



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Multi-Criteria Decision Analysis as Subsidy for the Determination of Suitability Areas to Achieve Goals in National Parks*

Francisco Hiályson Fidelis Medeiros¹, Vitor de Oliveira Lunardi², Diana Gonçalves Lunardi³

¹ Mestre em Ambiente, Tecnologia e Sociedade pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Tel.: (+55 84) 99867-2947, hialysonfidelis@gmail.com (corresponding author). ² Doutor em Ecologia pela Universidade de Brasília (UnB). Laboratório de Ecologia Evolutiva e Molecular (ECOMOL), Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), CEP: 59.625-900, Mossoró (RN), Brasil, lunardi.vitor@ufersa.edu.br. ³ Doutora em Psicobiologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Tecnologia e Sociedade (PPGATS), Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), CEP: 59.625-900, Mossoró (RN), Brasil, lunardi.diana@ufersa.edu.br.

* Part of the master's thesis of the first author.

Artigo recebido em 09/11/2021 e aceito em 16/05/2022

ABSTRACT

The management of spatial information and governance has been increasingly important in the environmental planning of protected areas, therefore, it is necessary to create decision-making models that help in this process. In this paper, we present the areas of aptitude for achieving the goals of the Fuma Feia National Park and its Buffer Zone, through multi-criteria decision analysis. We collected, processed, and spatialized the data in a Geographic Information System. We defined five goals for the creation of the Fuma Feia National Park: (i) preservation of the speleological complex, (ii) biodiversity, (iii) scientific development, (iv) education and tourism, and (v) socioeconomic development, and we selected two criteria general and five specific criteria for each goal. For the multi-criteria decision analysis, all identified criteria were mapped and organized and later weighted using the Analytical Hierarchy Process. We build the suitability maps through weighted linear combinations using map algebra techniques. We spatialized and characterized 15 criteria and 25 sub-criteria, which resulted in five suitability maps. Individually, each of the suitability maps provided territorial indicators for achieving the five goals of the Fuma Feia National Park. From the aptitude data generated, it is possible to visualize the strengths and weaknesses in the territory. The multi-criteria decision analysis integrated into the Geographic Information System was promising for the determination of strategic areas to reach the goals, facilitating the decision-making process.

Keywords: Geoprocessing; Environmental Planning; Protected Area; Environmental Zoning.

Análise de Decisão Multicritério como Subsídio a Determinação de Áreas de Aptidão para Alcance de Objetivos em Parques Nacionais

RESUMO

A gestão de informações espaciais e a governança têm sido cada vez mais importantes no planejamento ambiental de áreas protegidas, portanto, se faz necessário a criação de modelos de tomada de decisão, que auxiliem nesse processo. Neste artigo, são apresentadas as áreas de aptidão para o alcance dos objetivos do Parque Nacional da Fuma Feia e seu entorno, por meio da análise de decisão multicritério. A coleta, tratamento e espacialização dos dados foram realizados em um Sistema de Informação Geográfica. Foram definidos cinco objetivos de criação do Parque Nacional da Fuma Feia: (i) preservação do complexo espeleológico, (ii) da biodiversidade, (iii) desenvolvimento científico, (iv) educação e turismo e (v) desenvolvimento socioeconômico, sendo selecionados dois critérios gerais e cinco critérios específicos para cada objetivo. Para a análise de decisão multicritério, todos os critérios identificados foram mapeados e organizados e posteriormente ponderados por meio do Analytical Hierarchy Process. A construção dos mapas de aptidão foi realizada pela combinação linear ponderada usando técnicas de álgebra de mapas. Foram espacializados e caracterizados 15 critérios e 25 subcritérios, que resultaram em cinco mapas de aptidão. Individualmente, cada um dos mapas de aptidão forneceu indicadores territoriais para o alcance dos cinco objetivos do Parque Nacional da Fuma Feia. Os dados de aptidão gerados possibilitaram visualizar as potencialidades e fragilidades no território. A análise de decisão multicritério integrada ao Sistema de Informação Geográfica mostrou-se promissora para a determinação de áreas estratégicas para o alcance dos objetivos, facilitando o processo de tomada de decisão.

Palavras-Chave: Geoprocessamento; Planejamento Ambiental; Unidade de Conservação; Zoneamento Ambiental.

Introdução

As Áreas Protegidas enfrentam uma série de dilemas quanto a sua efetividade na preservação da biodiversidade global. Apesar das Áreas Protegidas ocuparem 15% da superfície terrestre, com perspectiva de alcançar 30% até 2030, é necessário estar atento às ameaças que comprometem essas Áreas Protegidas (Shrestha et al., 2021). Essas ameaças surgem de diferentes cenários, como o desenvolvimento econômico acelerado, sem adoção de critérios ambientais (Chunye e Delu, 2017) e ameaças sazonais relacionadas às características climáticas e culturais, que influenciam no maior ou menor uso dos recursos ou espaços naturais (Araripe et al., 2021; Shrestha et al., 2021). Adicionalmente, há outros dilemas como a baixa conectividade entre as Áreas Protegidas, o que dificulta o alcance de metas de conservação (Assis et al., 2021), ou ainda a ausência de modelos de governança eficientes que promovam o controle do território e o aumento da participação equitativa, trabalho e renda (Jeronymo et al., 2021; Chaves e Barros, 2022).

Diante da complexidade de dilemas enfrentados pelas Áreas Protegidas, é preciso que sejam adotadas estratégias que possam conectar e discutir os enfrentamentos de forma global, considerando a atuação sinérgica que diferentes tipos de ações possam impactar de forma negativa a proteção da biodiversidade e o desenvolvimento sustentável (Karimi e Adams, 2019). A adoção de estratégias pensadas nesse contexto de atuação agrupa ferramentas que permitem lidar com complexos e múltiplos bancos de dados. A partir disso, são utilizados os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem analisar de forma relacionada diferentes características de uma mesma área. Essa possibilidade de se desenvolver análises individuais e também integradas promove o aumento das informações espaciais, e consequentemente gera análises de múltiplos e variados critérios (Karimi e Adams, 2019; Santos et al., 2019).

A análise de decisão multicritério é um método que permite a ampliação de resultados para serem aplicados ou para apoiarem a tomada de decisão. Este método permite a avaliação de alternativas, denominadas de critérios, para atingir objetivos específicos. Com o auxílio do SIG, os resultados da análise de decisão multicritério são espacializados e então as dinâmicas podem ser compreendidas da melhor forma possível, traduzindo análises numéricas em exposições visuais dos critérios e objetivos que estão em

análise. Uma das grandes vantagens da aplicação das técnicas de análise de decisão multicritério é sua adequabilidade. Dessa forma, é possível definir uma diversidade de tipos de avaliação multicritério, como aqueles voltados a determinação de cenários futuros, priorização de processos, adequabilidade e aptidão (Eastman, 2012; Zhang et al., 2013).

A segmentação de áreas de aptidão, desenvolvida com uso das ferramentas de análise de decisão multicritério, tem como principal objetivo apresentar os espaços territoriais aptos ao desenvolvimento de atividades e usos. A definição dessa aptidão deve ser preferencialmente realizada considerando objetivos iniciais. A partir desses objetivos, são definidos os critérios que podem contribuir ou prejudicar o seu alcance. Assim como nos demais usos da análise de decisão multicritério, a aptidão também tem como principal objetivo auxiliar na tomada de decisão. Esta aptidão indica onde os recursos, sejam eles financeiros ou humanos, devem ser usados dentro do território. A aptidão indica se os recursos devem ser utilizados para maximizar o alcance dos objetivos, em áreas onde essa aptidão é alta, ou a aptidão pode ser usada para minimizar impactos, em áreas de baixa aptidão (Eastman, 2012; Karimi e Adams, 2019; Santos et al., 2019).

Para essa pesquisa, observa-se que, assim como em outras áreas protegidas, os Parques Nacionais no bioma Caatinga não têm alcançado adequadamente seus objetivos de conservação, em virtude do atraso na elaboração dos planos de manejo, e da ausência de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão (Barros e Leuzinger, 2019). A governança associada a ferramentas de planejamento e gestão do território pode proporcionar forte impacto na preservação da biodiversidade, evitando perdas, alterações e fragmentação de habitats (Jeronymo et al., 2021; Chaves e Barros, 2022). Portanto, a análise de decisão multicritério, aplicada à espaços territoriais protegidos, pode favorecer o aumento da efetividade de proteção da biodiversidade, auxiliando no planejamento e gestão ambiental do território, e consequentemente contribuindo para a construção de um modelo de tomada de decisão (Cavalcante et al., 2020).

O objetivo deste estudo é demonstrar a aplicabilidade de uma metodologia que integra a análise de decisão multicritério ao Sistema de Informação Geográfica, para apoiar o alcance de objetivos de criação de Parques Nacionais. O Parque Nacional da Fumaça, único Parque

Nacional do estado do Rio Grande do Norte até o momento, foi utilizado como estudo de caso. A coleta de informações e a escolha de critérios de análise foram realizados por meio de processos participativos, registro de dados na área de estudo e consulta a bancos de dados institucionais. Este estudo é o primeiro a apresentar a aplicabilidade de análise de decisão multicritério, associada ao SIG, em um Parque Nacional da Caatinga, com o objetivo de subsidiar o alcance de metas de conservação e de desenvolvimento socioeconômico. A abordagem descrita nesse estudo poderá ser aplicada a contextos semelhantes no Brasil, auxiliando no processo de aumento da efetividade de Áreas Naturais Protegidas.

Metodologia

Área de estudo

O Parna Fuma Feia foi criado por Decreto Presidencial em 05 de junho de 2012, e tem por

objetivos a preservação do complexo espeleológico da caverna Fuma Feia, bem como a biodiversidade do bioma Caatinga existente em seus limites, onde é permitido a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. A área oficial do Parna Fuma Feia (Figura 1) compreende 8.493 ha e mais 25.323 ha, em sua Zona de Amortecimento, totalizando aproximadamente 33.816 ha (BRASIL, 2012).

O Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento estão situados no estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, mais precisamente entre os municípios de Baraúna e Mossoró. O acesso à Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia pode ser realizado através da rodovia estadual RN-015 que liga Mossoró à Baraúna, na entrada da Comunidade de Juremal, ou pela BR-304, no assentamento Eldorado dos Carajás II.

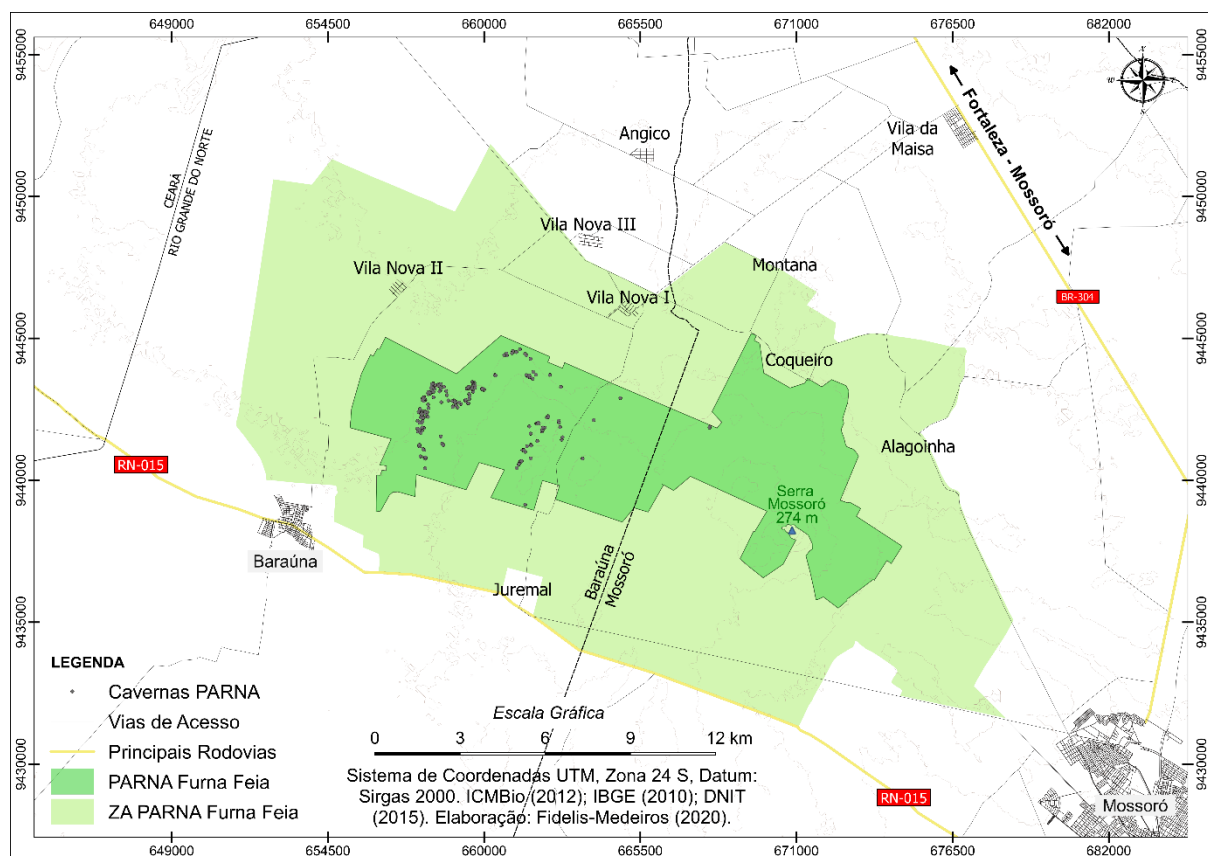


Figura 1. Localização do Parque Nacional da Fuma Feia (PARNA Fuma Feia) e sua Zona de Amortecimento (ZA), entre os municípios de Mossoró e Baraúna, Rio Grande do Norte, Brasil. Fonte: Elaborado pelos autores (2020) com dados do ICMBio (2012), IBGE (2013) e DNIT (2015).

Procedimentos metodológicos

A metodologia proposta para essa pesquisa possui um caráter interdependente e sequencial, no qual os resultados de cada fase são utilizados nas

etapas seguintes de forma integrada. De maneira geral, a integração da análise de decisão multicritério e do SIG é composta por quatro fases, sendo elas: a) levantamento e caracterização dos

critérios; b) Análise de Decisão Multicritério – fase de normalização; c) Análise de Decisão Multicritério – fase de ponderação e d) Definição das áreas de aptidão.

Levantamento e caracterização dos critérios

Os objetivos do Parna Fuma Feia, definidos em seu decreto de criação, incluem: (i) preservar o complexo espeleológico do Parna Fuma Feia e a biodiversidade associada ao bioma Caatinga; (ii) dar apoio às pesquisas científicas e (iii) desenvolver atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. Para esta pesquisa, os objetivos passaram por uma releitura com a intenção de possibilitar análises mais específicas de cada objetivo. Dessa forma, foram definidos os seguintes objetivos: (i) preservar o complexo espeleológico do Parna Fuma Feia; (ii) preservar a biodiversidade associada ao bioma Caatinga; (iii) apoiar pesquisas científicas e extensão universitária; (iv) desenvolver atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza, e turismo ecológico e (v) fomentar o desenvolvimento socioeconômico das comunidades inseridas na Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia.

A escolha dos critérios de análise para cada um dos objetivos foi realizada por meio de uma oficina de planejamento. Na ocasião, participaram desta oficina profissionais da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), Universidade Federal Rural do Semi-Árido

(UFERSA), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). A escolha de especialistas apresentou, como critérios principais a familiaridade das e dos participantes com o Parna Fuma Feia, incluindo pessoas gestoras deste Parna, moradoras e moradores da região e profissionais da biologia, ecologia e geografia, experientes em temas centrais, como espeleologia, conservação da natureza, educação e desenvolvimento científico e social. As pessoas participantes foram divididas em grupos, sendo cada grupo responsável por um objetivo do Parna Fuma Feia. A tarefa consistiu em refletir sobre os principais elementos que contribuem para o alcance desses objetivos. Posteriormente, cada grupo apresentou os seus critérios, mas a etapa de avaliação e validação desses critérios contou com a participação de todas as pessoas participantes.

A partir dos dados da oficina e visando atingir um tamanho amostral igual para todos os objetivos, foi definido o limite de sete critérios por objetivo. A escolha desses critérios se deu pela disponibilidade de informações, bem como a possibilidade de mapeamento dos mesmos em tempo hábil para a pesquisa. Cinco critérios são comuns a todos os objetivos: Distância das Estradas, Distância das Trilhas, Distância das Comunidades e Loteamentos, Ações Potencialmente Geradoras de Impacto e Uso e Ocupação da Terra. Outros dois critérios são específicos a cada um dos objetivos (Tabela 1).

Tabela 1. Relação dos critérios específicos usados na análise de decisão multicritério para cada um dos objetivos de criação do Parque Nacional da Fuma Feia, Rio Grande do Norte, Brasil.

CRITÉRIOS ESPECÍFICOS DE ACORDO COM OS OBJETIVOS					
Objetivos	1: Preservação do complexo espeleológico	2: Preservação da biodiversidade	3: Pesquisa científica e extensão universitária	4: Educação e Interpretação ambiental	5: Desenvolvimento socioeconômico das comunidades
Critérios específicos	Distância das Cavernas, Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos	Distância de Fontes de Água	Lacunas do Conhecimento	Atrações Turísticas	Abastecimento de Água
	Exploração Mineral	Registros de Caça	Patrimônio Espeleológico	Serviços Turísticos	Geração de Renda e Associativismo

O mapeamento de todos os critérios foi realizado a partir da obtenção de dados registrados na área de estudo, de levantamento de fontes documentais, imagens de satélite e operacionalização por meio da utilização de SIG a partir de uma abordagem quali-quantitativa. Foi utilizado o software livre *Quantum GIS*® no processo de organização do banco de dados geográfico. Dos 15 critérios, 14 deles foram

mapeados através de identificação e espacialização de informações representadas por pontos ou linhas, e um critério - Uso e Ocupação da Terra - foi mapeado através de polígonos. Para o mapeamento de uso e ocupação da terra, foram identificadas as suas respectivas classes. Em seguida, o mapeamento foi realizado por meio da técnica de fotointerpretação, com auxílio de imagens de satélite, classificação supervisionada de uso e

ocupação da terra, contendo classes de vegetação e agricultura e o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) do período de transição das estações chuvosa e seca do Bioma Caatinga.

A proposição das classes de vegetação do mapeamento temático de uso e ocupação da terra foi baseada no manual técnico de vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012). Foram utilizadas as tipologias Savana-Estépica Arborizada, que é formada por estratos arbustivo-arbóreo e gramíneo-lenhoso pouco espaçados. Já a Savana-Estépica Parque é formada por pequenas árvores, herbáceas e gramíneas, com distribuição bastante espaçada. Um ajuste feito nessa classificação foi a separação das áreas de afloramento rochoso e lajedos da tipologia Savana-Estépica Parque, possuindo sua própria classe de uso e ocupação da terra. Esse ajuste se deu em virtude da importância estratégica de afloramentos rochosos e lajedos para o alcance dos objetivos do Parna Furna Feia.

Análise de decisão multicritério – normalização dos critérios.

Para o processo de análise de decisão multicritério foram realizadas duas etapas primordiais, a normalização e a ponderação dos critérios, ambas realizadas no ArcGis®. Antes da normalização, todos os critérios passaram por uma conversão, do formato vetorial para o formato raster, com auxílio das ferramentas de conversão do ArcGis®. Nesse processo, todos os dados foram ajustados para uma resolução espacial de 10 m. Após a conversão, foi aplicado a ferramenta *Euclidean Distance* que calcula, para cada célula (pixel), a distância euclidiana e produz um raster métrico. Nesse raster, cada pixel adota um valor de distância com base na proximidade dos pixels iniciais, que são os arquivos vetoriais convertidos.

Para a normalização dos critérios, foi utilizado a ferramenta de análise espacial *Fuzzy Membership*. Essa ferramenta transforma um raster de entrada em uma escala de 0 a 1, indicando a força de uma associação em um conjunto, com base em um algoritmo de fuzzificação. Um valor 1 indica associação completa no conjunto, com a associação diminuindo para 0, indicando uma baixa relação. Dessa forma, os valores de todos os rasters são padronizados em uma única escala.

Com auxílio do *Fuzzy Membership* foi aplicada uma função de pertinência *fuzzy* linear crescente (FFLC) ou decrescente (FFLD), a depender da forma de impacto do critério sobre o objetivo. Quando o critério interferiu de maneira positiva para o alcance do objetivo, a função utilizada foi a decrescente, e quando o critério

interferiu de maneira negativa para o sucesso do objetivo, foi aplicado à função crescente.

Adicionalmente, cada um dos critérios foi avaliado para a extração de subcritérios. Estes subcritérios foram valorados de maneira subjetiva, mas considerando a importância ou o impacto deste subcritério para o alcance do objetivo. Para obter um processo de normalização mais consistente, cada critério foi normalizado após a atribuição de diferentes pesos para seus subcritérios. Com base nos pesos apresentados na tabela 2, foi aplicada a equação de Média Aritmética Ponderada (equação 1).

$$M_p = \frac{x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + \dots + x_n \cdot p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde, M_p é a Média Aritmética Ponderada, x_n é o valor dos dados, que nesse caso varia de 0 a 1, e p_n é o peso atribuído conforme a tabela 2. Dessa forma, todos os subcritérios foram normalizados e aplicados à equação 1. Posteriormente, os resultados finais foram igualmente normalizados, transformando os subcritérios no critério final ponderado.

O único critério que não foi normalizado por meio desses procedimentos foi o de uso e ocupação da terra, tendo em vista que o mesmo não é espacializado da mesma forma que os outros critérios e muito menos compartilha dos mesmos modelos matemáticos. Sendo assim, adotou-se, para o processo de avaliação, uma abordagem participativa com a aplicação de um questionário. As pesquisadoras, pesquisadores e especialistas selecionados (n=12) pontuaram cada uma das classes de uso e ocupação da terra dentro do contexto de cada objetivo. Como existem 10 classes, as notas variaram de 1 a 10, sendo o valor atribuído a cada classe um valor inteiro e não repetível, no qual o valor 10 representa que a classe tem “Muito Alta Aptidão” para o objetivo e o valor 1 “Muito Baixa Aptidão”. As notas atribuídas pelas pessoas especialistas foram tabuladas e calculou-se o valor médio das respostas de cada uma das classes de uso e ocupação da terra. Ao final, os valores médios obtidos foram organizados em um ranking, no qual a classe com maior valor médio recebeu o valor 1, a classe com o segundo maior valor médio recebeu 0,9 e assim sucessivamente até a classe de uso e ocupação pior avaliada, que recebeu 0. Para a normalização do critério de uso e ocupação da terra, esses dados foram inseridos na tabela de atributos do arquivo vetorial e posteriormente convertidos para raster, transformando a nota atribuída a cada uma das classes em um valor de pixel.

O processo de normalização dos dados considerou a área de estudo em sua totalidade, incluindo os elementos identificados e mapeados para o Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento. Essa escolha metodológica se deu

pela necessidade de se construir um mapeamento mais integrado, indicando as interrelações dos elementos deste Parna e seu entorno, como proposto pela Teoria Geral dos Sistemas (ver Vale, 2012).

Tabela 2. Relação dos critérios e pesos dos subcritérios atribuídos para o cálculo de média aritmética ponderada, a ser aplicado para normalização final dos critérios de avaliação do Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

Objetivos	Critérios	Subcritérios Mapeados	Peso
Objetivos Gerais	Distância de Estradas	Rodovias Asfaltadas	4
		Estradas dentro do Parna Fuma Feia	3
		Estradas Vicinais	2
	Distância de Trilhas	Critério sem subcritérios	-
	Distância de Comunidades		
	Ações Potencialmente Geradoras de Impacto	Ações geradoras de impactos ambientais dentro do Parna Fuma Feia	5
		Atividades geradoras de impactos ambientais (com exceção da agricultura)	4
		Agricultura Irrigada	3
		Residências	2
	Uso e Ocupação da Terra	Não Aplicável	-
Objetivo específico 1	Distância das Cavernas e Lajedos	Cavernas	Peso Igual
		Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos	
	Exploração Mineral	Lavra e Licenciamento	4
		Pesquisa Autorizada	3
		Requisição para Pesquisa	2
Objetivo específico 2	Distância das Fontes de Água	Lagos, Lagoas e Açudes	4
		Rios e Riachos	3
		Drenagem Superficial	2
	Registros de Caça	Critério sem subcritérios	-
Objetivo específico 3	Lacunas do Conhecimento	Ações geradoras de impactos ambientais dentro do Parna Fuma Feia	6
		Rios e Riachos	5
		Comunidades	4
		Cavernas, Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos	3
		Trilhas	2
	Patrimônio Espeleológico	Cavernas	Peso Igual
		Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos	
Objetivo específico 4	Atrações Turísticas	Critério sem subcritérios	-
	Serviços Turísticos		
Objetivo específico 5	Abastecimento de Água	Critério sem subcritérios	-
	Geração de Renda e Associativismo	Associações	3
		Indústria	2
		Agricultura	
		Serviços Turísticos	

Análise de decisão multicritério – ponderação dos critérios

Para o processo de ponderação dos critérios, que determina quais são mais ou menos importantes para o alcance dos objetivos, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Saaty (1977; 2008), denominada *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Nesse procedimento, é construído uma matriz quadrada de comparação hierarquizada, que é preenchida com base em uma escala contínua subjacente, com valores de 1/9 a 9 (Tabela 3), para delimitar as preferências relativas de dois critérios. O valor 1/9 indica que um critério

é “extremamente menos importante” e o valor 9 implica que um critério é “Extremamente mais Importante” que o outro. Os outros valores dentro desse intervalo indicam quando um critério é “Muito Forte”, “Forte” ou “Moderadamente” menos ou mais importante, enquanto o valor 1 indica uma importância igual (Saaty, 1990; Malczewski et al., 2003; Gerber et al., 2008). O preenchimento da matriz foi realizado no *AHP Online Calculator*, desenvolvido pela *Business Performance Management Singapore* (BPMSG).

Tabela 3. Escala de classificação contínua usada para indicar o nível de importância de um critério sobre outro, aplicado para a ponderação dos critérios escolhidos para o Parque Nacional da Fuma Feia, Rio Grande do Norte, Brasil.

Extremamente Menos Importante	Muito Forte	Forte	Moderado	Igualmente	Moderado	Forte	Muito Forte	Extremamente Mais Importante
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9

FONTE: Saaty, 1977; 1990; Eastman, 2012.

Para cada um dos cinco objetivos foi construída uma matriz de comparação que foi preenchida com os respectivos valores e ordem de importância dos critérios. Para diminuir a subjetividade no processo de escolha das notas, foi aplicado um questionário a um grupo de 12 especialistas de áreas multidisciplinares com foco nas ciências ambientais, visando hierarquizar os critérios. Após a hierarquização, o preenchimento da matriz de comparação foi realizado com base na importância relativa de cada critério. Ao final foi gerado a razão de consistência que indicou o nível de assertividade, ou seja, a probabilidade de os valores atribuídos terem sido escolhidos aleatoriamente e/ou sem nenhum tipo de critério. Conforme a metodologia de Saaty (1977), para uma razão de consistência adequada, esse valor deverá ser menor que 0,1. No entanto, para esta pesquisa, a razão máxima de consistência adotada foi de 0,05.

Para a obtenção dos pesos após o preenchimento da matriz de comparação pareada, os valores abaixo da diagonal com valor 1 da matriz de comparação foram preenchidos pelo inverso dos elementos acima da diagonal. Determinado esses valores, foi aplicada a equação 2, que divide a média geométrica dos critérios (autovetor) pela soma dos autovetores, gerando um resultado dos pesos de cada critério normalizado.

$$w_i = \frac{(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{1/n}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{i=1}^n a_{ij})^{1/n}} \quad \text{Equação (2)}$$

Posteriormente foi determinado o autovalor λ_{max} conforme equação 3, onde e_{ij} é a soma das colunas da matriz de comparação pareada e W_j são os pesos relativos normalizados. O peso final informado pela equação 3 indica o nível de prioridade que um critério tem em relação ao conjunto de critérios de um mesmo objetivo.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_j e_{ij} * W_j \quad \text{Equação (3)}$$

Ao final desse processo, conforme a metodologia descrita por Saaty (1977), é necessário que seja verificado o índice de coerência das respostas, sendo usado a equação 4 para determinar esse nível de coerência. IC é o índice de consistência, λ_{max} é o valor máximo do autovalor e n é o número de critérios analisados.

$$IC = \frac{(\lambda - n)}{(n - 1)} \quad \text{Equação (4)}$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Equação (5)}$$

Finalmente, é calculada a razão de consistência final através da equação 5, onde RC (Razão de Consistência) é igual a IC dividido por IR (Índice Randômico Médio), que foi proposto por Saaty (1990), com base em experimentação. A

escolha do valor do IR baseia-se na quantidade de critérios. Como foram analisados sete critérios, o valor do IR é 1,32 (Tabela 4).

Tabela 4. Índice Randômico usado para o cálculo de Razão de Consistência dos critérios analisados para o Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
IR	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	...

Fonte: Saaty (1990).

Definição das Áreas de Aptidão

A determinação dos mapas de aptidão para cada um dos objetivos usou os dados gerados pela normalização e ponderação dos critérios e foi construído a partir da aplicação do método de Combinação Linear Ponderada (CLP), na calculadora Raster do ArcGis®. Com esse procedimento, os critérios foram combinados usando um peso para cada um dos critérios, seguido pela somatória dos resultados para produzir um mapa de aptidão final (Equação 6). Nesse mapa final, são apresentadas as áreas mais propícias para o alcance do objetivo estipulado (Eastman, 2012).

$$S = \sum W_i \cdot X_i \quad \text{Equação (6)}$$

S é a aptidão final, W_i é o peso do critério fornecido pelo AHP e X_i é o valor dos critérios normalizados. Posteriormente a esse procedimento, o resultado final foi submetido a uma reclassificação, sendo atribuídas quatro classes de aptidão aos objetivos (Tabela 5). A

reclassificação foi realizada por meio da caixa de ferramentas do System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) dentro do ambiente do Quantum GIS®, com auxílio da ferramenta K-Means Clustering for Grids usando o método Iterative Minimum Distance. O resultado da clusterização (mapa matricial) foi convertido em formato shapfile para mensurar a área ocupada por cada uma das classes de aptidão.

Tabela 5. Intervalo de classificação para agrupamento dos dados de aptidão (0 a 1) referente à Combinação Linear Ponderada para os objetivos do Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil. Legenda: > (maior que); ≤ (igual ou menor que).

Intervalo de Classificação	Nível de Aptidão
$0,75 < x \leq 1,00$	Muito Alta Aptidão
$0,50 < x \leq 0,75$	Alta Aptidão
$0,25 < x \leq 0,50$	Baixa Aptidão
$0,00 < x \leq 0,25$	Muito Baixa Aptidão

Resultados e discussão

Levantamento e caracterização dos critérios

Foram identificados no Parna Fuma Feia e em sua Zona de Amortecimento 227 km de estradas. Desse total, 207 km de estradas são caracterizadas como estradas vicinais, 16 km de rodovias, se tratando da RN-015 que faz fronteira ao sul da Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia, e 4 km de estradas que atravessam de norte a sul da parte central deste Parna. As trilhas ecológicas têm potencial para o desenvolvimento de atividades ecoturísticas, geoturísticas e científicas. Neste estudo, foram selecionadas seis trilhas com grande potencial: Fuma Feia (com 1,4 km de extensão), Fuma Nova (0,7 km), Pinga-Letreiro (2,3 km), Cedro (0,8 km), Virgílio (2,4

km) e Pedra Lisa (0,5 km). As trilhas Fuma Feia e Fuma Nova apresentam grande potencial para o Parna Fuma Feia, com diversos atrativos ecoturísticos e geoturísticos. As trilhas Pinga-Letreiro e Virgílio também apresentam atrativos ecoturísticos, e são comumente usadas no turismo pedagógico. Já as trilhas Cedro e Pedra Lisa ainda são pouco utilizadas e possuem uma extensão menor (Figura 2).

As 19 comunidades localizadas na Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia foram classificadas em assentamentos agrários, sítios e comunidades rurais. Destas, sete estão inseridas no município de Baraúna e outras 12 localizam-se no município de Mossoró. De maneira geral, estas comunidades possuem de 100 a 200 famílias, dispondo de infraestrutura pública mínima, como

escola de nível fundamental e unidade básica de saúde, que por vezes são compartilhadas entre comunidades. A base econômica destas comunidades é constituída principalmente por

atividades agrícolas, com a produção diversificada de frutos como melão, melancia, mamão, banana, tomate, milho e feijão (Figura 2).

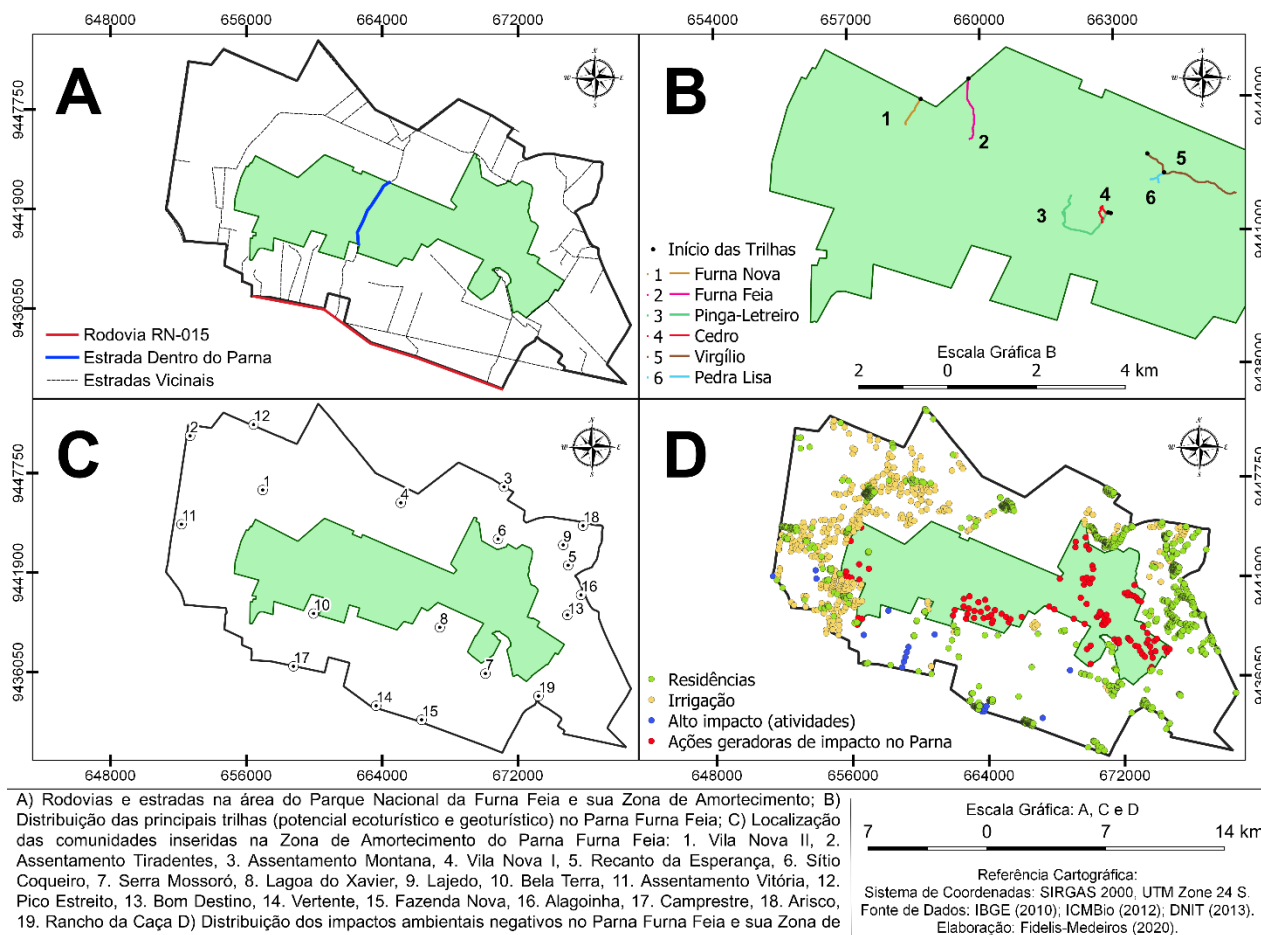


Figura 2. Espacialização dos critérios distância de estradas (A), distância de trilhas (B), comunidades rurais (C) e impactos ambientais negativos (D) presentes no Parque Nacional da Furna Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

No Parna Furna Feia, as ações potencialmente geradoras de impacto incluíram impactos ambientais negativos, já na Zona de Amortecimento deste Parna, foram incluídas as atividades socioeconômicas com potencial geração de impactos ambientais negativos. No Parna Furna Feia, foram identificadas 110 ações geradoras de impacto ambiental negativo caracterizadas como áreas queimadas ou desmatadas, e que estão concentradas principalmente nas extremidades leste e oeste deste Parna, e na região central próximo a estrada do Juremal. Entretanto, para a Zona de Amortecimento do Parna Furna Feia, foram identificados 1729 pontos com potencial atividade geradora de impactos ambientais negativos, sendo 350 pontos de atividades de agricultura irrigada, 1356 residências domiciliares que não possuem tratamento adequado para os resíduos sólidos e esgoto (ver Fidelis-Medeiros et

al., 2020) e outros 23 pontos de atividades industriais e/ou licenciáveis (Figura 2).

A figura 3 apresenta a espacialização das classes de uso e ocupação da terra identificadas no Parque nacional da Furna Feia, enquanto a tabela 6 apresenta a quantificação de cada uma das classes para o uso e ocupação da terra. A quantificação foi organizada em três recortes, sendo (A) Zona de Amortecimento; (B) Parna Furna Feia e (C) Zona de Amortecimento e Parna Furna Feia. Com base nos resultados obtidos, observou-se que 68,26% da área total é composta por áreas de Savana-Estépica Arborizada e Savana-Estépica Parque. Para o Parna Furna Feia, as duas classes de Savana-Estépica compreendem 89% da sua área, e as áreas de afloramentos rochosos e lajedos, 10,22%. Outras classes de uso e ocupação representativas foram as culturas de sequeiro e cultura irrigada, abrangendo 36,10% da Zona de Amortecimento do Parna Furna

Feia. Esse dado indica a relevância da produção agrícola na Zona de Amortecimento do Parna

Furna Feia, que está principalmente concentrada no município de Baraúna.

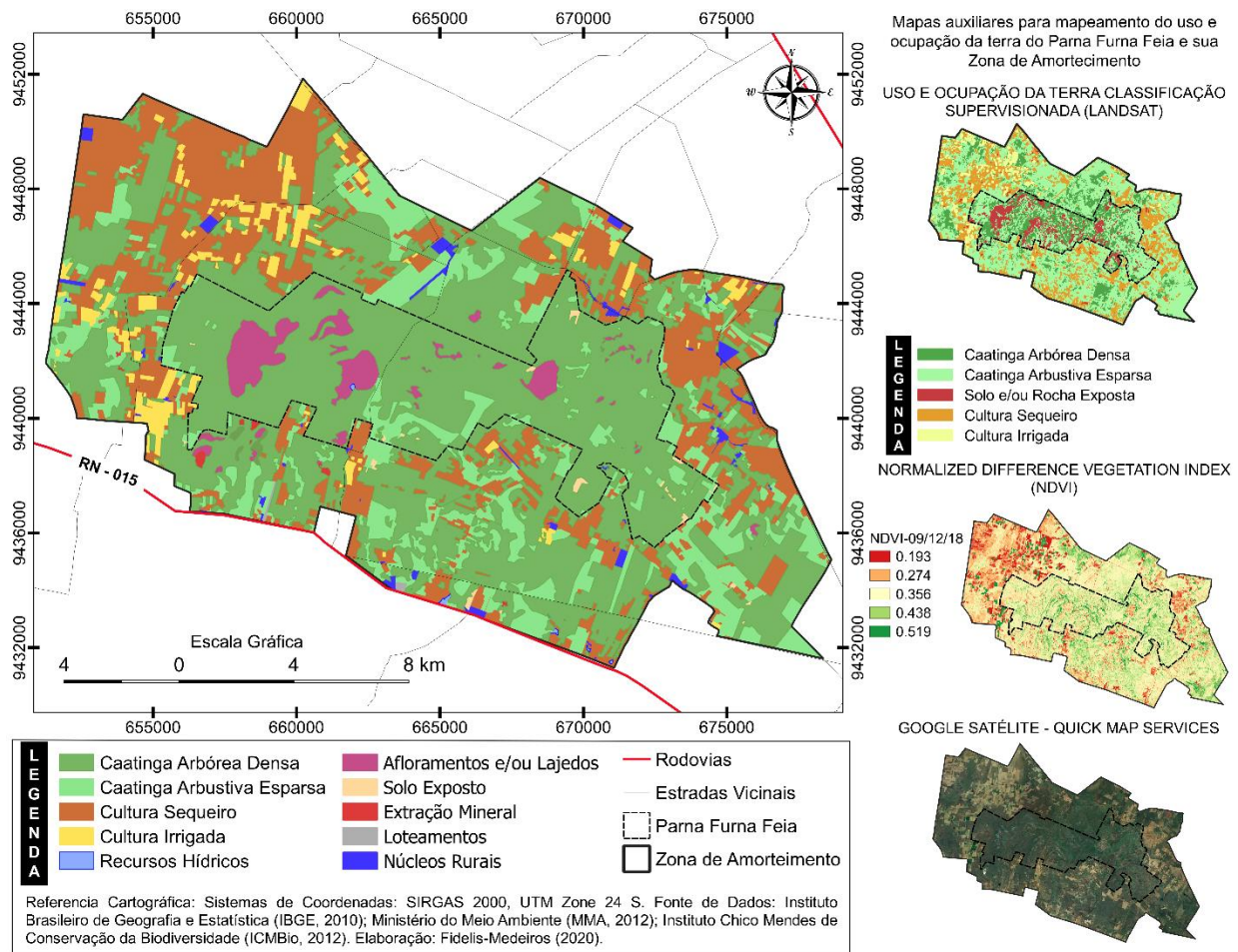


Figura 3. Espacialização das classes de uso e ocupação da terra do Parque Nacional da Furna Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

Tabela 6. Quantitativo das classes de uso e ocupação da terra para o Parque Nacional da Furna Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil. (A) Zona de Amortecimento; (B) Parna Furna Feia e (C) Zona de Amortecimento e Parna Furna Feia.

Classes de uso e ocupação da terra	A		B		C	
	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
Savana-Estépica Arborizada	10.951	43,28	6.942	81,76	17.893	52,93
Savana-Estépica Parque	4.566	18,03	614	7,22	5.180	15,33
Cultura de Sequeiro	8.087	31,93	-	-	8.087	23,92
Cultura Irrigada	1.057	4,17	-	-	1.057	3,13
Recursos Hídricos	16	0,06	4	0,04	20	0,05
Afloramento e/ou Lajedos	117	0,46	868	10,22	985	2,91
Solo Exposto	30	0,11	65	0,76	95	0,28
Extração Mineral	47	0,18	-	-	47	0,13
Loteamentos	26	0,10	-	-	26	0,07
Núcleos Rurais	426	1,68	-	-	426	1,25
Total	25.323	100	8.493	100	33.816	100

Com relação aos critérios específicos (Figura 4), foram espacializados 250 pontos de cavernas, conforme dados do Centro Nacional de

Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), sendo 52 cavernas localizadas na Zona de Amortecimento do Parna Furna Feia. A maior parte

das cavernas neste Parna está concentrada na região oeste, que inclui também as cavernas com maiores destaques, como a Furna Feia e a Furna Nova. Além disso, foram identificados 985 ha de lajedos e/ou afloramentos rochosos que integram a riqueza espeleológica da área de estudo.

As características geológicas do Parna Furna Feia e sua Zona de Amortecimento podem despertar o interesse de empresas pela exploração mineral na região. Conforme dados da Agência Nacional de Mineração (ANM, 2020), existe uma grande procura por dados geológicos na região, com solicitações que incluem toda a Zona de Amortecimento do Parna Furna Feia. Existem 15 requisições para prospecções e pesquisas, sete requisições autorizadas para início de pesquisa e cinco autorizações para licenciamento e lavra. Essas atividades em operação estão concentradas principalmente na região sul da Zona de Amortecimento, com a extração de calcário para a indústria química, e de fabricação de cal e extração de areia para a construção civil.

Os rios e riachos percorrem 46 km no Parna Furna Feia e sua Zona de Amortecimento, concentrando-se principalmente na região sudeste, onde também se encontram 18 lagoas ou açudes, sendo seis localizadas dentro do Parna Furna Feia. Foram identificados ainda 77 km de redes de drenagem, que percorrem a região oeste da Zona de Amortecimento, onde se concentra a maior parte das áreas agrícolas. Foram também registrados oito registros de caça, que incluíam autuações ou vestígios, como fogueiras, pegadas ou equipamentos de caça.

As lacunas do conhecimento incluíram seis subcritérios, sendo: (i) Cavernas, Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos, (ii) Ações Geradoras de Impactos Ambientais no Parque Nacional da Furna Feia, (iii) Trilhas Ecológicas, (iv) Comunidades Rurais, (v) Lagoas ou Açudes e (vi) Rios e Riachos. A espacialização desses subcritérios ocupa toda a área de estudo e demonstra a necessidade de pesquisas científicas em várias áreas do conhecimento. O critério patrimônio espeleológico demonstra a importância e relevância das cavernas

e lajedos para o conhecimento científico do Parna Furna Feia, em virtude da grande concentração desses elementos na área de estudo.

Na Zona de Amortecimento do Parna Furna Feia, registrou-se uma carência de atrações turísticas. Por exemplo, nesta Zona, foi identificado apenas a Serra Mossoró, que possibilita uma visão do Parna Furna Feia a 274 m de altitude. Já no Parna Furna Feia, as atrações turísticas incluem as principais trilhas ecológicas que conduzem o visitante às principais cavernas deste Parna. Para os serviços turísticos, foram incluídos oito restaurantes localizados na Zona de Amortecimento. Nesta Zona, não foram identificados locais para hospedagem. Esse tipo de infraestrutura só está presente na comunidade de Juremal, localizada nas proximidades de uma das entradas do Parna Furna Feia e fora dos limites de sua Zona de Amortecimento.

Foram identificadas 10 comunidades com abastecimento regular de água, mas apenas duas comunidades são abastecidas com água encanada fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). As outras comunidades dispõem de poços profundos ou são beneficiadas por poços de outras comunidades vizinhas. A geração de renda é proveniente, principalmente, da agricultura, com presença de atividades industriais e serviços turísticos. Para o associativismo, foram identificadas sete associações ativas e com participação do conselho consultivo do Parna Furna Feia, sendo elas: (i) Associação do Projeto de Assentamento de Reforma Agrária Renascer do Vila Nova II, (ii) Associação de Moradores do Sítio Coqueiro, (iii) Associação do Projeto de Assentamento de Reforma Agrária da Fazenda Xavier, (iv) Associação do Projeto de Assentamento de Reforma Agrária Maísa da Vila Nova I, (v) Associação de Pequenos Produtores Rurais da Comunidade Rancho da Caça, (vi) Associação de Produtores Agrícolas da Montana no Eldorado dos Carajás II e (vii) Associação da Agricultura Familiar Bela Terra.

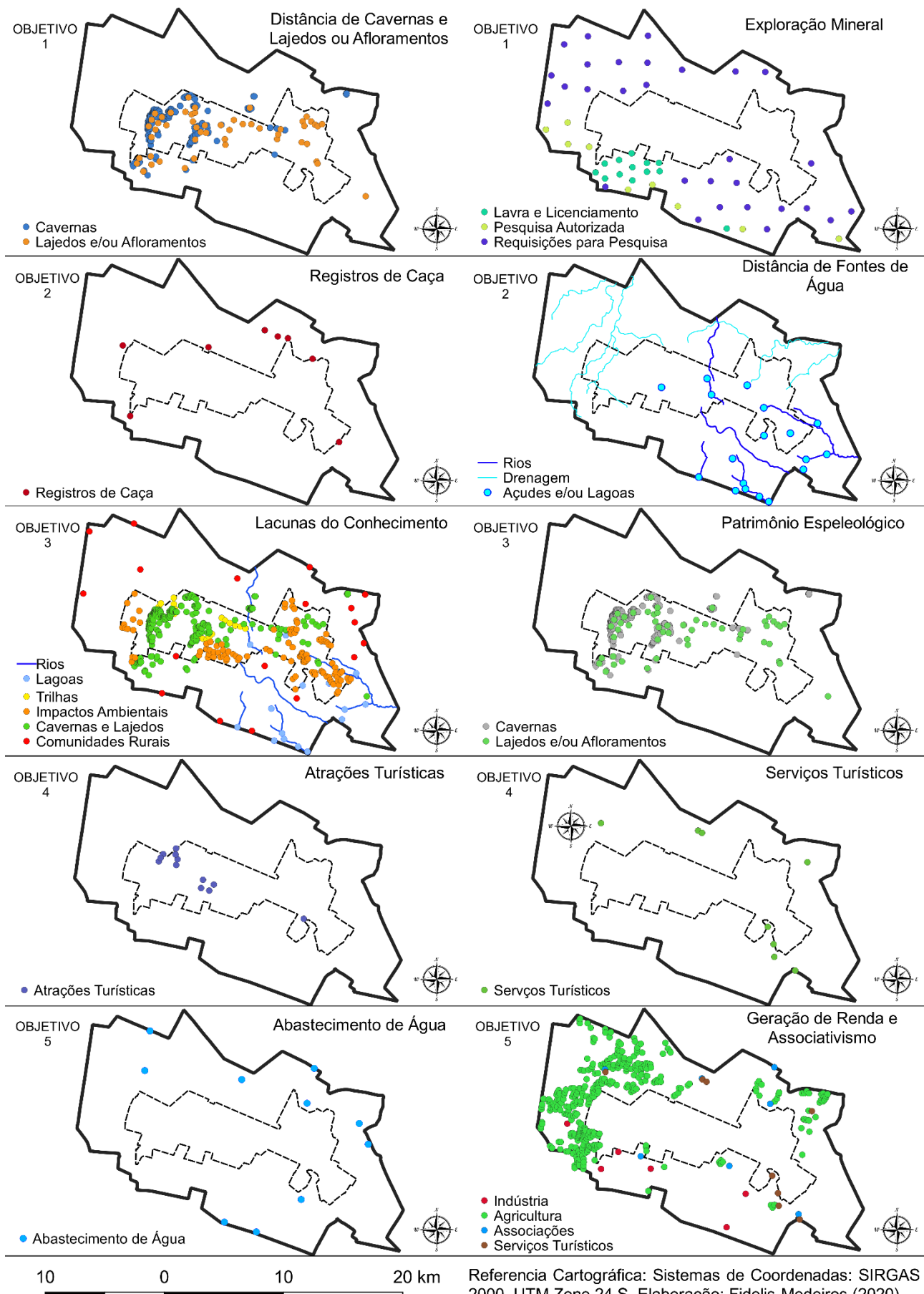


Figura 4. Espacialização dos critérios específicos dos cinco objetivos do Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

Análise de decisão multicritério

A normalização dos critérios gerou 35 dados matriciais, que correspondem a cada grupo de sete critérios para os cinco objetivos. No objetivo 1, apenas o critério Distância das Cavernas, Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos foi normalizado usando a Função *Fuzzy Linear Decrescente* (FFLD), o que quer dizer que a presença desse critério contribuiu positivamente com o objetivo de preservação do complexo espeleológico. Os outros seis critérios foram considerados limitantes para o alcance do objetivo, e por isso foi utilizado a Função *Fuzzy Linear Crescente* (FFLC). O uso da FFLC indica que quanto mais distante dos critérios espacializados, maior será a aptidão do território para o alcance dos objetivos propostos.

O objetivo 2 seguiu a mesma característica do objetivo 1, com apenas um critério normalizado pela FFLD, sendo a Distância de Fontes de Água, um importante critério para o alcance da preservação da biodiversidade do bioma Caatinga. Para o objetivo 3, que visa apoiar o desenvolvimento de pesquisas científicas e extensão universitária, todos os critérios foram normalizados pela FFLD, em razão da necessidade de compreender os diversos elementos (físicos e biológicos) e as dinâmicas espaciais do Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento. No objetivo 4, apenas um critério foi normalizado

usando uma função diferente, e para esse caso utilizou-se a FFLC. O critério normalizado usando a FFLC foi o de Ações Potencialmente Geradoras de Impacto, que podem comprometer o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental e principalmente as práticas de recreação e contato com a natureza e turismo ecológico. Assim como no objetivo 4, para o objetivo 5 apenas o critério Ações Potencialmente Geradoras de Impacto foi normalizado usando a FFLC.

No caso do critério Uso e Ocupação da Terra, os dados não foram normalizados usando as funções FFLD e FFLC, tendo em vista o tipo de formato dos dados espaciais. Por isso, foi aplicado um questionário a um grupo de especialistas. Após a tabulação e análise estatística descritiva, os critérios foram ranqueados (Tabela 7). Para os objetivos 1 a 4, a classe Savana-Estépica Arborizada foi considerada a mais relevante. Para o objetivo 5, a classe melhor ranqueada dentro do critério Uso e Ocupação da Terra foi Recursos Hídricos, o que pode ser explicado em razão da área de estudo estar inserida na região semiárida do Bioma Caatinga. As comunidades rurais do semiárido possuem um histórico extenso de luta por esse recurso, e, portanto, sua disponibilidade favorece a manutenção e o desenvolvimento das populações presentes na Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia.

Tabela 7. Pontuação das classes de uso e ocupação da terra usadas para normalizar o critério de uso e ocupação da terra do Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

Classes de uso e ocupação da terra	OBJETIVOS				
	1	2	3	4	5
Savana-Estépica Arborizada	1,0	1,0	1,0	1,0	0,6
Savana-Estépica Parque	0,8	0,9	0,9	0,8	0,5
Cultura de Sequeiro	0,5	0,2	0,6	0,6	0,9
Cultura Irrigada	0,4	0,3	0,4	0,4	0,8
Recursos Hídricos	0,7	0,8	0,8	0,7	1,0
Afloramento Rochoso e/ou Lajedos	0,9	0,7	0,7	0,9	0,1
Solo Exposto	0,6	0,0	0,5	0,3	0,2
Extração Mineral	0,0	0,4	0,3	0,2	0,3
Loteamentos	0,3	0,6	0,0	0,0	0,4
Núcleos Rurais	0,2	0,5	0,2	0,5	0,7

Com o auxílio do questionário aplicado as pessoas especialistas e das equações do AHP, foi possível calcular os pesos relativos de todos os critérios. Na tabela 8 é mostrado o resultado final de todo o procedimento, apresentando os critérios de forma hierarquizada e as respectivas notas e pesos para cada um dos critérios analisados. Com

exceção do objetivo 2, no qual o critério mais importante foi o Uso e Ocupação da Terra, em todos os outros objetivos, os critérios mais importantes foram os específicos, ou seja, aqueles critérios que pertencem exclusivamente a um único objetivo.

Tabela 8. Notas e pesos de importância dos critérios para cinco objetivos definidos para o Parque Nacional da Fuma Feia, Rio Grande do Norte, Brasil.

OBJETIVO 1	Exploração Mineral (EM)	Cavernas, Lajedos e/ou Afloramentos Rochosos (CLAR)	Uso e Ocupação da Terra (UOT)	Distância das Comunidades Rurais (DCR)	Ações Potencialmente Geradoras de Impacto (APGI)	Distância das Trilhas (DT)	Distância das Estradas (DE)	PESO
EM	1,000	1,000	3,000	3,000	4,000	5,000	5,000	0,286
CLAR	1,000	1,000	3,000	3,000	4,000	5,000	5,000	0,286
UOT	0,330	0,330	1,000	2,000	3,000	4,000	4,000	0,155
DCR	0,330	0,330	0,500	1,000	2,000	3,000	3,000	0,107
APGI	0,250	0,250	0,330	0,500	1,000	3,000	4,000	0,084
DT	0,200	0,200	0,250	0,330	0,330	1,000	2,000	0,046
DE	0,200	0,200	0,250	0,250	0,250	0,500	1,000	0,036
Razão de Consistência (RC) = 0,044 (4,4%).				Soma:				1,000
OBJETIVO 2	Uso e Ocupação da Terra (UOT)	Ações Potencialmente Geradoras de Impacto (APGI)	Distância das Comunidades Rurais (DCR)	Registros de Caça (RC)	Distância das Estradas (DE)	Distância de Fontes de Água (DFA)	Distância das Trilhas (DT)	PESO
UOT	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	5,000	6,000	0,340
APGI	0,500	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	0,202
DCR	0,330	1,000	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000	0,151
RC	0,330	0,500	1,000	1,000	2,000	3,000	4,000	0,137
DE	0,250	0,330	0,500	0,500	1,000	2,000	2,000	0,078
DFA	0,200	0,250	0,330	0,330	0,500	1,000	2,000	0,054
DT	0,170	0,200	0,250	0,250	0,500	0,500	1,000	0,038
Razão de Consistência (RC) = 0,016 (1,6%).				Soma:				1,000
OBJETIVO 3	Lacunas do Conhecimento (LC)	Patrimônio Espeleológico (PE)	Distância das Comunidades Rurais (DCR)	Uso e Ocupação da Terra (UOT)	Distância das Trilhas (DT)	Distância das Estradas (DE)	Ações Potencialmente Geradoras de Impacto (APGI)	PESO
LC	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000	0,330
PE	0,500	1,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	0,200
DCR	0,330	0,500	1,000	1,000	2,000	2,000	3,000	0,133
UOT	0,330	0,500	1,000	1,000	2,000	2,000	2,000	0,125
DT	0,250	0,500	0,500	0,500	1,000	2,000	2,000	0,090
DE	0,250	0,330	0,500	0,500	0,500	1,000	1,000	0,062
APGI	0,250	0,330	0,330	0,500	0,500	1,000	1,000	0,059
Razão de Consistência (RC) = 0,017 (1,7%).				Soma:				1,000
OBJETIVO 4	Atrações Turísticas (AT)	Serviços Turísticos (ST)	Distância das Trilhas (DT)	Distância das Estradas (DE)	Uso e Ocupação da Terra (UOT)	Distância das Comunidades Rurais (DCR)	Ações Potencialmente Geradoras de Impacto (APGI)	PESO
AT	1,000	1,000	2,000	3,000	2,000	4,000	5,000	0,252
ST	1,000	1,000	2,000	3,000	2,000	4,000	5,000	0,252
DT	0,500	0,500	1,000	3,000	2,000	4,000	5,000	0,189
DE	0,330	0,330	0,330	1,000	0,250	2,000	3,000	0,122
UOT	0,500	0,500	0,500	4,000	1,000	5,000	6,000	0,084
DCR	0,250	0,250	0,250	0,500	0,200	1,000	2,000	0,060
APGI	0,200	0,200	0,200	0,330	0,170	0,500	1,000	0,040
Razão de Consistência (RC) = 0,038 (3,8%).				Soma:				1,000

OBJETIVO 5	Abastecimento de Água (AA)	Geração de Renda e Associativismo (GRA)	Distância das Estradas (DE)	Uso e Ocupação da Terra (UOT)	Distância das Comunidades Rurais (DCR)	Ações Potencialmente Geradoras de Impacto (APGI)	Distância das Trilhas (DT)	PESO
AA	1,000	1,000	2,000	2,000	3,000	4,000	6,000	0,256
GRA	1,000	1,000	2,000	2,000	3,000	4,000	6,000	0,256
DE	0,500	0,500	1,000	2,000	3,000	4,000	4,000	0,184
OUT	0,500	0,500	0,500	1,000	2,000	3,000	3,000	0,129
DCR	0,330	0,330	0,330	0,500	1,000	2,000	3,000	0,084
APGI	0,250	0,250	0,250	0,330	0,500	1,000	2,000	0,054
DT	0,170	0,170	0,250	0,330	0,330	0,500	1,000	0,037
Razão de Consistência (RC) = 0,018 (1,8%).								Soma: 1,000

Com base nos resultados obtidos para o objetivo 1, observou-se que os critérios específicos foram os mais importantes dentre os sete critérios analisados, totalizando 0,572 de prioridade para a preservação do complexo espeleológico, seguido por Uso e Ocupação da Terra com 0,155 de prioridade. Os critérios que apresentaram pesos menores foram Distância das Trilhas e Distância das Estradas, que juntos representaram menos de 0,1 de prioridade (Tabela 8).

Para o objetivo 2, o critério “Uso e Ocupação da Terra” foi o melhor pontuado, com 0,34 de prioridade. A prioridade deste critério para as questões relacionadas à preservação da biodiversidade se justifica, uma vez que o desordenamento territorial pode comprometer o equilíbrio ambiental local e favorecer o uso inadequado da terra (Freitas-Lima e Ranieri, 2018). Para os critérios Ações Potencialmente Geradoras de Impacto e Comunidades Rurais, foram registrados 0,202 e 0,151 de prioridade, respectivamente. Esses critérios, assim como Uso e Ocupação da Terra, estão associados aos tipos e origem de impactos à biodiversidade, o que demonstra a importância desses critérios para a preservação da biodiversidade. Assim como no objetivo 1, o objetivo 3 apresentou as melhores pontuações associadas aos seus critérios específicos, que acumularam 0,52 da prioridade total entre os sete objetivos. O critério melhor pontuado, Lacunas do Conhecimento, serve como importante indicador para o desenvolvimento de pesquisas científicas direcionadas às necessidades específicas do Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento.

Os critérios específicos do objetivo 4 também concentraram mais de 0,50 de prioridade entre todos os critérios. Os critérios específicos do objetivo 4 desempenham um papel importante para determinar os espaços de desenvolvimento das atividades turísticas. O visitante precisa se sentir atraído pelas atrações turísticas, assim, é preciso que exista estruturas mínimas de recepção e acolhimento desse visitante.

Os critérios Abastecimento de Água e Geração de Renda e Associativismo alcançaram 0,256 de prioridade cada um. Dessa forma, os objetivos específicos somados representaram 0,512 de prioridade geral, considerando os pesos dos sete critérios. A disponibilidade hídrica para consumo humano se torna relevante em virtude da localização da área de estudo, que constantemente enfrenta problemas de falta de água. Dessa forma, os lugares onde existe um abastecimento regular facilita o desenvolvimento humano. Por sua vez, a geração de renda é um importante fator para o desenvolvimento econômico e emancipatório dos moradores da Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia. Esses fatores associados a um engajamento popular e participação social proporcionam um espaço de bem-estar social.

Definição das Áreas de Aptidão

Com base nos resultados obtidos, por meio da normalização e ponderação dos critérios, foi possível elaborar cinco mapas temáticos de aptidão para o desenvolvimento dos cinco objetivos do Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento. A tabela 9 apresenta a distribuição quantitativa de cada classe de aptidão para os cinco objetivos (Figura 5).

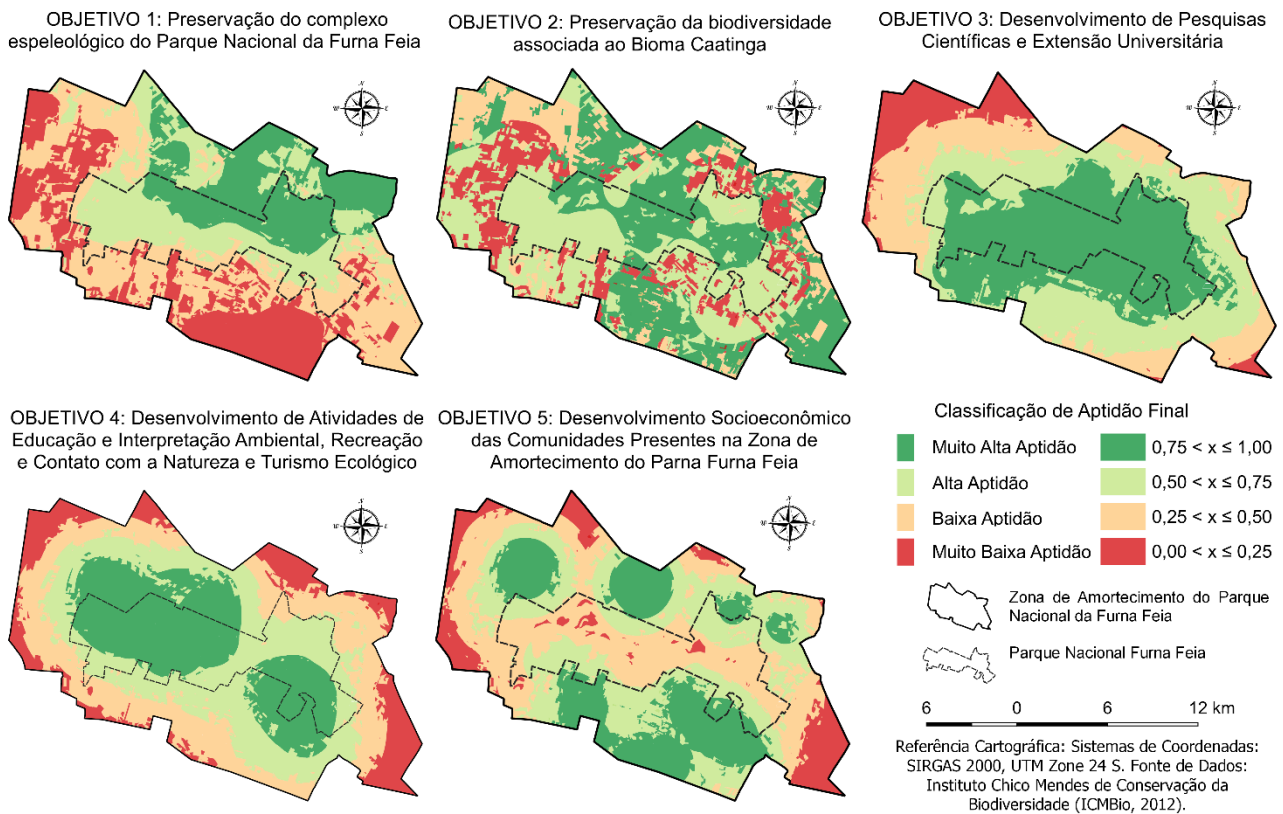


Figura 5. Espacialização dos níveis de aptidão para cada um dos cinco objetivos do Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

Tabela 9. Distribuição quantitativa das classes de aptidão para cada um dos cinco objetivos de criação do Parque Nacional da Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento, Rio Grande do Norte, Brasil.

Classes	OBJETIVOS									
	1		2		3		4		5	
	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Muito Alta Aptidão	7.114	21,04	11.911	35,22	13.166	38,93	9.589	28,36	8.333	24,64
Alta Aptidão	7.771	22,98	12.966	38,34	10.966	32,42	10.409	30,78	11.020	32,59
Baixa Aptidão	10.985	32,48	4.665	13,80	7.037	20,81	9.220	27,26	10.947	32,37
Muito Baixa Aptidão	7.946	23,50	4.274	12,64	2.647	7,84	4.598	13,60	3.516	10,40
Total	33.816	100,00	33.816	100,00	33.816	100,00	33.816	100,00	33.816	100,00

A classe “Muito Alta Aptidão” apresenta as áreas nas quais o desenvolvimento do objetivo é máximo, os fatores limitantes são quase nulos e/ou há uma grande concentração de critérios que agem de forma positiva para o alcance do objetivo. A classe “Alta Aptidão” apresenta as regiões que estão próximas de critérios positivos e/ou existem poucos critérios negativos que limitam o desenvolvimento do objetivo. A classe “Baixa Aptidão” apresenta as regiões nas quais existem poucos critérios positivos concentrados e/ou apresenta algumas limitações para o desenvolvimento do objetivo em virtude de fatores limitantes. Por último, na classe “Muito Baixa Aptidão” ocorre a maior concentração de fatores limitantes para o desenvolvimento do objetivo,

dessa forma a região não contribui para o objetivo e pode inclusive dificultar o seu desenvolvimento.

Avaliando individualmente cada um dos mapas de aptidão, observa-se que, para o objetivo 1 – preservação do complexo espeleológico – a região onde ocorre a maior concentração de cavernas foi classificada como “Alta Aptidão”. Nessa região, estão localizados importantes cavernas, e provavelmente esta não foi classificada como “Muito Alta Aptidão”, devido à proximidade com as áreas de extração mineral, que representam uma das principais atividades com potencial geração de impacto ambiental negativo à Áreas Protegidas (Rudke et al., 2020). Logo, a espacialização das classes de aptidão para a preservação do complexo espeleológico demonstra

um possível cenário de fragilidade para o ecossistema cavernícola, que pode limitar o alcance do objetivo de preservação do complexo espeleológico. Outra característica da aptidão que confirma esse cenário de fragilidade do ambiente cavernícola é a presença de áreas com “Muito Alta Aptidão” em regiões com pouca ou nenhuma presença de cavernas. Na prática, isso significa dizer que nas regiões com maior concentração de cavernas, existe uma proximidade de critérios agindo negativamente para o alcance do objetivo, e consequentemente diminuindo a aptidão da área. Contudo, em algumas regiões sem cavernas, como a nordeste da Zona de Amortecimento, a presença de critérios que dificultam o alcance da preservação do complexo espeleológico é menor. Como o objetivo trata da preservação do complexo espeleológico, e não existem cavernas, lajedos e/ou afloramentos rochosos nessa região, esses espaços se tornam irrelevantes nesse contexto, mas servem para indicar a necessidade de criação de estratégias de mitigação de possíveis impactos negativos ao patrimônio espeleológico.

É importante destacar que, se a análise proposta fosse realizada com foco apenas no Parna Fuma Feia, desconsiderando sua zona de amortecimento, os dados de aptidão indicariam um outro cenário, provavelmente mostrando a área de concentração de cavernas como 'muita alta aptidão' para o alcance do objetivo. Entretanto, a adoção de uma análise integrada, que considera as inter-relações presentes no ecossistema, pode comprometer o alcance da conservação do patrimônio espeleológico. Esse dado, quando analisado de forma isolada, apresenta uma contradição, porém, quando se considera o contexto da paisagem e os critérios mapeados, indica fatores variados para o alcance da preservação do complexo espeleológico.

Ao contrário de outras Áreas Protegidas nas quais os impactos negativos ao patrimônio espeleológico podem ter origem apenas na exploração mineral, ou apenas na atividade turística, o Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento acumula esses dois cenários. Os dados de aptidão indicam que é necessária uma maior atenção com possíveis impactos negativos diretos e indiretos, que possam ser causados ao patrimônio espeleológico. É preciso evitar o aumento da fragilidade da região e consequentemente a perda de elementos da biodiversidade e geodiversidade (Osborne, 2018; Zanatto et al., 2019), ainda mais considerando o Parna Fuma Feia e sua grande geodiversidade (Alves e Medeiros, 2019) e biodiversidade associada (Vargas-Mena et al., 2018). Além dessas

questões, é importante destacar que a região leste do Parna Fuma Feia foi muito pouco prospectada e que na região ao norte da Zona de Amortecimento existem aproximadamente 20 cavernas inseridas na classe de “Muito Alta Aptidão”. Do ponto de vista quantitativo, considerando as classes “Muito Alta Aptidão” e “Alta Aptidão”, observa-se que 44,02% da área do Parna Fuma Feia e sua Zona de Amortecimento estão dentro dessas classes (Tabela 9).

Considerando o objetivo 2 – preservação da biodiversidade associada ao Bioma Caatinga – vemos que quase 100% do Parna Fuma Feia ficou classificado como “Alta Aptidão” e “Muito Alta Aptidão” (Tabela 9). Dentro do Parna Fuma Feia, as regiões central e leste atingiram os maiores níveis de aptidão. É importante observar que a região leste do Parna Fuma Feia é muito fragmentada, entretanto os critérios de análise do objetivo 2 mostraram-se favoráveis ao alcance da preservação da biodiversidade. Isso provavelmente ocorre porque a região leste do Parna Fuma Feia contém lagos, rios e riachos e se mantém distante de potenciais impactos negativos provenientes da agricultura irrigada. Além disso, foi atribuído ao objetivo 2 o maior índice de regiões classificadas como “Alta” e “Muito Alta Aptidão”, com 73,56% (Tabela 9). A baixa aptidão concentrou-se principalmente a oeste da Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia e foi relacionada às atividades de agricultura. Outra característica importante da aptidão desse objetivo é a alta fragmentação das regiões de aptidão. Isso ocorre porque o objetivo 2 possui uma forte relevância associada ao critério de Uso e Ocupação da Terra. Do ponto de vista da preservação da biodiversidade, o uso e ocupação da terra se torna um importante indicador da qualidade ambiental de uma região. Dependendo do tipo de uso, é possível que múltiplos impactos negativos sejam ocasionados à flora e fauna local. O principal ponto a ser observado para o alcance do objetivo de preservação da biodiversidade do Parna Fuma Feia é a mitigação de possíveis impactos negativos. Para tanto, a sua Zona de Amortecimento precisa ser gerenciada de forma a não ser apenas uma criação simbólica, mas que desempenhe o papel para a qual foi definida, que é “amortecer” possíveis impactos negativos ao Parna Fuma Feia (Medeiros et al., 2021).

O objetivo 3 – desenvolvimento de pesquisas científicas – possui alta aptidão concentrada principalmente no Parna Fuma Feia. Este Parna é uma Unidade de Conservação relativamente nova, criada em 2012, portanto, torna-se necessário a realização de pesquisas para obtenção de mais dados e informações científicas.

Ainda existem muitas lacunas de pesquisas a serem exploradas na região, o que justifica a alta aptidão para a área do Parna Fuma Feia. Na Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia, os maiores níveis de aptidão para o desenvolvimento de pesquisas científicas localizam-se: (i) ao norte, onde há pelo menos 20 cavernas, (ii) em regiões próximas às comunidades Lagoa do Xavier e Serra Mossoró, e (iii) em regiões próximas às áreas de mineração.

Para o objetivo 4 – desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, recreação, contato com a natureza e turismo ecológico – a classe “Muito Alta Aptidão” concentrou-se principalmente nas áreas de ocorrência das principais cavernas e trilhas ecológicas e ao redor da Serra Mossoró. O que se observa é que os atrativos e serviços turísticos que tiveram o maior peso na ponderação estão mais concentrados na parte central, tornando as regiões extremas da Zona de Amortecimento pouco interessantes para o desenvolvimento de serviços turísticos. Do ponto de vista quantitativo, as classes “Alta” ou “Muito Alta Aptidão” representaram 59,14% da área total, e a região do Parna Fuma Feia concentrou os maiores níveis de aptidão (Tabela 9). As áreas de “Muito Alta Aptidão” contempladas no objetivo 4 são contínuas e, portanto, possuem como benefício um melhor custo operacional nas atividades turísticas e a comodidade para os turistas de terem os atrativos e serviços turísticos relativamente próximos uns dos outros (Kirilenko et al., 2019).

Para o objetivo 5 – desenvolvimento socioeconômico das comunidades inseridas na Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia – as regiões que incluem as comunidades Vila Nova I e II, Sítio Coqueiro, Recanto da Esperança, Rancho da Caça, Serra Mossoró, Lagoa do Xavier, Fazenda Nova e Vertente foram classificadas como áreas de aptidão máxima. Adicionalmente, registrou-se, para a região ao sul da Zona de Amortecimento, “Muito Alta Aptidão”, provavelmente, devido a critérios presentes na área como estradas e abastecimento de água. Para as comunidades localizadas ao norte, o principal fator está relacionado ao associativismo e geração de renda, sendo comunidades com alto nível de organização comunitária. Dentro da perspectiva de desenvolvimento local e regional, o associativismo contribui com o crescimento individual, mas sempre atrelado a elementos associativos, colaborativos e solidários (Lima e Silva, 2020).

O destaque para os critérios de associativismo e recursos hídricos está bem condizente com o contexto socioeconômico do

semiárido brasileiro, no qual a luta pelo acesso à água e a dependência histórica de políticas públicas forçam a população a buscar estratégias de sobrevivência. Consequentemente, a organização social, principalmente a partir da década de 90, se torna um dos principais pilares do desenvolvimento e da luta contra a seca e melhores condições de vida das populações do semiárido brasileiro (Aguar et al., 2019; Otoch et al., 2019). Ao mesmo tempo em que a espacialização das classes de aptidão apresenta as regiões favoráveis ao desenvolvimento socioeconômico, também indica as comunidades que estão em uma situação de vulnerabilidade. Dessa forma, é preciso a aplicação de políticas públicas, visando promover um desenvolvimento socioeconômico equilibrado entre todas as comunidades presentes na Zona de Amortecimento do Parna Fuma Feia.

Cada um dos mapas de aptidão esquematizados nesta pesquisa fornece informações que podem ser utilizadas separadamente ou somadas, a depender dos objetivos a serem estabelecidos. Uma das principais características observadas nos dados de aptidão é que a sua interpretação deve ter um caráter muito mais indicativo do que propriamente normativo. Um dos pontos centrais da análise multicritério é a possibilidade de geração de dados a partir de informações já existentes. Dessa forma, é possível modelar diversos tipos de cenários de análise. As informações geradas apresentaram como principal vantagem a compreensão das características espaciais, habilitando o entendimento de como a correlação de diferentes critérios podem subsidiar a tomada de decisão. Com isso, os mapas gerados se tornam ferramentas que podem ser aplicadas em diferentes contextos, como a adequação da terra para conservação da vegetação (Vázquez-Quintero et al., 2019), conservação de peixes e anfíbios nas regiões de lagos e lagoas do Parna Fuma Feia (Yonvitner et al., 2020), determinação de fragilidade ambiental nas regiões de cavernas (Campos et al., 2019), escolha estratégica de áreas agrícolas, visando minimizar impactos à biodiversidade (Paula e Ribeiro, 2022) e desenvolvimento sustentável das atividades turísticas (Kianisadr et al., 2019).

A análise de decisão multicritério mostra-se relevante quando são consideradas as múltiplas fontes de impactos que podem atingir uma Área Protegida. Com o avanço tecnológico nas áreas de aquisição e processamento de dados, a avaliação desses impactos se torna cada vez mais complexa e integrada a múltiplos fatores e variáveis. O uso de modelos como o de decisão multicritério, multivariado e *Machine Learning*, se tornam cada

vez mais comuns na avaliação da qualidade ambiental (Pham et al., 2021).

As ações e atividades geradoras de impacto se apresentam, na verdade, como critérios que podem ser manipulados, dimensionados e avaliados de forma individualizada ou coletiva, com o intuito de verificar a qualidade socioambiental dos ambientes ou a identificação de áreas prioritárias (Fanelli et al., 2021). Quando são realizados mapeamento e identificação de elementos como ameaças, características culturais e climáticas, fragmentação da vegetação, ou ainda a ausência de modelos de organização social, reunidos em um sistema de informação espacial, pode-se agrupar e estabelecer relações entre esses elementos (Saura et al., 2018; Pham et al., 2021; Fanelli et al., 2021). É possível determinar também quais elementos podem ter um peso maior ou menor para o alcance do objetivo. Consequentemente, a análise de decisão multicritério abre novas perspectivas para o processo de tomada de decisão (Karimi e Adams, 2019; Kianisadr et al., 2019), inclusive contribuindo para uma governança participativa que disponha de dados mais técnicos e transparentes (Bornemann e Strassheim, 2019).

Considerações finais

Os objetivos de criação do Parque Nacional da Fuma Feia envolvem o desenvolvimento de uma série de atividades relacionadas a preservação do complexo espeleológico, da biodiversidade, desenvolvimento de pesquisa científica, turismo, educação ambiental, e como proposto em adicional a esta pesquisa, o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais inseridas na Zona de Amortecimento deste Parna. Apesar disso, o Parna Fuma Feia ainda demanda instrumentos de planejamento e gestão adequados para o cumprimento desses objetivos. Diante dessa necessidade, diversos critérios foram analisados com a intenção de estabelecer parâmetros para a governança sustentável dessa importante área do bioma Caatinga.

O levantamento e esquematização de critérios em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica, integrado às técnicas de análise de decisão multicritério, permitiu identificar cenários de adequabilidade para o alcance dos objetivos de desenvolvimento e preservação do Parna Fuma Feia. Os dados de aptidão de cada um dos cinco objetivos forneceram um diagnóstico da qualidade e potencialidade

socioambiental e informações indicativas que subsidiam o processo de tomada de decisão.

Na espacialização das classes de aptidão para o objetivo de preservação do complexo espeleológico, foi indicada a presença de elementos que dificultam o alcance da sua preservação. Para o objetivo preservação da biodiversidade, às áreas com maior potencial estão próximas a região central do Parna Fuma Feia, e fragmentadas ao longo de sua Zona de Amortecimento. Para o objetivo desenvolvimento de pesquisas científicas, todo o Parna Fuma Feia apresentou uma “Alta Aptidão”. Para o objetivo de desenvolvimento das atividades turísticas e educação ambiental, as áreas de alta aptidão concentraram-se próximo a Serra Mossoró e nas regiões de trilhas ecológicas já estabelecidas. Áreas estratégicas próximas a comunidades bem estabelecidas com alguma organização social foram classificadas como alta aptidão para o objetivo desenvolvimento das comunidades.

A análise de decisão multicritério pode contribuir para o processo de tomada de decisão em diversos níveis. Esta análise, quando associada a Sistemas de Informação Geográfica, também potencializa a geração de dados espaciais, permitindo uma melhor compreensão da interação holística de diversos elementos do território. Adicionalmente, essas ferramentas permitem a visualização integrada de dados, fornecendo parâmetros para entender onde os critérios contribuem positivamente ou negativamente para o alcance dos objetivos traçados. Ao potencializar a geração de dados e permitir a sua visualização integrada, a análise de decisão multicritério torna-se uma importante ferramenta para as atividades de planejamento e gestão de Parques Nacionais, subsidiando a tomada de decisão.

A análise de decisão multicritério possui uma alta exigência para a construção dos produtos finais. O levantamento, agrupamento e caracterização, bem como o processo de ponderação dos critérios, devem ser definidos da melhor forma possível. Na prática, a utilização dos dados gerados em processos de gestão, depende muito mais da qualidade do plano de informações construído e das decisões operacionais tomadas, do que propriamente do processo de análise de decisão multicritério. Então, fatores como quantidade de critérios, fontes de dados, nível de detalhamento e escala das informações espaciais determinam a qualidade dos produtos finais. Para essa pesquisa, os fatores acima mencionados tiveram uma boa representatividade, mas acredita-se que a ampliação da quantidade de critérios e a adoção de estratégias de planejamento participativo mais

robustas possam promover a criação de aptidões ainda mais alinhadas com a realidade.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Nós agradecemos ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e à equipe de gestão do Parque Nacional Fuma Feia pelo suporte logístico e assistência para a coleta de dados na área de estudo.

Referências

- Aguiar, L.C., Delgrossi, M.E., Oliveira, L.G.de, Ávila, M.L.de., 2019. As políticas públicas no semiárido brasileiro: uma revisão de literatura. *Revista Econômica do Nordeste*, 50, 9-22.
- Alves, J.J.F., Medeiros, W.D.A., 2019. Ecogoturismo e geodiversidade no Parque Nacional da Fuma Feia: estratégias para a conservação do patrimônio natural. *Turismo: Estudos & Práticas*, 8, 59-91.
- ANM – Agência Nacional de Mineração, 2020. Sistema de Informações Geográficas da Mineração - SIGMINE. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>
- Araripe, F.A.A.L., Camacho, R.G.V., Costa, D.F.S., Soares, I.A., Bonilla, O.H., Aloufa, M.A.I., 2021. Pressões e ameaças em unidades de conservação federais da depressão sertaneja setentrional, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 3279-3293.
- Assis, L., Fragkopoulou, E., Serrão, E.A., Horta, C.B., Gandra, M., Abecasis, D., 2021. Weak biodiversity connectivity in the European network of no-take marine protected areas. *Science of the Total Environment*, 773, 1-10.
- Barros, L.S.C., Leuzinger, M.D., 2019. Planos de manejo: panorama, desafios e perspectivas. *Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito*, 13, 281-303.
- Bornemann, B., Strassheim, H., 2019. Governing time for sustainability: analyzing the temporal implications of sustainability governance. *Sustainability Science*, 14, 1001-1013.
- Brasil. Decreto S/N, de 5 de junho de 2012. Dispõe sobre a criação do Parque Nacional da Fuma Feia, nos municípios de Baraúna e Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte. Brasília: DOU de 06/06/2012.
- Campos, J.A., Aires, U.R.V., Silva, D.D., Calijuri, M. L., 2019. Environmental fragility and vegetation cover dynamics in the Lapa Grande State Park, MG, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91, 1-16.
- Cavalcante, J.C., Filho, J.S.S., Vale, R.S., Costa, D.C.T., 2020. Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Félix do Xingu – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 167-181.
- Chaves, M.P.S.R., Barros, J.F., 2022. Governança territorial na política de proteção em áreas protegidas: estudo comparativo entre Brasil e França. *Inclusão Social*, 14, 143-162.
- Chunye, W., Delu, P., 2017. Zoning of Hangzhou Bay ecological red line using GIS-based multicriteria decision analysis. *Ocean and Coastal Management*, 139, 42-50.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2013. Mapas multimodais do Brasil. Disponível: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/dnit-geo/mapas-multimodais>. Acesso: 27 abr. 2022.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2015. Base Georreferenciada da Evolução Rodoviária do Brasil. Disponível: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bitmodosmapas>. Acesso: 27 abr. 2022.
- Eastman, J.R., 2012. Idrisi Selva: guia para SIG y procesamiento de imágenes. Worcester: Clark Labs, Clark University. Disponível em: <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>. Acesso: 27 jan. 2020.
- Fanelli, E., Bianchelli, S., Foglini, F., Canals, M., Castellan, G., Guell-Bujons, Q., Galil, B., Goren, M., Evans, J., Fabri, M.C., Vaz, S., Ciuffardi, T., Schembri, P.J., Angeletti, L., Taviani, M., Donavaro, R., 2021. Identifying priorities for the protection of deep Mediterranean Sea ecosystems through an integrated approach. *Frontiers in Marine Science*, 8, 1-16.
- Fidelis-Medeiros, F.H., Lunardi, V.de.O., Lunardi, D.G., 2020. Proposta de gestão adequada de resíduos sólidos domiciliares em comunidades rurais utilizando análise espacial. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13, 527-543.
- Freitas-Lima, E.A.C., Ranieri, V.E.L., 2018. Land use planning around protected areas: Case studies in four state parks in the Atlantic forest region of southeastern Brazil. *Land Use Policy*, 71, 453-458.
- Gerber, P.J., Carsjens, G.J., Pak-uthai, T., Robinson, T.P., 2008. Decision support for spatially targeted livestock policies: diverse

- examples from Uganda and Thailand. *Agricultural Systems*, 96, 37-51.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Manuais Técnicos em Geociências, número 1: Manual Técnico da Vegetação Brasileira.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Mapas municipais: divisão político-administrativa e as divisas intramunicipais legais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-municipais.html>. Acesso: 27 abr. 2022.
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2012. Parna Fumaça. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/caatinga/lista-de-ucs/parna-da-fumaça>. Acesso: 27 abr. 2022.
- Jeronymo, C.A.L., Silva, E.R., Tanizaki-Fonseca, K., 2021. Good Governance and Social Participation: a critical reading of public policies for Nature Conservation Units in Brazil. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*, 50, 107-135.
- Karimi, A., Adams, V.M., 2019. Planning for the future: combining spatially explicit public preferences with tenure policies to support land-use planning. *Land Use Policy*, 82, 497-508.
- Kianisadr, M., Melhosseini D.K., Golkarian H., 2019. Quantitative zoning of ecotourism potential in oshtorankouh protected area using delphi method, analytic hierarchy process, and weighted overlay methods. *Ecopersia*, 7, 115-123.
- Kirilenko, A.P., Stepchenkova, S.O., Hernandez, J.M., 2019. Comparative clustering of destination attractions for different origin markets with network and spatial analyses of online reviews. *Tourism Management*, 72, 400-410.
- Lima, J.R.O., Silva, I.O., 2020. Associativismo e cooperativismo como elementos que compõem arranjos estratégicos para o desenvolvimento local. *Cadernos de Desenvolvimento*, 15, 165-182.
- Malczewski, J., Champan, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D., Healy, M.A., 2003. GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging OWA: case study of developing management strategies. *Environmental Planning*, 35, 1769-1784.
- Medeiros, N.C.G., Alves, J.B., Sales, F.C.V., Monteiro, M.M., Nery, J.G.F., Martins, K.B.S., Sousa, S.M.S., Costa, A.A., Morais, G.V., 2021. Evaluation of the efficiency of the management plan for the zone of damping. *Research, Society and Development*, 10, 1-9.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2012. Dados geográficos: ambiente físico e biodiversidade. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso: 27 abr. 2022.
- Osborne, R.A.L., 2018. Saving and conserving the caves: reflections on 37 years of listings, disputes, submissions and court cases. *Australian Journal of Earth Sciences*, 66, 767-778.
- Otoch, B.C.C., Studart, T.M.C., Campos, J.N.B., Portela, M. M., 2019. Gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas e a dependência da trajetória institucional: nordeste Brasileiro e Austrália. *Revista Recursos Hídricos*, 40, 43-51.
- Paula, L.G.S., Ribeiro, S.M.C., 2022. Aptidão das áreas no entorno do Parque Estadual do Rio Doce para implementação de sistemas agroflorestais com base em análise multicritério. *Ciência Florestal*, 32, 474-492.
- Pham, Q.B., Achour, Y., Ali, S.A., Parvin, F., Vojtek, M., Vojteková, J., Al-Ansari, N., Achu, A.L., Costache, R.K., Khaled, M., Anh, D.T., 2021. A comparison among fuzzy multi-criteria decision making, bivariate, multivariate and machine learning models in landslide susceptibility mapping. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12, 1741-1777.
- Rudke, A.P., Souza, V.A.S.de, Santos, A.M. dos, Xavier, A.C.F., Filho, O.C.R., Martins, J.A., 2020. Impact of mining activities on areas of environmental protection in the southwest of the Amazon: a GIS - and remote sensing-based assessment. *Journal of Environmental Management*, 263, 1-12.
- Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 234-281.
- Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83-98.
- Santos, A.R., Silva, R.C.F., Assis, L.C., Mauad, F.F., 2019. Defining environmental conservation levels considering anthropic activity in the Uberaba River Basin protected area. *Ambiente e Água: an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14, 1-13.
- Saura, S., Bertzku, B., Bastin, L., Battistella, L., Mandrici, A., Dubois, G., 2018. Protected area

- connectivity: shortfalls in global targets and country-level priorities. *Biological Conservation*, 219, 53-67.
- Shrestha, N., Xu, X., Meng, J., Wang, Z., 2021. Vulnerabilities of protected lands in the face of climate and human footprint changes, *Nature Communications*, 12, 1-9.
- Vale, C.C., 2012. Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. *Entre-Lugar*, 3, 85-108.
- Vargas-Mena, J.C., Cordero-Schmidt, E., Bento, D.M., Rodriguez-Herrera, B., Medellín, R.A., Venticinque, E.M., 2018. Diversity of cave bats in the Brazilian tropical dry forest of Rio Grande do Norte State. *Mastozoología Neotropical*, 25, 199-212.
- Vázquez-Quintero, G., Prieto-Amparán, J.A., Pinedo-Alvarez, A., Valles-Aragón, M.C., Morales-Nieto, C.R., Villarreal-Guerrero, F., 2019. GIS-Based multicriteria evaluation of land suitability for grasslands conservation in Chihuahua, Mexico. *Sustainability*, 20, 1-19.
- Yonvitner, Boer, M., Ardelia, V., 2020. A multi-criteria approach and sustainability index as a consideration on torpedo scad fisheries management in Sunda Strait. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 12, 48-58.
- Zanatto, V.G., Steinke, V., Vieira, A., 2019. Rapid impact assessment on touristic caves of Terra Ronca State Park, Goiás, Brazil. *Physis Terrae*, 1, 83-100.
- Zhang, Z., Sherman, R., Yang, Z., Wu, R., Wang, W., Yin, M., Yang, G., Ou, X., 2013. Integrating a participatory process with a GIS-based multi-criteria decision analysis for protected area zoning in China. *Journal for Nature Conservation*, 21, 225-240.