57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Mapeamento de Vulnerabilidades Ambientais: Uma Abordagem GIS-MCDA no Arco do Desmatamento da Amazônia Legal

Antonio Casanova Junior da Silva Lima
Universidade Estadual de Campinas
R. Pedro Zaccaria, 1300, Limeira – SP
a291222@dac.unicamp.com
Ailson Renan Santos Picanço
Universidade do Estado do Pará
Tv. Dr. Enéas Pinheiro, 2626, Belém-PA
ailson.picanco@outlook.com
Caroline Nunes Carr
Universidade do Estado do Pará
Tv. Dr. Enéas Pinheiro, 2626, Belém-PA
carolinecarr@uepa.br
Cristiano Torezzan
Universidade Estadual de Campinas
R. Pedro Zaccaria, 1300, Limeira – SP
ailson.picanco@outlook.com

RESUMO

A região do Arco do Desmatamento na Amazônia Legal representa uma fronteira crítica onde a expansão agrícola colide diretamente com a preservação de um dos biomas mais vitais do planeta. Impulsionada historicamente pela pecuária e, mais recentemente, pela sojicultura, a conversão florestal nesta área acarreta profundas consequências ambientais, incluindo a alteração de regimes de chuva, perda acelerada de biodiversidade e o aumento da frequência de eventos climáticos extremos. Diante deste cenário complexo, torna-se importante desenvolver ferramentas analíticas que possam decifrar as múltiplas pressões que atuam sobre o território. Este estudo propõe e aplica um modelo integrado que une Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Análise de Decisão Multicritério (MCDA) para mapear e quantificar a vulnerabilidade ambiental em uma área de estudo composta por 20 municípios estratégicos no estado do Pará, abrangendo o período de 2000 a 2023.

A metodologia foi estruturada para capturar a complexidade das interações socioambientais. Foram selecionados três indicadores-chave: a taxa de desmatamento, obtida da série histórica do projeto PRODES (INPE); a variabilidade da pluviosidade, com dados da Agência Nacional de Águas (ANA); e o Produto Interno Bruto (PIB) municipal, fornecido pelo IBGE, como um proxy para a intensidade da atividade econômica. A importância relativa de cada critério foi estabelecida através do Processo Analítico Hierárquico (AHP), que atribuiu os seguintes pesos: desmatamento (0,45), pluviosidade (0,30) e PIB (0,25). Posteriormente, o método PROMETHEE II foi aplicado para gerar um ranking completo de vulnerabilidade entre os municípios. Para traduzir esse ranking em categorias de gestão prática, o método FlowSort foi utilizado para classificar os municípios em níveis de risco definidos (Baixo, Médio e Alto), facilitando a identificação de áreas prioritárias para intervenção.

Os resultados revelaram uma notável concentração de alta vulnerabilidade em municípios com forte presença da sojicultura, como Santana do Araguaia (índice de 0,614) e Santa Maria das Barreiras (0,401). A análise espacial, realizada em ambiente GIS, corroborou este achado, identificando clusters de risco elevado que se sobrepõem às áreas de desmatamento intensivo, especialmente no nordeste do Arco. Contudo, o estudo também apontou uma alta vulnerabilidade em municípios não produtores de soja, como Marabá, que registrou o maior índice da amostra (0,758). Esta descoberta é particularmente relevante, pois sugere que outros vetores de pressão como a mineração, a pecuária extensiva e dinâmicas urbanas desempenham um papel na degradação regional. A abordagem GIS-MCDA demonstrou ser eficaz, não apenas para confirmar a influência da soja, mas também para expor a multifacetada teia de fatores que ameaçam a

integridade ecológica da Amazônia, fornecendo um diagnóstico essencial para o desenho de políticas públicas que equilibrem desenvolvimento e conservação.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia, Desmatamento, Análise Multicritério.

Abstract

The Arc of Deforestation region in the Legal Amazon represents a critical frontier where agricultural expansion directly collides with the preservation of one of the planet's most vital biomes. Historically driven by cattle ranching and, more recently, by soy cultivation, forest conversion in this area leads to profound environmental consequences, including altered rainfall patterns, accelerated biodiversity loss, and an increased frequency of extreme weather events. Faced with this complex scenario, it becomes important to develop analytical tools that can decipher the multiple pressures acting on the territory. This study proposes and applies an integrated model that combines Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) to map and quantify environmental vulnerability in a study area composed of 20 strategic municipalities in the state of Pará, covering the period from 2000 to 2023.

The methodology was structured to capture the complexity of socio-environmental interactions. Three key indicators were selected: the deforestation rate, obtained from the historical series of the PRODES project (INPE); rainfall variability, with data from the National Water Agency (ANA); and the municipal Gross Domestic Product (GDP), provided by IBGE, as a proxy for the intensity of economic activity. The relative importance of each criterion was established through the Analytic Hierarchy Process (AHP), which assigned the following weights: deforestation (0.45), rainfall (0.30), and GDP (0.25). Subsequently, the PROMETHEE II method was applied to generate a complete vulnerability ranking among the municipalities. To translate this ranking into practical management categories, the FlowSort method was used to classify the municipalities into defined risk levels (Low, Medium, and High), facilitating the identification of priority areas for intervention.

The results revealed a notable concentration of high vulnerability in municipalities with a strong presence of soy cultivation, such as Santana do Araguaia (index of 0.614) and Santa Maria das Barreiras (0.401). The spatial analysis, conducted in a GIS environment, corroborated this finding by identifying high-risk clusters that overlap with areas of intensive deforestation, especially in the northeastern part of the Arc. However, the study also pointed to high vulnerability in non-soy-producing municipalities, such as Marabá, which recorded the highest index in the sample (0.758). This discovery is particularly relevant, as it suggests that other pressure vectors such as mining, extensive cattle ranching, and urban dynamics play a role in regional degradation. The GIS-MCDA approach proved to be effective, not only in confirming the influence of soy but also in exposing the multifaceted web of factors that threaten the ecological integrity of the Amazon, providing an essential diagnosis for the design of public policies that balance development and conservation.

KEYWORDS: Amazon, Deforestation, Multi-Criteria Analysis.