, v.7, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

PAPATHOMA-KOHLER, M.; SCHOGL, M.; FUNCHS, S.. Vulnerability indicators for natural hazards: an innovative selection and weighting approach. **Scientific Reports**, v.9, 2019. DOI: <http://doi:10.1038/s41598-019-50257-2>

PORFÍRIO, D. M.; COSTA, L. R. M.; MONTEIRO, M. L. D.. Rainwater geochemistry inside the Barcarena power station at the mouth of the Tocantins River. **Environmental Technology, United Kingdom**, v.39, 2018. DOI: <http://doi:10.1080/09593330.2018.1516801>

BARCARENA. Prefeitura Municipal de Barcarena. **Prefeitura inicia reparos na orla da Fazendinha**. Barcarena, 2020.

RIBEIRO, A, S. R.. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico

hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.1, p.16-31, 2016. DOI: <http://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p016-03>

ROVANI, F. F. M.; CASSOL, R.; WOLLMANN, C. A.; SIMIONI, J. P. D.. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, R. S. **Revista do Departamento de Geografia**, v.29, n.2, p.262-278, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102085>

ROVANI, F. F. M.; VIEIRA, M.. Vulnerabilidade natural do solo de Silveira Martins, RS. **Revista Floresta e Ambiente**, v.23, n.2, p.151-160, 2016.: DOI: <http://doi.org/10.1590/2179-8087.125614>

SAHOO, S.; DHAR, A.; KAR, A.. Environmental vulnerability assessment using Grey; Analytic Hierarchy Process based model. **Environmental Impact Assessment Review**, v.56, n.2, p.145-154, 2016. DOI: <http://doi:10.1016/j.eiar.2015.10.002>

SANTOS, R. Q.; SOUZA, E. B.; CAMPOS, L. O. B.; SANSIGOLO, A. C.; SANTOS, P. P.. Aspectos regionais do padrão sazonal da precipitação sobre a Amazônia utilizando o modelo RegCM4. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.2, p.917-926, 2016.

SANTOS, P. T.; MARTINS, A. P.. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. **Geography Department University of São Paulo**, v.36, n.2, p.155-170, 2018. DOI: <http://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>

SILVA, S. F.; HAZEU, M. T.. O complexo industrial-portuário em Barcarena e a saúde de comunidades tradicionais na Amazônia brasileira. **O Social em Questão**, n.5 n.4, p 171-194, 2019.

SILVA, S. H.; NODA, S. N.. The effects on Amazon floodplains of the dynamics between the water and land. **Ambiente e Agua: An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.11, n.2, p.377-398, 2016. DOI: <http://doi:10.4136/ambiente-agua.1805>

TAKUYA, I.; PARTINGTON, D.; TICEHUSTA, J.; BARRY F.W. CROCKEA, C.; JAKEMAN, A. J.. A socio-environmental model for exploring sustainable water management futures: Participatory and collaborative modelling in the Lower Campaspe catchment **Journal of Hydrology: Regional Studies** v. 28 n. 1 p. 1- 35, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100669>

TRAVASSOS, S. J.; TOMACHUK, C. R.; MELO, H. G.. EIS investigation and patina characterization of weathering steel exposed to each of the four seasons in the São Paulo metropolitan area. **Electrochimica Acta**, v.18, n.325, p.1-15, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.134885>