

# Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí, Brasil

Mailodovinci de Sousa Pereira\*, Mayra Fernandes Nobre Moscardi e José Machado Moita Neto

Universidade Federal do Piauí. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. *Campus* Teresina. Av. Universitária, 1310. Ininga. Teresina-PI, Brasil (CEP 64049-494). \*E-mail: mailodovinc@gmail.com.

**Resumo.** As unidades de conservação correspondem a espaços legalmente instituídos nos quais são preconizadas limitações específicas para o uso de seus recursos naturais. A variedade de ecossistemas no Brasil permite que essas áreas protegidas sejam estabelecidas em regiões de vulnerabilidade ambiental distintas, contudo o conhecimento das fragilidades pode auxiliar as atividades de gestão daqueles envolvidos no manejo cotidiano desses espaços. Deste modo, o presente trabalho intencionou diagnosticar a vulnerabilidade ambiental da Floresta Nacional de Palmares, utilizando a análise multicritério com ponderação por especialistas quanto a atributos ambientais, como declividade, pedologia e uso e ocupação do solo. Os procedimentos desempenhados no ambiente SIG somente foram possíveis mediante a aquisição de dados georreferenciados dos referidos atributos ambientais da unidade. Através da metodologia aplicada, verificou-se que a maior parte do território da unidade de conservação encontra-se em baixa vulnerabilidade ambiental (40,62%), contudo 2,77% do território demonstra elevada vulnerabilidade ambiental, em especial nas porções norte e leste da unidade de conservação. Inferiu-se, neste estudo, que a vulnerabilidade ambiental tem o potencial de auxiliar a gestão ao interferir na intensidade dos usos estabelecidos com vistas à prevenção de processos erosivos.

**Palavras-chave:** Unidades de conservação; Área protegida; FLONA; Gestão ambiental; Planejamento ambiental.

**Abstract.** *Diagnosis of the environmental vulnerability of the Palmares National Forest, Altos, Piauí, Brazil.* The conservation units correspond to legally created areas in which specific use limits are established in order to preserve its natural resources. The variety of ecosystems in Brazil propitiates the creation of conservation units in different vulnerability regions. However, the acknowledgement of these fragilities may be a relevant management instrument for managers daily concerned about their preservation. In this context, this study intended to assess Palmares National Forest's vulnerability applying a multicriteria

Recebido  
10/06/2023

Aceito  
20/08/2023

Publicado  
31/08/2023



Acesso aberto



ORCID

0000-0002-0100-9491  
Mailodovinci de Sousa  
Pereira

0000-0003-2101-0876  
Mayra Fernandes  
Nobre Moscardi

0000-0003-3268-1907  
José Machado Moita  
Neto

methodology with expert's ponderation and some environmental attributes such as slope, pedology and land use and occupation. The GIS procedures were only possible due to the acquisition of georeferenced data regarded to Palmares National Forest. Given the explained methodology, it was verified that a considerable portion of the forest area (40.62%) is classified under low vulnerability, nevertheless, 2.77% of Palmares National Forest territory is under high vulnerability, especially North and East areas. It was inferred that the environmental vulnerability has the potential to support the management of protected areas by interfering upon the intensity of the stablished uses in order to prevent erosion.

**Keywords:** Conservation units; Environmental management; Environmental planning.

## Introdução

A reflexão e a percepção acerca dos efeitos adversos ao meio ambiente ocasionados pela expansão desenfreada dos contingentes populacionais e das atividades econômicas resultaram no estabelecimento de espaços legalmente instituídos para promoção da preservação ambiental. Bezerra et al. (2018) argumentam que a delimitação de espaços nos quais é exercido o uso controlado de recursos e cuja gestão é exercida de modo participativo com a atuação da coletividade e dos conselhos gestores configura um mecanismo de proteção ambiental desempenhado pelo estado. O termo áreas protegidas é genericamente aplicado para designação desses territórios, no entanto, diante da complexidade e variadas vulnerabilidades desses ecossistemas, a legislação brasileira adotou um criterioso sistema de categorização que ressaltasse em suas denominações seus aspectos mais relevantes, neste âmbito inserem-se as unidades de conservação.

A Lei nº 9.985/2000, que estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), divide-as em unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável (Brasil, 2000). As primeiras diferenciam-se por sua rígida restrição à presença dos seres humanos e à utilização de seus recursos, já as últimas caracterizam-se pela proposta de uso racional dos recursos e a presença de seres humanos. Para Kreitlow et al. (2016), a vulnerabilidade ambiental relaciona-se à susceptibilidade que um ambiente possui à degradação ambiental, considerando-se a capacidade de suporte dos ecossistemas e as atividades antrópicas desempenhadas.

Cunha et al. (2011) argumentam que a vulnerabilidade ambiental está relacionada ao conjunto de fatores ambientais que um determinado espaço natural possui e que esses atributos apresentam susceptibilidades à degradação distintas quando expostos às pressões antrópicas. A vulnerabilidade ambiental pode, deste modo, orientar as atividades desempenhadas em unidades de conservação.

No âmbito das unidades de proteção integral, Leopoldo et al. (2020) exemplificam, através de seu estudo de vulnerabilidade ambiental em torno do Parque Nacional (PARNA) das Nascentes do Rio Parnaíba, que a análise temporal da cobertura vegetal pode elucidar os conflitos e a resistência à regularização fundiária em PARNAs brasileiros. O atributo ambiental, desse modo, permite à gestão a adoção de diretrizes de intervenção.

Lima et al (2011), ao avaliarem as características naturais da Serra das Carrancas e Luminárias, em Minas Gerais, discutem que as características físicas e bióticas tornam seus ecossistemas detentores de uma biodiversidade única e consideraram que a adoção de metodologias de vulnerabilidade ambiental, pautadas nas características do solo e do

relevo pode orientar a criação de unidades de conservação na região. Infere-se, com base nos estudos de vulnerabilidade, estariam mais propensas à criação de unidades de proteção integral as áreas de maior vulnerabilidade ambiental, o que não inviabiliza que as unidades de uso sustentável também considerem parâmetros de fragilidade, especialmente por haver permissão para usos em seu interior.

Precisamente nesta vertente de pensamento, o contexto do presente estudo voltou-se a uma unidade de uso sustentável, a Floresta Nacional (FLONA) de Palmares, que está situada no Município de Altos-PI, criada pelo Decreto S/Nº/2005, com o objetivo de promover o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais, a manutenção de banco de germoplasma de espécies nativas, a recuperação e a educação ambientais (Brasil, 2005). A unidade de conservação diferencia-se por fazer fronteira com uma penitenciária (a leste) e um recente condomínio (a oeste). O grau de urbanização inviabilizou a delimitação de uma zona de amortecimento e, quanto aos instrumentos de gestão, o plano de manejo da FLONA encontra-se ainda em elaboração.

Lopes (2007) já discutia que a ausência do plano de manejo e do zoneamento ambiental das unidades de conservação seria um entrave à efetividade dos objetivos da FLONA, relatando ainda as condições de precariedade quanto ao saneamento básico das comunidades em torno. Ao longo dos anos, esforços científicos foram direcionados para a apreensão dos atributos ambientais da unidade de conservação, em especial quanto às características fitossociológicas da FLONA. Em termos de organização espacial, Brandão (2020) propõe um zoneamento ecológico econômico para a FLONA de Palmares, dividindo-a em zona primitiva, zona de preservação, zona de uso conflitante e zona de uso especial. Apesar de não finalizado o plano de manejo para esta unidade de conservação, as contribuições científicas podem auxiliar quanto às diretrizes a serem adotadas.

Diante do exposto, ao se considerar a aplicabilidade de instrumentos georreferenciados para a gestão da FLONA de Palmares e a lacuna existente no âmbito da avaliação da sua vulnerabilidade ambiental, o presente estudo buscou, mediante uma perspectiva sinérgica dos atributos ambientais pedologia, declividade e uso e ocupação do solo, em ambiente SIG, diagnosticar a vulnerabilidade ambiental da FLONA de Palmares.

## Metodologia

Na condição de subsídios ao desempenho da metodologia de determinação da vulnerabilidade ambiental consoante, aplicado por Reis e Costa (2017), fez-se necessária a elaboração do mapa de uso e ocupação, mapa de declividade e mapa pedológico da FLONA de Palmares.

### Mapa de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo da FLONA foi elaborado de modo a conter as macroclasses “área construída”, “banco germoplasma”, “vegetação densa”, “vegetação em recuperação”, “trilhas” e “solo exposto”. As macroclasses “área construída” e “banco germoplasma” foram obtidas mediante levantamento *in loco* com aferição das coordenadas que abrangiam suas áreas. As macroclasses “vegetação densa” e “vegetação em recuperação” foram obtidas pela aplicação do NDVI e confirmação dos resultados a partir do levantamento fitossociológico feito por Barbosa (2015). As Trilhas da FLONA de Palmares haviam sido georreferenciadas por Feitosa et al. (2012) de modo a serem empregados seus traçados vetorizados neste estudo. A área de solo exposto havia sido delimitada por Brandão (2020) e também se encontrava disponível em formato vetorizado.

Deste modo, o mapa de uso e ocupação da FLONA foi elaborado a partir da coletânea de diferentes bases cartográficas, as quais acrescentariam dados

georreferenciados específicos e levantamentos feitos *in loco* com obtenção de coordenadas geográficas, usando-se GPS de navegação modelo etrex Vista HCx.

Para realização do NDVI, utilizou-se imagem SRTM (90 m de resolução espacial) disponibilizadas pelo United States Geological Survey (USGS, 2020). Foi obtida a cena situada no *path* (coluna) 219 e *row* (linha) 63 por abranger a área da FLONA de Palmares. Como as imagens encontravam-se na Projeção UTM Zona 23 N e Datum WGS 84, foi realizada primeiramente a reprojeção das bandas 4 e 5, no software QGIS 3.16, para o Sistema de Referência de Coordenadas SIRGAS 2000/UTM 23 S, pelos passos raster>projeções>reprojetarraster. Posteriormente, as bandas reprojetadas foram recortadas pela camada máscara do *shapefile* dos limites territoriais da FLONA de Palmares, disponibilizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2020). Obtidos os recortes das bandas espectrais, com o auxílio da calculadora *raster*, calculou-se o NDVI pelo quociente da diferença das bandas 5 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) pela soma das referidas bandas (Ventura et al., 2019).

Posteriormente, o *raster* resultante do NDVI teve sua apresentação modificada a partir das opções disponibilizadas em propriedades>estilo, colorindo os resultados de NDVI em níveis crescentes de tonalidade do amarelo ao verde intenso. Como auxílio às interpretações dos resultados do NDVI, foram inseridos os pontos amostrais dos lotes do levantamento fitossociológico de Barbosa (2015). Esses pontos encontravam-se georreferenciados e foram inseridos em ambiente SIG pelo procedimento camada>criar feição>shapefile. Objetivando-se confirmar se a classificação “mata densa” e “mata em regeneração”, obtidas pelo NDVI, estavam condizentes com os resultados do levantamento fitossociológico anterior. Foram vetorizadas as áreas de baixo NDVI e cujos resultados fitossociológicos apontavam para vegetação em regeneração como pertencentes à macroclasse “mata em regeneração”. Analogamente, as regiões de elevado NDVI e cujos resultados fitossociológicos apontavam para mata densa compuseram a macroclasse “mata densa”.

Por ocasião do levantamento *in loco*, empregou-se o GPS de navegação, modelo ETrex Vista HCx (resolução espacial de 3 m), para aferição dos vértices das áreas do banco de germoplasma e área construída destinada às atividades administrativas da FLONA. No ambiente SIG, determinou-se a poligonal vetorizada das referidas macroclasses. Finalmente, em relação às trilhas e à faixa de solo exposto, foram obtidas as feições vetorizadas (formato kml), anteriormente determinadas por Feitosa et al (2012) e Brandão (2020).

O mapa de uso e ocupação foi, desta maneira, resultado da reunião de todas as macroclasses com auxílio do software QGIS.

### **Mapa de hipsometria e declividade**

Os dados referentes à hipsometria e à declividade foram obtidos através da Imagem de Modelo Digital de Elevação (Folha 05S435), em formato TIF, fornecida pela Base de Dados TOPODATA BRASIL (INPE, 2021). A cena apresenta resolução espacial de 30 m e resolução espectral 0,43-0,45  $\mu\text{m}$  (Banda 1). A imagem *raster* foi primeiramente reprojetada pelo procedimento raster>projeções>reprojetarraster. O Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) configurado para a camada foi o SIRGAS 2000/UTM Zona 23 S. A imagem reprojetada foi recortada nas extensões dos limites territoriais da FLONA de Palmares, através do procedimento raster>extrair>recortar pela camada de máscara. Com o recorte obtido, realizou-se o procedimento de obtenção das declividades pelos passos Raster>Análise>Declive. Configurou-se a saída dos resultados para o formato de porcentagem. Obtido o raster de declividade, desempenhou-se a categorização das classes de relevo nos intervalos “inferior a 6% (verde)”, “entre 6% e 12% (amarelo)”, entre 12% e 20% (laranja), entre 20% e 30% (vermelho claro) e acima de 30% (vermelho ocre).

### Mapa pedológico

O mapa pedológico foi elaborado com base nas cartas do projeto RADAM BRASIL (IBGE, 2018). Foi empregada a Folha SB.23, disponibilizada em arquivo digital do tipo vetor, na extensão *shapefile*, em escala 1:250.000. Como o arquivo encontrava-se no Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) WGS 84, foi necessária a conversão para SIRGAS 2000. Modificado o SRC, foi sobreposto o *shapefile* dos limites territoriais da FLONA de Palmares, para identificação das tipologias de solo ocorrentes no interior da FLONA de Palmares (Silva et al., 2020).

### Vulnerabilidade ambiental

Neste estudo, o mapa de vulnerabilidade ambiental foi gerado a partir do cruzamento dos planos de informação de declividade, pedologia e uso e ocupação do solo (Reis e Costa, 2017). Cada atributo ambiental considerado foi classificado, segundo categorias hierárquicas adaptadas de Ross (1994) e, para avaliação da relevância de cada critério, foi aplicada a Análise Hierárquica Ponderada (AHP) com consulta a especialistas para obtenção da ponderação (Guimarães, 2012).

Do mesmo modo que Queiroz (2017), para cada atributo ambiental, foi elaborado um mapa correspondente com diferentes classes, associadas ao potencial de degradação. Assim, neste estudo foram empregadas as categorias hierárquicas propostas por Ross (1994). Deste modo, para a declividade, foram estabelecidos os intervalos “até 6%”, “de 6% a 12%”, “de 12% a 20%”, “de 20% a 30%”, e “acima de 30%”. Esses intervalos foram, posteriormente, reclassificados (*Reclassify*) para as categorias de Ross (1994), quanto à fragilidade.

**Tabela 1.** Categorias hierárquicas das classes de declividade.

Categorias hierárquicas	Classes de declividade
1- Muito fraca	até 6%
2- Fraca	de 6% a 12%
3- Média	de 12% a 20%
4- Forte	de 20% a 30%
5- Muito forte	acima de 30%

Fonte: Ross (1994).

Em relação ao mapa temático de pedologia, o produto cartográfico pedológico disponível que abrangesse a área da FLONA era a Folha SB.23, do Projeto RADAM BRASIL (IBGE, 2018), indicando na área de interesse dois tipos de solo predominantes, o Latossolo Amarelo Distrófico e o Plintossolo Pétrico Concrecionário. Uma vez que o mapa pedológico se encontrava em formato vetorial, utilizou-se a ferramenta de conversão da camada vetorial para *raster* no ambiente SIG, com o intuito de ser viabilizado o cruzamento dos dados. Após obtenção do *raster*, ele foi categorizado, consoante Tabela 2, através do uso da ferramenta “reclassificar por tabela” (Ross, 1994).

Por fim, no procedimento de classificação dos mapas temáticos, realizou-se a reclassificação do mapa de uso e ocupação do solo, adaptando-se de Ross (1994), considerando grau 1 (elevado grau de proteção ou vulnerabilidade muito baixa) para vegetação densa, grau 2 (alta proteção ou baixa vulnerabilidade), grau 3 (média proteção ou vulnerabilidade intermediária) para silvicultura de eucaliptos, grau 4 (baixa proteção ou vulnerabilidade alta) para culturas de ciclo longo de baixa densidade e grau 5 (muito

baixa proteção ou muito alta vulnerabilidade) para solo exposto e áreas construídas. A Tabela 3 sintetiza os graus de proteção de Ross (1994).

**Tabela 2.** Categorias de fragilidade dos solos.

<b>Classes de fragilidade</b>	<b>Tipos de solo</b>
1- Muito baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo Textura Argilosa.
2- Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo Textura Média/Argilosa
3- Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-Amarelo Textura Média/Argilosa.
4- Forte	Podzólico Vermelho-Amarelo Textura Média/Arenosa, Cambissolos
5- Muito forte	Podzolizados com Cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas.

Fonte: Ross (1994).

**Tabela 3.** Grau de proteção do solo em função dos tipos de cobertura vegetal.

<b>Grau de proteção</b>	<b>Tipo de cobertura vegetal</b>
1- Muito alta	Florestas; Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2- Alta	Formações arbustivas naturais com extrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa)
3- Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas), pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucalipitos, com sub-bosque de nativas.
4-Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento).
5-Muito baixa à nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Após a elaboração e reclassificação dos mapas temáticos segundo as categorias descritas acima, foi aplicada a metodologia de Análise Multicritério para o estabelecimento dos pesos de cada atributo na determinação da vulnerabilidade ambiental da FLONA de Palmares. Neste procedimento, foi necessária a consulta a especialistas, que influenciaram o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental, obtido por esta pesquisa. Em se tratando de um estudo voltado à gestão da UC, procedeu-se a explicação dos objetivos da pesquisa e a relevância da participação dos especialistas para sua elaboração. Foram, portanto, esclarecidos acerca da adoção de pesos pautada por critérios técnicos e científicos, isentos de interferências de natureza arbitrária e pessoal.

Neste estudo, para o procedimento da comparação parietal, optou-se por classificar as notas dos especialistas em escala variável de 1 a 4, em que 1 corresponde a “Igual”, ou seja, o critério influiria igualitariamente na vulnerabilidade ambiental, 2 corresponderia a “um pouco melhor”, 3 “melhor” e 4 “muito melhor”.

Como explanado por Ramos (2000), a matriz de julgamento corresponde a uma matriz quadrada ( $n \times n$ ), de comparação relativa entre os  $n$  critérios (atributos) ou matriz de ordem  $n$ . A Tabela 4 consiste na matriz obtida por este estudo a partir da ponderação dos especialistas.

**Tabela 4.** Matriz de comparação pareada.

Critério	Declividade	Pedologia	Mata densa	Mata em regeneração	Solo exposto	Área construída
Declividade	1	2	1	1	2	0,5
Pedologia	0,5	1	0,5	0,5	1	0,33
Mata densa	1	2	1	1	2	0,5
Mata em regeneração	1	2	1	1	2	0,5
Solo exposto	0,5	1	0,5	0,5	1	0,33
Área construída	2	3	2	2	3	1

Como se verifica, há na Tabela 4 a ocorrência de valores decimais. Isso ocorre porque a mudança de perspectiva na comparação parietal gera o inverso do peso atribuído. Por exemplo, a declividade em comparação à pedologia foi considerada “um pouco melhor” e recebeu peso 2. Logo, a pedologia em comparação à declividade recebe peso  $2^{-1}$  ou 0,5. Analogamente, pode-se afirmar que o mesmo ocorre com a pedologia em comparação à mata densa ou com a comparação parietal entre a declividade e a área construída. Explicado o procedimento da comparação parietal, o próximo passo correspondeu ao cálculo do autovetor principal. Os elementos do autovetor principal consistem nos pesos atribuídos a cada critério, uma vez que este vetor (matriz) preserva a preferência ordinal e traduz a prioridade dos critérios.

#### **Cálculo do autovetor (*eigenvalue*) principal (*w*)**

Como discutido até o momento, os elementos do autovetor principal são os próprios pesos que foram utilizados no mapa de vulnerabilidade. Cada elemento do autovetor ( $a_{ij}$ ) é obtido pelo através do seguinte quociente

Realizado o procedimento, obteve-se o seguinte autovetor:

$$W_i = a_{ij} = \frac{\text{Somatório dos elementos da linha "i" da matriz de comparação}}{\text{Somatório de todos os elementos da matriz de comparação}}$$

$$W_j = \begin{pmatrix} 0,174 \\ 0,089 \\ 0,174 \\ 0,174 \\ 0,089 \\ 0,301 \end{pmatrix}$$

Deste modo, a Tabela 5 sintetiza os critérios com seus respectivos pesos.

**Tabela 5.** Pesos relativos de cada critério.

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Declividade	0,174
Pedologia	0,089
Mata densa	0,174
Mata em regeneração	0,174
Solo exposto	0,089
Área construída	0,301

Finalmente, a vulnerabilidade ambiental foi obtida no ambiente SIG, utilizando-se a expressão a seguir na calculadora *raster*:

$$\text{Vulnerabilidade ambiental} = (\text{Declividade} * 0,174) + (\text{Pedologia} * 0,089) + (\text{Mata Densa} * 0,174) + (\text{Mata em Regeneração} * 0,174) + (\text{Solo Exposto} * 0,089) + (\text{Area Construída} * 0,301)$$

## Resultados e discussão

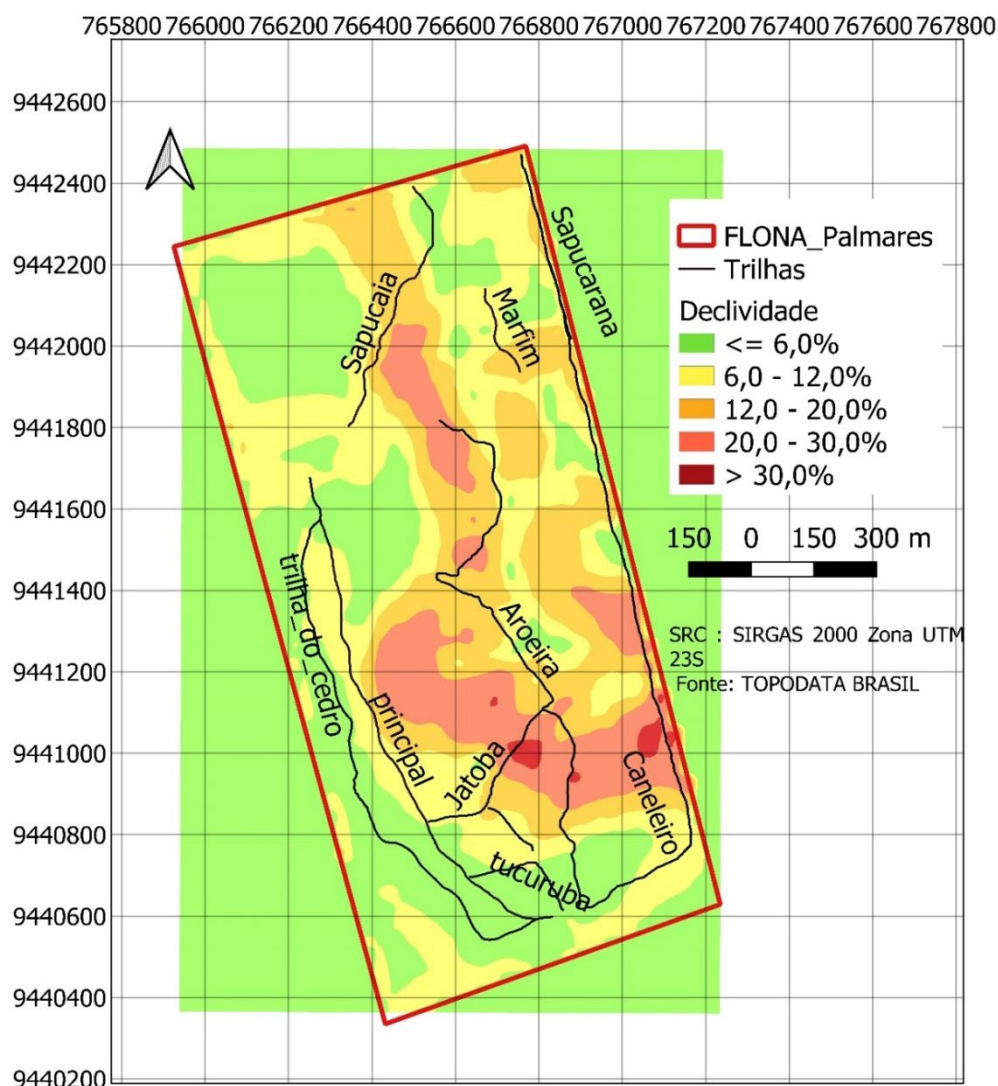
Iniciando-se as discussões dos mapas temáticos pelos atributos abióticos, a Figura 1 apresenta o mapa que se refere ao geoprocessamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), que retrata as altitudes presentes no relevo, disponibilizado pelo TOPODATA BRASIL (INPE, 2021). Na representação isolou-se o território da FLONA com delimitação destacada em vermelho e representada em escala 1:11.000. Na imagem, é possível identificar ainda a distribuição espacial das trilhas ao longo das classes de declividade. O Sistema de Referência de Coordenadas adotado é o SIRGAS 2000, Zona UTM 23S.

O mapa apresenta cinco intervalos de declividade, inferior a 6%, entre 6% e 12%, entre 12% e 20%, entre 20% e 30%, bem como superior a 30%. Infere-se que as regiões de maior declividade abrangem a porção leste e central da unidade de conservação, havendo uma faixa quase homogênea, que se estende ao norte da FLONA, com declividades entre 12% e 20%. O acesso à unidade de conservação, assim como considerável parcela da porção oeste, caracteriza-se por declividades suaves, inferiores a 6%.

A variedade de altitudes e declividades na FLONA de Palmares é uma característica física desse ambiente capaz de influir na percepção qualitativa dos turistas que visitam a UC. As declividades acentuadas da porção central podem aumentar o grau de dificuldade das trilhas e, conseqüentemente, do esforço físico dispendido para sua realização. Em relação ao grau de dificuldade das trilhas, Silva (2016) considerou que essa característica está vinculada às condições de terreno, declividade, cobertura vegetal e drenagem. Pautando-se neste critério, a gestão da Floresta Nacional de Palmares pode elucidar rotas de maior ou menor grau de dificuldade com base no público em questão. Por exemplo, a rota Trilha do Cedro-Trilha Principal apresenta o menor grau de dificuldade quanto aos esforços físicos relacionados à declividade do terreno. Analogamente, o roteiro Trilha do Tukurubá-Trilha Principal-Trilha do Cedro também não impõe grandes dificuldades quanto ao parâmetro de declividade.

Ainda no âmbito dos componentes abióticos, verificou-se, a partir do uso da carta (1:250.000), a ocorrência no território da FLONA de duas tipologias de solo, o Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) e o Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc). Segundo a

EMBRAPA (2018), os Latossolos Amarelos Distróficos apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade, destacando-se ainda sua predominância em relevo plano ou suavemente ondulado. Esse tipo de solo não apresenta propensão aos processos erosivos, contudo pode apresentar problemas de compactação.



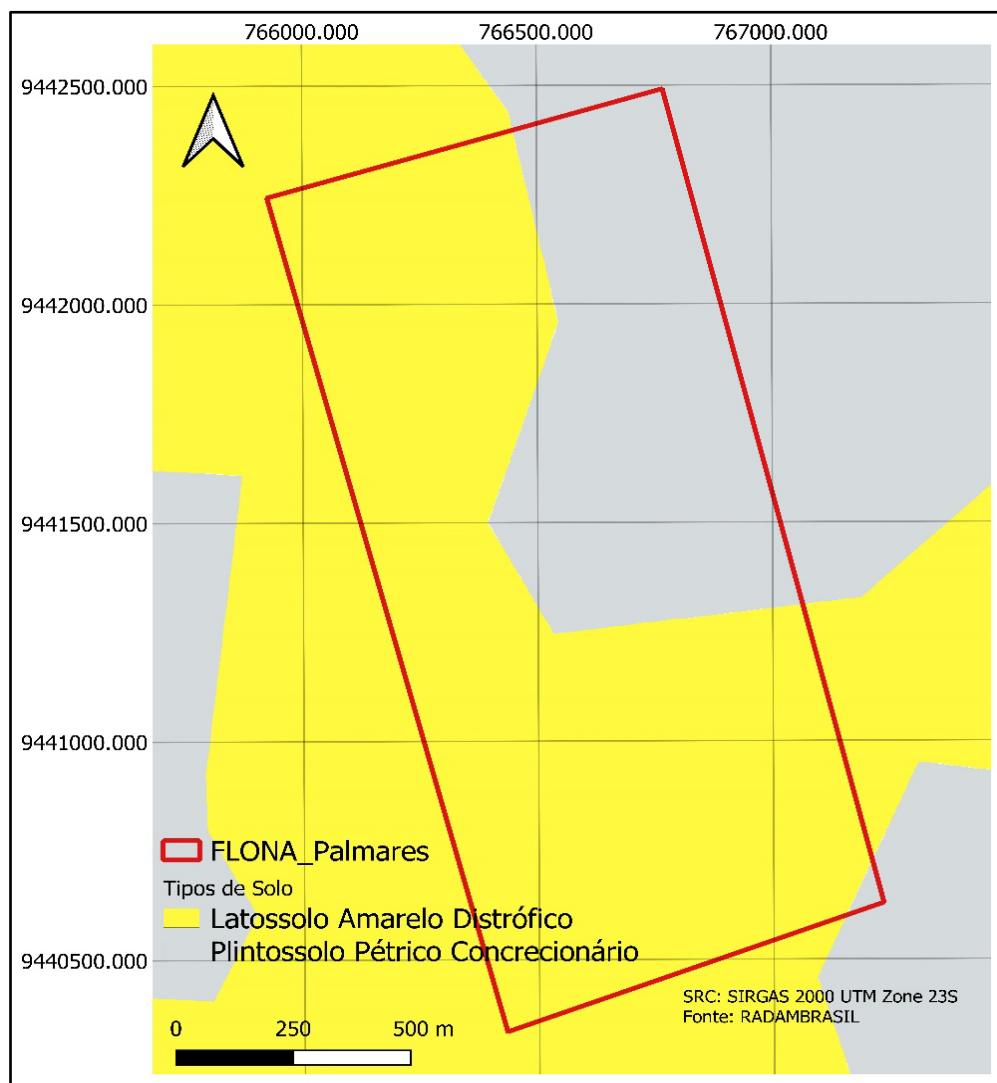
**Figura 1.** Mapa de Declividade da FLONA de Palmares. Fontes: TOPODATA BRASIL (INPE, 2021), ICMBio (2020).

Silva et al (2014) reiteram que a resistência aos processos erosivos se estende às variantes dos Latossolos (Latossolo Vermelho Distroférico Típico; Latossolo Vermelho Distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico). Segundo a classificação até 4º nível categórico do LAd encontrado na FLONA de Palmares, seus subgrupos são plântico, típico e úmbrico e sua textura média. A gestão de Palmares, diante da propensão à compactação dos Latossolos deve evitar a movimentação de cargas e veículos na porção oeste do território da unidade de conservação. Mesmo com condições favoráveis de declive e

altitude, essa característica inviabiliza a movimentação de veículos através das Trilhas do Cedro e Principal mesmo para atendimento de demandas da unidade de conservação.

A caracterização dos Plintossolos, segundo EMBRAPA (2006), a tipologia é formada por minerais com horizonte plíntico ou litoplíntico ou concrecionário dentro de 40 cm ou dentro de 200 cm, quando abaixo do horizonte A ou E. Consoante descrição do RADAM BRASIL (IBGE, 2018), o solo encontrado na região da FLONA caracteriza-se como Plintossolo Pétrico Concrecionárioargissólico. As texturas deste solo encontradas na FLONA variam de média muito cascalhenta a argilosa muito cascalhenta com horizonte A moderado e A pedregoso. A presença de cascalhos em elevada quantidade e a presença de horizonte plíntico de baixa permeabilidade é responsável por elevadíssima erodibilidade (Santos, 2000).

A Figura 2 refere-se à espacialização dos tipos de solos na FLONA de Palmares, obtida com o uso da carta SB.23, disponibilizado pelo RADAM BRASIL (IBGE, 2018). Como se observa, o Latossolo Amarelo Distrófico tem maior representatividade no território da FLONA, estando sua distribuição espacial associada a altitudes mais planas a levemente onduladas. O Plintossolo Pétrico Concrecionário tem sua distribuição predominantemente na porção leste da FLONA de Palmares.

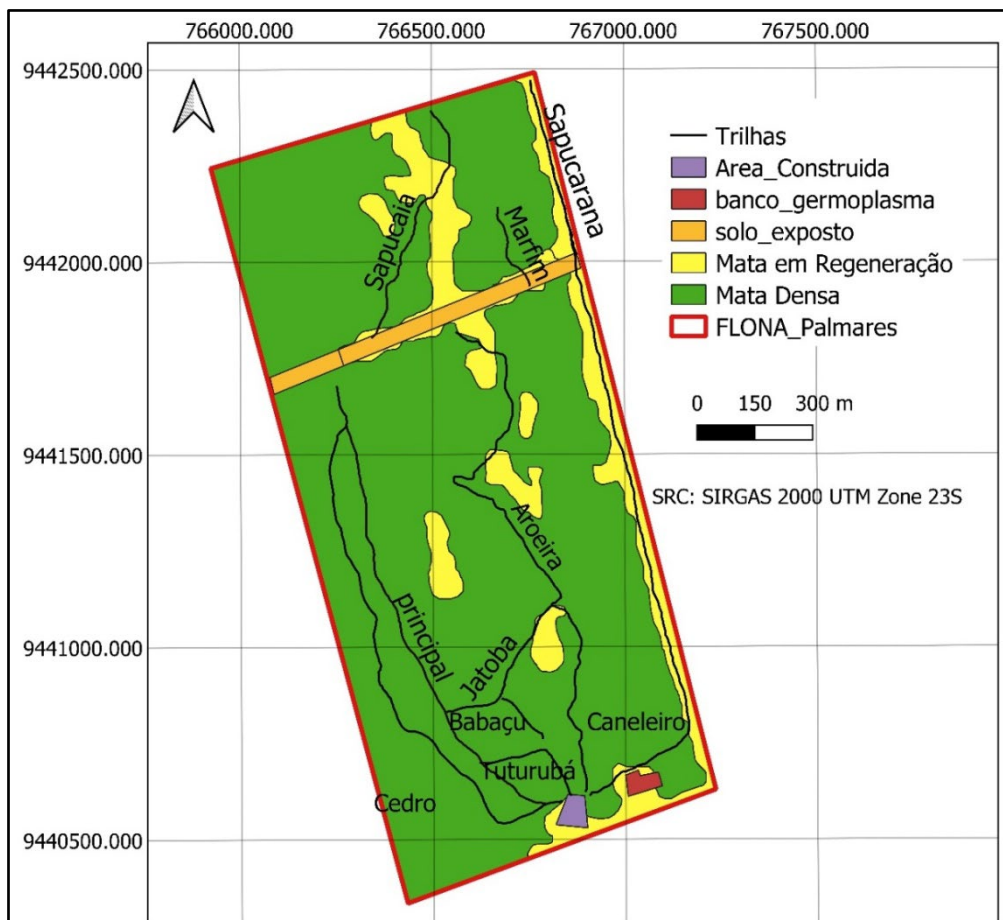


**Figura 2.** Mapa pedológico da FLONA de Palmares. Fonte: RADAM BRASIL (IBGE, 2018).

A presença de solo sujeito à erosão nos trechos de trilha requer cuidados mais significativos por parte da gestão da unidade de conservação para prevenção de degradação ambiental e mitigação dos riscos de acidentes. O efeito sinérgico da declividade e do tipo de solo pode aumentar o grau de dificuldade da trilha, a exemplo da Trilha da Aroeira. Uma medida passível de ser adotada pela gestão da unidade de conservação seria a classificação das trilhas mediante um sistema que considere os atributos discutidos.

Uma consideração relevante deve ser feita neste estudo em relação à distribuição espacial dos tipos de solo na FLONA de Palmares. Ocorre que, segundo relatório técnico elaborado por ocasião da concepção da unidade de conservação, foram encontradas as tipologias de Latossolos Amarelos, Podzólicos Vermelho-Amarelo, Plintossolos, Areias Quartzosas e Solos litólicos (IBAMA, 2004). Apesar de pontuados os tipos de solo, não houve à época uma espacialização no território da FLONA em escala compatível às pequenas extensões da unidade de conservação, o que motivou a adoção da carta 1:250.000, do RADAM BRASIL (IBGE, 2018). Contudo, reitera-se que estudos futuros façam um levantamento pedológico para classificação dos solos da FLONA em uma escala grande que permita avaliar a interação entre esse critério e os demais usos da FLONA.

Finalmente, o mapa de Uso e Ocupação da FLONA de Palmares, obtido a partir dos procedimentos discriminados na metodologia, reúne os distintos dados espacializados acerca da FLONA de Palmares (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa de uso e ocupação da FLONA de Palmares. Fontes: USGS/SRTM (USGS, 2020), Barbosa (2015).

Verifica-se no território da FLONA de Palmares o predomínio da área de mata densa e mata em regeneração. Ao todo, a unidade de conservação conta com nove trilhas ecológicas, uma área construída na qual se situa a sede administrativa e o centro de uso múltiplo com salas expositivas. Há ainda a manutenção de um banco germoplasma de espécies nativas. A Tabela 6 apresenta a participação estimada de cada macroclasse na composição do território da unidade de conservação.

**Tabela 6.** Macroclasses na FLONA de Palmares e suas áreas ocupadas.

Macroclasse	Área ocupada (ha)	Frequência (%)
Área construída	0,52	0,305
Banco germoplasma	0,41	0,241
Solo exposto	3,72	2,188
Mata em regeneração	22,68	13,341
Mata densa	147,32	86,658

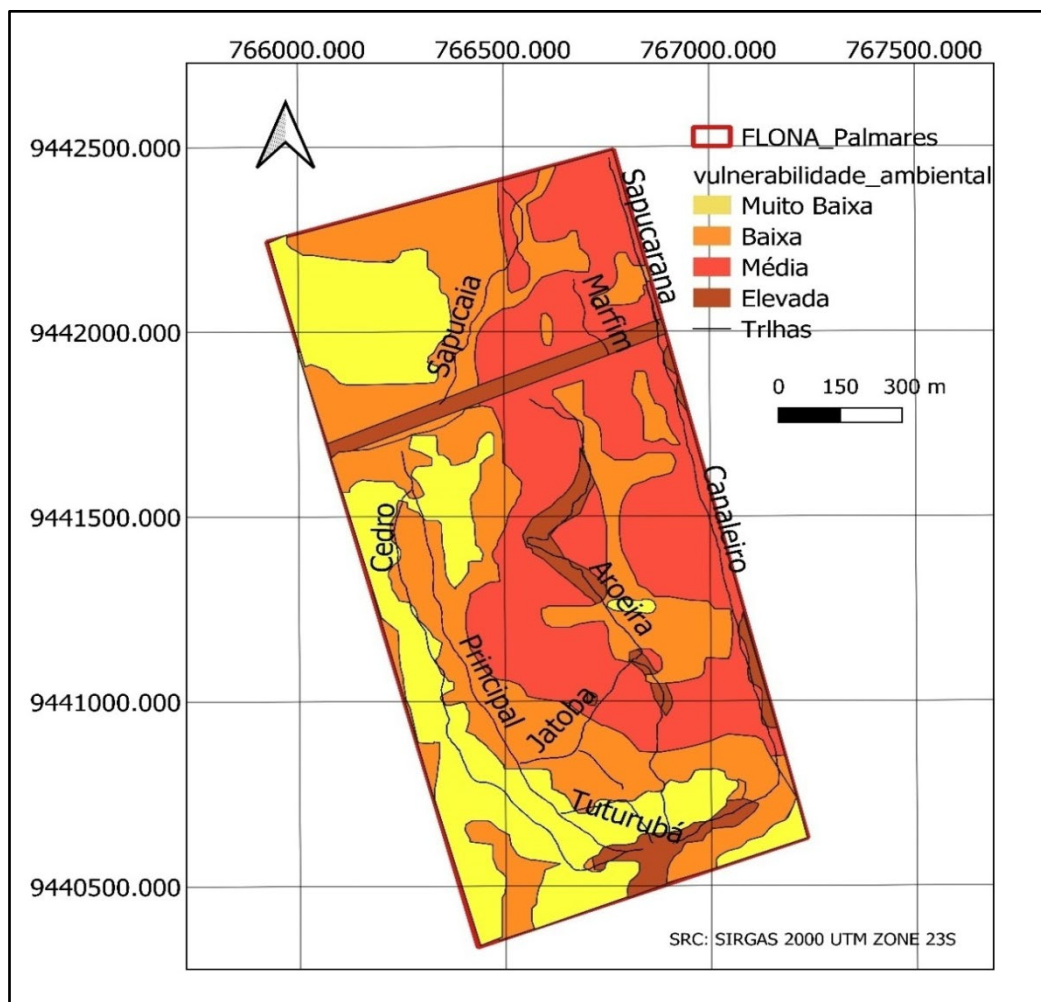
A partir da sede administrativa irradiam as trilhas da FLONA de Palmares (à exceção das Trilhas Sapucaia, Marfim e Sapucarana). As trilhas correspondem à principal atividade de ecoturismo da unidade de conservação e são nomeadas segundo a espécie mais representativa do trajeto. É possível observar que a Trilha do Caneleiro perpassa toda a extensão leste da FLONA de Palmares e termina na área de solo exposto, que corresponde a uma macroclasse considerada neste estudo. Comparando-se o traçado das trilhas às macroclasses de mata densa e mata em regeneração, pode-se verificar que a Trilha do Caneleiro está inserida inteiramente na área de mata em regeneração.

A área de solo exposto de 3,72 ha que atravessa a unidade de conservação no sentido leste-oeste corresponde ao traçado da linha de transmissão de energia (LTE) o qual deve ser mantido livre de vegetação para viabilidade de ocasionais serviços de reparo e trânsito de veículos da Companhia Hidrelétrica do Vale do São Francisco (CHESF). Brandão (2020), em sua proposta de zoneamento para a FLONA de Palmares, enquadra essa área na zona de uso conflitante. Uma alternativa de compatibilização seria o estabelecimento controlado de vegetação rasteira. Sabe-se que devido à infraestrutura energética, nesta área é inviável a manutenção de estratos superiores. A Figura 4 apresenta a área descrita.



**Figura 4.** Área de solo exposto na FLONA de Palmares.

A Figura 5 retrata o mapa de vulnerabilidade ambiental obtido mediante AHP. Como se verifica, a região encontra-se classificada em níveis crescentes de vulnerabilidade (muito baixa, baixa, média e elevada).



**Figura 5.** Mapa de vulnerabilidade ambiental da FLONA de Palmares.

De modo geral, os graus de vulnerabilidade distribuem-se desigualmente ao longo do território da unidade de conservação, à exceção da faixa de alta vulnerabilidade, coincidente com a região de solo exposto. A área de vulnerabilidade muito baixa, predominante na porção oeste da FLONA, apresenta pontos esparsos de elevada vulnerabilidade. A Tabela 7 apresenta a participação das classes em termos de áreas ocupadas.

**Tabela 7.** Classes de vulnerabilidade e frequências de distribuição.

Classe de vulnerabilidade	Área (ha)	Frequência (%)
Muito baixa	41,12	24,95
Baixa	68,58	40,62
Média	53,46	31,66
Alta	4,68	2,77

Verifica-se que em termos percentuais a maior parte do território da FLONA de Palmares posiciona-se na Classe de Baixa Vulnerabilidade (40,62%). A área que abrange a classe de “Muito Baixa Vulnerabilidade” compreende a porção destacada em amarelo no mapa e, quando comparada em conjunto ao mapa de declividade e hipsometria, integra também as regiões de menores declives e cotas (planícies e relevos levemente ondulados). Contudo, ao longo do território, verificam-se focos concentrados de vulnerabilidade média (31,66%) e alta (2,77%). Três regiões em especial destacam-se quanto à vulnerabilidade, a porção leste coincidente com as Trilhas Caneleiro e Sapucarana, a porção central da FLONA coincidente com as partes mais íngremes da Trilha da Aroeira e a área de solo exposto da Linha de Transmissão de Energia.

## Conclusões

A partir das metodologias aplicadas neste trabalho, logrou-se determinar a vulnerabilidade da FLONA de Palmares, o mapa de vulnerabilidade ambiental, pautado em análise multicritério e considerando os atributos ambientais declividade, pedologia, bem como o uso e ocupação do solo. Verificou-se que, a partir desse produto, a gestão da unidade de conservação pode identificar áreas prioritárias quanto aos riscos de erosão e ampliar o detalhamento da classificação das trilhas da floresta, com o intuito de resguardar os praticantes de ecoturismo e os atributos ambientais. Com base nos mapas temáticos dos atributos ambientais, foram inferidas alternativas de manejo, como a sugestão da manutenção de uma vegetação rasteira na região de solo exposto da linha de transmissão de energia para que sejam mitigados os efeitos dos processos erosivos ou a ressalva acerca das percepções do turista para com o passeio realizado na FLONA, considerando-se que a escolha da trilha dependerá também dos atributos ambientais mais relevantes ao visitante.

Percebeu-se ainda que a vulnerabilidade ambiental no território da unidade de conservação apresenta-se de modo concentrado na porção norte, coincidente com o caminamento da Linha de Transmissão de Energia. Outro ponto de vulnerabilidade elevada relativamente concentrada é a extensão que envolve a Trilha do Caneleiro, principalmente pelas características da vegetação predominantemente em regeneração, e as porções mais íngremes da Trilha da Aroeira. Considera-se que o mapa de vulnerabilidade possa auxiliar o manejo das trilhas sob diferentes condições atmosféricas (tempo variável), principalmente mediante prevenção de ações que agravem processos erosivos durante o período chuvoso.

## Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

## Referências

Barbosa, L. G. **Análise de sistemas em biogeografia**: estudo diagnóstico da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí, Brasil. Presidente Prudente: UNESP, 2015. (Dissertação de mestrado).

Bezerra, G. S. C. L.; Carvalho, R. M. C. M. O.; Lira, M. R. C. C.; Frutuoso, M. N. M. A.; Brandão, S. S. F. Política pública e o desafio da participação social na gestão de unidades de conservação. **HOLOS**, v. 6, p. 117-129, 2018. <https://doi.org/10.15628/holos.2018.4486>

Brandão, M. L. S. M. **Elaboração de proposta de Zoneamento Ecológico Econômico para a Floresta Nacional de Palmares, Altos-PI**. Teresina: Instituto Federal do Piauí, 2020. (Trabalho de conclusão de curso).

Brasil. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19985.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2020.

Brasil. **Decreto de 21 de fevereiro de 2005.** Cria a Floresta Nacional de Palmares, no Município de Altos, Estado do Piauí, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10454.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10454.htm)>. Acesso em: 12 jan. 2020.

Cunha, R. C.; Dupas, F. A.; Pons, N. A. D.; Tundisi, J. G. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos-SP. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

Feitosa, A. A.; Nunes, R. P.; Leite, A. C. S.; Carneiro, E. L. N. C. Georreferenciamento das trilhas da Floresta Nacional de Palmares. Anais do VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas, IFTO, 2012. Disponível em: <<https://propi.iftto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii>>. Acesso em: 21 ago. 2021.

Guimarães, C. L. **Análise multicritério na determinação dos riscos à degradação ambiental da Bacia Hidrográfica do Açude Cachoeira dos Alves, Itaporanga-PB.** Campina Grande: UFCG, 2012. (Tese de doutorado).

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de vistoria técnica:** estudos e levantamentos prévios para criação de floresta nacional. Teresina: IBAMA-PI, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeto RADAM BRASIL. Folha SB23-pedo. IGC, 1 carta. Escala 1:250.000, 2018. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas.html>>. Acesso: 12 nov. 2021.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Base de dados:** painel dinâmico de informações. Brasília: ICMBio, 2020. Disponível em: <[http://qv.icmbio.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc2.htm?document=painel\\_corporativo\\_6476.qvw](http://qv.icmbio.gov.br/QvAJAXZfc/opendoc2.htm?document=painel_corporativo_6476.qvw)>. Acesso em: 15 fev. 2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **TOPODATA Brasil:** banco de dados geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2021. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

Kreitlow, J. P.; Silva, J. S. V.; Neves, S. M. A.; Neves, R. J.; Neves, L. F. S. Vulnerabilidade ambiental e conflito no uso da terra no Município de Mirassol d'Oeste, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 10, p. 1917-1936, 2016. <https://doi.org/10.14393/rbcv68n10-44292>

Leopoldo, N. C. M.; Costa, T. G. A.; Iwata, B. F.; Toledo, C. E. Vulnerabilidade ambiental do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba-PNNRP. **Gaia Scientia**, v. 14, p. 33-42, 2020.

Lima, L. P. Z.; Louzada, J. Carvalho, L. M. T.; Scolforo, J. R. S. Análise da vulnerabilidade natural para implantação de unidades de conservação na Microrregião da Serra de Carrancas, MG. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 151-159, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000200002>

Lopes, J. C. R. **Floresta nacional**: implantação, gestão e estudo de caso: FLONA de Palmares. Teresina: UFPI, 2007. (Dissertação de mestrado).

Queiroz, H. A. A. **Classificação da faixa litorânea através do Índice de Vegetação NDVI e sua correlação com a vulnerabilidade à erosão costeira**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017. (Dissertação de mestrado).

Ramos, R. A. **Localização industrial**: um modelo especial para o noroeste de Portugal. Braga: Universidade do Minho, 2000. (Dissertação de doutorado).

Reis, T. E.; Costa, V. C. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), com o uso de SIG. **Geosul**, v. 32, n. 63, p. 77-96, 2017. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n63p77>

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-73, 1994. <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>

Santos, M. V. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Mato Grosso**. Campo Grande: Governo do Estado do Mato Grosso, SEPLAN, 2000.

Silva, A. S.; Silva, I. F.; Bandeira, L. B.; Dias, B. O.; Silva Neto, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130789>

Silva, G. G. L. **Classificação do grau de dificuldade de trilhas**: uso de geoprocessamento na elaboração de um modelo aplicado ao Parque Nacional do Itatiaia, Brasil. São Paulo: USP, 2016. (Dissertação de mestrado).

Silva, M. V. S.; Silva, B. C. S.; Lima, I. F. Análise da vulnerabilidade ambiental do Município São João da Ponta-PA: o uso do geoprocessamento na gestão de unidades de conservação. **Revista Cerrados**, v. 18, n. 1, p. 159-188, 2020. <https://doi.org/10.22238/rc2448269220201801159188>

USGS - United States Geological Survey. Earth Explorer. LandSat8 OLI/TIRS C1 Level-1. Resolução 30 M. Reston: USGS, 2020. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 jul. 2020.

Ventura, S. J.; Miranda, L. C.; Silva, E. V. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no Médio Curso do Rio Ceará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 258-261, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.001.0021>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.