



Determinação de áreas vulneráveis à erosão e prioritárias à recuperação da bacia

hidrográfica do Rio Potengi – RN

Matheus Natan Ferreira Alves Sousa¹ Caio Victor Macêdo Pereira² Fellipe Souza Araujo³
 Ivo Cavalcanti Neto⁴ Joyce Clara Vieira Ferreira⁵ Paulo Eduardo Vieira Cunha⁶ and
 Carlos Wilmer Costa⁷

¹ Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do Norte
 Brasil. matheusnatancivil@gmail.com

² Bacharel em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do
 Norte – Brasil. caiomp2010@hotmail.com

³ Bacharel em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do
 Norte – Brasil. fellipe.souza26@gmail.com

⁴ Bacharel em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do
 Norte – Brasil. ivocavalcantisjs@gmail.com

⁵ Doutora em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do Norte – Brasil
joyceclaravfgeo@gmail.com

⁶ Doutor em Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do
 Norte – Brasil. pauloeduardovc@gmail.com

⁷ Doutor em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, Rio Grande do
 Norte – Brasil. carloswilmercosta@gmail.com

Notas dos Autores

Os autores não têm conflitos de interesse a declarar. Correspondência relacionada a este artigo deve ser enviada para Matheus Natan Ferreira Alves Sousa - matheusnatancivil@gmail.com

Agradecimentos: Os autores agradecem à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e a Fundação Norte-Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura (Funpec) pelo apoio e ao Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) por financiar o Projeto Potengi.

Cite como - American Psychological Association (APA)

Sousa, M. N. F. A., Pereira, C. V. M., Araújo, F. S., Cavalcanti Neto, I., Ferreira, J. C. V., Cunha, P. E. V., & Costa, C.

W. (2024). Determinação de áreas vulneráveis à erosão e prioritárias à recuperação da bacia hidrográfica

do Rio Potengi – RN. *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-33, e24247. <https://doi.org/10.5585/2024.24247>





Resumo

Objetivo: O estudo visa identificar áreas vulneráveis à perda de solo na Bacia hidrográfica do Rio Potengi (BHRP) no Rio Grande do Norte, por meio de análise multicritério envolvendo vários atributos geoambientais, a fim de orientar esforços para ações eficientes de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD).

Metodologia: Foram levantados dados de geologia, do clima, da geomorfologia, pedologia, rede hidrográfica e foto interpretação da cobertura e uso da terra. Por meio da álgebra de mapas foi possível modelar a paisagem da bacia e localizar as áreas mais vulneráveis à perda de solo.

Originalidade/Relevância: Após a investigação com geoprocessamento, os resultados gerados na forma de produtos cartográficos foram avaliados e validados por meio de vistorias de campo, a fim de verificar todas as situações apontadas como críticas e avaliar a precisão do método utilizado. É importante ressaltar que, em outros trabalhos realizados na BHRP, não foi identificado um objetivo específico de avaliar e validar a realidade.

Resultados: Verificou-se que cerca de 76% da área de 4.170 km² da bacia encontra-se moderadamente vulnerável à erosão, sendo identificadas nove áreas críticas de vulnerabilidade muito alta, e que precisam reduzir a perda de solo para evitar efeitos futuros, como o assoreamento das drenagens e transporte de nutrientes do solo.

Contribuições Sociais/Gerenciais: Mapear o estado atual da cobertura e uso da terra e das áreas de preservação é essencial para desenvolver medidas de proteção e fiscalização. Isso permite a implementação de iniciativas como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e a criação de um banco de áreas prioritárias, visando preservar os recursos hídricos, especialmente no semiárido do Nordeste brasileiro.

Palavras Chaves: análise multicritério, geoprocessamento, recursos hídricos, Rio Potengi, Rio Grande do Norte





DETERMINATION OF AREAS VULNERABLE TO EROSION AND PRIORITY AREAS FOR RECOVERY IN THE WATERSHED OF POTENGI RIVER – RN

Abstract

Purpose: The study aims to identify areas vulnerable to soil loss in the Potengi River hydrographic basin (BHRP) in Rio Grande do Norte, through a multicriteria analysis involving various geo-environmental attributes, in order to guide efforts towards efficient actions for the Recovery of Degraded Areas (RAD).

Methodology: Data on geology, climate, geomorphology, pedology, hydrographic network, and interpretation of land cover and land use were collected. Through map algebra, it was possible to model the landscape of the basin and locate the areas most vulnerable to soil loss.

Originality/Relevance: After the investigation using geoprocessing, the results generated in the form of cartographic products were evaluated and validated through field inspections to verify all situations identified as critical and assess the accuracy of the method used. It is important to note that in other studies conducted in BHRP, there was no specific objective of evaluating and validating the reality.

Results: It was found that approximately 76% of the 4,170 km² area of the basin is moderately vulnerable to erosion, with nine critical areas of very high vulnerability identified, which need to reduce soil loss to avoid future effects such as drainage siltation and transport of soil nutrients.

Social/Managerial contributions: Mapping the current state of land cover, land use, and preservation areas is essential to develop protection and monitoring measures. This allows for the implementation of initiatives such as Payment for Environmental Services (PSA) and the creation of a bank of priority areas, aiming to preserve water resources, especially in the semiarid region of Northeast Brazil.

Keywords: multicriteria analysis, geoprocessing, water resources, Potengi River, Rio Grande do Norte



DETERMINACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES A LA EROSIÓN Y ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA RECUPERACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO POTENGI - RN

Resumen

Objetivo: El estudio tiene como objetivo identificar áreas vulnerables a la pérdida de suelo en la cuenca hidrográfica del río Potengi (BHRP) en Rio Grande do Norte, a través de un análisis multicriterio que involucra varios atributos geoambientales, con el fin de orientar los esfuerzos hacia acciones eficientes de Recuperación de Áreas Degradadas (RAD).

Metodología: Se recopilaron datos de geología, clima, geomorfología, pedología, red hidrográfica e interpretación fotográfica de cobertura y uso de la tierra. Mediante álgebra de mapas, fue posible modelar el paisaje de la cuenca y localizar las áreas más vulnerables a la pérdida de suelo.

Originalidad/Relevancia: Después de la investigación con geoprocésamiento, los resultados generados en forma de productos cartográficos fueron evaluados y validados mediante inspecciones de campo para verificar todas las situaciones señaladas como críticas y evaluar la precisión del método utilizado. Es importante destacar que, en otros trabajos realizados en BHRP, no se identificó un objetivo específico de evaluar y validar la realidad.

Resultados: Se encontró que aproximadamente el 76% de la superficie de 4.170 km² de la cuenca es moderadamente vulnerable a la erosión, con nueve áreas críticas de alta vulnerabilidad identificadas, que necesitan reducir la pérdida de suelo para evitar futuros efectos, como el enarenamiento de los drenajes y el transporte de nutrientes del suelo.

Contribuciones Sociales/Gerenciales: Mapear el estado actual de la cobertura y uso de la tierra y las áreas de preservación es esencial para desarrollar medidas de protección y vigilancia. Esto permite la implementación de iniciativas como el Pago por Servicios Ambientales (PSA) y la creación de un banco de áreas prioritarias, con el objetivo de preservar los recursos hídricos, especialmente en el semiárido del noreste de Brasil.





Palabras clave: análisis multicriterio, geoprocetamiento, recursos hídricos, Río Potengi, Río Grande del Norte

Introdução

As paisagens terrestres contribuem direta e indiretamente para o bem-estar humano (Costanza et al., 1997). As unidades paisagísticas estão em constante mudança, tanto por ações antrópicas como por fenômenos naturais. Cada agente modificador da paisagem possui um ritmo, ocorrendo transformações rápidas (minutos a anos) ou lentas (décadas a milênios). Embora a formação de solo seja um processo lento, sua movimentação pela erosão é rápida e suscetível à aceleração pelas ações antrópicas. A cada ano a superfície da terra perde cerca de 0,90 a 0,95 mm de solo (Pham et al., 2018). A perda de solo global cresceu 20% entre os anos de 2001 a 2012 (Borrelli et al., 2017), devido à retirada da vegetação e a consequente mudança da cobertura das terras.

O uso do solo de forma inadequada, principalmente para a produção de alimentos, resulta em sua exposição aos agentes erosivos que lixiviam, removem os nutrientes, diminuem as áreas agricultáveis e de pecuária, levando ao esgotamento de nutrientes, assoreamento de cursos d'água, podendo causar enchentes ao elevar o pico de vazão de rios (Guo et al., 2019). Os solos em regiões de climas tropicais são mais suscetíveis a processos erosivos por possuírem maior zona ativa com variação constante da umidade (Almeida et al., 2015). Além disso, as pastagens, um dos principais agentes erosivos, ocupam parte significativa do Brasil (Thomaz & Dias, 2009), podendo ocasionar a compactação da cobertura pedológica com o pisoteio constante do animal, reduzindo a penetração das raízes e, conseqüentemente, o armazenamento de água (Guo et al., 2019).

A evolução da perda de solo se mostra acelerada no mundo todo, necessitando o estabelecimento de níveis limites de erosão para mitigar perdas econômicas (FAO, 2019). No período de 2000 a 2019 percebe-se um aumento significativo nos esforços globais de



reflorestamento. A China lidera esses esforços com um adicional de 41 milhões de hectares de floresta recuperadas nesse período. Somente em 2020, 42 milhões de hectares foram plantados e 34 milhões em 2021. No entanto, o Brasil não segue esse caminho, no período de 2000 a 2019, o país liderou o *ranking* de desmatamento com 53 milhões de hectares perdidos de florestas (FAO, 2021). A crise hídrica no semiárido brasileiro entre os anos de 2012 e 2018 é mais uma evidência da importância de reparar esses processos.

O processo de avaliação das paisagens pressupõe o conhecimento da dinâmica ambiental da região o que envolve o uso e ocupação do solo, a expansão urbana, características do solo, relevo, vegetação, geologia e clima, podendo favorecer processos erosivos e suas consequências na quantidade e qualidade da água (Paiva et al. 2022). Assim, novas formas de planejamento territorial e hídrico que se fundamentem em análises geomorfológicas, geológicas, pedológicas, climatológicas, de uso e cobertura do solo ganham relevância (Troleis & Silva, 2018).

Com o avanço do geoprocessamento, a modelagem matemática pode ser desenvolvida em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo a discriminação das paisagens auxiliando na tomada de decisão. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE), o Método da Erosão Potencial (EPM) e a ferramenta de avaliação de solo e água (SWAT), foram desenvolvidas para se estimar quantitativamente a perda anual de solo de uma região para cada ponto de bacias hidrográficas (Pham et al., 2018), embora possuam algumas limitações. Por outro lado, a metodologia de zoneamento ecológico proposto por Crepani et al. (2001) é capaz de determinar a suscetibilidade natural à erosão a partir da análise qualitativa do clima, geomorfologia, geologia, pedologia e uso e cobertura da terra, o que pode ser suficiente para identificar a prioridade de determinadas áreas para receber ações de controle de erosão como, por exemplo, o reflorestamento.

No entanto, a quantificação da vulnerabilidade não se constitui como uma tarefa simples, pois não se reduz a uma única métrica e envolve a qualidade dos dados utilizados e a





percepção e preferências dos tomadores de decisão (Souza et al., 2019). Os mapas podem ter diferentes graus de detalhe, dependendo da intensidade dos trabalhos de campo e de sua escala. Os mapas exploratórios, como de solos elaborados pelo Projeto RADAMBRASIL entre os anos de 1973 e 1987, estão embasados em interpretação de mosaicos semicontrolados de imagens de radar e trabalho de campo. Esses produtos são úteis para uma avaliação preliminar do potencial dos solos e, também, servem para o planejamento do desenvolvimento de regiões pioneiras. Desse modo, os diagnósticos possibilitam espacializar as regiões passíveis a algum dano ambiental diante de condições que ameaçam a saúde pública e a qualidade ambiental. Quando abordam a ocorrência de processos naturais, segundo classes de probabilidade, estão indicando a suscetibilidade natural. Enquanto os estudos que abordam a vulnerabilidade ambiental indicam a fragilidade do ambiente frente a ações antropogênicas.

Diante desse cenário, órgãos ambientais vinculados à gestão pública de cada país já começaram a agir cobrando mitigação dos danos ambientais causados pelos usos antrópicos da terra, como o cercamento das áreas a serem protegidas e o reflorestamento. Nesse sentido, a gestão e o planejamento ambiental são ferramentas básicas para o controle desse desequilíbrio. Com o intuito de amenizar o impacto destas atividades, diversas instituições têm buscado estabelecer modelos de ocupação e desenvolvimento regional. Logo, este artigo resulta de pesquisa apoiada pelo Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR) e tem o objetivo de identificar áreas vulneráveis à perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Potengi, a fim de direcionar esforços para ações de Recuperação de Áreas Degradadas (RAD) e demonstrar a eficiência da metodologia de modelagem ambiental. Apesar do quantitativo de trabalhos acadêmicos relacionados a essa bacia hidrográfica, não foram identificadas pesquisas com a perspectiva de identificar áreas prioritárias à recuperação.

Metodologia

A BHRP compreende 4.170 km² abrangendo 25 municípios do RN. Por se tratar de uma das bacias mais importantes do estado do Rio Grande do Norte, e seu principal curso, o rio



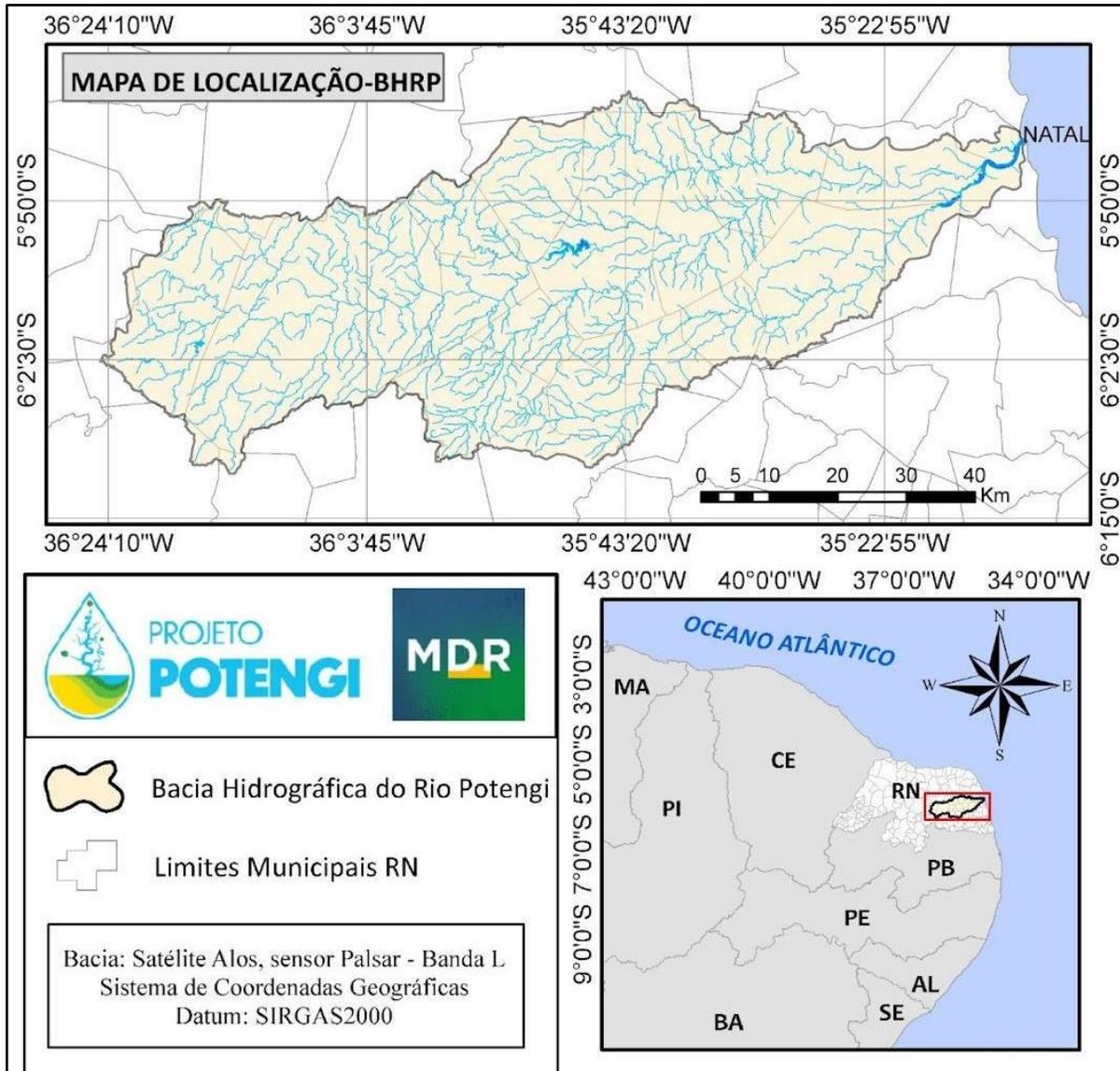
Potengi, interceptar a capital do estado abrangendo diversas atividades importantes (agricultura, pecuária, extrativismo, carcinicultura, pesca, comércio, transporte, indústria, geração de energia (eólica), turismo, manifestações religiosas, estaleiro da Marinha do Brasil e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Esgotos e Águas do RN (CAERN)), entende-se que há a possibilidade da existência de áreas em processo de degradação e, por isso, devem ser alvo de ações de recuperação para melhoria/manutenção da condição socioambiental da bacia (Figura 1).

Dos rios que compõem a BHRP, apenas 144,81 km são perenes, enquanto rios de natureza intermitente somam 2.559,23 km, devido ao substrato geológico e regime pluviométrico da região ser semiárida. Quanto às nascentes do rio Potengi, totalizam 427, estando sua principal nascente localizada no município de Cerro-Corá, tomando como referência os canais de primeira ordem mapeados pela ANA. Todas essas características resultam em 323 ha destinados a área de preservação permanente (APP) de nascentes, 3.546 ha de APP referentes às massas d'água e 19.329 ha de APP relacionadas a cursos d'água.

A BHRP se enquadra no clima tropical, com distribuição irregular das chuvas a oeste da bacia, variando entre 450 mm e 1.700 mm por ano, sendo os maiores índices pluviométricos localizados nos municípios em área litorânea onde atuam as brisas marítimas e terrestres com um acentuado grau de probabilidade de chuvas. Porém, o clima quente e semiárido, onde a zona de convergência intertropical (ZCIT) e os vórtices ciclônicos em altos níveis (VCAN) são predominantes, a oeste da bacia a média anual de precipitação é a menor e fica concentrada em 3 meses chuvosos o que eleva a intensidade pluviométrica na região.

Figura 1

Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Potengi



Fonte: Elaboração própria.

Foram coletados dados de pluviosidade no site da EMPARN (2022) referentes às 17 estações situadas nos municípios inseridos na área da bacia, considerando o período entre 2001 e 2021. A partir disso, foi possível estabelecer a quantidade de dias chuvosos, considerando um dia chuvoso aquele com precipitação maior que 1 mm. Então, realizou-se a interpolação dos dados para gerar o mapa temático. Na Figura 2 são apresentados dados de

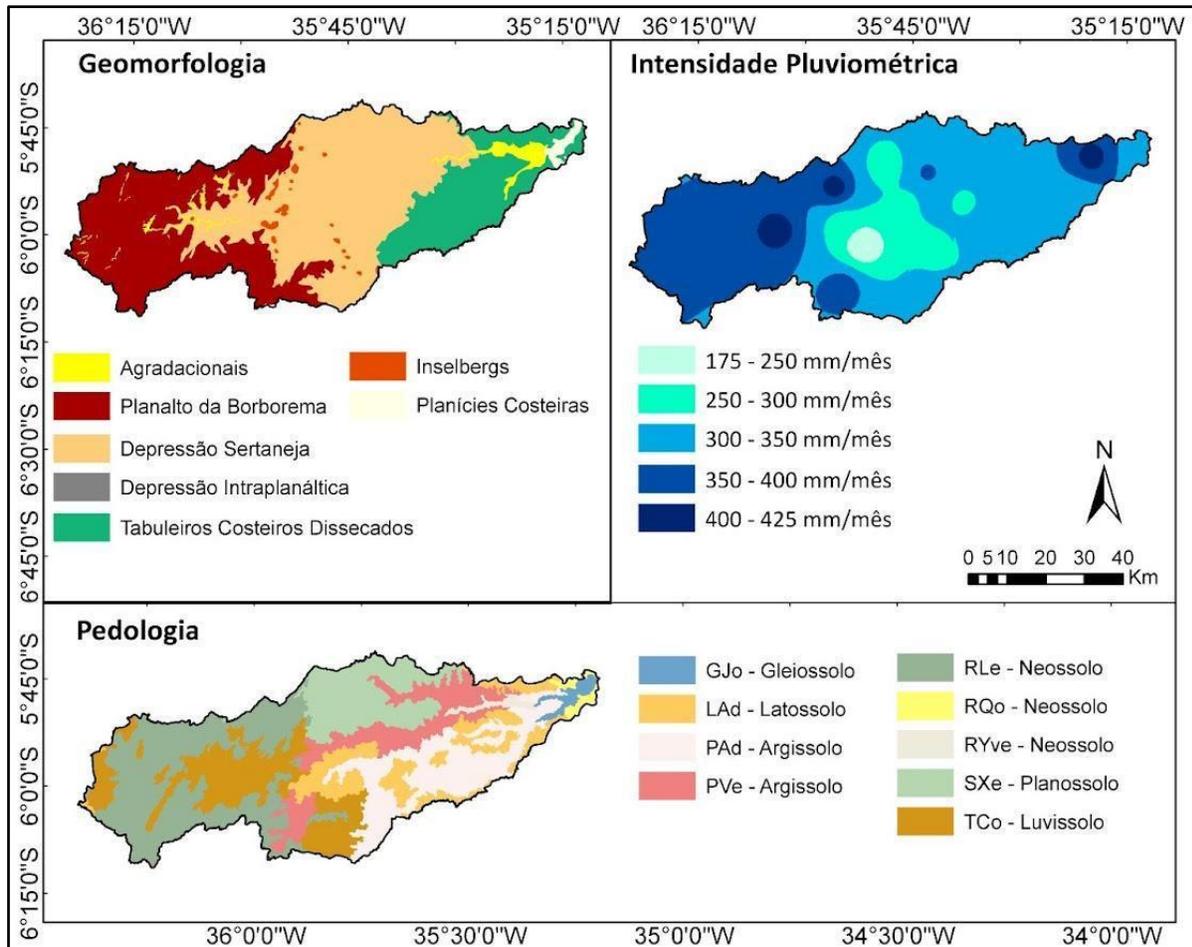


intensidade pluviométrica para uma escala temporal de 20 anos (2001 – 2021), a geomorfologia e os tipos de solo que compõem a área de estudo.

A Geomorfologia regional é composta por subunidades morfoesculturais do território potiguar e refletem três eventos de evolução, a Orogênese Brasileira, a fragmentação do Megacontinente Gondwana e as reativações tectônicas cenozóicas (Diniz et al., 2017). A Depressão Sertaneja corresponde às áreas aplainadas do Cinturão Brasileiro, marcados por acentuados processos de dissecação. O Planalto da Borborema consiste em conjunto de terras altas de relevo movimentado, intensamente dissecado (Corrêa et al., 2010). A oeste da bacia observa-se a divisão entre essas duas morfoesculturas. As bacias litorâneas, à leste da bacia, foram recobertas por depósitos de sedimentos derivados do processo de dissecação do relevo dos terrenos cristalinos interioranos e os Tabuleiros Costeiros evoluíram sobrejacentes aos arenitos da Formação Barreiras, Formação Açu e Formação Jandaíra com relevos aplainados. Por fim, no extremo leste da bacia encontra-se o terreno agradacional das Planícies Fluviais e Costeiras, compostas por sedimentos continentais formados pela atuação direta de processos marinhos litorâneos.

Figura 2

Espacialização da Geomorfologia, Pedologia e Pluviometria



Fonte: Elaboração própria.

Segundo a metodologia de Crepani *et al.* (2001), as características geomorfológicas foram representadas pela média aritmética entre declividade, amplitude interfluvial e amplitude altimétrica. Tomando como base o MDE, aplicou-se a ferramenta *Slope*, a fim de determinar a declividade da BHRP. Em seguida, utilizando o método automático (Guimarães *et al.*, 2017), encontrou-se a amplitude interfluvial e altimétrica de cada trecho da área de estudo e então se obteve a representação desse plano de informação (PI).

A Pedologia da BHRP é composta por nove tipos de solo. Os Argissolos estão localizados no centro e no leste da bacia, possuem textura arenosa e argilosa com drenagem

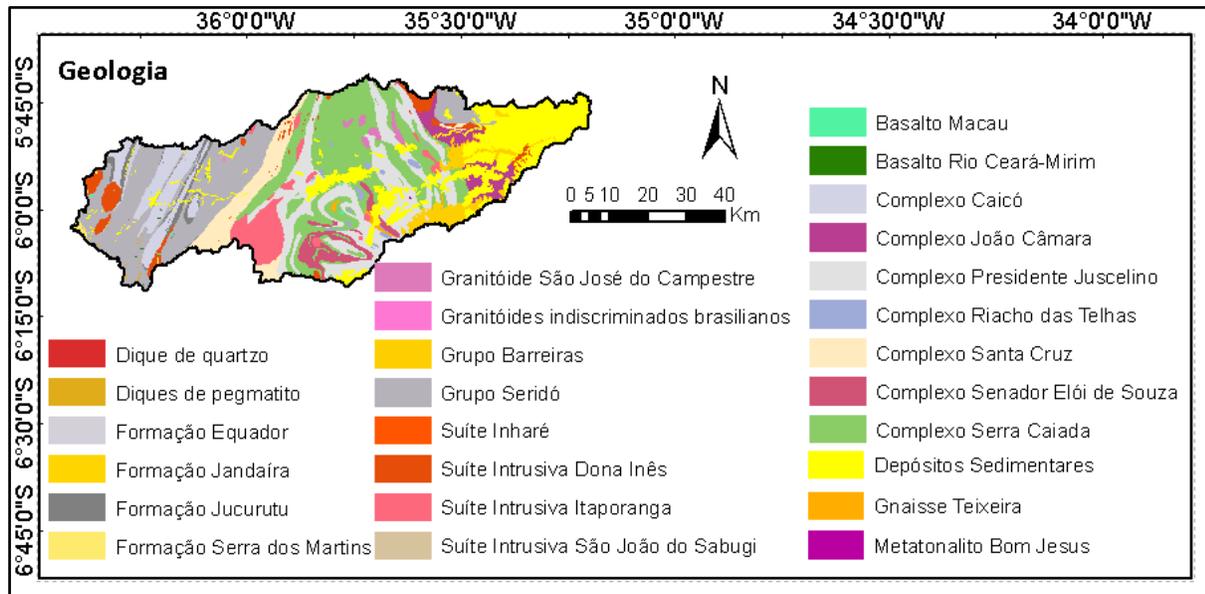


diminuindo em seu horizonte B, detém de alta fertilidade natural em decorrência da dinâmica de sua composição. Já os Gleissolo estão periodicamente saturados por água por estarem localizados na foz do Rio Potengi. À oeste da bacia encontram-se os Latossolos, argilosos, e os Luvisolos, rasos e pedregosos, são áreas com restrições hídricas. Por toda a bacia se distribuem os Neossolo e Planossolo, sob condições de clima semiárido se mantêm rasos e são compostos por argilas. Tais informações foram georreferenciadas pelo projeto RADAMBRASIL , e disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A oeste da bacia encontram-se os complexos Presidente Juscelino Serra Caiada, Caicó, Santa Cruz e suítes intrusivas Itaporanga, Dona Inês, São João do Sabugi e Inharé, constituídos por gnaisses e migmatitos intensamente fraturados. Pode-se também contatar as formações Equador, Jucurutu e Seridó, constituídas por biotitas, anfibólios e mármores metamorfizados de baixo a alto grau (Figura 3). Existem também os Granitóides indiscriminados Brasileiros, constituídos por dioritos, o Basalto Rio Ceará-Mirim e Macau, constituídos por diabásio e basalto, a formação Serra dos Martins e em conjunto com os Depósitos aluvionares são constituídos por Arenito e sedimentos inconsolidados. A leste da bacia verifica-se a formação Jandaíra constituída por calcarenitos. O Grupo Barreiras e os depósitos aluvionares são constituídos por sedimentos de quartzo. Portanto, à leste próximo ao litoral, predominam rochas sedimentares e a oeste rochas ígneas.

Figura 3

Espacialização da Geologia da BHRP



Fonte: Elaboração própria.

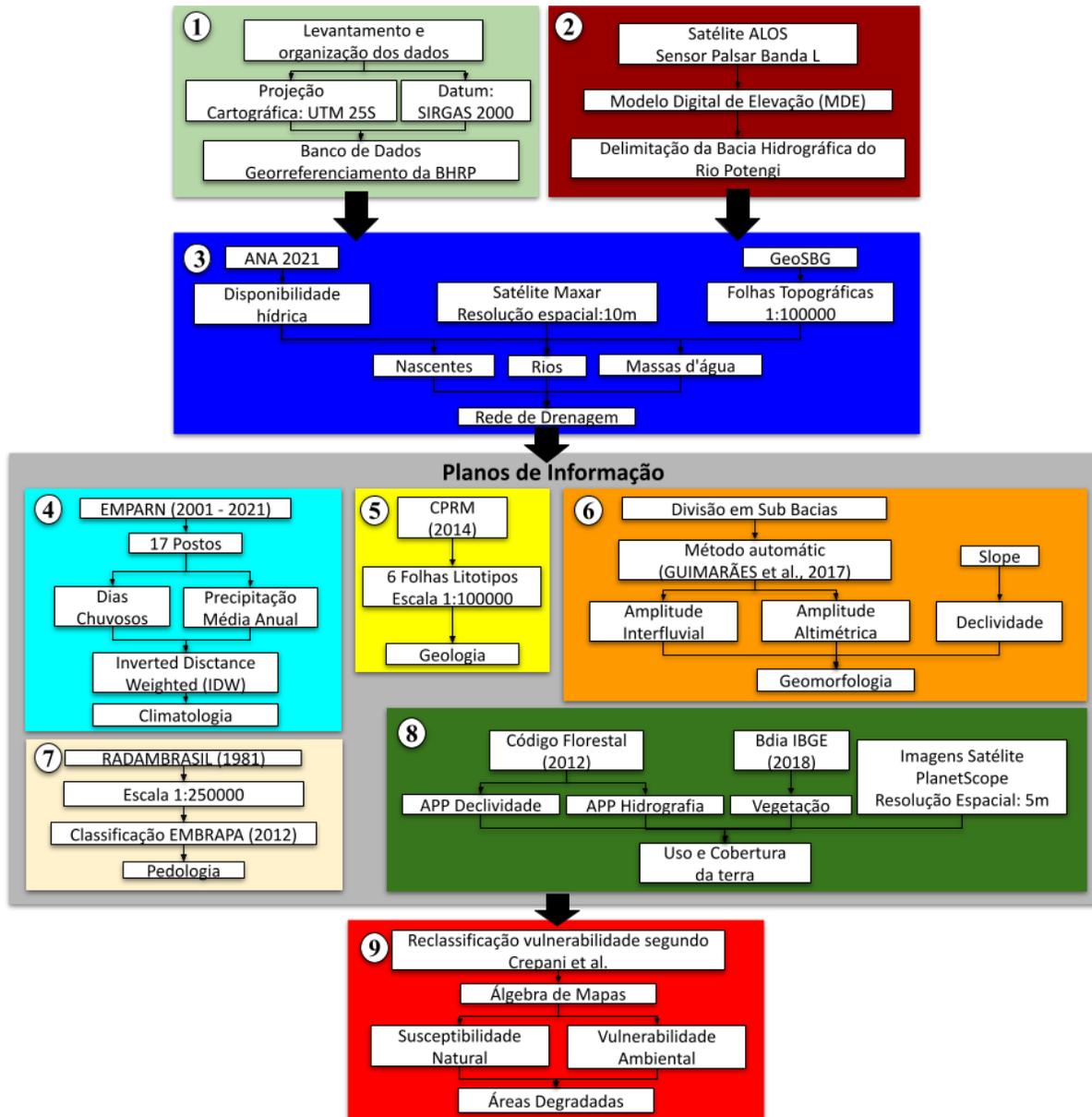
Para elaboração do mapa de cobertura e uso da terra foi realizada a fotointerpretação das imagens do satélite *Planet Scope*, datadas de abril de 2022, referentes ao sensor PS2:SD com resolução espacial de 5 m e escala 1:25.000. Utilizou-se da composição no sistema de cores *Red-Green-Blue* (RGB – 123) a fim de separar as regiões naturais e de interferência antrópica. A partir da fotointerpretação das imagens e do Banco de Informações Ambientais (BdiA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi possível delimitar 4 (quatro) formações vegetacionais - savana-estépica arborizada, savana-estépica florestada, savana-estépica parque e formação pioneira com influência fluviomarinha - além da distinção de áreas destinadas ao cultivo, pecuária, mineração e áreas urbanizadas.

Após a coleta e processamento dos dados georreferenciados, foram aplicados os procedimentos de integração e modelagem, seguindo o fluxograma da Figura 4, com o objetivo de identificar as áreas mais vulneráveis à erosão. Os dados foram manipulados utilizando o Datum Sirgas 2000 em coordenadas UTM, fuso 25S, e a delimitação da bacia foi feita a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do satélite ALOS, da Japan Aerospace Exploration

Agency (JAXA) - sensor PALSAR, que apresenta resolução espacial de 12,5 x 12,5 metros (ASF, 2015).

Figura 4

Metodologia utilizada para a modelagem ambiental da BHRP



Fonte: Elaboração própria.



A modelagem ambiental da bacia foi realizada utilizando análise multicritério a partir de álgebra de mapas e combinação linear pareada. Em ambiente SIG e com auxílio do *software* ARCMAP 10.8, foi executada uma adaptação da proposta de zoneamento ecológico de Crepani *et al.* (2001). Na Tabela 1 são apresentados os geodados utilizados.

Tabela 1

Banco de dados geográfico

Informação	Descrição	Fonte	Resolução Esp./Escala
Modelo Digital de Elevação (MDE)	Declividade/ Delimitação da Bacia	JAXA/METI (2010)	12,5m
Climatologia	Estações pluviométricas (Série histórica 2001-2021).	EMPARN(2022)	1:100.000
Geologia	União das seis folhas geológicas	Geo SGB/CPRM(2014)	
Pedologia	Mapeamento RADAMBRASIL	Adaptado pelo IBGE (2017)	1:250.000
Geomorfologia	Morfoestruturas potiguar	DINIZ et al. (2017)	
Cobertura da Terra	Fotointerpretação das imagens do satélite de Abril de 2022	Satélite: PlanetScope; Sensor PS2: SD; Bandas: 1,2 e 3.	5m

Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, foram ponderados e classificados obedecendo os seguintes critérios:

- **Pedologia** - Classificada quanto ao grau de maturação e estabilidade dos solos, crescente de Latossolos (1,0) à Neossolos (3,0).
- **Geologia** - Classificada quanto ao grau de coesão das rochas, crescente de Quartzito e gnaisse (1,0) à Areia e Argila (3,0).



- **Climatologia** - Classificada quanto a intensidade pluviométrica (mm/mês), crescente de 175 mm/mês (1,5) à 425mm/mês (2,6).
- **Geomorfologia** - Classificada quanto à média aritmética do valor atribuído a declividade, amplitude altimétrica e amplitude interfluvial. Sendo a vulnerabilidade à perda de solo proporcional à declividade e a amplitude altimétrica e inversamente à amplitude interfluvial.
- **Cobertura e uso da terra** - Classificada quanto a densidade de cobertura vegetal para a suscetibilidade natural e exposição do solo para a vulnerabilidade ambiental. Sendo crescente da Savana estépica (1,0) à áreas descobertas (3,0).

Resultados e Discussão

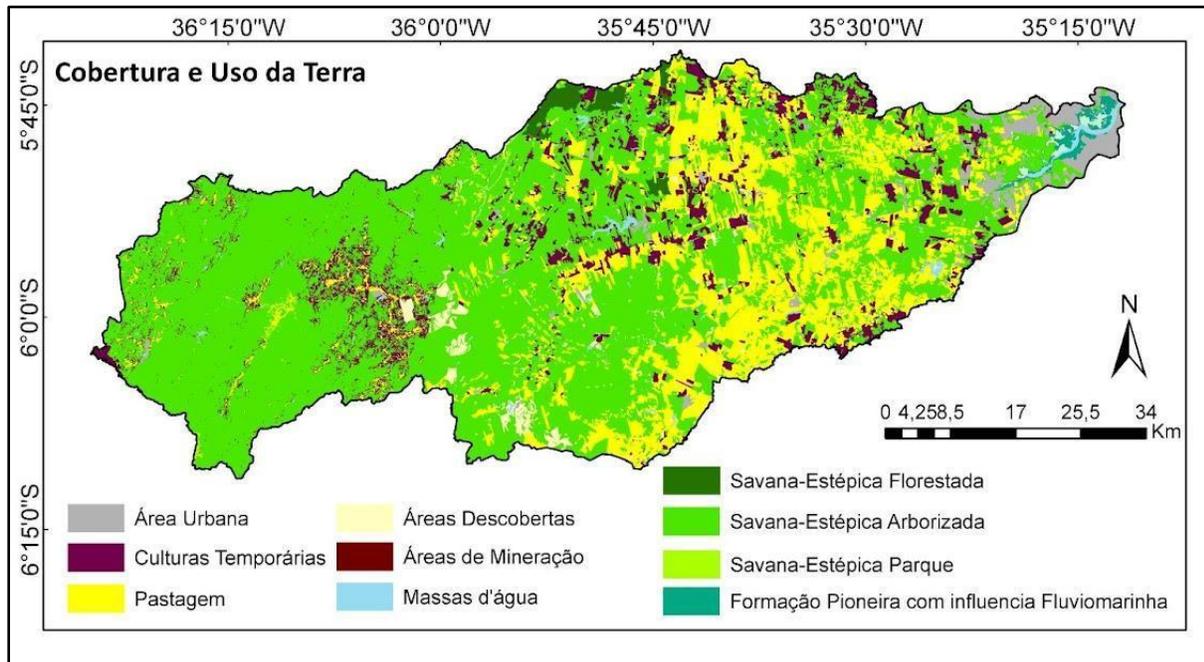
Verifica-se pelo mapa de cobertura e uso da terra (Figura 5) que 2,74% da área está ocupada por zonas urbanas, 20,81% pela pecuária, 8,45% pela agricultura e 0,03% pelas extrações minerais. Cerca de 65,16% está com cobertura vegetal, composta pela savana estépica arborizada em sua grande maioria. Trata-se de uma vegetação da caatinga composta por espécies com altura média de até 2 metros, mais ou menos densas, com troncos grossos e engalhamento ramificado, apresentando exemplares próximo às margens de leitos de rios, com caráter florestal (Silva & Farias, 2019).

Outro fator importante a ser considerado no contexto da bacia se refere ao setor agropecuário, classificado como o mais expressivo na maioria dos municípios da bacia. As atividades desenvolvidas pelo setor agropecuário podem impactar de forma negativa a paisagem, pois implicam no uso de grandes extensões de terras e água. Observou-se que a pecuária está concentrada, principalmente, nas áreas dos Médio e Baixo Cursos da BHRP totalizando, aproximadamente, 86800,68 ha. A região do Alto Curso da bacia apresenta áreas mais conservadas. Destaca-se, também, a presença das culturas permanentes (640,98 ha) e temporárias (34586,66 ha) ao longo de todos os cursos da bacia, além de áreas descobertas

localizadas principalmente no médio curso. E, embora somente 1,55% da área da bacia esteja com solo exposto, esse número representa 6.451,18 hectares de área crítica à erosão.

Figura 5

Mapa de Cobertura e Uso da Terra da BHRP



Fonte: Elaboração própria.

A análise multicritério resultou no mapa de vulnerabilidade à erosão representado na Figura 6, em que foi considerado vulnerabilidade muito baixa o intervalo (1 a 1,3), baixa (1,4 a 1,7), moderada (1,8 a 2,3), alta (2,4 a 2,6) e muito alta (2,7 a 3,0).

Verificou-se que as áreas classificadas com vulnerabilidade muito baixa, correspondendo a 0,07 km² (0,002%), se encontram próximas ao Complexo Presidente Juscelino, constituído por gnaisses, Latossolos Amarelos e sempre cobertos pela savana-estépica arborizada, fato que dificulta a erosão, além disso, estão sob zona de baixa intensidade pluviométrica, características que colaboram com a proteção da superfície do solo.

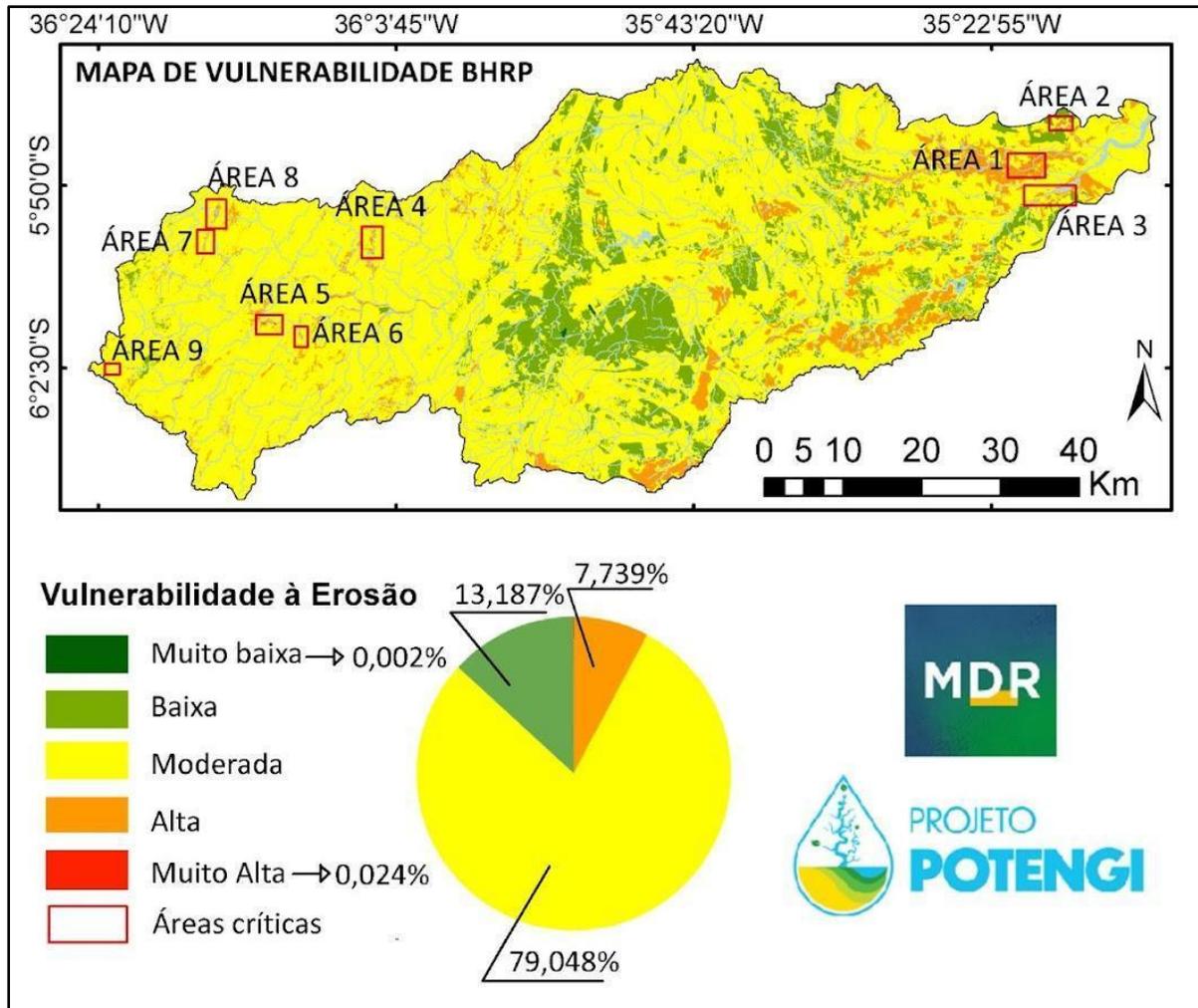
A classe de vulnerabilidade moderada foi mais representativa, correspondendo a 3.174,47 km² (79,05%) da área. Isto se deve a predominância de luvisolos e planossolos sob



intensidades pluviométricas moderadas variando entre 300 mm/mês e 400 mm/mês, os quais mesmo que possuam alta erodibilidade, estão cobertos predominantemente pela savana-estépica arborizada e possuem baixas declividades (<6%), fatores os quais resistem à perda de solo. Estas áreas são amplamente ocupadas pela pecuária extensiva, removendo da vegetação natural para fornecer pastagem para os animais, resultando na maior exposição do solo à agentes erosivos como chuva e vento, e a compactação do solo pela trilha de animais também pode reduzir a capacidade do solo de reter água e também pode afetar o crescimento das plantas e a diversidade vegetal (Thomaz & Dias, 2009). Além disso, devido a bacia está sob influência do clima tropical semiárido, com períodos chuvosos curtos, provocam altas intensidades que tem grande capacidade erosiva sob solos secos do semiárido (Almeida et al., 2015).

Figura 6

Mapa de vulnerabilidade à erosão da BHRP



Fonte: Elaboração própria.

As classes de vulnerabilidade alta e muito alta (2,3 a 3,0) merecem maior atenção. Situam-se nas porções Leste, Sudeste e Oeste da bacia, representando cerca de 311,77 km² (7,76%). São locais submetidos a uma intensidade pluviométrica alta, (entre 350 mm/mês e 420 mm/mês), alto grau de antropização pela agricultura e pastagem, combinados a geologia e pedologia de depósitos sedimentares e neossolos. No entanto, o processo erosivo tende a ser retardado a leste da bacia devido à baixa declividade típica de terrenos sedimentares oriundos



da Formação Barreiras, mesmo que seja constituída por Neossolos que favorecem os processos erosivos.

As regiões mais críticas, se encontram na porção norte de Cerro Corá, norte e oeste de São Tomé, central e nordeste de São Gonçalo do Amarante e nordeste de Macaíba, como se pode observar na Figura 7. Nessas localidades predominam os valores de vulnerabilidade maiores (2,7 - muito alta) ao todo foram identificadas nove Áreas Críticas, cujas características propiciam a degradação de terras e, por isso, são áreas potenciais para recuperação.

A Área Crítica 1 está localizada no centro do município de São Gonçalo do Amarante. Trata-se de aproximadamente 1.709 ha de área classificada com vulnerabilidade alta e 45 ha de vulnerabilidade muito alta. Essa região é interceptada pela rodovia RN-160 e pelo Rio Potengi. Geologicamente, a área está situada em depósitos aluvionares onde foram desenvolvidos solos dos tipos Neossolos Flúvicos e Gleissolos Tiomórficos. Já a Área Crítica 2, está localizada no mesmo município e totaliza 72 ha de área classificada como vulnerabilidade alta e 2 ha de vulnerabilidade muito alta. A geologia é caracterizada por Depósitos marinhos e Depósitos aluvionares, onde foram desenvolvidos os Neossolos Quartzarênicos. Sendo ambas as áreas utilizadas pela pecuária extensiva (pastagem), culturas temporárias e extração de areia e argila do rio.

A Área Crítica 3, está localizada a nordeste do município de Macaíba. Consiste em uma área de aproximadamente 162 ha de vulnerabilidade alta e 2 ha de vulnerabilidade muito alta, à margem do Rio Jundiá e da BR-226. A geologia da localidade é composta por depósitos flúvio-marinhos e afloramentos do Grupo Barreiras. O solo é classificado como Gleissolos Tiomórficos. Observou-se que o solo é usado para pastagem, mas a maior parte das áreas vulneráveis está sobre regiões vegetadas por vegetação Estépica arbórea que possuem alguns núcleos desmatados para extração de areia no município.

A Área Crítica 4, está localizada na região norte do município de São Tomé. Consiste em uma área de aproximadamente 78 ha classificada com vulnerabilidade alta e 3 ha





considerados com vulnerabilidade muito alta. Nessa localidade, a geologia mapeada aponta para a presença de depósitos aluvionares. Os solos que predominam são do tipo Neossolo Litólico. Utilizados como pastagem e pequenas culturas de subsistência.

As Áreas Crítica 5 e 6, estão localizadas na porção centro oeste do município de São Tomé, sendo a primeira interceptada pela RN-203, às margens do Rio Potengi e a segunda próxima a um rio sem nome, na direção sudeste da Área 5. Trata-se de aproximadamente 127 ha de área classificada como vulnerabilidade alta e 24 ha de vulnerabilidade muito alta. Observou-se que geologicamente ocorrem os Depósitos aluvionares e o desenvolvimento de Neossolos Litólicos em maior proporção. Nessas localidades, o solo é utilizado para pastagem.

As Áreas Crítica 7 e 8, estão localizadas na região norte do município de Cerro Corá, sendo interceptadas por estradas de barro, próximo a RN-104, às margens do Riacho Chapador e próximo ao Parque Eólico Santa Rosa Mundo Novo. Juntas possuem aproximadamente 159 ha de áreas categorizadas como vulnerabilidade alta e 16 ha em vulnerabilidade muito alta. A geologia indica a presença de Depósitos Aluvionares e os solos são classificados como Neossolos Litólicos, sendo utilizados para pastagem.

Por fim, a Área Crítica 9 está localizada na região do município de Cerro Corá contemplando a nascente do Rio Potengi. Trata-se de uma área de aproximadamente 1,08 hectares classificada como vulnerabilidade alta localizada no Sítio Chã da Divisão.

Figura 7

Validação das áreas críticas. (a) área 1: centro do município de São Gonçalo do Amarante; (b) área 2: norte do município de São Gonçalo do Amarante; (c) área 3: centro do município de Macaíba; (d) área 4: norte do município de São Tomé; (e) área 5: centro do município de São Tomé; (f) área 6: centro do município de São Tomé; (g) área 7: norte do município Cerro Corá; (h) área 8: norte do município Cerro Corá; (i) área 9: nascente do Rio Potengi.



Fonte: Elaboração própria.



Observou-se que essa área vem passando por um processo de degradação acentuado, principalmente, no período de estiagem, quando o local das nascentes perenes é invadido pelo gado em busca de água. A falta de controle no acesso do gado, acaba gerando o pisoteio do solo acarretando em sua compactação e destruição da cobertura vegetal da APP da nascente, tornando-a suscetível à degradação. Além de ser ponto turístico (geossítio do Geoparque Seridó), a área recebe passeios constantemente, sem controle nos acessos e no tempo de permanência na área, o que torna a região das nascentes mais vulneráveis à degradação. A geologia da localidade supracitada é composta pelos arenitos fraturados da Formação Serra dos Martins onde são desenvolvidos os solos do tipo Luvisolo Crômico, e com acentuada declividade.

Diante do exposto, entende-se que nas áreas classificadas com classe de vulnerabilidade moderada ou superior, ações preventivas, como a implementação de práticas conservacionistas que não afetam muito a produção do agricultor o manejo conservacionista das lavouras, podem diminuir grande parte da erosão ocasionada pelo escoamento superficial (Guerra & Jorge, 2013), como cobertura herbácea e leguminosas em rotação com as culturas, culturas em curvas de nível e terraceamento; e o plantio direto, que protege os solos contra o impacto direto das gotas de chuva.

Conforme destacam Kim et al. (2018), as florestas fornecem serviços ecossistêmicos e também desempenham um papel insubstituível nos serviços culturais, regulação hidrológica e conservação da biodiversidade. Diante disso, o reflorestamento é a forma mais eficiente para melhorar os principais serviços da cobertura vegetal, a partir do seu reforço que melhoram a conservação do solo (Xu et al. 2022). O plantio de florestas nativas acarreta na melhoria da ciclagem de nutrientes, o aumento da infiltração de água no solo e a redução do escoamento superficial, muda a cobertura e uso da terra, recupera o solo e regular a água (com ganhos em qualidade e quantidade) (Teng et al., 2019), além de gerar emprego e renda no meio rural, por



fornecer produtos como madeira, frutos, óleos, essências e castanhas, o que diminui a demanda de extração das florestas nativas.

O reflorestamento inclui a implementação da proibição florestal, ou seja, isolamento da área, para promover a regeneração natural ou acelerada da cobertura vegetal (Li et al., 2016). Todavia, as famílias locais que interagem diretamente com os ecossistemas e a sustentabilidade do reflorestamento podem ser afetadas negativamente devido às diferenças de interesses entre os tomadores de decisão e as famílias (Li et al., 2020).

Percebe-se, na Figura 8b, uma área de preservação permanente (APP) localizada no alto curso da bacia sendo utilizada para a prática agrícola. Essa situação foi observada em diversos pontos da BHRP em regiões mais úmidas, no próprio leito do rio e/ou APP em função da ausência de chuvas da região. Caso essas áreas sejam reservadas ao reflorestamento, a renda das famílias diminui drasticamente, a não ser que haja alguma medida auxiliar, como fornecimento de água para irrigação com motor-bomba e tubulação. Sendo assim, deve-se considerar os moradores locais no processo de restauração e proteção das matas, o que pode ajudar a promover o desenvolvimento sustentável e a difundir a educação ambiental.

Nesse sentido, ressalta-se a necessidade de recuperação de áreas degradadas nesses ambientes, uma vez que são essenciais para manutenção dos serviços ambientais prestados e, conseqüentemente, para manutenção da qualidade das águas da bacia hidrográfica e recarga dos aquíferos.

O isolamento de áreas (cercamento) da pecuária extensiva somado às medidas de reflorestamento devem ser implantados a fim de reduzir a erosão, garantir a estabilidade do solo e diminuir o escoamento superficial, além de filtrar os poluentes da água, melhorando sua qualidade e regulando o fluxo de água em bacias hidrográficas incluindo em períodos de seca (Morgan, 2005). Ou até mesmo a criação de parques ecológicos para turismo ou agrofloresta pode proporcionar habitat para a fauna local e áreas para recreação e turismo para a população, ajudando a preservar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.





Assim, recomenda-se que os esforços de restauração se concentrem na qualidade da floresta e na melhoria do habitat, bem como na restauração de novos reflorestamentos, quando apropriado. Adicionalmente, o governo deve fornecer subsídios ecológicos sustentáveis e baseados em evidências científicas, de modo a auxiliar os moradores na obtenção de meios de subsistência alternativos às atividades que contribuem para a pobreza. Pois o reflorestamento em larga escala traz uma desvantagem, os meios de subsistência das famílias afetadas (Xu et al. 2022). Embora se observe uma melhoria geral na qualidade de vida das famílias, a existência de desigualdades financeiras e desequilíbrio das atitudes entre moradores e tomadores de decisão pode impactar a sustentabilidade dos benefícios. Devido a isso, o custo inicial de aliviar as atividades de subsistência e a perda de terras cultivadas pode ser maior do que os subsídios ecológicos fornecidos pelo governo, a participação no reflorestamento pode não proporcionar benefícios líquidos imediatos para as famílias.

Apesar da metodologia ser qualitativa, os resultados são consistentes com os encontrados em outras metodologias e pesquisas anteriores realizadas em outras localidades (Santos et al., 2013; Xavier et al., 2018; Silva & Farias, 2019) e são confiáveis devido ao fato de terem sido validados *in situ*. As constatações em campo satisfizeram a precisão do modelo ambiental elaborado. No entanto, também há deficiências no estudo. Percebe-se evidências de que os neossolos dos depósitos aluvionares já foram em grande parte transportados pelo fluxo de água e as áreas críticas apontadas como vulneráveis a perda de solo possuem poucas características pedológicas do levantamento do Projeto RADAMBRASIL, corroborando com a hipótese de que são facilmente erodíveis e muito rasos.

A metodologia se mostrou eficiente na indicação de áreas degradadas, pois são naturalmente suscetíveis a processos erosivos e, devido à presença antropogênica com atividades agropecuárias, o processo de degradação já foi deflagrado. Embora os planos de informações utilizados necessitam de certa atualização periódica, as informações climáticas e de cobertura e uso da terra que foram utilizadas se mostraram bem atualizadas. O processo de



modificação da geomorfologia é lento, por isso não influenciou muito a falta de atualização desse plano de informação. Entretanto, verificou-se a necessidade de maior detalhamento das informações de Geologia e Pedologia a fim de refinar os resultados obtidos, pois, foram os fatores mais definitivos que elevaram o valor da vulnerabilidade. Foram verificadas divergências entre as formações geológicas apresentadas nas cartas (1:100.000) e as observadas em campo, isto se deve principalmente devido à escala regional das cartas geológicas.

Conclusão

O zoneamento da vulnerabilidade à erosão e perda de solos elaborado para BHRP indicou nove áreas críticas que demandam ação imediata. Somente com um esforço conjunto dos órgãos governamentais, das comunidades locais e da sociedade civil organizada será possível garantir a conservação dos recursos naturais (solo e água) para as gerações futuras, pois necessitam de medidas mitigadoras urgentes para reduzir a perda de solo anual a que estão expostas, principalmente por se tratarem de trechos de zona ripária e nascentes da rede hidrográfica.

Diante desse cenário, é essencial que sejam implementadas medidas efetivas para minimizar os impactos da erosão e da perda de solos. É necessário promover a educação ambiental das comunidades locais, incentivando práticas sustentáveis de ocupação do solo e de uso dos recursos naturais, além de se investir em técnicas de bioengenharia e em infraestrutura adequada para proteger as margens do rio e controlar a erosão. Por isso, sugere-se que sejam recuperadas as áreas mais críticas por meio de reflorestamento, aliadas ao acompanhamento das famílias contempladas com a intervenção supracitada, visando esclarecer os impactos do reflorestamento nos meios de subsistência a longo prazo. Além disso, faz-se necessário a incorporação de outras metodologias quantitativas em ambiente SIG e *in situ* agregando o caráter das mudanças climáticas para estimar o potencial de perda de solo da bacia, aperfeiçoando a modelagem ambiental.



A integração de informações mapeadas e análises *in situ* foi fundamental para avaliar a eficiência da modelagem e direcionar ações de recuperação de áreas degradadas na BHRP. No entanto, a dificuldade em convencer os proprietários de áreas críticas a adotarem práticas de conservação persiste devido à falta de retorno financeiro imediato e à importância dessas terras para a agricultura e pastagem no semiárido. Nesse contexto, a implementação de um Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e a criação de um banco de áreas prioritárias podem incentivar a conservação dos recursos hídricos e a proteção do meio ambiente, contribuindo para o desenvolvimento sustentável na região.

Destaca-se também a importância de integrar informações que identificam as áreas mais vulneráveis por meio de sistemas de informações geográficas (SIG) com análises *in situ* que confirmam a degradação ambiental. Embora seja necessário um levantamento mais detalhado para aprimorar a precisão da modelagem, o trabalho conseguiu avaliar a eficiência do modelo e orientar ações de recuperação de áreas degradadas na BHRP para mitigar os processos erosivos identificados qualitativamente.

No entanto, é preciso superar a dificuldade em persuadir os proprietários das áreas críticas a protegerem e melhorarem o manejo da terra. Muitas vezes, essas áreas são terrenos aluvionares e representam a única área úmida propícia para a agricultura e pastagem no semiárido. Além disso, os proprietários não enxergam um retorno financeiro ao proteger essas áreas.

Uma aplicação viável para abordar essa questão é a implementação do PSA. Esse mecanismo busca incentivar proprietários rurais e comunidades locais a adotarem práticas sustentáveis de conservação ambiental. Através do PSA, aqueles responsáveis pela preservação e restauração de áreas degradadas podem receber compensações financeiras ou benefícios em troca dos serviços ecossistêmicos prestados, como a proteção dos recursos hídricos.



Além disso, a criação de um banco de áreas disponíveis e prioritárias para preservação pode ser uma estratégia eficaz. Esse banco seria responsável por identificar e catalogar áreas adequadas para a compensação vegetal, que poderiam ser utilizadas por empreendimentos que necessitam compensar os impactos ambientais de suas atividades. Dessa forma, é possível direcionar esses empreendimentos para áreas específicas, garantindo a conservação dos ecossistemas e a manutenção dos serviços ambientais.

Essas medidas combinadas - a implementação do PSA e a criação de um banco de áreas prioritárias para preservação - podem contribuir significativamente para a conservação dos recursos hídricos, a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável na região semiárida do Nordeste brasileiro.

Referências

- Almeida, J. G. R., Romão, P. A., Mascarenha, M. M. a., & Sales, M. M. (2015). Erodibilidade de solos tropicais não saturados nos municípios de Senador Canedo e Bonfinópolis-GO. *Geociências*, 34(3), 441-451. http://revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/34/volume34_3_files/34-3-artigo-10.pdf
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schutt, B., Ferro, V., & Bagarello, V. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Cao, S., Shang, D. I., Yue, H., & Ma, H. (2017). A win-win strategy for ecological restoration and biodiversity conservation in Southern China. *Environmental Research Letters*, 4(12), 044004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa650c>
- Corrêa, A. C. B., Tavares, B. A. C., Monteiro, K. A., Cavalcanti, L. C. S., & Lira, D. R. (2010).





Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, 31(1), 35-52. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-929X.20100003>

Costanza, R., D'arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., & Raskin, R. G. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 6630(387), 253-260.

<https://doi.org/10.1038/387253a0>

Crepani, E., Medeiros, J. D., Hernandez Filho, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., & Barbosa, C. C. F. (2001). Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 24p.

Diniz, M. T. M., Oliveira, G. P., Maia, R. P., & Ferreira, B. (2017). Mapeamento geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(4).

<https://doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1255>

FAO. (2019) *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. Roma: FAO, p.100.

FAO. (2021) *World food and agriculture statistical yearbook 2021*. Roma: FAO, p.368.

Guerra, A. J. T., & Jorge, M. C. O. (2013). *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas*. São Paulo: Oficina de Textos, p.192.

Guimarães, F. S., Cordeiro, C. M., Bueno, G. T., Carvalho, V. L. M., & Nero, M. A. (2017). Uma



proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 18(1). <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163>

Guo, X. J., & Shao, Q. Q. (2019). Spatial Pattern of Soil Erosion Drivers and the Contribution Rate of Human Activities on the Loess Plateau from 2000 to 2015: A Boundary Line from Northeast to Southwest. *Remote Sensing*, 11(20), 2429.

<https://doi.org/10.3390/rs11202429>

Guo, M., Wang, W., Shi, Q., Chen, T., Kang, H., & Li, J. (2019). 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*, 30, 2107-2125. <https://doi.org/10.1002/ldr.3404>.

Kim, Y. S., Latifah, S., Afifi, M., Mulligan, M., Burke, S., Fisher, L., Siwika, E., Remoundou, K., Christie, M., Lopez, S.M., & Jenness, J. (2018). Managing forests for global and local ecosystem services: a case study of carbon, water and livelihoods from eastern Indonesia. *Ecosystem Services*, 31, 153–168.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.018>.

Li, C., Zheng, H., Li, S. Z., Chen, X. S., Li, J., Zeng, W. H., Liang, Y. C., Polasky, S., Feldman, M. W., Ruckelshaus, M., Ouyang, Z.Y., & Daily, G. C. (2015). Impacts of conservation and human development policy across stakeholders and scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(24), 7396–7401. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406486112>

[org/10.1073/pnas.1406486112](https://doi.org/10.1073/pnas.1406486112)

Li, R., Zheng, H., Polasky, S., Hawthorne, P. L., O'connor, P., Wang, L., Li, R., Xiao, Y. I., Wu, T., & Ouyang, Z. (2020). Ecosystem restoration on Hainan Island: can we optimize for





- enhancing regulating services and poverty alleviation? *Environmental Research Letters*, 15(8), 084039. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8f5e>
- Li, X., Niu, X., Wang, B., Gao, P., Liu, Y. U., & Reigosa, M. (2016). Driving forces of dynamic changes in soil erosion in the Dahei Mountain ecological restoration area of northern China based on GIS and RS. *Plos one*, 11(3), 0142331. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142331>
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing, Oxford. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>
- Paiva, A. M. L., Amaro, V. E., Lollo, J. A., Costa, C. W. (2022). Fragilidade ambiental aplicada em área de manancial no nordeste brasileiro. *Revista de geociências do nordeste*, 8(1), 128-147. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n1ID24368>
- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(6), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>
- Rivieccio, R., Sallustio, L., Paolanti, M., Vizzarri, M., & Marchetti, M. (2017). Where Land Use Changes Occur: using soil features to understand the economic trends in agricultural lands. *Sustainability*, 9(1), 78. <https://doi.org/10.3390/su9010078>
- Santos, R. O., Scudelari, A. C., & Cunha, C. L. N. (2013). Avaliação da produção e aporte de sedimentos para o Rio Potengi - RN. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(3), 149-163. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n3.p149-163>



- Silva, M. R. S., & Farias, J. F. (2019). O Uso do Sensoriamento Remoto nos Estudos de Geocologia das Paisagens: um estudo de caso sobre o Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi – RN. *Revista Equador*, 8(2), 276-289.
<https://doi.org/10.26694/equador.v8i2.9235>
- Souza, A. R., Dupas, F. A., Drummond, I. N., & Costa, C. W. (2019). Zoneamento da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a usle na determinação de vulnerabilidade ambiental?. *Geociências*, 38(4), 1105 - 1119.
- Teng, M., Huang, C, Wang, P., Zeng, L., Zhou, Z., Xiao, W., Huang, Z., & Liu, C. (2019). Impacts of forest restoration on soil erosion in the Three Gorges Reservoir area, China. *Science of The Total Environment*, 697, 134164. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134164>
- Thomaz, E. L., & Dias, W. A. (2009). Bioerosão – evolução do rebanho bovino brasileiro e implicação nos processos geomorfológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 10(2), 3-11. <https://doi.org/10.20502/rbg.v10i2.125>
- Troleis, A. L., & Silva, B. L. (2018). Do polígono das secas à vulnerabilidade ao colapso hídrico: uma análise do território do rio grande do norte. *GeoSertões*, 3(5), 24-40.
<http://dx.doi.org/10.56814/geosertoes.v3i5.524>
- Xavier, T. A. X., Mendonça, J. R. M. J., & Farias, J. F. F. (2018). Caracterização das Unidades Geomorfológicas e aspectos do uso/ocupação do solo no baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Potengi - RN. *In Anais. XII Simpósio Nacional de Geomorfologia*, Crato/CE.



Xu, J. Y., Zhang, Y. Y., Huang, C. B., Zeng, L. X., Teng, M. J., Wang, P. C., & Xiao, W. F. (2022). Forest restoration shows uneven impacts on soil erosion, net primary productivity and livelihoods of local households. *Ecological Indicators*, 134, 108462. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108462>