



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 10, nº 1 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n1ID32574>



Vulnerabilidade ambiental em Áreas de Preservação Permanente (APP) da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi, RN, Brasil

Environmental vulnerability in Permanent Preservation Areas (PPA) of the Potengi River Watershed, RN, Brazil

Caio Victor Macêdo Pereira¹; Matheus Natan Ferreira Alves de Sousa²; Felipe Souza Araujo³; Ivo Cavalcanti Neto⁴; Joyce Clara Vieira Ferreira⁵; Paulo Eduardo Vieira Cunha⁶; Karina Patrícia Vieira da Cunha⁷; Carlos Wilmer Costa⁸

- ¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: caioimp2010@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0668-5234>
- ² Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: matheusnatancivil@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6546-3899>
- ³ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: feliipe.souza26@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4961-3223>
- ⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: ivocavalcantisjs@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6624-5089>
- ⁵ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: joyceclaravfgeo@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8642-9697>
- ⁶ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: pauloeduardovc@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0502-4789>
- ⁷ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: cunhakpv@yahoo.com.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1847-738X>
- ⁸ Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal/UFRN, Brasil. Email: carloswilmercosta@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3148-0030>

Resumo: As Áreas de Preservação Permanente (APP) são estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro, que institui as regras gerais sobre a exploração da vegetação nativa e regulamenta a proteção a certos usos do solo em áreas de reconhecida vulnerabilidade. O objetivo desta pesquisa consiste em avaliar a Vulnerabilidade Ambiental à perda de solo em áreas de APP na Bacia Hidrográfica do Rio Potengi (BHRP), Rio Grande do Norte (RN). Além disso, pretende-se identificar os conflitos relacionados ao uso e ocupação do solo de forma a validar três áreas de APP específicas em campo. A Vulnerabilidade Ambiental foi classificada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) a partir de Análise Multicritério, sendo utilizada álgebra de mapas a partir de combinação linear ponderada. Como resultados, foram obtidas cinco classes de vulnerabilidade nas APP: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito alta. Os graus de vulnerabilidade Moderada, Alta e Muito Alta somaram 83,73% do total de áreas de APP. Com relação aos conflitos de uso do solo, a atividade predominante encontrada nas áreas de vulnerabilidade Muito Alta foi a pastagem, representando 91,4% dessas áreas.

Palavras-chave: Erosão; Recursos Hídricos; Geotecnologias; Modelagem Ambiental.

Abstract: The Permanent Preservation Areas (PPA) are established by the Brazilian Forest Code, which sets the general rules for the exploitation of native vegetation and regulates the protection of certain land uses in recognized vulnerable areas. The purpose of this research is to evaluate the Environmental Vulnerability to soil loss in PPA areas in the Potengi River Watershed (PRW), Rio Grande do Norte (RN). In addition, it is intended to identify conflicts related to land use and occupation in order to validate three specific PPA in the field. The Environmental Vulnerability was classified in Geographic Information Systems (GIS) based on Multicriteria Analysis, using map algebra based on weighted linear combination. As a result, five vulnerability classes were obtained in the PPA: Very Low, Low, Moderate, High and Very High. The degrees of Moderate, High and Very High vulnerability added up to 83.73% of the total PPA areas. With regard to land use conflicts, the predominant activity found in areas of Very High vulnerability was pasture, representing 91.4% of these areas.

Keywords: Erosion; Water resources; Geotechnologies; Environmental Modeling.

Recebido: 16/05/2023; Aceito: 10/11/2023; Publicado: 19/03/2024.

1. Introdução

As bacias hidrográficas, por várias razões, assumem grande importância na provisão de serviços ecossistêmicos indispensáveis ao desenvolvimento e à sobrevivência humana, entre eles o fornecimento de alimentos, água para abastecimento humano e dessedentação de animais, além do consumo industrial, irrigação e outras necessidades (LI *et al.*, 2021). Serviços ecossistêmicos é a capacidade do meio ambiente de fornecer recursos suficientes para uma população crescente (FEEN, 1996). Por outro lado, áreas degradadas arruinam a prestação destes serviços. Compreender os ecossistemas da perspectiva dos seres humanos como beneficiários, tem um enorme potencial para proteger áreas ambientalmente sensíveis e os serviços que eles fornecem (BRAUMAN *et al.*, 2007).

As alterações nos diferentes sistemas ambientais (solo, relevo, clima, recursos hídricos e geologia) em consonância com gestão ineficiente do uso do solo em uma bacia hidrográfica, podem causar efeitos negativos ao meio ambiente, desde processos erosivos, desertificação e até mesmo contaminação dos recursos hídricos e assoreamento dos cursos d'água (SPORL; ROSS, 2004; ALEXANDRE *et al.*, 2016).

Grande parte dos danos ambientais ocorrem em bacias hidrográficas. Dessa forma, é preciso conhecer bem sua formação, constituição e dinâmica diante de cenário de constante crescimento urbano/industrial e agrícola. O ordenamento territorial nestas áreas se torna imprescindível para o monitoramento dos possíveis impactos negativos que podem incidir sobre os recursos hídricos (GUERRA; JORGE, 2013; MORGAN, 2005).

Como forma de determinar a proteção dos elementos hídricos e controlar atividades/ocupação humana, o novo Código Florestal Brasileiro (CFB), Lei Federal Nº 12.261/2012 (BRASIL, 2012), é adotado como principal base legal, estabelecendo, dentre outros conceitos, as Reservas Legais (RL) e Áreas de Proteção Permanentes (APP), sejam em nascentes, topos de morro, áreas com declividades acentuadas e outras variantes (HOENIG; CANDIOTTO, 2012). Desta maneira, o monitoramento das diferentes formas de cobertura e uso da terra nessas áreas é de extrema relevância, uma vez que o solo é um sistema aberto não renovável, em constante transformação e suscetível aos impactos ambientais (SILVA; SILVA, A.J., 2017).

A APP é definida como uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa e que possui função de preservar recursos hídricos, preservar a paisagem, preservar o fluxo gênico da fauna e flora e proteger solo. Atualmente é regulamentada pelo Novo Código Florestal Brasileiro de 2012, que revoga a Lei n 4.771/1965 (BRASIL, 2012; CASTRO; MAY; GARCIAS, 2018). Foi conceituada inicialmente na Lei nº 4.771/1965, apesar de já existirem vestígios da importância de áreas semelhantes no que viria a ser considerado o primeiro Código Florestal Brasileiro no Decreto Federal nº 23.793, de 1934 (GUIMARÃES; GUIMARÃES, R.B.; LEAL, 2015). A faixa de restrição é alterada diante da dimensão de corpos hídricos ou tamanho de reservatórios, onde as diretrizes estabelecidas pelo Código Florestal possuem grande importância ambiental devido ao crescimento desordenado de áreas urbanizadas e alterações não planejadas do uso do solo (CHIAVARI; LOPES, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2007).

As vantagens da cobertura vegetal em áreas de APP consistem na redução da erosão, estabilidade do solo, diminuição do escoamento superficial, filtragem de poluentes e melhoria na qualidade da água, regulação do fluxo de água em bacias hidrográficas incluindo em períodos de seca, proporcionar habitat e vantagens sociais à população como, por exemplo, áreas para recreação (MORGAN, 2005).

Apesar de todas as importâncias citadas, por vezes as APP não são levadas em consideração no ordenamento territorial. Isso torna a bacia hidrográfica uma unidade territorial fundamental para definição de estratégias de efetivação de espaços protegidos no entorno de corpos de água (SILVA *et al.*, 2021; SCHULT *et al.*, 2013). Partindo dessa afirmação, as bacias hidrográficas podem ser abordadas como unidades de análise significativas quando nos referimos aos estudos ambientais, possibilitando o entendimento da dinâmica natural do seu espaço em larga escala de complexidade (GUERRA; JORGE, 2013; DICKEL; GODOY, 2016). Desse modo, a Bacia Hidrográfica do Rio Potengi (BHRP), um dos principais mananciais do estado do Rio Grande do Norte (RN), surge como meio para avaliação de vulnerabilidade das APP, uma vez que esse tipo de estudo é essencial para o planejamento territorial, de forma a definir diretrizes e ações em espaços físicos-territoriais (SILVA; BACANI, 2017).

Na avaliação da vulnerabilidade ambiental, a erosão representa um dos fenômenos mais significativos, capaz de contribuir para o aporte de contaminantes e sedimentos até chegar ao estuário do seu rio principal. Os problemas resultantes da erosão dos solos podem ser: remoção de nutrientes, redução da penetração das raízes e consequente armazenamento de água, diminuição das áreas agricultáveis e de pecuária, assoreamento de corpos hídricos, enchentes ao elevar o pico de vazão de rios e poluição dos corpos hídricos, em especial devido ao transporte de agroquímicos junto à sedimentos erodidos (GUO *et al.*, 2019). Certas regiões da BHRP, mais especificamente em sua região oeste, possuem solos mais suscetíveis à

erosão hídrica, sendo esta a principal forma de erosão responsável pela degradação de solos tropicais (SANTOS; SCUDELARI, 2011; PINTO *et al.*, 2020).

Globalmente, o termo vulnerabilidade ambiental pode ser compreendido como susceptibilidade de determinado sistema ambiental de sofrer modificações (APS *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2018). Diversos autores desenvolveram trabalhos na temática de vulnerabilidade ambiental à perda de solo (SOUZA *et al.*, 2020; SILVA; BACANI, 2017), seja a partir de adaptação da proposta elaborada por Crepani *et al.* (2001) ou união com outras metodologias para fragilidade ambiental (ROSS, 1994; SPÖRL; ROSS, 2004) como utilizada por Paiva *et al.*, 2022. A metodologia adotada para este trabalho foi elaborada por Crepani *et al.* (2001), pensada originalmente para subsidiar o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia, a partir da elaboração de mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo através de análise multicritério. Tem por objetivo ressaltar áreas frágeis e susceptíveis aos processos erosivos, servindo como indicadores de fragilidade ambiental (ZAPAROLI; CREMON, 2010). A metodologia é fundamentada na Teoria Ecodinâmica de Tricart (1997), que estabelece as unidades ecodinâmicas, a partir da morfodinâmica como elemento determinante e uma gradação entre a pedogênese e morfogênese (TRICART, 1997; LIMA; SILVA, 2018).

Pensando nessa problemática, o geoprocessamento, aliado ao uso de ferramentas de sensoriamento remoto em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), torna-se relevante para o estudo de vulnerabilidade ambiental à nível de Bacia Hidrográfica, com enfoque nas APP dos corpos hídricos que a compõe (GRIPP JUNIOR *et al.*, 2010; MACHADO *et al.*, 2017). Em ambiente SIG, a análise multicritério aliada à álgebra de mapas pode auxiliar a integrar as informações geográficas e no julgamento dos tomadores de decisões, reduzindo a subjetividade de métodos tradicionais e considerando os efeitos da ação humana no uso do solo (PIGA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2020). Considerando que em território brasileiro o cenário atual de muitas APP é de intensa degradação, a análise multicritério tem sido utilizada por vários autores para auxiliar em planejamentos de retomada das condições iniciais desses sistemas, de forma a exercerem sua função ecológica para a qual foram criados (SARTORI; SILVA; ZIMBACK, 2012; URIBE; GENELETTI; CASTILLO, 2014; VALENTE; PETEAN; VETTORAZZI, 2017; SALOMÃO; PAULA; ELMIRO, 2020).

O presente trabalho consiste em avaliar a vulnerabilidade ambiental à perda de solo em áreas de APP, na Bacia Hidrográfica do Rio Potengi (BHRP), Rio Grande do Norte (RN) e identificar os conflitos relacionados ao uso e ocupação do solo em APP na bacia. Cabe ressaltar que o trabalho é resultado de pesquisas realizadas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) financiadas pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) que visam ações de recuperação de nascentes e áreas degradadas na BHRP, a fim de se obter melhoria da disponibilidade hídrica.

2. Área de Estudo

A BHRP possui uma área de 4.093 km², ocupa cerca de 7,7% do território do RN, e abrange 25 municípios do estado (SEMARH, 1998). O rio Potengi, corpo hídrico que dá nome à bacia, é de grande importância histórica para o estado, fazendo alusão ao “Rio Grande” no nome do estado (TEIXEIRA, 2015). O mesmo também é de extrema relevância para movimentar diversas atividades econômicas como pesca, agricultura e dessedentação animal, mas se encontra em estado de vulnerabilidade, com características organolépticas desagradáveis e passando por diversas alterações químicas e físicas em suas características naturais (TORRES *et al.*, 2019) (Figura 1).

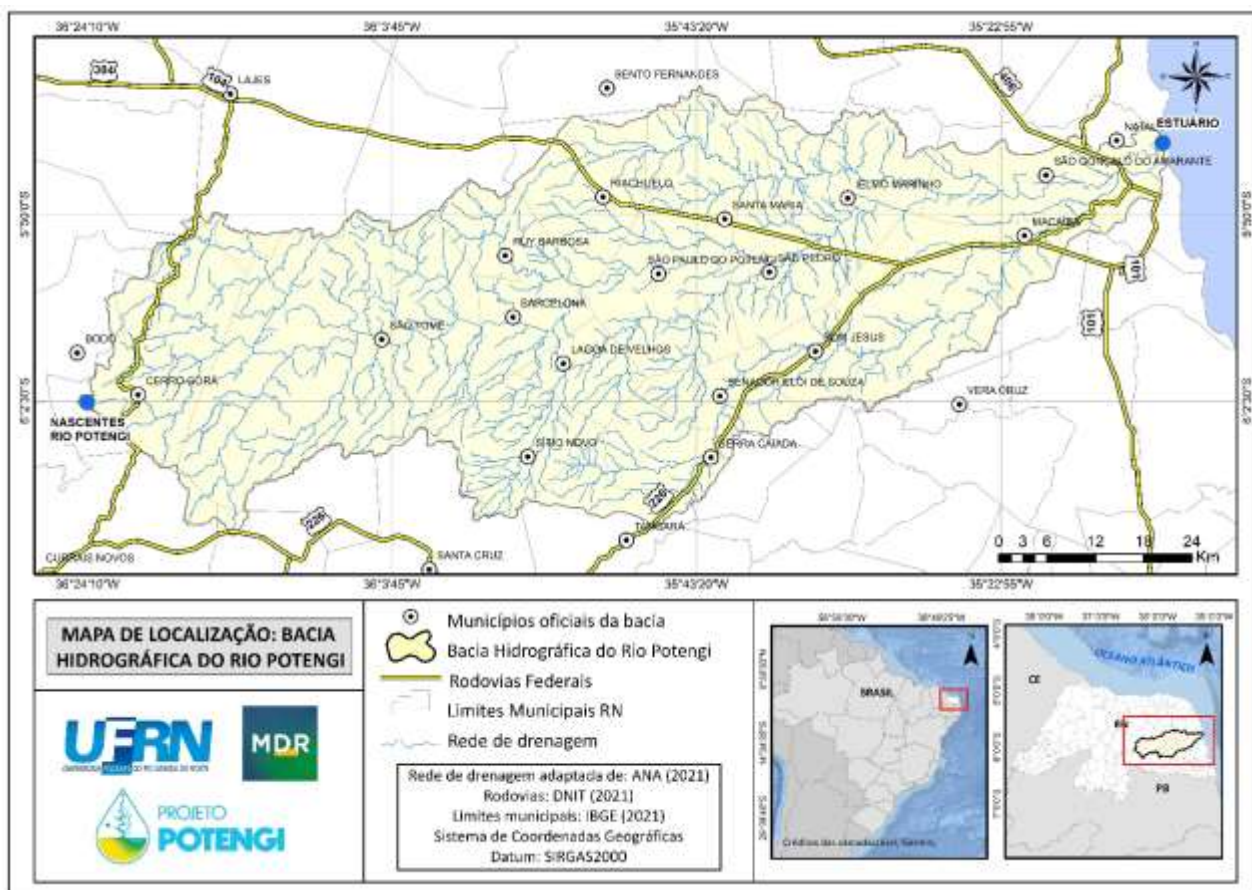


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.
Fonte: Autor (2022).

A bacia hidrográfica do Potengi limita-se a norte com as bacias do rio Ceará-Mirim e do rio Doce, a Sul com as bacias do Rio Trairi e do Rio Pirangi, a leste com o oceano Atlântico e a oeste com a bacia do Piranhas-Açu. Apresenta uma característica longitudinal, se estendendo de oeste para leste com 135 km e de norte a sul com 50 km (SOUZA; AMORIM, 2022). As nascentes do principal rio, o Potengi, estão localizadas nas serras centrais do estado, no município de Cerro Corá, e sua foz no município de Natal (MIRANDA; FARIAS, 2021).

2.1 Clima

Predominam três zonas climáticas na BHRP: tropical do tipo As (com verão seco) na porção leste da área de estudo, ocorrendo principalmente no nordeste do Brasil; clima predominantemente semiárido (zona B) do tipo BSh no médio curso da bacia, apresentando uma pluviosidade anual inferior a 600 mm; e clima BSw'h na porção oeste da bacia, precipitação máxima no verão e período de inverno seco (ÁLVARES *et al.*, 2014; KOPPEN, 1936). A Intensidade Pluviométrica da bacia (Figura 2 – A) foi elaborada a partir de dados de 17 estações pluviométricas da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) durante um horizonte de 21 anos (2001-2021).

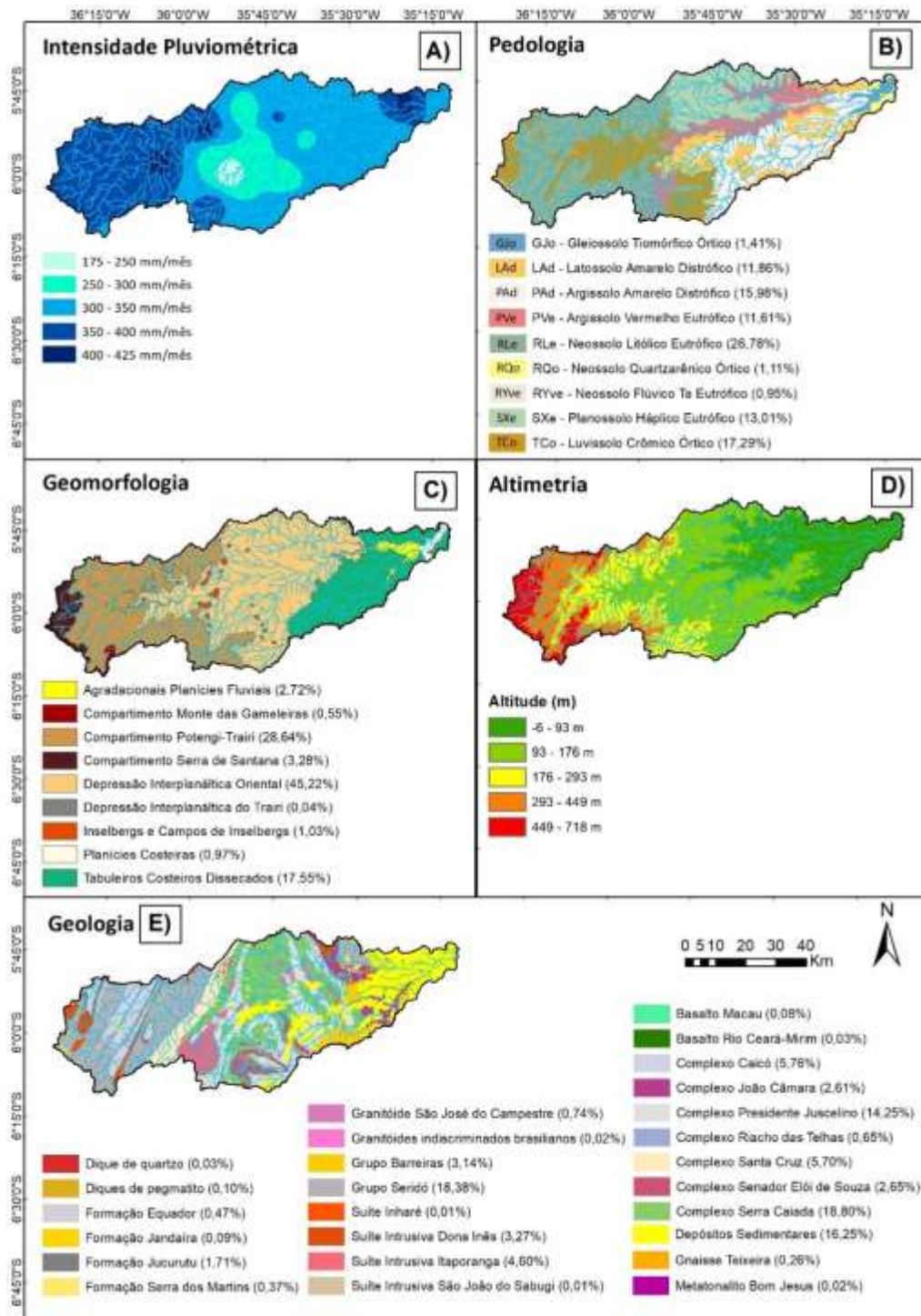


Figura 2 – Características geoambientais da área de estudo.

Fonte: Autor (2022).

2.2 Pedologia

Quanto à Pedologia (Figura 2-B), foram identificados nove grandes grupos de solos (3º nível categórico), variando em quatro ordens diferentes: Gleissolos, Latossolos, Argissolos, Neossolos, Planossolos e Luvisolos (RADAMBRASIL, 1981). A BHRP é constituída predominantemente pelos Neossolos em sua porção oeste e leste, subdivididos em Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe), Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo) e Neossolos Flúvicos Ta Eutróficos (RYve), correspondendo a 26,78%, 1,11% e 0,95% da área total (4.093 km²), respectivamente. Essa ordem compreende solos caracterizados pela baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos e constituídos por mineral ou material orgânico com menos de 20 cm de espessura, característica essa responsável por afetar significativamente o desenvolvimento da vegetação e os fluxos hídricos no perfil (PEDRON *et al.*, 2010; EMBRAPA, 2018).

No alto curso da BHRP, juntamente com o RLe, predomina o Luvisolo Crômico Órtico (TCo), representando 17,29% da área total. Esse grande grupo possui horizonte B textural, com argila de atividade alta e saturação por bases alta, normalmente pouco profundos (não mais que 1 metro de profundidade de solo), características estas que são justificadas pela escassez de chuvas e condições climáticas (LIMA; SOUZA, 2016, EMBRAPA, 2018).

No médio curso da bacia destaca-se o Planossolo Háplico Eutrófico (SXE), ocupando 13,01% da BHRP. A ordem dos Planossolos é caracterizada por possuir solos com material mineral de horizonte A ou E, seguido de horizonte B plânico, possuindo texturas arenosa/média e arenosa/argilosa (RADAMBRASIL, 1981; EMBRAPA, 2018). No médio e baixo curso há a presença do Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) (correspondendo a 11,86% da área total). É caracterizado pelo avançado estágio de intemperismo, com horizonte B latossólico e predominância de minerais de argila 1:1, sendo normalmente pobres em sua composição mineralógica e bastante porosos (RADAMBRASIL, 1981). Significativamente, ainda há a presença de Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe) e Argissolo Amarelo Distrófico (PAD), representando 11,61% e 15,98% da área de estudo, respectivamente.

2.3 Relevo e Altimetria

Para a Geomorfologia, as interpretações taxonômicas regionais conduzidas resultaram no mapa geomorfológico (Figura 2-C) para a área de estudo. Foram identificadas na BHRP três unidades morfoestruturais: (i) Cinturão Orogênico Brasileiro, (ii) Bacias Sedimentares Marginais e (iii) as Coberturas Sedimentares Quaternárias, além de quatro unidades morfoesculturais e nove subunidades morfoesculturais (DINIZ *et al.*, 2017). Quase metade da área total da bacia (46,25%), mais especificamente no médio curso da BHRP, é formada pela Depressão Sertaneja e suas subunidades: Depressão Interplanáltica Oriental e Inselbergs. No Rio Grande do Norte está inserida em terreno cristalino (composto por rochas ígneas e metamórficas), circundando os compartimentos de relevo e se estendendo a partir das bases escarpadas dos planaltos (RADAMBRASIL, 1981; OLIVEIRA; CESTARO, 2016).

O baixo curso da BHRP é formado por Tabuleiros Costeiros Dissecados, integrantes da Unidade Morfoescultural Planaltos e Tabuleiros Costeiros. Ocupando 17,55% da área de estudo e circundada em quase todos os quadrantes pela Depressão Sertaneja, é considerado uma das feições orográficas mais significativas do Nordeste brasileiro, influenciando diretamente a distribuição de rios e a condições climática da região (RADAMBRASIL, 1981; ALENCAR *et al.*, 2022). O restante da bacia é composto por Depressão Interplanáltica Oriental (médio curso), Compartimento Potengi-Trairi e Serra de Santana (alto curso). A altimetria da bacia (Figura 2-D) atinge o pico máximo de 718 m em regiões do alto curso da área e mínimo de -6 m, próximo ao estuário da bacia.

2.4 Geologia

A geologia da BHRP (Figura 2-E) é composta, de maneira geral, por variações de rochas de natureza cristalina (ígneas e metamórficas), sedimentar e depósitos de sedimentos. Identificam-se diferentes complexos geológicos, formações e depósitos aluvionares, envolvendo gnaisses, migmatitos, mármores metamorizados, dioritos, basalto, calcarenitos, sedimentos de quartzo, entre outros. Dentre esses elementos, é possível identificar características específicas de sedimentação, metamorfismo, intrusões e extrusões, variando de acordo com a natureza de cada formação geológica (CPRM, 2006).

3. Metodologia

Os resultados para a BRHP foram gerados a partir do *software* ArcGis 10.8 e QGIS 3.22.7 (2022) no sistema de coordenadas geográficas, datum SIRGAS2000. O banco de dados contendo geodados georreferenciados utilizado é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Banco de dados geográficos.

| Banco de Dados | Descrição | Fonte | Escala/ resolução espacial |
|----------------------------------|---|--|-------------------------------|
| Folhas topográficas ¹ | TIFF/SHP | SUDENE (1983) | 1:100.000 |
| Geologia ¹ | Folhas geológicas | CPRM (2012, 2013a, 2013b, 2016, 2018a, 2018b) | |
| Rede Hidrográfica | Rede de drenagem Massas d'água | ¹ Folhas topográficas | |
| | | ANA (2021) | |
| | | Esri/Maxar (Basemap/ArcMap) | |
| Pluviosidade | Dados das estações pluviométricas (série histórica 2001-2021) | EMPARN (2022) | - |
| Geomorfologia | Formas do relevo | DINIZ et al. (2017) | 1:250.000 |
| ² Pedologia | Elaborado a partir das folhas SB.24 e folha SB.25 | RADAM Brasil (1981) | |
| Modelo Digital de Elevação (MDE) | Hipsometria | Satélite ALOS - sensor PALSAR -JAXA/METI (2010) | 12,5 x 12,5m |
| | Declividade | | |
| | Bacia hidrográfica | | |
| Uso e cobertura do solo | Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) | Satélite: PlanetScope (PSL); Sensor PS2: SD; Bandas: 1,2 e 3. Planet Labs PBC (2022) | 5 x 5m |

Fonte: Autor (2022).

¹Folhas João Câmara, Lajes, Natal, Santa Cruz, São João do Campestre e São José de Mipibu.

²Embora impresso em escala 1:1000.000, tal mapeamento foi realizado em escala 1:250.000.

A delimitação da bacia foi realizada utilizando as ferramentas de hidrologia do *software* ArcGis 10.8 a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), da *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) – sensor PALSAR (*Phased Array type L-Band Synthetic Aperture Radar*) que opera na banda L, com resolução espacial de 12,5 x 12,5 metros. A delimitação foi corrigida em ambiente 3D no *software* ArcScene e com auxílio das folhas topográficas 1:100.000 disponibilizadas no Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEx).

3.1 Mapeamento da rede de drenagem e delimitação das APP

A elaboração da rede de drenagem contou com um tratamento mais refinado, em função de sua importância para a geração das APP. Foi realizado um mapeamento com base nos arquivos vetoriais hidrográficos de Disponibilidade Hídrica da Agência Nacional das Águas (ANA) do ano de 2021, informações das folhas topográficas do BDGEx e interpretação em tela de dados de sensoriamento remoto como o MDE e imagens de satélites (Tabela 1), inclusive as disponibilizadas pelo *software* Google Earth Pro. A partir de vetorização existente das fontes citadas, a rede de drenagem resultante foi refeita para uma escala aproximada de 1:25.000.

As APP de elementos hídricos foram mapeadas a partir dos preceitos estabelecidos pelo Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012). O estudo levou em conta a definição do Art. 3º, atendendo aos termos do Art. 4º, itens I, III, IV, V e IX. Para os trechos de rios intermitentes e perenes, foi realizada verificação de suas larguras a partir da ferramenta *Measure* do *software* ArcGis 10.8, desde a borda da calha do leito regular, utilizando imagens do satélite PlanetScope de abril de 2022 e imagens multitemporais do Google Earth Pro. Com a rede de drenagem já vetorizada, as informações da largura do

rio e a faixa a ser protegida inserida na tabela de atributos, um buffer foi aplicado para obtenção de um polígono com a largura do rio, e a partir dele, outro buffer foi criado para obtenção das APP, através da ferramenta *Geoprocessing -> Buffer* (Figura 3).

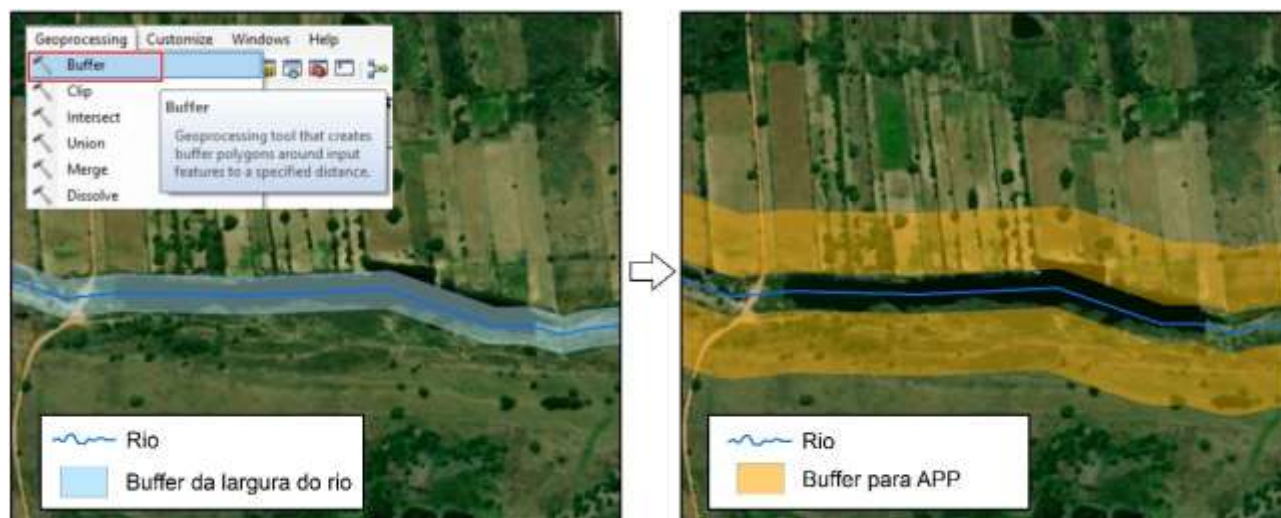


Figura 3 – Delimitação das Áreas de Preservação Permanente.
Fonte: autor (2022).

3.2 Vulnerabilidade ambiental

Para implementação da metodologia de vulnerabilidade à erosão em APP, adaptou-se a proposta de Crepani *et al.* (2001), a qual consiste na sobreposição e soma ponderada de Planos de Informações (PI) georreferenciados: PI Geologia (G), PI Geomorfologia (R), PI Pedologia (S), PI Intensidade Pluviométrica (IP), e PI Uso e Cobertura da Terra (U) (Equação 1), sendo esta última adicionada em substituição ao PI Vegetação (presente na metodologia original). Assim, foi atribuído o mesmo peso para todos os PI utilizados na fórmula final da vulnerabilidade à perda de solo. Isso inclui o Uso e Cobertura da Terra, uma vez que as APP da BHRP apresentam, em sua maior parte, áreas que beiram a condição natural. Dessa forma, considera-se prudente não atribuir peso elevado à ocupação como forma de manter o que foi verificado em visitas à campo.

$$V = \frac{(G + R + S + IP + U)}{5} \quad (1)$$

Onde:

V = Vulnerabilidade à Erosão;

G = PI Geologia;

R = PI Geomorfologia (Equação 2);

S = PI Pedologia;

IP = PI Intensidade Pluviométrica;

U = Uso e Cobertura da Terra.

A fórmula para a obtenção do PI Geomorfologia (R), encontra-se apresentada na Equação 2 abaixo:

$$R = \frac{(DH + DV + D)}{3} \quad (2)$$

Onde:

DH = Amplitude de Interflúvio (m);

DV = Amplitude Altimétrica (m);

D = Declividade (%).

Individualmente, foram atribuídos diferentes pesos para as variáveis que compõe cada PI, classificados entre 1 (muita baixa) e 3 (muito alta), conforme Tabela 02. As variáveis geoambientais supracitadas foram classificadas segundo os valores definidos por Crepani *et al.* (2001) e por equipe interdisciplinar composta por Engenheiros Ambientais, Engenheiros Civis e Geógrafos. Em todos os documentos cartográficos matriciais foi realizada a equalização do tamanho das células (26m x 26m), equivalendo a escala 1:100.000.

As etapas metodológicas são descritas a seguir:

- Intensidade Pluviométrica (IP): foram coletados dados pluviométricos de 17 estações de municípios integrantes da BHRP no site da EMPARN (2022). A série histórica considerada foi de 21 anos (2001 a 2021), onde os dados trouxeram a informação da quantidade de dias chuvosos (durante o mês) para o cálculo da intensidade de chuvas. Após isso, foi realizada a interpolação espacial no software ArcGis 10.8 por meio da ferramenta *Inverse Distance Weighted* (IDW).
- Geologia (G): as informações de geologia foram adquiridas por meio dos levantamentos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Foram utilizadas 6 (seis) folhas geológicas em escala 1:100.000 que englobam a BHRP (Folha Lajes, Natal, Santa Cruz, São José do Campestre, São José de Mipibu e João Câmara).
- Pedologia (S): Obtida a partir de dados do projeto RADAMBRASIL (1981) e disponibilizados pelo IBGE (2014). Os solos encontrados na área de estudo tiveram suas nomenclaturas atualizadas, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).
- Cobertura e uso do solo (U): sua elaboração foi realizada manualmente através da fotointerpretação das imagens do satélite PlanetScope, sensor PS2:SD com resolução espacial de 5m, datadas de abril de 2022. A composição colorida utilizada foi a *Red-Green-Blue* (RGB-1-2-3) a fim de separar as regiões naturais e de interferência antrópica. Apesar do foco em APP, o mapeamento foi realizado em toda a bacia.
- Geomorfologia (R): as variáveis que compõe a Geomorfologia foram obtidas pela média aritmética da Amplitude de Interflúvio, Amplitude Altimétrica e Declividade. Inicialmente foi utilizada a ferramenta Slope no MDE para determinar a declividade em porcentagem da BHRP. Em seguida, a partir do método proposto por Guimarães *et al.* (2017), determinou-se a amplitude interfluvial e altimétrica da área de estudo nos softwares ArcGis e QGIS. Por fim, as 3 variáveis foram reclassificadas segundo metodologia de Crepani *et al.* (2001) e realizada média aritmética para obtenção da variável Geomorfologia (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes de vulnerabilidade das variáveis IP, G, S e U.

| CLASSES DE VULNERABILIDADE ENCONTRADAS NA BHRP | |
|--|---|
| Vulnerabilidade | Variável (peso) |
| Intensidade Pluviométrica (mm/mês) - IP | |
| Baixa (1,5 a 1,7) | 150 -175mm (1,5); 175 - 200mm (1,6); 200 - 225mm (1,7) |
| Moderada (1,8 a 2,2) | 225 -250mm (1,8); 250 - 275mm (1,9); 275 - 300mm (2,0); 300 - 325mm (2,1); 325 -350mm (2,2) |
| Alta (2,3 a 2,6) | 350 - 375mm (2,3); 375 - 400mm (2,4); 400 - 425mm (2,5); 425 - 450mm (2,6) |
| Geologia - G | |
| Muito Baixa (1 a 1,3) | Quartzo (1), quartzito (1), Biotita (1,1), Monzogranito (1,1), Granulito félsico (1,2), biotita gnaisse (1,2), migmatito (1,2), Ortognaisse (1,3), gnaisse (1,3), ortognaisse granítico (1,3) |
| Baixa (1,5 a 1,7) | Basalto (1,5), cisto aluminoso (1,7), biotita gnaisse (1,7) |
| Moderada (1,8 a 2,0) | Gabro (1,8), anfíbolito (1,8), piroxenito (1,8), Hornblenda (1,9), rocha calcissilicática (2,0) |
| Alta (2,3 a 2,5) | Mármore (2,3), Arenito (2,4), Arenito conglomerático (2,5) |
| Muito Alta (2,9; 3,0) | Calcários calcíferos (2,9), Areia (3,0), argila (3,0), silte (3,0) |
| Pedologia - S | |
| Muito Baixa (1) | Latossolo Amarelo Distrófico |
| Moderada (2) | Planossolo Háptico Eutrófico, Argissolo Vermelho Eutrófico, Argissolo Amarelo Distrófico, Luvisolo Crômico órtico |
| Muito Alta (3) | Neossolo Litólico Eutrófico, Gleissolo Tiomórfico Órtico, Neossolo Quartzarênico Órtico, Neossolo Flúvico Ta Eutrófico |
| Cobertura e uso da terra - U | |
| Muito Fraca (1 a 1,3) | ³ Áreas Urbanizadas (1); Água (1); Formação Pioneira com influência fluviomarinha (1); Savana-Estépica Florestada (1,2); Savana-Estépica Arborizada (1,3) |
| Fraca (1,5) | Savana-Estépica Parque (1,5) |
| Moderada (1,8) | Culturas Permanentes (1,8) |
| Alta (2,5) | Culturas Temporárias (2,5) |
| Muito Alta (2,8; 3,0) | Pastagem (2,8); Áreas Descobertas (3,0); Áreas de Mineração (3,0) |
| Geomorfologia - R | |
| Baixa (1,7) | 1,7 |
| Moderada (1,8 a 2,2) | 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2 |
| Alta (2,3 a 2,6) | 2,3; 2,4; 2,5; 2,6 |
| Muito Alta (2,7 a 3,0) | 2,7; 2,8; 2,9; 3,0 |

Fonte: Autor (2022).

³A metodologia de Crepani *et al.* (2001) não indica grau de vulnerabilidade para áreas urbanizadas, tendo em vista que a vulnerabilidade está condicionada à relação morfogênese x pedogênese. De acordo com Costa *et al.* (2015), a análise em áreas urbanas é dificultada pois não é possível identificar tais processos. Este trabalho considera que em áreas urbanas o ambiente esteja estabilizado devido à infraestrutura de pavimentação e de edificação. No entanto, áreas antropizadas situadas em regiões periurbanas foram mapeadas como áreas descobertas e ponderadas de acordo com a metodologia.

4. Resultados e Discussão

As APP foram mapeadas em toda a extensão da BHRP, bem como suas dimensões a partir de leito regular dos rios, do espelho d'água dos reservatórios, nascentes e encostas, tomando como referência o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012). Verifica-se pela Figura 4 que 45,18% das APP mapeadas apresentaram uma faixa de proteção de 30 metros, contribuindo para a preservação dos rios com largura inferior a 10 metros, enquanto 28,62% das áreas possuem uma faixa de proteção de 50 metros, protegendo rios com largura superior a 10 metros e inferior a 50 metros. Os resultados para as

massas d'água também foram relevantes, variando de 50 até 100 metros de proteção, dependendo da localização (zona urbana ou rural), essas APP representaram 14,33% das áreas protegidas. As áreas de APP de nascentes receberam 50 metros de proteção, correspondendo a 1,39%. É importante ressaltar que a largura da APP dos cursos d'água o aumentam à medida que o Rio Potengi se aproxima do estuário, o que era esperado, uma vez que ocorre a maior concentração de afluentes na região estuarina.

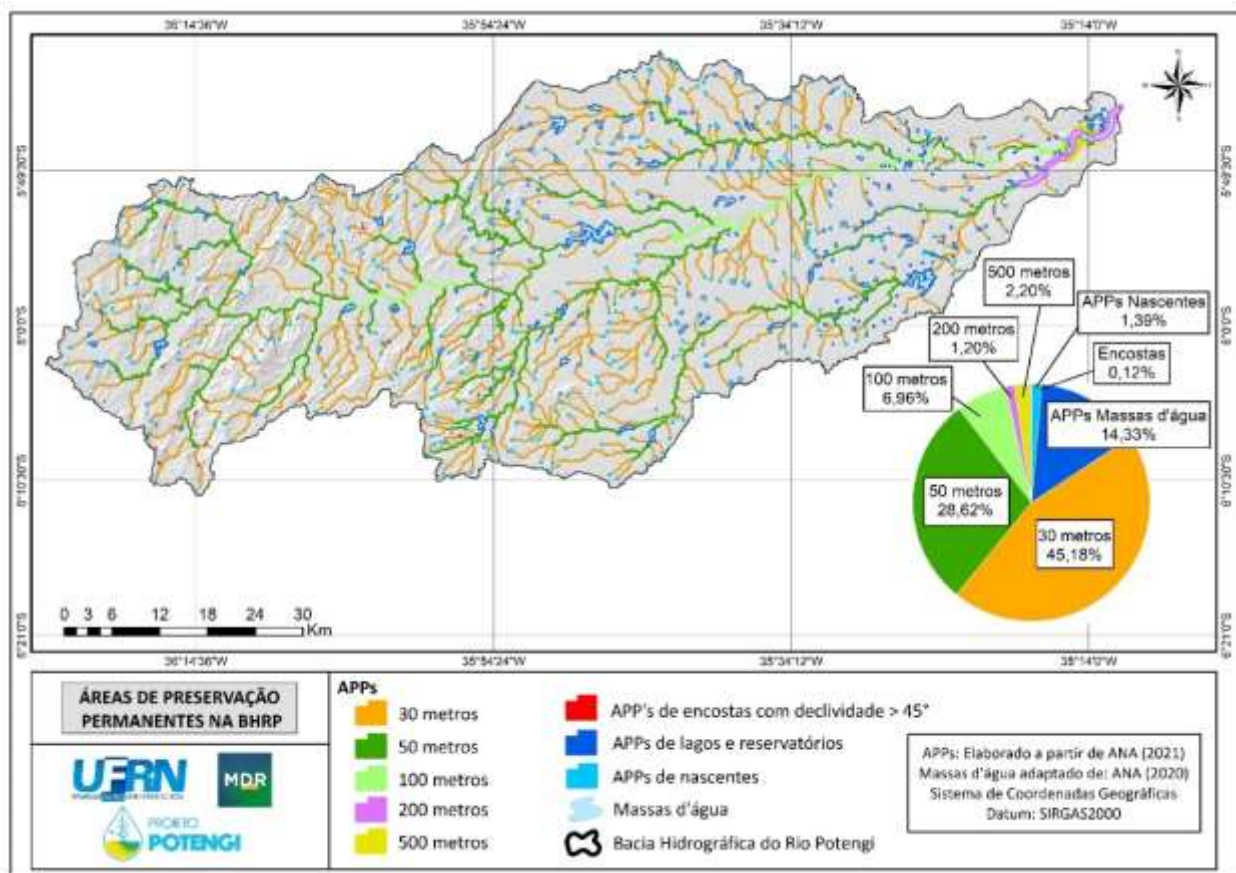


Figura 4 – APP mapeadas na BHRP.
 Fonte: Autor (2022).

Em relação ao uso do solo (Figura 5), foram identificadas 10 classes distintas em escala de bacia hidrográfica, onde posteriormente foram recortadas para as APP. As classes identificadas foram: Áreas Urbanizadas, Culturas Temporárias, Corpos d'água, Pastagem, Áreas de Mineração, Formação Pioneira com influência fluvio-marinha, Culturas Permanentes, Savana-Estépica Arborizada, Savana-Estépica Parque e Savana-Estépica Florestada (IBGE, 2013).

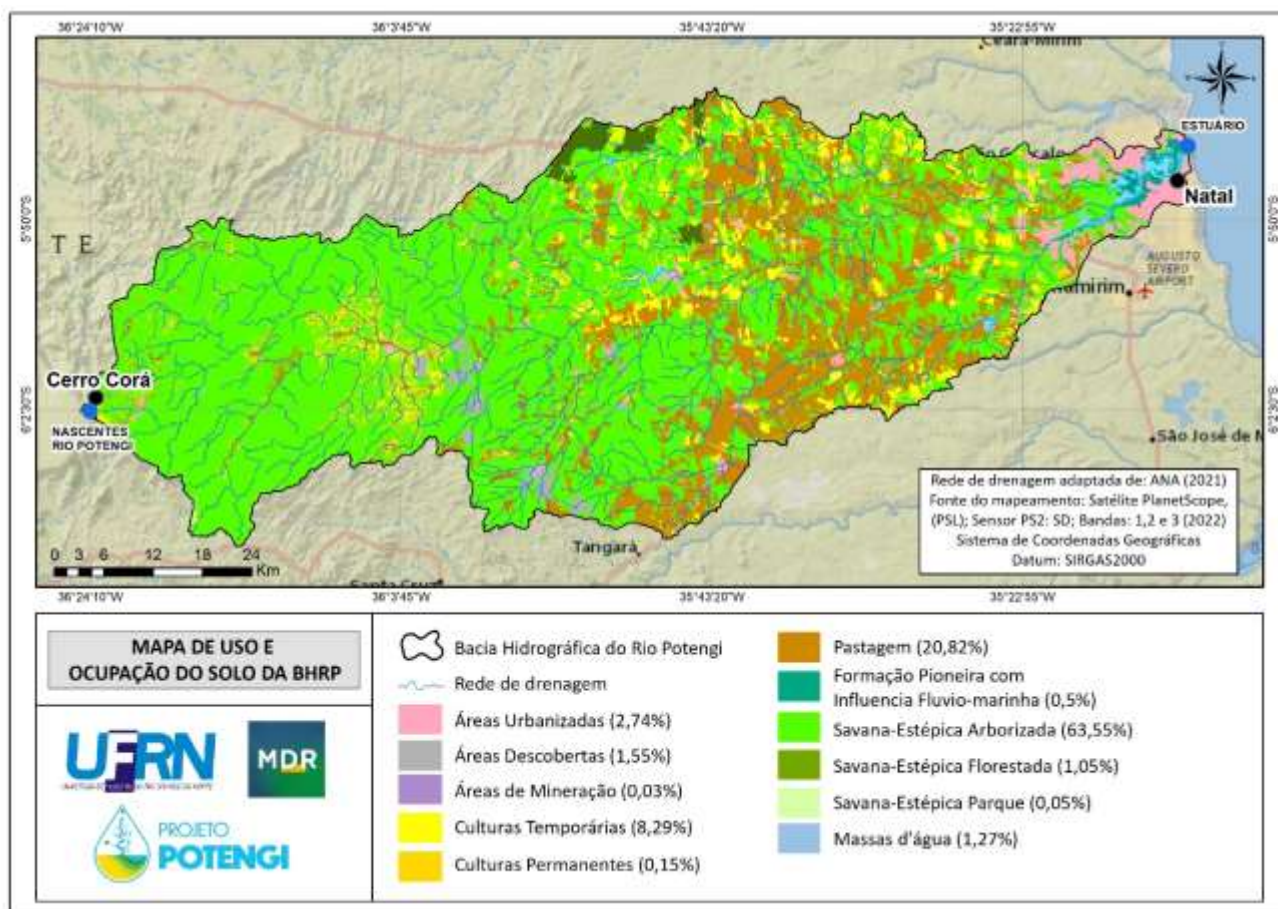


Figura 5 – Uso e Ocupação do Solo na BHRP.
Fonte: Autor (2022).

Ao analisar o mapeamento, verificou-se a presença significativa da vegetação do tipo Savana-Estépica Florestada na BHRP, ocupando cerca de 63,55% de sua área total. As atividades de Pastagem, principalmente no médio e baixo curso, e Culturas Temporárias também são expressivas na bacia, correspondendo a 20,82% e 8,29%, respectivamente. Embora em quantidade mínima, há registros de áreas de mineração e áreas descobertas ao longo da bacia.

4.1 Vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Potengi e em APP.

O mapeamento de vulnerabilidade da BHRP resultou em cinco classes de vulnerabilidade, a saber: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. Os valores mais expressivos referem-se à classe de vulnerabilidade Moderada, representando 79,58% da bacia. Observou-se valores significativos para as Classes Baixa e Alta, correspondendo a 12,7% e 7,67% da área, respectivamente (Figura 6).

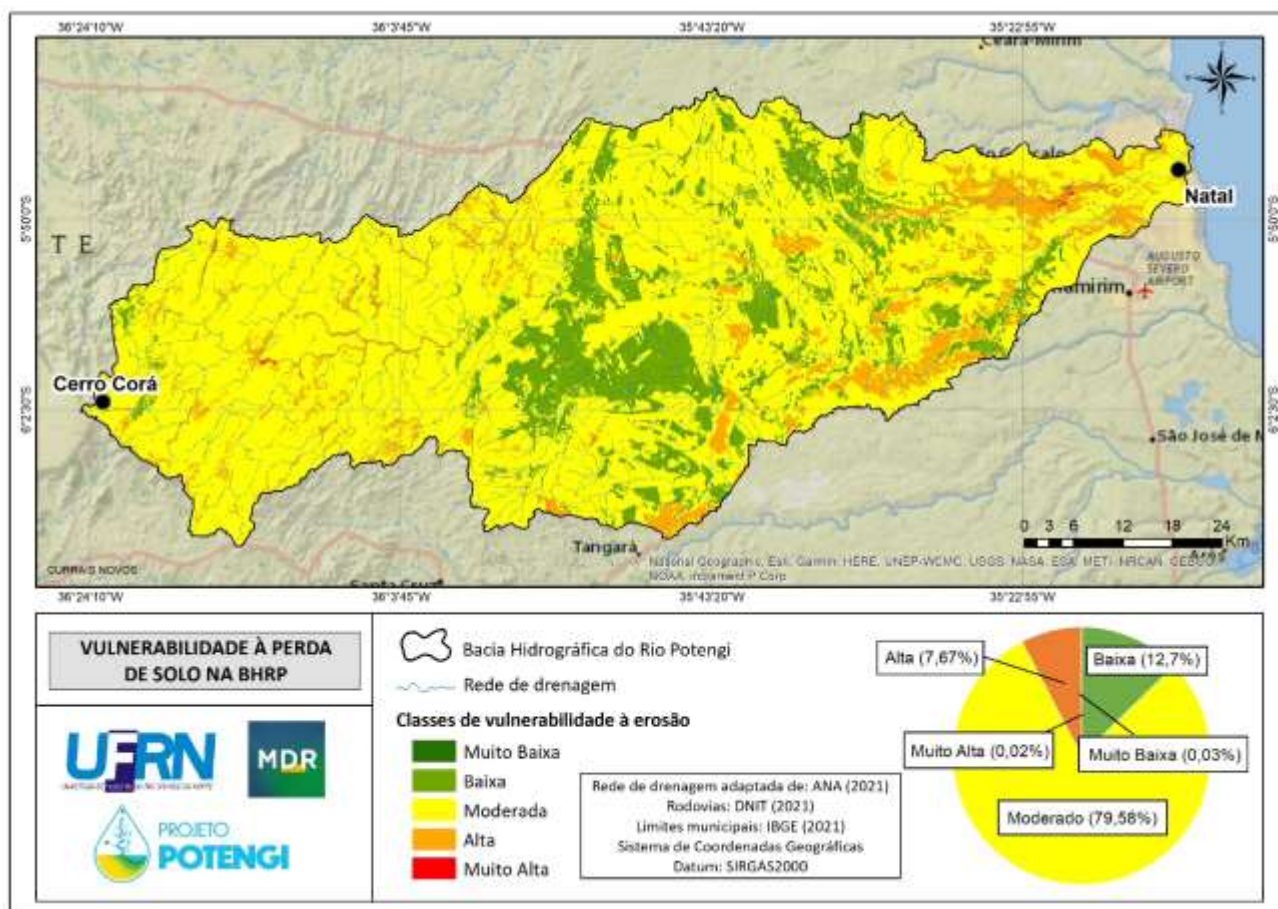


Figura 6 – Vulnerabilidade ambiental na BHRP.
Fonte: Autor (2022).

Em geral, moderados valores de vulnerabilidade na BHRP são predominantemente influenciados por práticas como a agropecuária, resultando na conversão de áreas florestais em terras antropizadas. Somado ao uso e ocupação, é importante destacar que o processo de erosão do solo também é influenciado por fatores naturais, tais como: condições climáticas (intensidade pluviométrica), características pedológicas (espessura, textura, permeabilidade), aspectos topográficos (como declividade, comprimento de rampa), bem como características da vegetação (como tipo e densidade da cobertura vegetal) (SOARES *et al.*, 2018).

A partir do mapa de vulnerabilidade ambiental da BHRP, realizou-se um recorte das APP mapeadas, revelando diversas regiões críticas com relação à perda de solo (Figura 7).

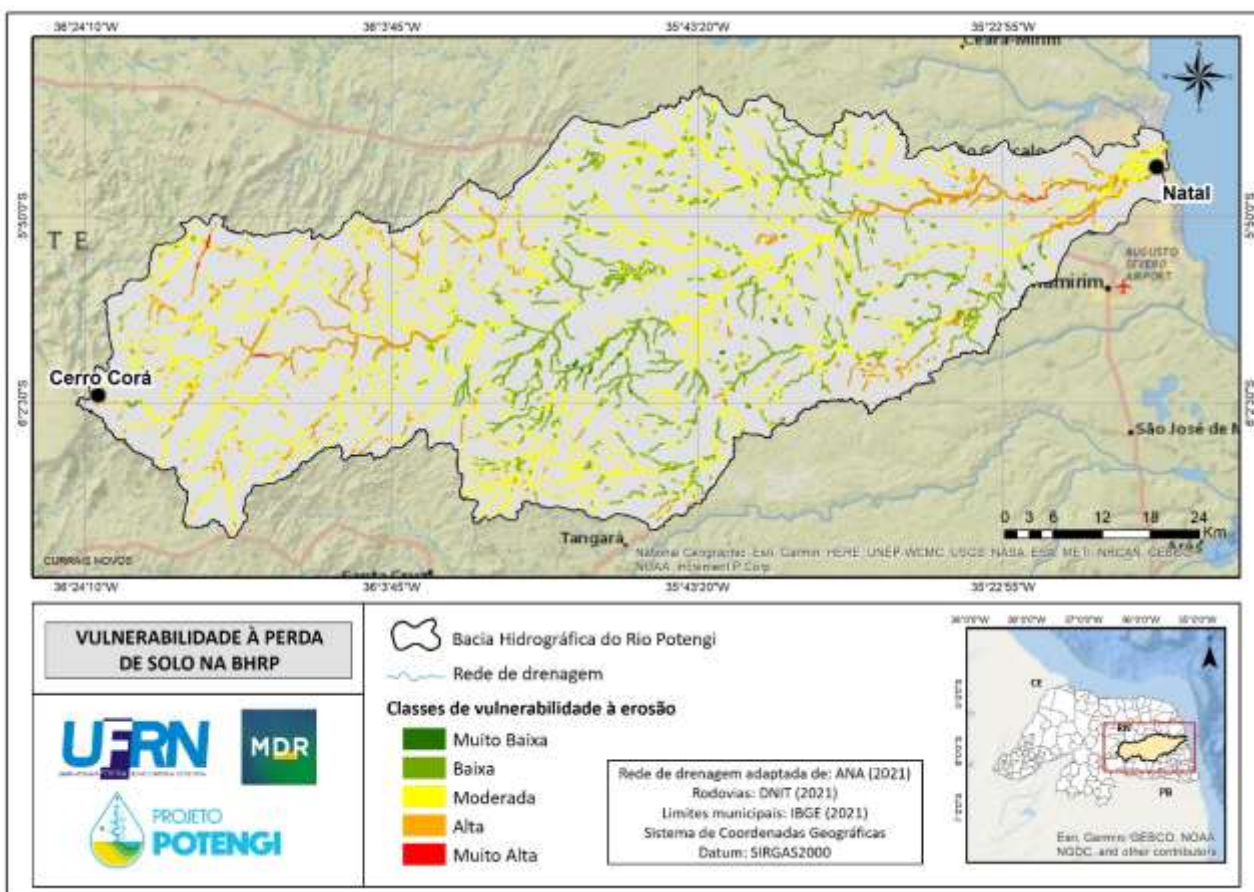


Figura 7 – Vulnerabilidade ambiental em APP da BHRP.

Fonte: Autor (2022).

Aproximadamente 16.837,98 ha das APP estão classificadas como Moderadas à perda de solo, 2.350,66 ha como "Alta" e 15,91 ha como "Muito Alta", correspondendo, respectivamente, à 72,66%, 10,14% e 0,07% da área total de APP. A predominância de áreas classificadas como "Moderadas" decorre da presença dominante de solos do tipo Luvissoilo e Planossolo, que apresentam alta erodibilidade, mas que estão protegidos pela cobertura vegetal de savana-estépica arborizada, além de estarem localizados em regiões com relevos suave-ondulado e submetidos a intensidades pluviométricas consideradas moderadas (EMBRAPA, 1979; CREPANI *et al.*, 2001).

As áreas de vulnerabilidade alta em APP encontram-se localizadas no baixo e alto curso da área de estudo. Analisando a Tabela 3, verifica-se que estão relacionadas, na maior parte dos casos, à pastagem, savanas estépicas e culturas temporárias. Já as áreas de vulnerabilidade muito alta apresentaram 91,4% de seus usos associados à pastagem, 2,79% por culturas temporárias e 5,18% por vegetação. As áreas de pastagens mapeadas na BHRP foram, em sua maioria, as de pastagens naturais destinadas à pecuária extensiva, que superam em muito as pastagens do tipo plantadas no estado do Rio Grande do Norte (EMBRAPA, 2014).

Tabela 3 – Classes de vulnerabilidade ambiental por uso e cobertura da terra em Áreas de Preservação Permanente (APP).

| Uso e Cobertura da Terra em APP | 4Vulnerabilidade ambiental em APP (m) | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| | Muito Baixa e Baixa | | Moderada | | Alta | | Muito Alta | |
| Classes | Hectares | % | Hectares | % | Hectares | % | Hectares | % |
| Áreas Urbanizadas | 33,27 | 0,84 | 191,11 | 1,13 | 20,63 | 0,88 | - | - |
| Culturas Temporárias | 16,39 | 0,41 | 1227,00 | 7,29 | 429,74 | 18,28 | 0,44 | 2,79 |
| Massas d'água | 91,59 | 2,31 | 353,23 | 2,10 | 3,18 | 0,14 | - | - |
| Áreas Descobertas | 9,83 | 0,25 | 548,85 | 3,26 | 101,48 | 4,32 | 0,10 | 0,63 |
| Pastagem | 53,59 | 1,35 | 3312,04 | 19,67 | 913,13 | 38,85 | 14,54 | 91,40 |
| Áreas de Mineração | 0,07 | 0,00 | 3,98 | 0,02 | - | - | - | - |
| Formação Pioneira com influência Fluvio-marinha | 1,43 | 0,04 | 663,76 | 3,94 | 122,34 | 5,20 | - | - |
| Culturas Permanentes | 4,02 | 0,10 | 19,56 | 0,12 | - | - | - | - |
| Savana-Estépica Arborizada | 3738,41 | 94,15 | 10406,90 | 61,81 | 759,99 | 32,33 | 0,82 | 5,18 |
| Savana-Estépica Parque | - | - | 3,34 | 0,02 | 0,16 | 0,01 | - | - |
| Savana-Estépica Florestada | 21,95 | 0,55 | 108,20 | 0,64 | - | - | - | - |
| Total | 3.970,55 | 100,00 | 16.837,98 | 100,00 | 2.350,66 | 100,00 | 15,91 | 100,00 |

Fonte: Autor (2022).

⁴Considerando as APP de corpos hídricos, massas d'águas e nascentes

As áreas de vulnerabilidade alta em APP encontram-se localizadas no baixo e alto curso da área de estudo e estão relacionadas, na maior parte dos casos, à pastagem, savanas estépicas e culturas temporárias. Já as áreas de vulnerabilidade Muito Alta apresentaram 91,4% de seus usos associados à pastagem, 2,79% por culturas temporárias e 5,18% por vegetação. As áreas de pastagens mapeadas na BHRP foram, em sua maioria, as de pastagens naturais, que superam em muito as do tipo plantadas no estado do Rio Grande do Norte (EMBRAPA, 2014).

Com relação a declividade, os maiores valores foram encontrados nas APP de nascentes no alto curso da bacia (como o rio Potengi), com valores variando de 20 a 50% (vulnerabilidade alta) e superiores a 50% (vulnerabilidade muito alta). Esses dados corroboram a alta vulnerabilidade à erosão encontrada nessas áreas, presentes majoritariamente no Compartimento Serra de Santana e Potengi-Trairi, integrantes do Planalto da Borborema. Tais regiões apresentam altitude variando de 480 a 718 metros e alta amplitude interfluvial, influenciando diretamente no PI Geomorfologia da metodologia de Crepani.

4.2 APP validadas em campo

A partir do mapa de vulnerabilidade ambiental, 3 (três) áreas críticas de APP foram validadas em campo (Figura 8 - A, B e C). As três áreas foram escolhidas por se tratarem de áreas com vulnerabilidade alta/muito alta, e por possuírem atividades de uso do solo que entram em desacordo com o Código Florestal Brasileiro. De maneira geral, a geologia e o uso do solo emergiram como os fatores predominantes que contribuíram para o aumento da vulnerabilidade da área em estudo.

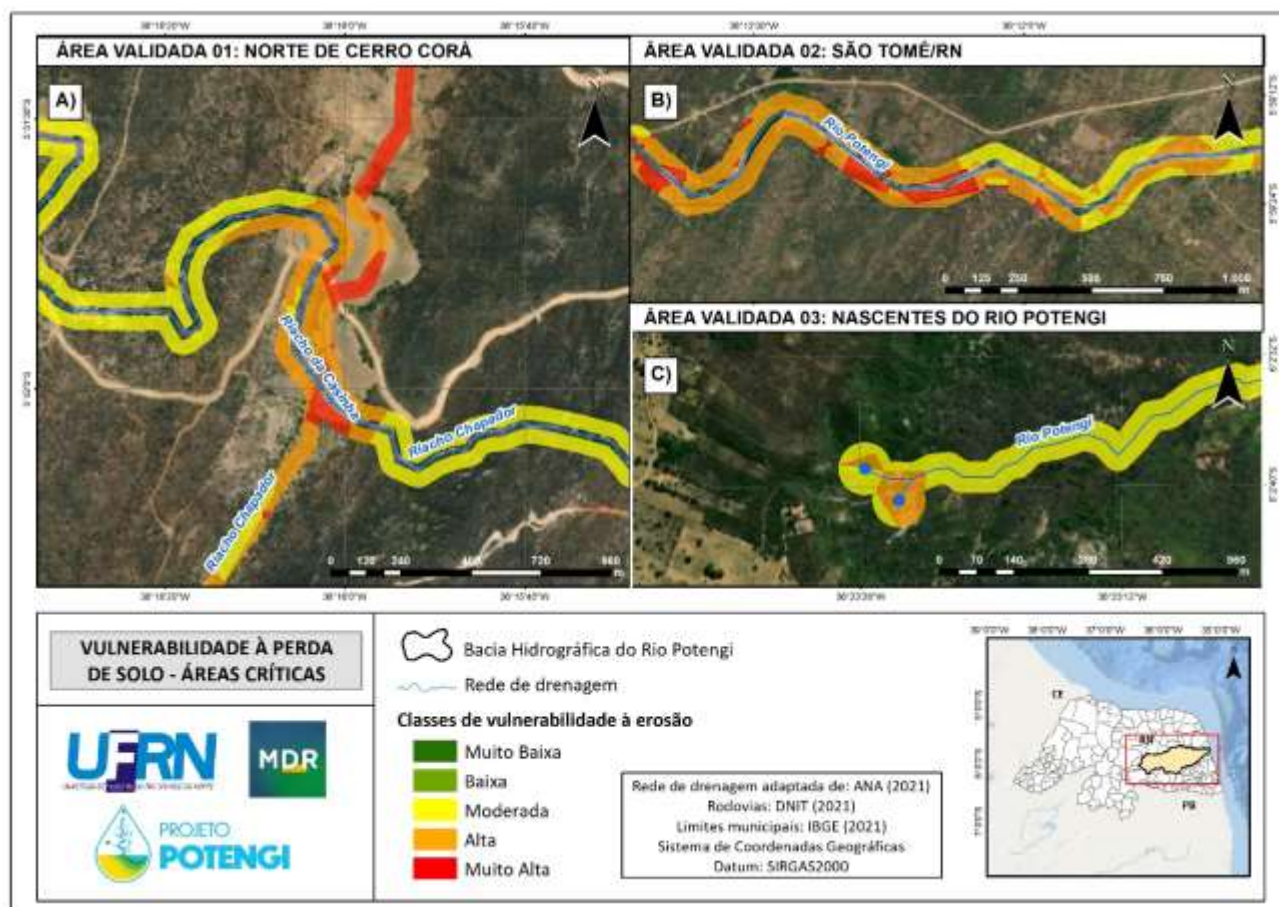


Figura 8 – Vulnerabilidade à erosão em Áreas de Proteção Permanente (APP) validadas em campo.
Fonte: Autor (2022).

A Área 01 (Figura 8-A), situada ao norte do município de Cerro Corá/RN e adjacente à RN-104, corresponde à APP do riacho intermitente denominado "Chapador" (ANA, 2021). Verificou-se que nesta região, nas proximidades do Parque Eólico Santa Rosa Mundo Novo, as classes mapeadas foram classificadas como "Alta" e "Muito Alta". Esses valores, muito se devem, aos impactos da construção dos parques eólicos, principalmente da movimentação de terras com a implantação de aterros e abertura de áreas de empréstimos. A geologia presente na localidade em questão é composta por Depósitos Aluvionares (Q2a), cuja composição é predominantemente constituída por sedimentos inconsolidados de natureza arenosa, e frequentemente expostos ao longo de cursos de água como rios e riachos (LIMA; DANTAS, 2016; COSTA; DANTAS, 2018). Por serem materiais soltos e pouco consolidados, esses depósitos são mais vulneráveis à erosão hídrica, indicando naturalmente uma vulnerabilidade alta à perda de solo (CREPANI *et al.*, 2001). Em conjunto à Geologia, o solo identificado na área foi o Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), com pouca profundidade e textura arenosa ou muito arenosa, conferindo a ele alta erodibilidade, podendo ser intensificada pela diminuição da cobertura vegetal (THOMA *et al.*, 2022).

Além desses fatores, e em desacordo com as disposições do Código Florestal Brasileiro, é possível verificar que a área em questão é predominantemente composta por pastagens destinada à pecuária extensiva, solos expostos e culturas temporárias de subsistência nas margens do curso d'água (Figura 9-A, B e Figura 10). A partir do aerolevante realizado com drone, foi possível verificar a existência de plantações nas margens do rio em função da maior umidade, mesmo sem água em razão de seu caráter intermitente.



Figura 9 – Área 01: Pastoreio do gado em Área de Preservação Permanente (APP) (A); Aerolevanteamento de região com culturas temporárias em APP de riacho intermitente “Chapador” em Cerro Corá/RN (B).

Fonte: Autor (2022).



Figura 10 – Área 01: Riacho “Chapador” seco, evidenciado pelas culturas e solo exposto.

Fonte: Autor (2022).

A Área 02 (Figura 8-B) encontra-se situada no município de São Tomé/RN, sendo interceptada pela RN-203 e é dividida em duas áreas próximas uma da outra (Figura 11-A e Figura 11-B). Caracterizada por classes de vulnerabilidade Alta e Muito alta, a geologia da referida área é formada por Depósitos Aluvionares (Q2a) e os solos presentes são classificados como Neossolos Litólicos Eutróficos (Rle). Trata-se de uma Área de Preservação Permanente com vulnerabilidade naturalmente elevada, onde foram constatadas pastagens e áreas em preparo para o cultivo (Figura 11-A).

À sul da área em preparo para cultivo, existe um afluente do Rio Potengi de natureza intermitente, além de dois barramentos seguidos. Foi constatado em campo erosão avançada na APP (Figura 11-B) e consequente deposição de sedimentos no leito do rio.



Figura 11 – Preparo para cultivo nas margens do Rio Potengi, em São Tomé/RN (A); Elevada erosão em APP de afluente do Rio Potengi (B).

Fonte: Autor (2022).

A Área 03 (Figura 8-C e Figura 12) está situada no município de Cerro Corá/RN e exibe classes de vulnerabilidade Moderada e Alta. Tal área corresponde à nascente do Rio Potengi, a qual é reconhecida como um ponto turístico de grande importância para a BHRP, destacando-se, ainda, como um Geossítio do Geoparque Seridó.

A geologia da região em questão é constituída por arenitos pertencentes à Formação Serra dos Martins, os quais apresentam vulnerabilidade natural alta à erosão. Além disso, os solos presentes são classificados como Luvisolo Crômico Órtico, caracterizados por uma mudança textural abrupta para o horizonte B (EMBRAPA, 2018; CPRM, 2018). A combinação desses fatores, juntamente com a alta intensidade pluviométrica da região (360 mm/mês), resulta em uma vulnerabilidade significativa à erosão.



Figura 12 – Pisoteio do gado em Áreas de Preservação Permanente (APP) das nascentes do Rio Potengi (A); Pináculos evidenciando erosão centimétrica do horizonte A do solo (B).

Fonte: Autor (2022).

Além dos fatores mencionados, constata-se que o uso do solo se configura como o mais preponderante para a elevada vulnerabilidade na região em questão. É possível verificar, por meio da análise de mapeamento, que foram identificadas áreas desprovidas de cobertura vegetal e pastagens em APP. Durante visita realizada *in loco*, verificou-se o pisoteio de

gado nas áreas de nascentes (Figura 12-A), o que resultou na compactação do solo e, conseqüentemente, no aumento do escoamento superficial das águas provenientes das chuvas e conseqüentemente de processos erosivos acelerados (Figura 12-B). O sobrevoo realizado valida a ocorrência de processos de degradação na área em análise, os quais são evidenciados pelo intenso processo erosivo e redução da cobertura vegetal (Figura 13).



Figura 13 – Processo de degradação em APP da nascente do Rio Potengi no município de Cerro Corá/RN.
Fonte: Autor (2022).

Os fatores que influenciam a erosão nessa área podem ser diversos, e se relacionam diretamente com o fato do Rio Potengi se caracterizar como um rio urbano, uma vez que foi alvo de modificações significativas em sua forma, dinâmica e componentes geoambientais ao longo de seu processo de urbanização (ALMEIDA, 2010). A região de Cerro Corá, por estar inserida no sertão nordestino e em domínio semiárido das caatingas brasileiras, apresenta uma instabilidade ecodinâmica e sofre com mais intensidade os processos morfodinâmicos superficiais, tal qual a erosão, que apesar de se configurar como um fenômeno natural, pode ser acelerada em função da declividade acentuada da região, pelo solo e principalmente pelos seus usos (NETO; FERNANDES, 2015; RABELO; ARAÚJO, 2019).

No entanto, tais processos na região são, em grande parte, atribuídos ao pisoteio do gado, que é considerado um importante agente de mudança geomorfológica, favorecendo o escoamento superficial e o surgimento de ravinas e voçorocas (TRIMBLE; MENDEL, 1995; COSTA *et al.*, 2018).

A falta de controle de acesso à região e de cercamento adequado contribuem para a ampliação desses impactos, incluindo a vulnerabilidade das nascentes.

5. Considerações Finais

A avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em APP na BHRP, permitiu identificar dominância da classe Moderada representando 72,66%, que, em conjunto com as classes Alta (10,14%) e Muito Alta (0,07%), representam significativos 82,87% da bacia. Dentre os fatores naturais que influenciaram estão a combinação de uma geologia cristalina/sedimentar responsável respectivamente pelos solos Neossolos Litólicos/Quartzarênicos sendo os principais responsáveis. No meio antrópico, foram identificados diversos usos do solo nas APP de cursos d'água, com destaque para atividades de pastagens (pecuária), culturas temporárias e solos expostos em áreas de maiores vulnerabilidades. As áreas com vulnerabilidade Muito Baixa e Baixa (17,13%) representam danos ambientais menos significativos aos elementos hídricos.

Na bacia, três APP foram validadas, onde foi constatado em visita *in loco* o processo erosivo e diversas irregularidades de uso e ocupação do solo ao confrontá-las com o Código Florestal Brasileiro. Foi constatado que as práticas de pecuária sem o devido cercamento em áreas de nascentes contribuíram para a degradação das áreas mapeadas com vulnerabilidade “Alta” e “Muito Alta”.

Considerando que a BHRP é uma das mais importantes do RN, abrangendo diversas atividades econômicas e sociais, o mapeamento realizado pode servir de subsídio para o planejamento territorial dos municípios integrantes da bacia e para o Comitê da mesma, ainda não estabelecido. Ações para recuperação de áreas degradadas podem ser iniciadas nas ÁPP com maiores vulnerabilidades. Cabe ressaltar a região das nascentes mais distantes da foz do rio Potengi (Cerro Corá) como prioritária nessas ações, uma vez que se trata de uma área com alto grau de vulnerabilidade ambiental e que está inserida na borda ocidental da Serra de Santana, composta pelos arenitos friáveis da Formação Serra do Martins. Eventos adversos nessa área como a supressão da vegetação, o pisoteio do gado e assoreamento dos olhos d'água, podem desencadear efeitos negativos na quantidade e na qualidade da água com efeitos em cascata à jusante. Dessa forma, enfatiza-se ainda mais a importância das ações de conservação nessa região, que desempenha um papel vital na preservação do equilíbrio ambiental da bacia.

Como complemento, deve ser destacada a obrigatoriedade presente no Código Florestal Brasileiro no que tange a recomposição da vegetação nas APP, para a devida redução da vulnerabilidade ambiental da bacia. Sugere-se, ainda, a continuidade da validação de outras APP, bem como o levantamento por município e medidas para mitigar os principais processos causadores de degradação em cada região.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (TED nº 23/2021/SNSH/MDR) e a Fundação Norte-Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura (FUNPEC) pelo incentivo financeiro.

Referências

- ALEXANDRE, F. da S; RAMOS, P. S.; DEUS, R. A. S. G.; GOMES, D.D.M.; SILVA, S. A. Mapeamento do Uso do Solo no município de Palmeirina-PE. Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 2, p. 1160–1167, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10579>.
- ALENCAR, J. B. R.; BRITO, C. H. de; BACCARO, F. B.; BICHO, C. de L.. Beetle assemblage composition (coleoptera) across the borborema plateau in northeastern brazil. Revista Caatinga, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 148-159, mar. 2022. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252022v35n115rc>.
- ÁLVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ALMEIDA, Lutiane Queiroz de. Vulnerabilidades socioambientais de rios urbanos. 2010. 310 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/items/1e1617a7-1a33-47e9-982a-eb880da92d21>>. Acesso em: 25 set. 2023.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponibilidade Hídrica Superficial: Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2021. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7ac42372-3605-44a4-bae4-4dee7af1a2f8>>.
- APS, R; HERKÛL, K; KOTTA, J; CORMIER, R; KOSTAMO, K; LAAMANEN, L; LAPPLAINEN, J; LOKKO, K; PETERSON, A; VARJOPURO, R. Marine environmental vulnerability and cumulative risk profiles to support ecosystem-based adaptive maritime spatial planning. ICES (Int. Counc. Explor. Sea) J. Mar. Sci. 75 (7), 2488–2500. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy101>.
- BRASIL. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília, Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm>. Acesso em: 01. set. 2022.

- BRAUMAN, K. A., DAILY, G. C., DUARTE, T. K. E., MOONEY, H. A. The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annu. Rev. Env. Resour.* 32, 67–98, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>.
- CASTRO, S. L. I; MAY, L. R.; GARCIAS, C. M.. Meio ambiente e cidades – áreas de preservação permanente (app) marginais urbanas na lei federal N. 12.651/12. *Ciência Florestal*, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 1340-1349, 1 out. 2018. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509833353>.
- CHIAVARI, J; LOPES, C. L. Os caminhos para a regularização ambiental: decifrando o novo código florestal. In: SILVA, A. P. M. da; MARQUES, H. R.; SAMBUICHI, R. H. S. (org.). *Mudanças no Código Florestal Brasileiro: desafios para a implementação da nova lei*. Rio de Janeiro: Ipea, 2016. p. 21-44. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6912>>.
- COSTA, C. W.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A. di; SERIKAWA, V. de S.. Combinação de atributos naturais e antrópicos na definição do potencial de contaminação de aquíferos, sudeste do Brasil. *Sociedade & Natureza*, [S.L.], v. 32, p. 657-673, 11 set. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v32-2020-56221>.
- COSTA, C. W.; LORANDI, R.; LOLLO, J. A. de; IMANI, M.; DUPAS, F. A. Surface runoff and accelerated erosion in a peri-urban wellhead area in southeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, [S.L.], v. 77, n. 5, 23 fev. 2018. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7366-x>.
- COSTA, A. P. da; DANTAS, A. R.. *Geologia e recursos minerais da Folha Lajes SB. 24-X-D-VI: Estado do Rio Grande do Norte*. Recife: CPRM, 2018. Programa Geologia do Brasil. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20238?mode=full>>.
- COSTA, Carlos; PIGA, Fabiola; MORAES, Mayra; DORICI, Mariana; SANGUINETTO, Evandro; LOLLO, Jose; MOSCHINI, Luiz; LORANDI, Reinaldo; OLIVEIRA, Leandro. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: manancial do rio das araras - araras, sp./ environmental fragility and water scarcity in catchment basins. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 946-958, out. 2015. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p946-958>.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte*. Recife: CPRM; FAPERN, 2006. Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil (PGB). Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/10234?show=full>>.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. e BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 124 p.
- DICKEL, M. E. G.; GODOY, M. B. R. B. Desastres ambientais e impactos socioambientais: inundações no município de Itaóca- SP: Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão de riscos. *Caderno de Geografia*, [S.L.], v. 26, n. 47, p. 737-759, 20 set. 2016. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. DOI: <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n47p737>.
- DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P. de; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n.4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1255>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília, DF. 2018. 355 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/solos/busca-de-publicacoes/-publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acesso em: 10 março 2023.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Diagnóstico das Paisagens no Brasil*. 5. ed. Brasília, DF. 2014. 38 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/986147/1/DOC402.pdf>.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Súmula da X Reunião técnica de levantamento de solos, Rio de Janeiro. 1979. 87 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/327212/1/SNLCSMiscelania11979.pdf>>.
- FEEN, R. H. Keeping the balance: Ancient Greek philosophical concerns with population and environment. *Population and Environment*, v. 17, p. 447–458, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02208335>.
- GRIPP JUNIOR, Joel; SOARES, Vicente Paulo; RIBEIRO, Carlos Antonio Álvares Soares; SOUZA, Agostinho Lopes de; GLERIANI, José Marinaldo. Aplicação da geotecnologia no estudo de cadastro técnico rural e no mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais. *Revista Ceres*, [S.L.], v. 57, n. 4, p. 459-468, ago. 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-737x2010000400004>.
- GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 192 p. ISBN 978-85-7975-079-3.
- GUIMARÃES, B. B.; GUIMARÃES, R. B.; LEAL, A. C. Código Florestal brasileiro: análise do conceito de área de preservação permanente e sua aplicação na bacia hidrográfica do córrego são pedro - anhumas, são paulo. *Boletim Campineiro de Geografia*, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 157-173, 30 jun. 2015. *Boletim Campineiro de Geografia*. DOI: <http://dx.doi.org/10.54446/bcg.v5i1.192>.
- GUIMARÃES, Felipe Silva; CORDEIRO, Claudia Mendes; BUENO, Guilherme Taitson; CARVALHO, Vilma Lúcia Macagnan; NERO, Marcelo Antônio. UMA PROPOSTA PARA AUTOMATIZAÇÃO DO ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 1-13, 31 mar. 2017. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163>.
- GUO, M., WANG, W., SHI, Q., CHEN, T., KANG, H., LI, J. An experimental study on the effects of grass root density on gully headcut erosion in the gully region of China's Loess Plateau. *Land Degrad Dev*. v. 30, p. 2107– 2125, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3404>.
- HOENIG, L. R.; CANDIOTTO, L. Z. P. ANÁLISE DO USO DO SOLO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NO ALTO CURSO DA BACIA DO RIO COTEGIPE, FRANCISCO BELTRÃO - PR. XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária. Universidade Federal de Uberlândia. 2012. Disponível em: <http://www.lagea.ig.ufu.br/xx1enga/anais_enga_2012/eixos/1388_1.pdf>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais: Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro, 2013, 170 p. 3 ed. ISBM 978-85-2404-307-9.
- JAXA/METI. ALOS PALSAR: MDE – Banda L. 2011. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em 05/11/2020.
- KOPPEN, W; 1936: Das geographische System der Klimate – KOPPEN, W., R. GEIGER (Eds.): *Handbuch der Klimatologie*. – Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1, 1–44, part C. Disponível em: <https://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf>.
- KLAIS, Halita Beatriz Antunes; DALMAS, Fabricio Bau; MORAIS, Renata Porto; ATIQUE, Gabriela; LASTORIA, Giancarlo; PARANHOS FILHO, Antonio Conceicao. Vulnerabilidade natural e ambiental do município de Ponta Pora, Mato Grosso do Sul, Brasil. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 277-290, 31 ago. 2012. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.786>.
- LI, X.; SUN, W.; ZHANG, D.; HUANG, J.; LI, D.; DING, N.; ZHU, J.; XIE, Y.; WANG, X. Evaluating water provision service at the sub-watershed scale by combining supply, demand, and spatial flow. *Ecological Indicators*, v. 127, p. 107745, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107745>.
- LIMA, M. M. P.; SILVA, L. da. Análise da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Rio Banabuiú, com apoio de geotecnologia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 1442-1457, 2018. *Revista Brasileira de Geografia Física*. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442-1457>.

- LIMA, S. M.; SOUZA, J. Detalhamento das classes solos da bacia hidrográfica do riacho do tigre. Revista de Geociências do Nordeste, [S.L.], v. 2, p. 103-112, 27 out. 2016. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. DOI: <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0id10429>.
- LIMA, M. da G.; DANTAS, E. P. Geologia e recursos minerais da folha São José de Mipibu, SB.25-A-Y-II e III. Recife: CPRM, 2016. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17627?show=full>>.
- MACHADO, T. C. E.; CAMPOS, M. C. C.; PAGANI, C. H. P.; CUNHA, J. M.; SOARES, M. D. R. AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NOS ANOS DE 2008 E 2013 NA ZONA URBANA DE HUMAITÁ, AMAZONAS. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, [S.L.], v. 15, n. 2. 2017. Universidade Vale do Rio Verde (UninCor). DOI: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v15i2.3017>.
- MIRANDA, M. S. A.; FARIAS, J. F. UNIDADES GEOECOLÓGICAS DO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTENGI-RN: APONTAMENTOS PARA UM FUTURO SUSTENTÁVEL. REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA, Foz de Iguaçu, Brasil, v.15, n.1, p.94 - 104. 2021. ISSN: 1982-5528.
- MORGAN, R., P., C. Soil Erosion and Conservation. 3ª edição. Blackwell Publishing, Oxford, 2005. 304P. ISBN 1-4051-1781-8. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>.
- NETO, Manoel Cirício Pereira; FERNANDES, Ermínio. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (rn/pb – Brasil). Revista Brasileira de Geomorfologia, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 1-10, 30 set. 2015. Revista Brasileira de Geomorfologia. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i3.603>.
- OLIVEIRA, M. Z. de; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L; VALLES, T. H. A.; ZARDO, D.; SILVEIRA, L. K. da. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente: Um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um sistema de informação geográfica (SIG). Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, p. 4119-4128, abr. 2007. ISBN 978-85-17-00031-7.
- OLIVEIRA, A. V. L. C. de; CESTARO, L. A. Caracterização dos sistemas ambientais do Rio Grande do Norte: um enfoque na depressão sertaneja. Revista de Geociências do Nordeste, [S.L.], v. 2, p. 221-231, 27 out. 2016. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0id10444>.
- PAIVA, A. M. L. de; AMARO, V. E.; LOLLO, J. A. di; COSTA, C. W. Fragilidade Ambiental aplicada em área de manancial no Nordeste brasileiro. Revista de Geociências do Nordeste, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 128-147, 14 abr. 2022. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. DOI: <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n1id24368>.
- PEDRON, F. de A.; FINK, J. R.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em neossolos derivados de arenitos da formação caturrita no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1941-1950, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000600019>.
- PIGA, F. G.; TÃO, N. G. R.; RUGGIERO, M. H.; MARQUEZOLA, D. de S.; BOINA, W. L. de O.; COSTA, C. W.; LOLLO, J. A. de; LORANDI, R; MELANDA, E. A.; MOSCHINI, L. E. Multi-criteria potential groundwater contamination and human activities: araras watershed, brazil. Rbrh, [S.L.], v. 22, p. 1-13, 23 out. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.0217170052>.
- PINTO, G. S.; SERVIDONI, L. E.; LENSE, G. H. E.; MOREIRA, R. S.; MINCATO, R. L. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial. Geography Department University Of Sao Paulo, [S.L.], v. 39, p. 62-71, 23 jun. 2020. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160233>.
- RABELO, Davi Rodrigues; ARAÚJO, José Carlos de. Estimativa e mapeamento da erosão bruta na bacia hidrográfica do rio Seridó, Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia, [S.L.], v. 20, n. 2, 31 mar. 2019. Revista Brasileira de Geomorfologia. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i2.1414>.

- RADAMBRASIL. Secretaria Geral. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL: Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra (Levantamento de Recursos Naturais). Rio de Janeiro, 1981. 745 p. 23 v.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, 8, São Paulo, 1994. p. 63-74.
- SALOMÃO, C. de S. C.; PAULA, L. G. de S.; ELMIRO, M. A. T. Use of multicriteria analysis to define priority areas for reforestation in the Piranga River Basin, MG, Brazil. Sustentabilidade em Debate, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 95-120, 31 ago. 2020. Editora de Livros IABS. DOI: <http://dx.doi.org/10.18472/sustdeb.v11n2.2020.30468>.
- SANTOS, R. de O.; SCUDELARI, A. C. AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO POTENGI, RN. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. Anais [...]. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/ccc229564e86f00a6440260d46034c6d_c5be99c4f4832ccc2b66cd52132839dc.pdf>.
- SARTORI, A. A. da C.; SILVA, R. F. B. da; ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. Revista Árvore, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 1079-1090, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622012000600009>.
- SCHULT, S. I. M.; GHODDOSI, S. M.; NOLL, J. F.; BACK, C. C.; KONDLATSCH, K. M. de S. Planejamento territorial e recursos hídricos: as áreas protegidas no entorno de corpos de água na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí (sc). In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICO, 2013, Bento Gonçalves/RS. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/667ae3e73abb03e48193c9b52efe7410_122c05c530100303d14b87f1311c86ad.pdf>
- SEMARH, Secretaria de Estado de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos. 1998. Disponível em: <<http://adcon.m.gov.br/ACERVO/IGARN/DOC/DOC000000000150878.PDF>>.
- SILVA, I. A. A.; DUPAS, F. A.; COSTA, C. W.; SOUZA, A. R.; MEDEIROS, G. O. R. Spatiotemporal changes in land cover land use in protected areas of Serra da Mantiqueira, Southeastern Brazil. Environmental Challenges, p. 100195, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100195>
- SILVA, P. L. F. da; SILVA, A. J. da. Avaliação do uso e ocupação do solo no município de Pilõesinhos-PB, de 1984-2016 utilizando o geoprocessamento. Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 48-63, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2017v3n1ID10982>.
- SILVA, L. F. da; BACANI, V. M. Análise da Fragilidade Ambiental e das Áreas de Preservação Permanente da Bacia Hidrográfica do Córrego Fundo, Município de Aquidauana-MS. Caderno de Geografia, [S.L.], v. 27, n. 49, p. 264-284, 2 maio 2017. Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2017v27n49p264>.
- SOUZA, A. R. de; DUPAS, F. A.; DRUMMOND, I. N.; COSTA, C. W. ZONEAMENTOS DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL E EXPECTATIVA DE PERDA DE SOLO: é possível usar a usle na determinação de vulnerabilidade ambiental?. Geociências, [S.L.], v. 38, n. 4, p. 1105-1119, 7 abr. 2020. UNESP - Universidade Estadual Paulista. DOI: <http://dx.doi.org/10.5016/geociencias.v38i4.14083>.
- SOUZA, J. A.; AMORIM, R. F. de. Comportamento espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Potengi-RN. Revista de Geociências do Nordeste, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 77-86, 14 mar. 2022. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. <http://dx.doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n1id22006>.
- SOARES, D.L.; POLIVANOV, H.; BARROSO, E.V.; MOTTA, L.M.G.; SOUZA, C.C.. Soil Erodibility on Cutting Slopes of Unpaved Roads. Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 179-193, 16 maio 2018. Instituto de Geociências - UFRJ. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_1_179_193.

-
- SPÖRL, C; ROSS, J. L. S. ANÁLISE COMPARATIVA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL COM APLICAÇÃO DE TRÊS MODELOS. Espaço e Tempo, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.
- TEIXEIRA, R. B. O rio Potengi e a cidade do Natal em cinco tempos históricos. Aproximações e distanciamentos, Confins [Online] 2015, posto online no dia 12 Março 2015. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.10114>.
- THOMA, A. C.; TASSINARI, D.; PRAT, B. V.; FERNANDES, J. S. C.; SILVA, A. C. Erodibilidade de Neossolo Litólico pelo ensaio de Inderbitzen modificado e eficiência de blocos de solo-cimento para controle da erosão hídrica. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 511-522, jun. 2022. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220210099>.
- TORRES, D. M.; GOMES, M.D.B.; ANDRADE, E.K.F.; SILVA, R.D.R. ESTUDO DE CASO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO POTENGI NA CIDADE DE SÃO PAULO DO POTENGI, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. Holos, [S.L.], v. 8, p. 1-15, 24 dez. 2019. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2019.9193>.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ecodinamica.pdf>.
- TRIMBLE, S. W.; MENDEL, A. C. The cow as a geomorphic agent — A critical review. Geomorphology, [S.L.], v. 13, n. 1-4, p. 233-253, set. 1995. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0169-555x\(95\)00028-4](http://dx.doi.org/10.1016/0169-555x(95)00028-4).
- URIBE, D; GENELETTI, D; CASTILLO, R. F. del; ORSI, F. Integrating Stakeholder Preferences and GIS-Based Multicriteria Analysis to Identify Forest Landscape Restoration Priorities. Sustainability, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 935-951, 21 fev. 2014. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su6020935>.
- VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. de S.; VETTORAZZI, C. A. MULTICRITERIA DECISION ANALYSIS FOR PRIORITIZING AREAS FOR FOREST RESTORATION. Cerne, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 53-60, mar. 2017. FapUNIFESP (SciELO). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201723012258>.
- ZAPAROLI, F. C. M.; CREMON, E. H. Análise Comparativa entre Quatro Metodologias de Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jangada, Noroeste Paulista. In: VIII SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2010. Florianópolis. Anais [...] . 2010. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/8/10/6.pdf>
- ZHAO, J., JI, G., TIAN, Y., CHEN, Y., WANG, Z. Environmental vulnerability assessment for mainland China based on entropy method. Ecol. Indicat. 91, 410–422, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.016>.