



VULNERABILIDADE AMBIENTAL EM AMBIENTE COSTEIRO: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE TIBAU DO SUL/RN

ENVIRONMENTAL VULNERABILITY IN COASTAL ENVIRONMENTS: CASE STUDY OF THE MUNICIPALITY OF TIBAU DO SUL/RN

VULNERABILIDAD AMBIENTAL EN EL ENTORNO COSTEIRO: ESTUDIO DE CASO DEL MUNICIPIO DE TIBAU DO SUL/RN

Raquel Cardoso de Araujo¹

¹Geógrafa e Pesquisadora Bolsista da Fundação para o Desenvolvimento da Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Rio Grande do Norte -FUNCITERN/Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente-IDEMA

e-mail: Raquelcdr909@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-6990-1021>

Agassiel Alves de Medeiros²

²Docente da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte: Pau dos Ferros, RN. Orientador no projeto Inovagest/IDEMA da Fundação para o Desenvolvimento da Ciência, Tecnologia e Inovação do Estado do Rio Grande do Norte

 e-mail: agassielalves@uern.br

<https://orcid.org/0000-0001-5045-6442>

RESUMO

O ambiente costeiro se destaca pelas características únicas de suas unidades geoambientais, belezas cênicas e diversidade de ecossistemas de considerada fragilidade ambiental às pressões externas que podem comprometer o equilíbrio dinâmico desses ambientes. Consoante exposto, o presente artigo objetiva realizar o mapeamento da vulnerabilidade ambiental do município de Tibau do Sul/RN, no âmbito do Projeto Orla, avaliando as potencialidades ambientais e a fragilidade ecodinâmica do ambiente costeiro. Para tanto, foi realizado o mapeamento e análise integrada das variáveis ambientais do município de Tibau do Sul, pioneiro nas ações do Plano de Gestão Integrada da Orla, e escolhido como piloto para implementação dessa metodologia. Os resultados apresentam os dados do meio físico que comportam distintas classes de vulnerabilidade ambiental para o referido município, corroborando a necessidade de ordenamento e gestão integrada do seu território, visando à conservação das unidades geoambientais existentes para o desenvolvimento sustentável e socioeconômico do município.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Ambiente costeiro. Projeto Orla

ABSTRACT

The coastal environment stands out for the unique characteristics of its geo-environmental units, scenic beauty, and diversity of ecosystems considered environmentally fragile to external pressures that can compromise the dynamic balance of these environments. Accordingly, this article aims to map the environmental vulnerability of the municipality of Tibau do Sul/RN, within the scope of the Orla Project, assessing the environmental potential and ecodynamic fragility of the coastal environment. To this end, we mapped and conducted an integrated analysis of the environmental variables of the municipality of Tibau do Sul, a pioneer in the actions of the Integrated Coastal Management Plan and chosen as a pilot for the implementation of this methodology. The results present data on the physical environment that includes different classes of environmental vulnerability for the municipality, corroborating the need for integrated planning and management of its territory, with a view to conserving existing geo-environmental units for the sustainable and socioeconomic development of the municipality.

Keywords: Vulnerability. Coastal environment. Orla Project.



RESUMEN

El entorno costero destaca por las características únicas de sus unidades geoambientales, su belleza paisajística y la diversidad de ecosistemas de gran fragilidad ambiental frente a las presiones externas que pueden comprometer el equilibrio dinámico de estos entornos. En consonancia con lo expuesto, el presente artículo tiene como objetivo realizar un mapeo de la vulnerabilidad ambiental del municipio de Tibau do Sul/RN, en el marco del Proyecto Orla, evaluando el potencial ambiental y la fragilidad ecodinámica del entorno costero. Para ello, se realizó el mapeo y el análisis integrado de las variables ambientales del municipio de Tibau do Sul, pionero en las acciones del Plan de Gestión Integrada de la Costa y elegido como piloto para la implementación de esta metodología. Los resultados presentan los datos del medio físico que comportan distintas clases de vulnerabilidad ambiental para dicho municipio, lo que corrobora la necesidad de ordenar y gestionar de forma integrada su territorio, con miras a la conservación de las unidades geoambientales existentes para el desarrollo sostenible y socioeconómico del municipio.

Palabras clave: Vulnerabilidad. Entorno costero. Proyecto Orla

INTRODUÇÃO

O ambiente costeiro apresenta características únicas quanto aos ecossistemas, vegetação e recursos naturais bióticos e abióticos, todavia, alterações no uso e cobertura da terra e a ocupação desordenada do seu território podem acentuar a fragilidade natural do meio e comprometer o equilíbrio ambiental dos sistemas ambientais costeiros. Por isso, é de suma importância empreender estudos que possam contribuir para o planejamento e ordenamento territorial em ambientes costeiros e o uso sustentável dos recursos ambientais.

Nesse sentido, os estudos da vulnerabilidade natural de uma área procedem ao mapeamento, análise e conhecimento das potencialidades e fragilidades de uma determinada área. Por isso, esse instrumento é imperativo na atualidade, ao possibilitar a tomada de decisões necessárias à mitigação dos impactos negativos, bem como, dirimir as medidas de conservação e uso sustentável do território. Esses estudos têm por objetivo principal identificar e analisar os ambientes e seus diferentes níveis de fragilidades e, com base em informações e dados, apontar o grau da fragilidade que deverá ser analisado com vistas a subsidiar ações regenerativas aos ambientes diante das condições encontradas (Sporn, 2001).

Além disso, elaborar o diagnóstico ambiental possibilita o melhor entendimento dos processos físicos e sua interação com os fatores sociais e antrópicos para a suscetibilidade do meio. É importante destacar que o uso/ocupação da terra é um dos fatores que mais agravam a degradação ambiental em ambientes frágeis e dinâmicos, como em ambientes costeiros, assim como a presença de fatores limitantes e a fragilidade natural do território quando somados à ineficiente gestão ambiental podem potencializar a vulnerabilidade do ambiente e de seus sistemas ambientais.

Tendo em vista as suas potencialidades naturais e as belezas cênicas da paisagem, o ambiente costeiro tem sido ambicionado para uso/ocupação do seu território, por isso, é imprescindível aferir as fragilidades do seu território para nortear o planejamento do uso da terra, sobretudo em áreas com significativa relevância de interesse paisagístico, geológico e ecossistêmico. Do mesmo modo, a identificação do comprometimento ambiental é de extrema importância para a preservação e recuperação do ambiente, implicando diretamente na sua funcionalidade e dinâmica natural da paisagem (Ross, 1994).

No que tange ao ordenamento e a gestão do território costeiro, a partir do Decreto Federal 5.300/2004 que essa pauta passa ao escopo das políticas públicas, possibilitando diretrizes de planejamento e gestão integrada da Orla Marítima com as ações do Projeto Orla (Ministério da Economia, 2022). No estado do Rio Grande do Norte são quatorze os municípios envolvidos na gestão compartilhada de suas orlas marítimas, representando em torno de 39% do total dos municípios costeiros do estado, conforme levantamento realizado pela Subcoordenadoria de Gerenciamento Costeiro - SUGERCO/IDEMA. Por

isso, é imperativo empreender estudos ambientais acerca desses ambientes costeiros, tendo em vista a suscetibilidade natural dessas áreas frente às pressões antrópicas.

Ademais, o diagnóstico possibilita a tomada de decisão quanto à prevenção e mitigação de impactos deletérios sobre os ecossistemas e propicia mecanismos de planejamento e gestão ordenada da Orla. Além disso, os produtos gerados devem servir como subsídios à elaboração de novos estudos, bem como, a referida autarquia, auxiliando os diferentes atores no planejamento e ordenamento dos municípios costeiros.

Destarte, a partir dos resultados, aqui apresentados, foi analisada a vulnerabilidade ambiental do município costeiro escolhido, tomando por referência o município de Tibau do Sul, RN, dada à complexidade ambiental do seu território e por ser um município piloto nas ações de ordenamento participativo da orla, identificando os problemas e os entraves à ações do Plano de Gestão Integrada da Orla e os impactos no ordenamento do território no âmbito deste Projeto para o município.

Apresentamos como objetivo geral, a elaboração do mapeamento geoambiental e da vulnerabilidade do município de Tibau do Sul, RN, a partir da análise sistêmica de suas variáveis ambientais. Dentre os objetivos específicos, destacamos: (1) mapeamento das variáveis geoambientais do município, a partir da elaboração dos seguintes mapas: declividade, índice de dissecação do relevo (fator geomorfologia); geologia, pedologia e vegetação; (2) empreender pesquisas de dados socioeconômicos do municípios costeiro e relativos às ações voltadas a gestão compartilhada da Orla no âmbito do Projeto Orla para os municípios costeiros aderentes; (3) elaboração do mapa da vulnerabilidade ambiental, avaliando as potencialidades ambientais e a fragilidade ecodinâmica do ambiente costeiro, propondo ações e medidas para dirimir o ordenamento e a gestão ambiental do território.

A pesquisa aborda uma temática relevante no contexto das mudanças climáticas globais e contribuirá para o planejamento e gestão participativa do município costeiro, servindo como modelo para os demais municípios integrantes do Projeto Orla, principalmente nas fases de mapeamento geoambiental e delimitação dos setores prioritários às ações estruturantes da orla, a partir da elaboração de mapas temáticos, além da carta de vulnerabilidade ambiental, com vistas a analisar e mensurar a vulnerabilidade ambiental dos municípios costeiros no âmbito das ações vinculadas ao Projeto Orla. Além disso, o mapeamento de vulnerabilidade ambiental é uma etapa basilar e necessária para a elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico, sendo de grande relevância para o entendimento da realidade espacial, contribuindo com a gestão e o planejamento ambiental do território (Santos, *et al.*, 2006; Araújo, 2023).

Este tipo de mapeamento é imprescindível para o ordenamento e planejamento territorial, ao apresentar o zoneamento de áreas potencialmente instáveis frente ao uso/ocupação, constituindo um importante instrumento para a gestão ambiental do ambiente costeiro e tomada de decisão que direcione o planejamento integrado da orla (Araújo, 2023).

Deste modo, espera-se que esses produtos possam contribuir para o entendimento da dinâmica socioambiental dos municípios costeiros supracitados, direcionando a gestão e o planejamento ambiental atrelados ao desenvolvimento sustentável dos espaços relativos à orla marítima, objeto das intervenções no âmbito do Projeto Orla.

METODOLOGIA

Para esta pesquisa, foram aplicadas técnicas de geoprocessamento na composição dos mapas que compuseram a caracterização ambiental da área, com destaque para o mapeamento geoambiental, mapeamento geológico-geomorfológico e a carta de

vulnerabilidade ambiental, elaborado a partir de técnicas de álgebra de mapas e análise integrada da paisagem.

Em um primeiro momento foram realizadas as seguintes etapas: i) revisão de literatura e levantamento dos municípios costeiros que aderiram ao Projeto Orla; ii) composição da base cartográfica para elaboração de mapas-base; iii) confecção dos mapas geoambientais da área estudada com as seguintes variáveis: Declividade, Índice de Dissecção do Relevo – IDR, Hipsometria, Geologia, Pedologia e Vegetação; iv) confecção do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da área de estudo; v) análise dos resultados obtidos a partir dos referidos mapeamentos.

O mapa de Vulnerabilidade Ambiental foi confeccionado a partir da ponderação e classificação das variáveis ambientais e método de álgebra de mapas. Nesta última etapa, foi realizada a síntese da vulnerabilidade ambiental de cada variável analisada a partir da integração dos dados físicos e ambientais, cujo produto final é a carta de vulnerabilidade ambiental para o município costeiro escolhido.

Para a composição da base cartográfica matricial foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, 2000) com resolução espacial de 30 metros, extraído dos servidores da NASA (Portal Earth Data) além de imagens do Satélite Landsat 9 sensor OLI (Operational Land Imager) para a composição de índices de vegetação da área estudada. Para o processamento dos dados, utilizou-se o software de geoprocessamento e sensoriamento remoto, Qgis versão 3.34.

Para a composição da base cartográfica vetorial, foram utilizadas a malha digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, dados vetoriais compilados e disponíveis gratuitamente no Banco de dados de informações ambientais – BDIA do IBGE e os dados geológicos provenientes da base cartográfica do Mapeamento de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte sistematizado por Angelim (2007). No que concerne ao levantamento socioeconômico dos municípios costeiros e do status de adesão e desenvolvimento das atividades relacionadas ao Projeto Orla utilizou-se os dados disponíveis no acervo da Subcoordenadoria de Gerenciamento Costeiro - SUGERCO do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente - IDEMA.

A priori, foram elaborados o pré-mapeamento e a caracterização geoambiental da área estudada a partir da confecção de mapas temáticos: declividade, Índice de Dissecção do Relevo (IDR) e hipsometria (fator geomorfológico), geologia, pedologia e vegetação. Para isto, foram considerados os aspectos físicos, geomorfológicos e de uso/cobertura para reconhecimento das feições geoambientais e dos graus de intervenção sobre as mesmas.

O mapa de declividade foi elaborado a partir Modelo Digital de Elevação oriundo do projeto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) que são imagens de radar com Resolução Espacial de 30 metros, processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica - SIG em software de geoprocessamento. Para a confecção deste mapa específico, foram utilizados os intervalos de declividade propostos por Ramalho Filho e Becker (1995) para determinação da vulnerabilidade ambiental inerente ao fator geomorfológico aplicado à declividade.

Para elaboração do mapa de Índice de Dissecção do Relevo (IDR) foram consideradas a metodologia preconizada por Ross (1994) adaptada aos procedimentos metodológicos descritos por Guimarães et al. (2017) para automatização do IDR. Para isto, o MDE do SRTM, de resolução espacial de 30 metros, foi recortado contemplando a área estudada e devidamente tratado, eliminando-se as depressões espúrias, gerando-se o modelo digital de elevação invertido, para então obter-se a direção de fluxo e, por conseguinte, obter-se as microbacias existentes, calculando-se as estatísticas zonais para

obtenção da dissecação vertical e horizontal, conforme Ross, e posteriormente o Índice de Dissecação do Relevo.

Para elaboração do mapa pedológico foram utilizados os arquivos vetoriais disponibilizados pelo IBGE (2024) a partir da análise dos respectivos Planos de Informações dos Dados Vetoriais, sendo confeccionado o mapa a partir da importação desses dados para o Qgis 3.36, onde foram recortados e classificados conforme a legenda disponibilizada nos dados vetoriais.

Por último, para elaboração do mapa de índice de vegetação foram utilizadas as bandas B4 – Vermelho (R) – OLI e B5 – Infravermelho próximo – OLI, ambas de resolução espacial de 30 m, do Satélite Landsat 9 sensor OLI (Operational Land Imager) para efetuação do cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) para o referido município. Para obtenção do referido índice foi aplicada a equação abaixo na calculadora raster do software de geoprocessamento:

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} (1)$$

Seguidamente, as variáveis geoambientais foram combinadas em álgebra de mapas para a confecção do mapa de vulnerabilidade da área estudada. Tal metodologia tem por lastro teórico-metodológico o conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977) e metodologia propostas por Crepani et al. (2001) cujos pressupostos indicam que a paisagem deve ser analisada pelo seu comportamento dinâmico, em função da intensidade dos processos morfogenéticos, quais sejam: meios estáveis, meios intergrades e os meios fortemente instáveis.

Para as análises de vulnerabilidade, conforme Crepani, *et al.* (2001) utiliza-se para a composição do fator geomorfológico as seguintes variáveis morfométricas: declividade, amplitude altimétrica e índice de dissecação do relevo. Em contrapartida, Ross (1994) e Sporn e Ross (2004) utilizam para análises de fragilidade natural, para as escalas de maior detalhamento, as classes de declividade, e para as escalas médias e grandes, o Índice de Dissecação do Relevo, conforme Ross (1992).

Desse modo, foram combinadas em álgebra de mapas as variáveis geoambientais Geomorfológica (declividade, IDR, hipsometria), geologia, pedologia e vegetação, conforme se vislumbra na equação 2 a seguir:

$$V = \frac{G + G + P + V}{4} (2)$$

A metodologia de álgebra de mapas, assim como a análise integrada da paisagem têm sido amplamente utilizada em diversos estudos que apresentam análises geomorfológicas e ambientais, possibilitando apontar as áreas ambientalmente frágeis e passíveis de ações estruturantes de ordenamento.

Com isso, pretende-se analisar as variáveis ambientais de maneira integrada e, a partir da integração dessas variáveis, apresentarem o mapeamento geoambiental da área de estudo e quantificar os índices de vulnerabilidade ambiental, que poderão subsidiar as ações de gestão e ordenamento socioambiental do município costeiro no âmbito de sua gestão participativa da orla costeira.

RESULTADOS

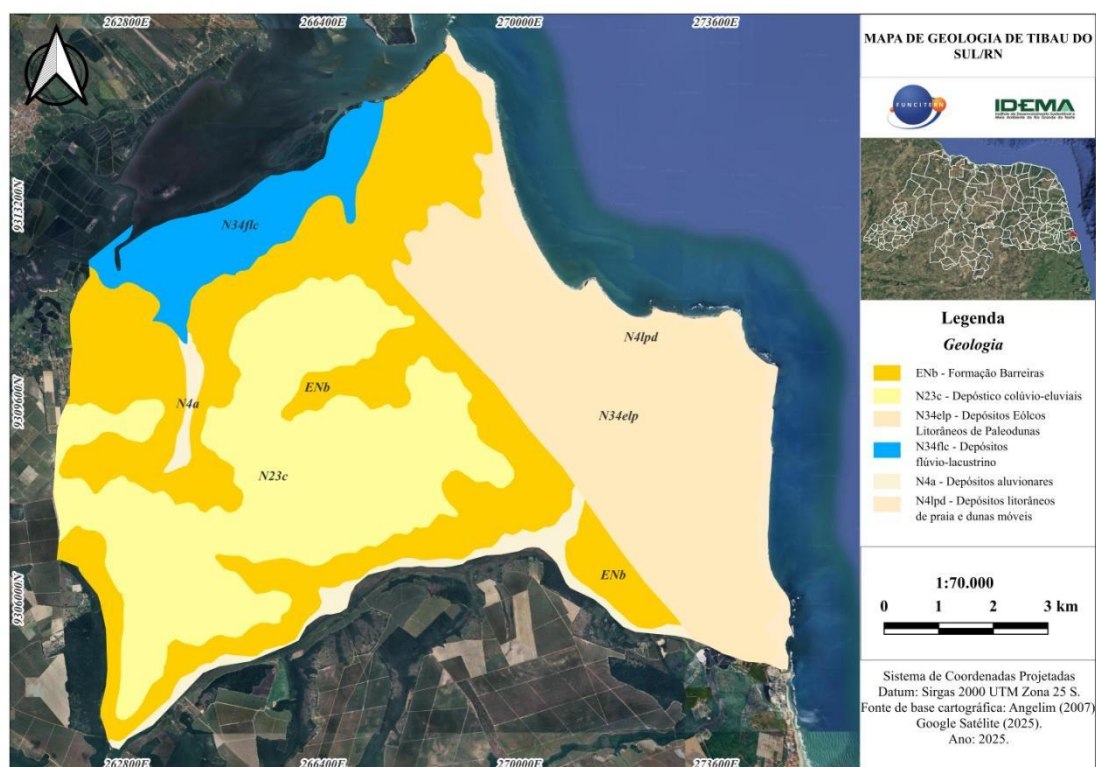
Inicialmente, serão apresentados os resultados obtidos a partir do mapeamento das variáveis geoambientais que compõem as unidades territoriais básicas, conforme Crepani

et al. (2001), para elaboração do mapeamento de vulnerabilidade ambiental. Nesse sentido, foi escolhido o município de Tibau do Sul/RN, tendo em vista que é um município que apresenta uma dinâmica ecossistêmica costeira diversificada, com ocorrência de importantes feições geoambientais, apresentando considerável fragilidade ecodinâmica, quais sejam: falésias, dunas, cordões arenosos, praias, restingas e manguezais, bem como, parte de seu território está inserido nos domínios da Área de Proteção Ambiental - APA Bonfim Guarairas (IDEMA, 2020) e do Parque Estadual Mata da Pipa (PEMP).

Vale ressaltar ainda que o referido município é pioneiro nas ações de implementação do Plano de Gestão Integrada da Orla (Projeto Orla), instituindo o Comitê Gestor e participando ativamente no processo de implementação e revisão, a partir da realização de oficinas participativas, estando em conformidade com a metodologia apresentada pelo Decreto 5300/2004, com a participação integrada da sociedade civil e colaboração institucional do IDEMA. Além disto, tem firmado compromisso de priorizar os trechos que contemplam áreas com acentuada fragilidade ambiental, haja vista a importância da gestão ambiental nesses subtrechos da orla marítima.

No tocante às características físicas da área estudada, a Geologia do município é bastante diversificada, estando o município de Tibau do Sul/RN inserido geologicamente na Província Borborema, apresentando as seguintes unidades litoestratigráficas classificadas conforme Angelim (2007):

Figura 1 – Mapa Geológico do Município de Tibau do Sul, RN.



Fonte: Angelim (2007). Elaborado pelos autores (2025)

Os tabuleiros costeiros formados pelas rochas do Grupo Barreiras rompem em imponentes falésias, estando suas exposições mais explícitas situadas na faixa oriental, composta principalmente por arenitos finos a médios, ou conglomeráticos, avermelhados, com intercalações sílicas, argilosas e caulíníticas; por vezes siltico-argilosos e argilitos depositados em ambiente aluvial, apresentando áreas sujeitas à movimentação de massa

e com baixa capacidade de suporte, principalmente, onde ocorrem intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, em geral (CPRM, 2010).

Em contrapartida, os depósitos aluvionares ocorrem ao longo dos vales dos principais rios que drenam o estado, sendo constituídos por sedimentos arenosos e argilo-arenosos, com níveis irregulares de cascalhos, formando os depósitos de canal, de barras de canal e da planície de inundação dos cursos médios dos rios (CPRM, 2010). Na porção norte do município ocorre os depósitos flúvio-lacustres com predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilas, podendo ocorrer a presença também de turfa (Ferreira, 2019).

Conforme esclarece Angelim *et al.* (2007) os depósitos litorâneos de praias e dunas móveis (N4lpd) ocorrem predominantemente em uma faixa estreita e paralela à linha de costa, constituídos por areias esbranquiçadas de granulação fina a grossa, quartzosas, ricas em bioclastos e, por vezes em minerais pesados, com ocorrência de *dunas móveis* que, por sua vez, são constituídas por areias esbranquiçadas de granulometria fina a média, apresentando tipologias do tipo barcana, barcanóide e parabólicas, estando dispostas em campos dunares e inter dunares atuais. Nesse contexto, os campos dunares no município de Tibau do Sul/RN se apresentam de diversas formas, desde pequenas formações embrionárias no entorno da porção emersa das praias, até formação de cordões dunares de maior porte e formações geológicas distintas, como paleodunas, dunas móveis, fixas e parcialmente fixas.

Os depósitos eólicos litorâneos de paleodunas (N34elp), por sua vez, são constituídos principalmente por areias esbranquiçadas, de granulação fina a média, cujos principais parâmetros de diferenciação são baseados em critérios morfológicos, sedimentológicos e biológicos (Angelim *et al.* 2007).

A variável geomorfológica é considerada essencial para os estudos da fragilidade ecodinâmica das unidades territoriais básicas, por isso, é um dos primeiros parâmetros a ser analisado nas análises de vulnerabilidade ambiental, sobretudo, em ambientes que comportam condições naturais de fragilidade ambiental, como nos ambientes costeiros (Crepani *et al.*, 2001).

A declividade é a variável morfométrica que representa a inclinação do terreno em relação ao plano horizontal, a mesma guarda relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética, de modo que quanto maior for a gradiente de declividade, maior será a potencialidade das águas pluviais transforma-se em energia cinética e maior serão ainda a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela esculturação do relevo (Crepani *et al.*, 2001).

O relevo do município de Tibau do Sul (Fig.2) apresenta diferentes graus de declividade que variam de 0 a 65 %, na faixa continental, que tendo por parâmetros a classificação de Ramalho Filho e Becker (1995) são indicativos dos seguintes graus de limitações do terreno por suscetibilidade à erosão: 0 a 3% (nulo); 3 a 8% (ligeiro); 8 a 13% (moderado); 13 a 20% (forte); 20 a 45% (muito forte) e declividades superiores a 45% (extremamente Forte), como pode ser observado no mapa a seguir.

Figura 2 – Mapa de declividade em porcentagem do Município de Tibau do Sul, RN

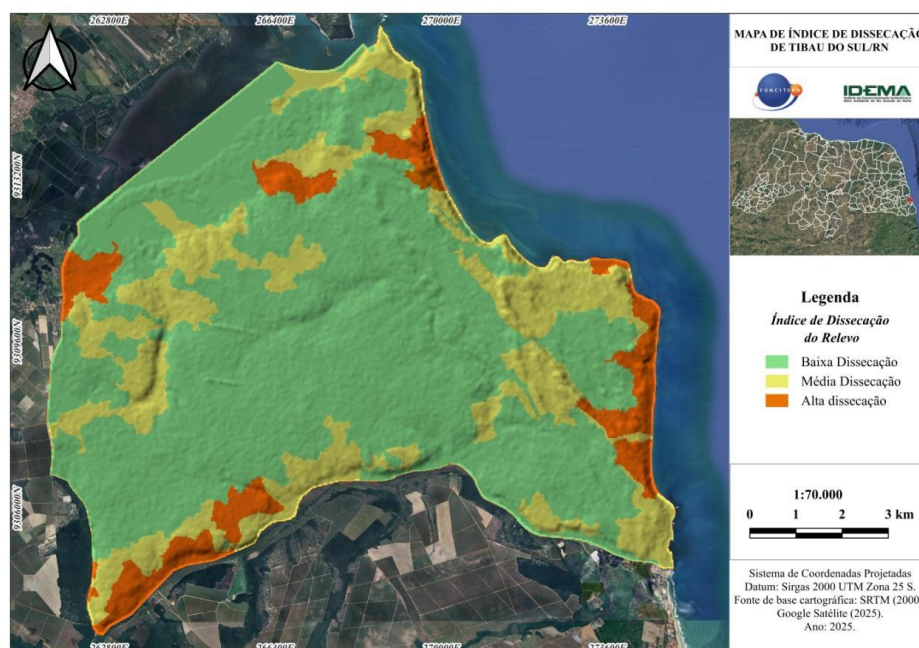


Fonte: SRTM (2000). Elaborado pelos autores (2025)

O Índice de Dissecção do Relevo (Ross, 1992), por sua vez, é uma variável morfométrica que tem por referência os graus de entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial média do relevo, podendo ser utilizado para as mais diversas análises, como contribuir para o melhor entendimento da distribuição espacial de processos morfogenéticos, segmentação do relevo e de unidades de paisagem, análises geomorfológicas e de vulnerabilidade ambiental (Guimarães *et al.*, 2017).

Conforme apresentado abaixo, o mapa de Índice de Dissecção do Relevo (IDR) do município de Tibau do Sul (Figura 3) apresenta as seguintes classes de dissecção (IDR) do relevo para esse município: fraca dissecção, moderada dissecção e forte dissecção do relevo, com a ausência das classes de muito fraca e muito forte dissecção, como se vislumbra no mapa da Figura 2.

Figura 3 – Mapa de Índice de Dissecção do Relevo.



Fonte: SRTM (2000). Elaborado pelos autores (2025).

A vulnerabilidade ambiental associada à amplitude altimétrica está relacionada aos processos da morfogênese associados ao aprofundamento da dissecação vertical do relevo. Por isso, conforme Crepani *et al.* (2001) quanto maior for a amplitude altimétrica maior é a energia potencial e a capacidade de erosão ou de morfogênese. Assim, de maneira empírica é possível pressupor que os graus de amplitude altimétrica do relevo que apresentam os menores valores de elevação podem ser considerados de fraca vulnerabilidade, em contrapartida, as formas de relevo que apresentam os maiores graus de amplitude altimétrica constituem as unidades de paisagem que apresentam graus de vulnerabilidade ambiental associados ao fator geomorfológico, como se observa no relevo das imponentes Falésias do Município aludido.

A amplitude altimétrica da área estudada, por sua vez, apresenta intervalos que variam de -2 metros e 81 metros. Conforme é evidenciado no mapa hipsométrico apresentado a seguir, as altitudes mais elevadas coincidem com a faixa oriental do município, que corresponde às áreas que margeiam a linha de costa formada por campos dunares, tabuleiros costeiros e falésias esculpidas sobre o barreiras, e a porção sudoeste do município, que compreende as áreas do tabuleiro costeiro. Em contrapartida, a amplitude altimétrica que apresenta valores inferiores corresponde às áreas de planície e terraços fluviais, parte da unidade Tabuleiros Orientais do Nordeste e da planície praial.

No mapa hipsométrico apresentado a seguir na figura 4, a seguir, é possível observar os diferentes graus de elevação registrados no município de Tibau do Sul/RN e suas respectivas curvas de nível.

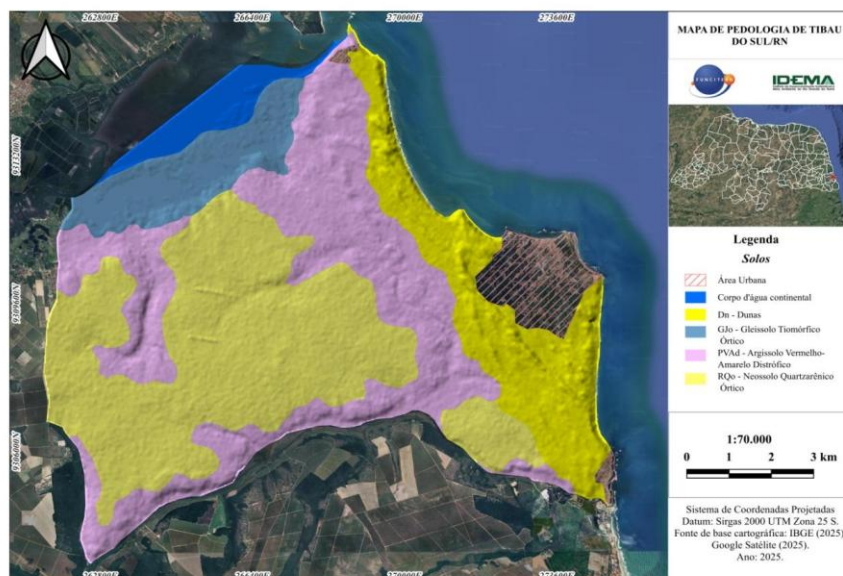
Figura 4 – Mapa Hipsométrico do Município de Tibau do Sul, RN



Fonte: SRTM (2000); IBGE (2025). Elaborado pelos autores (2025)

No que tange à Pedologia, cabe destacar que as classes de solos encontradas no Município de Tibau do Sul, RN, são as seguintes:

Figura 5 – Mapa Pedológico do Município de Tibau do Sul, RN

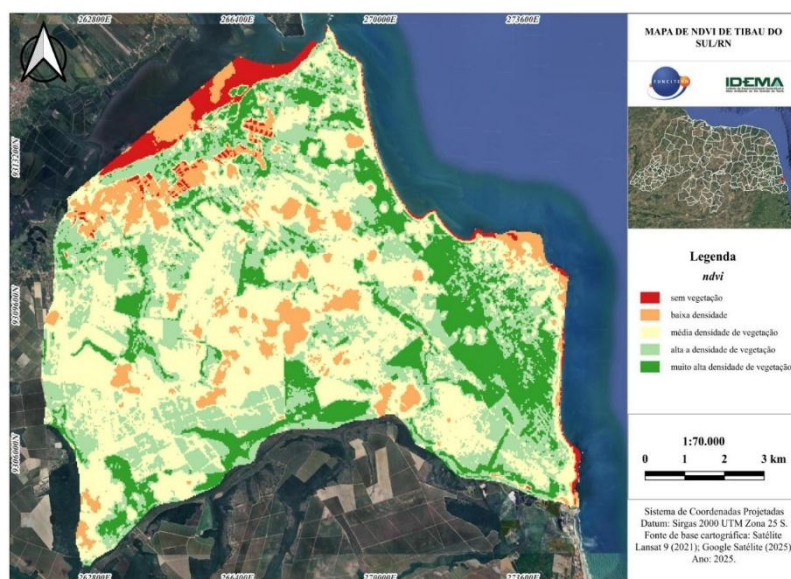


Fonte: IBGE (2022). Elaborado pelos autores (2025).

O uso de índices que possibilitem mapear a qualidade da vegetação e a cobertura do solo é de suma importância para os estudos que visem identificar e analisar os graus de vulnerabilidade ambiental, por serem parâmetros naturais que possibilitam inferir de maneira empírica as áreas naturalmente mais suscetíveis a processos de degradação natural do solo e propensos aos efeitos deletérios de eventos extremos, sobretudo na atualidade.

O mapa de vegetação do município (Fig.6) foi elaborado a partir do índice de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI, apresentando as seguintes classes de cobertura vegetal para o referido município: sem vegetação; baixa densidade de vegetação; média densidade; alta densidade e muito alta densidade vegetal. Os intervalos de NDVI variaram entre -0,22 e 0,55 nas áreas de maior densidade vegetacional.

Figura 6 – Mapa de NDVI do Município de Tibau do Sul, RN.

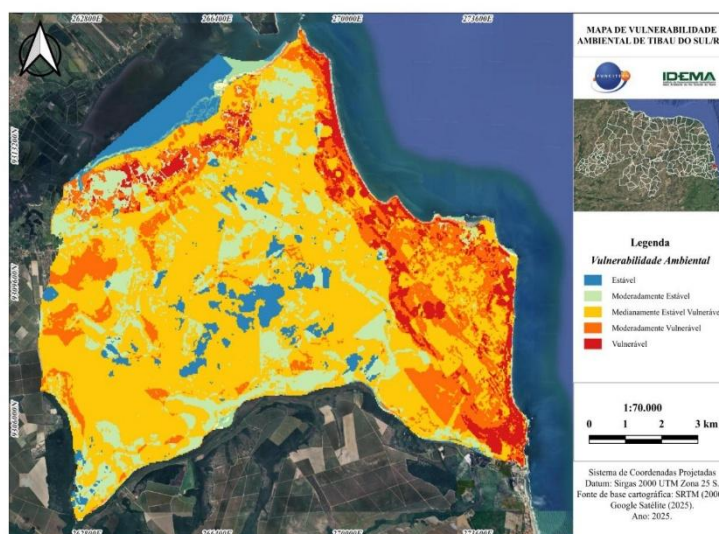


Fonte: Landsat 9 (2021) Google Satélite (2025). Elaborado pelos autores (2025)

O mapa de vulnerabilidade ambiental foi elaborado a partir de álgebra dos mapas geoambientais e apresentou cinco classes de vulnerabilidade para o município de Margarida Penteadó – Revista de Geomorfologia. v.3 n.1, julho de 2026, p.1-18
<https://doi.org/10.66049/ISSN2966-2958.v3n1.2026.010>

Tibau do Sul/RN, sendo elas: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável.

Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do Município de Tibau do Sul, RN.



Fonte: SRTM (2000); Google Satélite (2025). Elaborado pelos autores (2025)

Tabela 3 – Classes de vulnerabilidade ambiental do município de Tibau do Sul/RN

Vulnerabilidade Ambiental	Área km ²	Porcentagem
Estável	4.10	4,29
Moderadamente Estável	15.20	15,89
Medianamente Estável/Vulnerável	54.05	56,53
Moderadamente Vulnerável	15.86	16,59
Vulnerável	6.38	6,68

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

DISCUSSÕES

A vulnerabilidade ambiental associada ao fator litológico é considerável onde ocorrem formações geológicas que apresentam certo grau de fragilidade ambiental e em áreas de declividade acentuada, nos quais a erosão marinha e a ação das ondas provocam incisões basais que culminam em planos de fraqueza onde ocorreu o desabamento e/ou tombamento dos blocos. Nas áreas em que os sedimentos são friáveis e inconsolidados, o ângulo de repouso desses materiais é inferior a 45% o que implica na instabilidade das estruturas onde ocorrem fraquezas potenciais (Press, *et al.*, 2006).

Nesse ínterim, destacam-se os setores das falésias íngremes modeladas em rochas sedimentares mais friáveis e menos laterizados, que apresentam sistemas de ravinas nas vertentes, ampliadas pela erosão pluvial decorrentes de problemas de drenagem nos setores adjacentes, com destaque para os setores dos paredões abruptos das falésias em Tibau do Sul que apresentam maior suscetibilidade erosiva e, conseqüentemente, maior vulnerabilidade ambiental (Amorim; Maia, 2021).

Nessas áreas, observa-se a incidência de processo erosivo marítimo/costeiro derivado da ação das correntes marinhas e do intemperismo químico/físico ocasionado pela ação pluvial, evidenciado pela formação de cavidades basais no relevo (grutas de abrasão) e fraturas nas escarpas abruptas decorrentes da ação das marés, sendo agravado pelas intervenções antrópicas no relevo (cortes no talude) e as construções irregulares e desordenadas na borda da falésia. Desse modo, os setores que apresentam eventos pretéritos de movimentos de massa podem ser classificados como de alto grau de vulnerabilidade, como em áreas que ocorreram desabamentos, tombamentos de blocos e acidentes com vítimas fatais, como no subtrecho da Baía dos Golfinhos, na Praia de Pipa em Tibau do Sul/RN.

Para Crepani *et al.* (2001) a vulnerabilidade ambiental para o fator geomorfológico relativo à dissecação do relevo considera que quanto maiores os interflúvios (ou menor a intensidade de dissecação) menores serão os valores atribuídos às unidades de paisagem natural na escala de vulnerabilidade. Por outro lado, o autor pontua que as unidades de paisagem que apresentam os menores interflúvios (ou maiores intensidades de dissecação) maiores serão os valores atribuídos à vulnerabilidade ambiental, em função do predomínio da morfogênese sob a pedogênese. Desse modo, considerando os parâmetros de vulnerabilidade atribuídos para o fator geomorfológico, o relevo do município em questão apresenta áreas com fraca, moderada e alta vulnerabilidade ambiental, considerando as variáveis morfométricas analisadas.

O município de Tibau do Sul/RN apresenta diversificado arcabouço de formas de relevo marcadas pelo predomínio de classes de dissecação variada, com terrenos que apresentam fraca dissecação no topo dos tabuleiros costeiros, planícies fluviais, flúvio-lacustres e flúvio marinha, bem como, áreas que apresentam elevado índice de dissecação do relevo, como nos relevos escarpados das bordas de tabuleiros que margeiam a orla marítima deste município.

No tocante aos riscos geomorfológicos, a retirada da vegetação fixadora de dunas nas vertentes íngremes pode deflagrar eventos de movimentação dos materiais desagregados, aumentando de maneira significativa os riscos e a suscetibilidade natural da área, sendo recomendada a realização de estudos geofísicos nessas áreas costeiras que podem ser determinantes para classificá-las como suscetíveis aos referidos processos (Araujo, 2021).

Conforme preconiza o Termo de Referência de Estudo para Análise de Risco e Caracterização Geológico-Geotécnica de Falésias elaborada pelo IDEMA, as áreas limítrofes à escarpa em uma distanciam de 10 metros são consideradas de risco em grau muito alto, podendo este ser considerado a borda ou a projeção vertical do sopé escavado, se recomendado “um afastamento dinâmico de 10 (dez) metros como faixa de proteção a partir do ponto mais escavado da encosta (linha de limite último)”.

Posto isto, ressalta-se que os três primeiros metros contados a partir da linha de limite último de ruptura do terreno ou a projeção vertical da parte mais escavada são considerados áreas de risco iminente a movimentos de massa. Além disto, consoante o processo erosivo vai escavando a área da encosta, a linha de segurança deve ser recuada, tendo em vista que “a ocorrência de qualquer movimento de massa pode alterar a linha de limite último, alterando deste modo, os limites de todas as faixas subseqüentes”, como se observa na imagem a seguir (IDEMA, 2022).

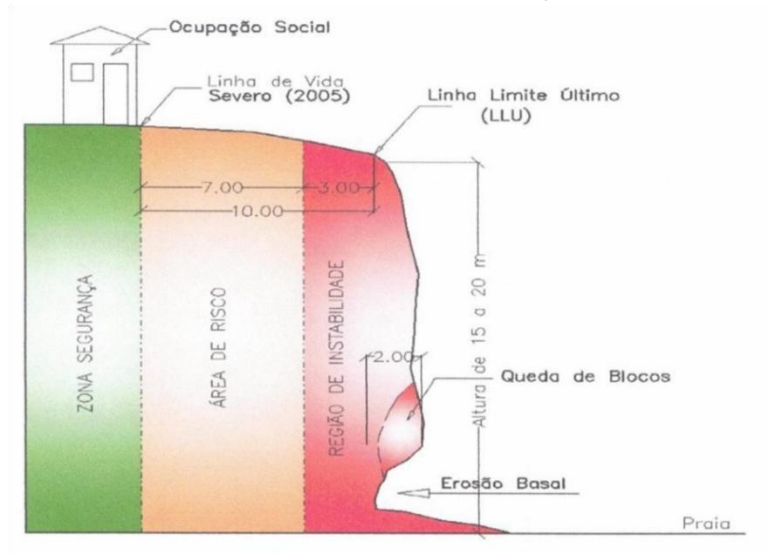


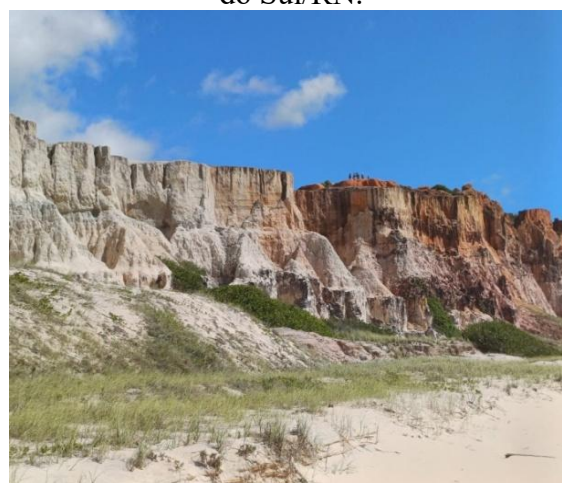
Figura 8 - Perfil esquemático da falésia e delimitação da faixa de proteção

Fonte: IDEMA, 2022; Severo, 2005.

É importante destacar ainda que as ações do Projeto Orla no município têm priorizado os subtrechos considerados de alta fragilidade ambiental, como nos subtrechos de cacimbinhas, baía dos golfinhos e praia das minas, considerando a importância ambiental dessas áreas, com ocorrência setores de desova de tartaruga-de-pente *Eretmochelysimbricata*, berçários de Golfinhos e áreas classificadas de alto risco a processos gravitacionais de massa (bordas de falésias).

Além da Baía dos Golfinhos, na Praia de Pipa, outros subtrechos são considerados suscetíveis a movimentos de massa, como no subtrecho da Praia de Cacimbinhas e da praia do amor (Figuras 9 e 10), sendo recomendado para essas áreas o afastamento mínimo de pelo menos 10 metros a contar da linha de ruptura do relevo.

Figuras 9 - Relevos de Falésias no trecho referente à Praia de Cacimbinhas, em Tibau do Sul/RN.



Fonte: Acervo dos autores (2025)

Figura 10 – Falésia vegetada na Praia do Amor, Pipa, em Tibau do Sul. Na imagem é possível observar a cicatriz de escorregamento nas encostas íngremes da falésia.



Fonte: Acervo dos autores (2025).

No que tange à vulnerabilidade atribuída para a variável pedológica, conforme Crepani et al. (2001), considera-se primordialmente o grau de desenvolvimento ou a *maturidade* do solo, tendo em vista que os solos participam como produto direto do balanço entre a morfogênese e a pedogênese, indicando se prevalecem nos sistemas ambientais os processos modificadores do relevo ou se prevalecem os processos formadores dos solo (Crepani *et al.*, 2001). Para esse autor, as unidades de paisagem natural podem ser consideradas vulneráveis quando prevalecem os processos modificadores do relevo (morfogênese), tendo em vista que predominam a dinâmica dos processos erosivos nesses sistemas ambientais, acentuando sua vulnerabilidade frente às pressões antrópicas adversas.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico são solos mais desenvolvidos com certo grau de maturidade e apresentam horizontes de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. Tem como principais restrições relacionadas à fertilidade, em alguns casos, e à susceptibilidade à erosão, pois são solos que apresentam horizontes superficiais ligeiramente arenosos e subsuperficiais mais argilosos, propiciando a perda dos seus horizontes superficiais por erosão laminar e dificulta a infiltração de água nos horizontes mais argilosos, acelerando o escoamento superficial e a formação de processos erosivos lineares no solo (Embrapa, 2021).

Os Gleissolos Tiomórficos, por sua vez, apresentam horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos, dentro de 100cm a partir da superfície, são mal drenados, gleizados e distribuem-se nas partes baixas da orla marítima, sob influência das marés e com vegetação dominante de mangue (Gama *et al.*, 2007). Suas principais limitações estão relacionadas ao caráter hidromórfico e aos elevados teores de sódio e de enxofre (tiomórfico), podendo também apresentar problemas com acidez do solo (EMBRAPA, 2021).

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos, por sua vez, são solos que apresentam baixo grau de maturidade, essencialmente arenosos e com alta suscetibilidade aos processos erosivos. Apesar da elevada profundidade e permeabilidade destes solos, a textura predominante arenosa ao longo do perfil confere baixa coesão entre os agregados, tornando-os mais suscetíveis aos processos erosivos e vulneráveis aos processos exógenos do intemperismo em áreas de elevada pluviosidade, como em áreas costeiras (Sales, *et al.*, 2010).

Desse modo, as classes de solo que apresentam maiores graus de vulnerabilidade ambiental associados ao fator pedológico no referido município são os seguintes: Neossolo Quartzarênico Órtico e Gleissolo Tiomórfico Órtico. Por outro lado, a classe de

solos que apresenta moderada vulnerabilidade é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico.

A vegetação, por sua parte, constitui um elemento fundamental para a avaliação da vulnerabilidade ambiental em ecossistemas naturais e/ou modificados pelo homem, uma vez que sua falta ou a escassa densidade de vegetação pode resultar na exposição do solo aos agentes climáticos e, por conseguinte, intensificar sua vulnerabilidade intrínseca à erosão do solo. A vegetação exerce um impacto sobre a litologia e as configurações do relevo por intermédio do intemperismo físico e químico, ao facilitar a infiltração em virtude da ação das raízes das plantas, que se fixam nos sedimentos. Isso ocorre de maneira mais acentuada quando a vegetação apresenta características arbóreas, podendo também contribuir para a desestabilização do solo, em associação com fatores hidrológicos, atenuando os processos de ação pluvial e eólica nas vertentes, especialmente quando a vegetação é herbácea (Saraiva, 2021).

O município de Tibau do Sul/RN apresenta classes de remanescentes das fisionomias floresta estacional semidecidual e restinga arbustiva e herbácea (Pereira, 2015). Ressalta-se nesse ínterim a importância das unidades de conservação de uso sustentável em seu território para manutenção da qualidade ambiental e conservação dos espaços, com destaque para a Área de Proteção Ambiental – APA Bonfim-Guaráira, o Parque Estadual Mata da Pipa (PEMP) e a Reserva Faunística Costeira de Tibau do Sul (REFAUTS), que protege o boto-cinza e outras espécies marinhas nas enseadas do Madeiro e dos Golfinhos.

Desse modo, as áreas que apresentam os principais índices de vegetação incluem as áreas legalmente resguardadas, como nas subzonas mais restritivas da APA Bonfim-Guaráira e na mata do Parque Estadual Mata de Pipa na faixa litorânea, que é composta predominantemente por formações pioneiras com influência marinha de tipologias restingas arbóreas e arbustivas, e nas áreas de matas ciliares no entorno dos corpos hídricos.

As áreas que apresentaram menores índices de densidade de vegetação correspondem às áreas historicamente ocupadas pela agricultura, empreendimentos de carcinicultura no entorno da Laguna Guaráiras, áreas urbanizadas do município e na faixa litorânea ocupada por dunas móveis paralelas à linha de costa e praias (bermas).

Mapa da Vulnerabilidade Ambiental do município de Tibau do Sul/RN

Como se observa no mapa de vulnerabilidade ambiental do município de Tibau do Sul/RN (Fig.11), as classes de vulnerabilidade ambiental predominantes no município referido são classificadas como “medianamente estável/vulnerável”, “moderadamente vulnerável” e “moderadamente estável”, o que corresponde a 89,02% da área total do município. Por outro lado, a classe “estável” e “vulnerável” são as que apresentaram os menores índices quantitativos, correspondendo a 10,97% do seu território.

A classe vulnerável e moderadamente vulnerável foi registrada na porção do município situado na orla costeira na unidade geoambiental tabuleiros costeiros na faixa que margeia a linha de costa, onde estão situadas unidades geoambientais de acentuada fragilidade, como nas falésias, restingas, manguezais e nos campos dunares, bem como, nas áreas de maior declividade, hipsometria e dissecação do relevo, onde a morfogênese se sobrepõe a pedogênese com a formação de solos rasos, sedimentos inconsolidados e suscetibilidade a riscos geomorfológicos.

Por outro lado, as classes estável e moderadamente estáveis foram registradas nos topos dos tabuleiros costeiros na porção continental mais afastada da linha de costa, em áreas de relevo plano a suave ondulado, solos mais desenvolvidos, drenados e profundos

e nas áreas de remanescentes de mata atlântica mais preservada, onde predominam a pedogênese em detrimento da morfogênese.

A classe medianamente estável/vulnerável, por sua vez, foi registrada predominantemente na porção continental do município, nas áreas de relevo suave ondulado a ondulado com predomínio de mediana declividade/hipsometria e moderada dissecação do relevo, onde há o balanço intermediário da pedogênese sobre a morfogênese.

Os resultados apresentados confirmam a fragilidade ambiental das unidades geoambientais do município de Tibau do Sul/RN, especialmente nas localidades que integram os setores da orla deste município. Assim, torna-se imprescindível a implementação da gestão participativa do espaço costeiro, além de ações para mitigar os riscos geomorfológicos nas áreas mais suscetíveis da linha de costa.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados logrados com os mapeamentos, foram classificadas as seguintes classes de vulnerabilidade ambiental para o município escolhido: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável.

Os resultados apontam que os graus de vulnerabilidade ambiental tendem a ser mais acentuados nas áreas situadas próximas à linha de costa, tendo em vista que essa porção do território incide em áreas que apresentam unidades geoambientais de considerável fragilidade ambiental, como os campos dunares, restingas e manguezais, além de áreas que apresentam considerável risco geomorfológico, como nas bordas do tabuleiro costeiro que rompem em imponentes falésias.

Por outro lado, a vulnerabilidade ambiental tende a ser menor em áreas de relevo plano a suave ondulado que incide na porção mais afastada da linha de costa que apresenta solos e formações geológicas estáveis, onde há o predomínio da pedogênese sobre a morfogênese.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão pelo suporte financeiro e subsídios à realização desta pesquisa pela FUNCITERN/IDEMA, por meio de concessão de bolsa de pesquisa e extensão no âmbito do Projeto INOVAGEST/IDEMA.

REFERÊNCIAS

AMORIM, R. F.; MAIA, R. P. Diagnóstico e apontamentos de medidas mitigadoras para o contexto de riscos nas falésias de Pipa e Barra de Tabatinga-RN. **Relatório Técnico Projeto Falésias**, UFRN-UFC-MDR, Natal, 2021.

ANGELIM, L. A. de A. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte**. Escala 1:500.000. / Luiz Alberto de Aquino Angelim. [et al.]. - Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2007.

ARAUJO, R. C. et al. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental da sub-bacia do rio Bodó, na região da Serra de Santana, Estado do Rio Grande do Norte. **Rev. Geociênc. Nordeste**, Caicó, v. 9, n. 1, p. 71-87, 2023. DOI: 10.21680/2447-3324.2023v9n1ID31034

BECKER, B. K.; EGLER, C. A.G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelo estados da Amazônia legal**. Ministério do

Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Secretaria de Coordenação da Amazônia, 1997.

BRASIL. 1988. Lei Nº 7.661, de 16 de maio de 1988. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, Seção 1, 18/05/1988.

BRASIL. 2004. Decreto Nº 5300, de 07 de dezembro de 2004. **Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, Seção 1, 08/12/2004.

FERREIRA, J. C. V. **Relação praia-falésia de São Cristóvão, Ponta do Mel - Areia Branca (Litoral Setentrional) e Cacimbinha - Tibau do Sul (Litoral Oriental), RN - Brasil**. 2019. 240f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

GUIMARÃES, F. S. et al. Uma proposta para automatização do Índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, 2017. DOI: 10.20502/rbg.v18i1.1154

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados de Informações Ambientais - BDIA**. 2024. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. Acesso em: mai. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de dados por municípios das Regiões Geográficas Imediatas e Intermediárias do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012.

IDEMA. **Volume II - Zoneamento Ecológico-Econômico da APA Bonfim-Guaraíra - APA - Zoneamento APABG - Minuta Lei 1**. 2020. Disponível em: <http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000246510.PDF>. Acesso em: maio de 2024.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Manual Projeto Orla**. Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União – Brasília: Ministério da Economia. 2022. 324p.

OLIVEIRA, M. R. L. de; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012. DOI: 10.5894/rgci306

SALES, L. E. de O. et al. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 667-674, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000300016

PFALTZGRAFF, P. A. dos S. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte / Organização Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff [e] Fernanda Soares de Miranda Torres**. – Recife, PE: CPRM, 2010.

PEREIRA, V. H. C.; CESTARO, L. A. Mapeamento de Áreas Potenciais à Erosão Laminar no Município de Tibau do Sul/RN, Brasil. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 24, 2015. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i24.34179

PREFEITURA MUNICIPAL DE TIBAU DO SUL. **Lei Complementar nº 06, dispõe sobre o Plano Diretor Participativo**, 30 dez 2008.

Margarida Penteado – Revista de Geomorfologia. v.3 n.1, julho de 2026, p.1-18
<https://doi.org/10.66049/ISSN2966-2958.v3n1.2026.010>

PREFEITURA MUNICIPAL DE TIBAU DO SUL. **Lei Municipal nº. 383**, dispõe sobre o Código de Meio Ambiente, 31 dez 2008.

PRESS, F., et al. **Para entender a Terra**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PROJETO ORLA. **Manual Projeto Orla**. Ministério da Economia. Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União—Brasília: Ministério da Economia, 2022.

RAMALHO FILHO, Antonio; BEEK, Klaas Jan. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995., 1995.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. *Revista do departamento de geografia*, v. 8, p. 63-74, 1994.

SALES, L. E. de O. et al. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 667-674, 2010. DOI: 10.1590/S1413-70542010000300016.

SPÖRL C. Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-Mirim, ribeirão do quartel e ribeirão da Prata. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, 2001.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Geousp – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39-49, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977, 91p.