

# CONTRIBUIÇÕES POTENCIAIS DE PROPRIEDADES RURAIS PARA A ECOLOGIA DA PAISAGEM DO BIOMA AMAZÔNIA

*Bruna Henrique Sacramento*<sup>1</sup>, *Fabiana da Silva Soares*<sup>2</sup>, *José Galdino de Oliveira Júnior*<sup>3</sup>, *Hilton Luis Ferraz da Silveira*<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Embrapa Territorial, Avenida Soldado Passarinho n° 303 – Jardim Chapadão – Campinas, São Paulo, <sup>1,2,3</sup>{bruna.sacramento,fabiana.soares,jose-galdino.oliveira}@colaborador.embrapa.br; <sup>4</sup>hilton.ferraz@embrapa.br

## RESUMO

A relevância ambiental do Bioma Amazônia justifica a importância de estratégias para melhoria de sua ecologia da paisagem. O objetivo do estudo foi avaliar métricas de área central para verificar o potencial de contribuição das áreas do Cadastro Ambiental Rural (CAR) para a ecologia do bioma. Foram utilizados o Uso e Cobertura da Terra de 2021 do projeto MapBiomias e dados tratados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). As métricas de paisagem foram calculadas no ArcGIS Pro, e o teste de Mann-Whitney U foi realizado em Python. Houve diferença significativa das áreas centrais dos fragmentos no Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins. No Amapá e em Roraima, os remanescentes apresentaram boas proporções de área central, mas estão vulneráveis a vetores de desmatamento. Embora o CAR tenha potencial para ampliar as áreas centrais, outras estratégias de preservação são necessárias para resiliência do bioma diante das pressões antrópicas.

**Palavras-chave** — Área central, Amazônia Brasileira, Métricas de paisagem, Cadastro Ambiental Rural, Conservação ambiental.

## ABSTRACT

*The environmental relevance of the Amazon Biome justifies the importance of strategies to improve its landscape ecology. The aim of the study was to evaluate core area metrics to verify the potential contribution of areas in the Rural Environmental Registry (CAR) to the ecology of the biome. The 2021 Land Use and Coverage from the MapBiomias Project and treated data from the National Rural Environmental Registry System (SICAR) were used. Landscape metrics were calculated in ArcGIS Pro, and the Mann-Whitney U test was performed in Python. There was a significant difference in the core areas of the fragments in Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia and Tocantins. In Amapá and Roraima, the remnants had good proportions of core area but are vulnerable to deforestation vectors. Although the CAR has the potential to expand core areas, other preservation strategies are necessary for the biome's resilience in the face of anthropogenic pressures.*

**Keywords** — *Core area, Brazilian Amazon, Landscape Metrics, Rural Environmental Registry, Environmental conservation.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Bioma Amazônia, inserido em nove estados brasileiros, é essencial para a oferta de serviços ecossistêmicos como a biodiversidade e regulação climática em escala mundial. Apesar de tal relevância, o bioma enfrenta desafios com relação à conservação e à sustentabilidade pelo desenvolvimento de atividades antrópicas. Diante disto, políticas públicas como o Cadastro Ambiental Rural (CAR) são ferramentas essenciais para mitigar estes impactos ambientais negativos.

O CAR é um registro público obrigatório que integra informações espaciais e ambientais de propriedades e posses rurais para controle, monitoramento, planejamento e combate ao desmatamento. Nele, os proprietários declaram áreas de preservação, como Reservas Legais (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APP), em conformidade com a legislação ambiental vigente.

A Ecologia de Paisagem, ao integrar padrões espaciais e processos ecológicos, é essencial para entender a dinâmica ambiental em grandes escalas. No contexto amazônico, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permite avaliar a influência de políticas como CAR na estrutura e conectividade da paisagem. Assim, métricas de paisagem extraídas de dados geoespaciais permitem monitorar a fragmentação e orientar decisões sustentáveis. A área central, por exemplo, mede proporções internas de habitat afastadas de bordas, onde impactos antrópicos são reduzidos e processos ecológicos (como a interação e dispersão de espécies) são preservados [1].

Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar o potencial das áreas do CAR em alterar a estrutura da paisagem amazônica pela análise de métricas de paisagem de área central a partir de dois cenários de análise no bioma Amazônia: um considerando a situação presente e outro a partir da regularização ambiental dos imóveis rurais da área de estudo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

## 2.1. Área de estudo

O Bioma Amazônia (Figura 1) tem 4.196.943 km<sup>2</sup> e possui diversas classes de uso e cobertura da terra: formação florestal, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpo d'água [2].

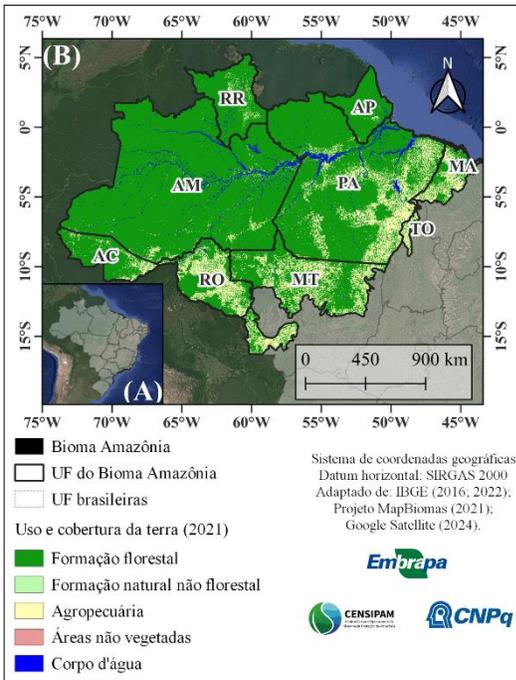


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (bioma Amazônia, Brasil).

## 2.2. Métodos

Foram avaliados dois cenários florestais do bioma Amazônia. O “Cenário Atual” foi composto pelas classes Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Restinga Arborizada, Campo Alagado e Área Pantanosa, e Formação Campestre do Uso e Cobertura da Terra de 2021 do Projeto MapBiomias (Coleção 7.0) [2]. O “Cenário Declarado”, incluiu florestas do “Cenário Atual” e áreas de Patrimônio Imobilizado (PI) declaradas no CAR, como RL e APP, obtidas do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e tratadas conforme metodologia da Embrapa Territorial [3]. Os fragmentos florestais dos cenários foram compartimentados por estado [4], projetados no Sistema de Coordenadas de Albers de área equivalente e referenciados ao datum SIRGAS 2000.

Áreas-núcleo de fragmentos florestais são espaços internos onde predominam as condições sem interferências de áreas exteriores (bordas) [1] e podem ser caracterizadas por métricas de paisagem como a área central (CORE) e a Porcentagem da área central da paisagem (CPLAND), conforme as Equações 1 e 2, respectivamente. As métricas

de cada cenário foram calculadas a partir da distância-núcleo de 120 m [5] no ArcGIS Pro 3.1.1.

$$CORE (ha) = a_i \quad (1)$$

$$CPLAND (\%) = \frac{\sum_{i=1}^p a_i}{A} \quad (2)$$

Legenda:  $a_i$  = área-central do fragmento  $i$  (ha);  $p$  = número de fragmentos florestais;  $A$  = área total da paisagem inserida no bioma (ha).

Adaptado de: Lang; Blaschke [6].

Foram analisados *boxplots* de CORE, e a significância estatística dos dados foi avaliada pelo método Mann-Whitney U, com nível de confiança de 5%, em ambiente Python. Já os valores totais de CORE e CPLAND foram tabulados e mapeados para compreensão da paisagem das unidades federativas do Bioma Amazônia. Para a elaboração de mapas, utilizou-se o sistema de coordenadas geográficas e o software QGIS 3.22.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os *boxplots* de CORE (Figura 2) indicaram que as medianas, em todos os estados, foram inferiores a 5 ha, destacando-se as diferenças significativas entre Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia e Tocantins. Com exceção do Maranhão, observou-se a diminuição dos valores mínimos e máximos da área central das manchas florestais, o que reflete o acréscimo de pequenas manchas florestais no bioma Amazônia. Essas áreas menores desempenham um papel crucial na conectividade ecológica, servindo como corredores entre grandes remanescentes e facilitando a dispersão de espécies, complementando os serviços ecossistêmicos oferecidos pelos grandes fragmentos [7].

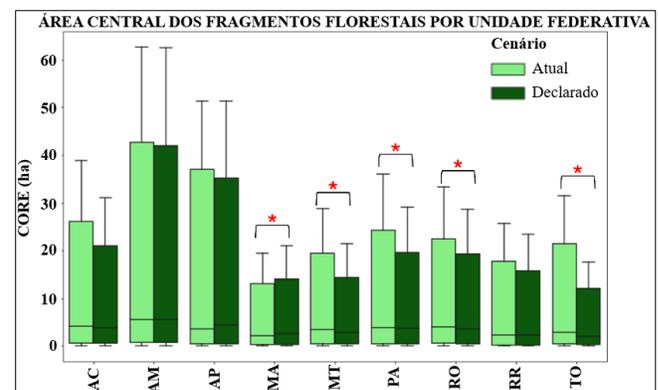


Figura 2. Diagrama de caixas dos fragmentos florestais dos estados do Bioma Amazônia.

Legenda: \* = diferença estatisticamente significativa da área central da unidade federativa entre os cenários ( $p$ -value = 5%).

A Tabela 1 contém os resultados de CORE Total e da CPLAND por unidade federativa e suas variações entre cenários. No Amazonas, em ambos os cenários analisados,

foram contabilizados os maiores valores de CORE Total, o que indica que este é o estado com maior somatório de áreas centrais do bioma. Além da vasta extensão territorial do estado comparado a outras unidades federativas inseridas no bioma, o Amazonas possui grandes remanescentes florestais, incluindo extensas áreas protegidas como unidades de conservação e terras indígenas, de relevante contribuição no controle do desmatamento [8]. Os resultados são positivos com relação à ecologia da paisagem, pois maiores áreas centrais indicam maior conservação florestal pela redução de efeitos de borda causados pela ação antrópica que, conseqüentemente, acarreta melhores condições ecossistêmicas para as espécies de núcleo [9].

	Atual		Declarado		ΔCenários	
	CORE Total (10 <sup>6</sup> ha)	CPLAND (%)	CORE Total (10 <sup>6</sup> ha)	CPLAND (%)	ΔCORE Total (10 <sup>6</sup> ha)	Δ CPLAND (%)
AC	12,7	77,39	13,26	80,82	0,56	3,43
AM	141,43	90,71	142,37	91,31	0,94	0,6
AP	13,12	91,86	13,24	92,68	0,12	0,82
MA	3,03	26,19	3,77	32,62	0,74	6,43
MT	25,24	52,2	26,82	55,47	1,58	3,27
PA	84,22	67,5	101,38	81,25	17,16	13,75
RO	11,68	49,25	12,26	51,68	0,58	2,43
RR	18,39	81,99	18,88	84,19	0,49	2,2
TO	0,31	12,67	0,41	16,36	0,1	3,69

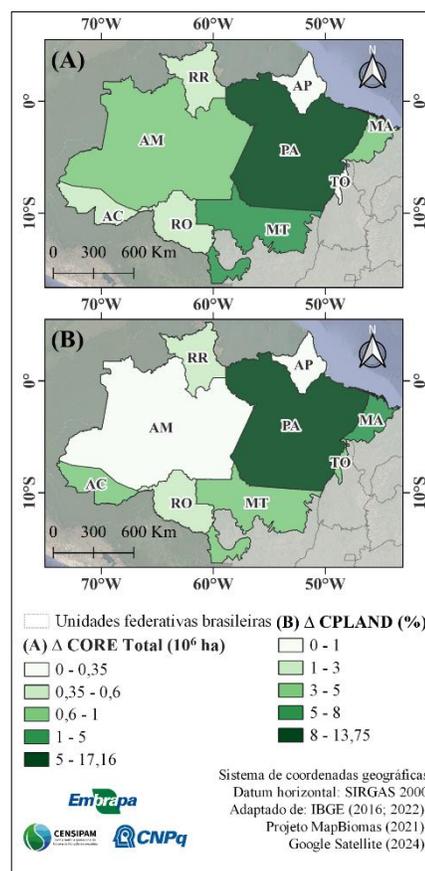
**Tabela 1. Métricas de paisagem totais conforme as unidades federativas do Bioma Amazônia para os cenários de análise.**

Com relação à CPLAND dos cenários de análise (Tabela 1), os melhores resultados foram nos estados do Amazonas, Amapá e Roraima. No Cenário Atual, estes estados possuem 90,71%, 91,86% e 81,99% de seu território coberto por áreas centrais de fragmento florestal, respectivamente, aumentando para 91,31%, 92,68% e 84,19% no Cenário Declarado. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) [10], até 2021, Amapá e Roraima registraram as menores taxas de desmatamento acumulado do Bioma, com 0,13% e 2,42%, respectivamente.

Contudo, Amaral et al. [11] destacam que Roraima e Amapá possuem extensas áreas de cobertura florestal de fitofisionomia savânica, caracterizada pelo ecótono floresta-campo, com biomassa reduzida conforme as condições do solo e pressões antrópicas. Isso mostra que, apesar das altas taxas de cobertura e baixos índices de desmatamento, Roraima e Amapá são vulneráveis a vetores de desmatamento, com potenciais impactos ambientais em sua estrutura florestal.

Os piores resultados de proporção de área central foram registrados em Tocantins, Maranhão e Rondônia, com CPLAND de 12,67%, 26,19% e 49,25% no Cenário Atual, aumentando para 16,36%, 32,62% e 51,68% no Cenário Declarado, respectivamente. Vedovato et al. [12] associam a alta cobertura vegetal não-florestal de Maranhão e Tocantins à abundância de bordas florestais. Já o Mato Grosso, com 31,39% de desmatamento acumulado até 2021 [10], enfrenta intensa fragmentação florestal, que aumenta bordas e impactos como maior mortalidade de árvores, mudanças ecológicas e suscetibilidade ao fogo [13,14].

A Figura 3, em complemento à Tabela 1, apresenta a diferença nas métricas CORE Total e CPLAND entre os cenários analisados. No Pará houve os maiores aumentos em ambas as métricas, o que indica que a regularização ambiental de propriedades agrícolas pode reduzir efeitos de borda e melhorar condições ecossistêmicas para espécies de núcleo de seus remanescentes florestais [9].



**Figura 3. Mapa de diferença das métricas CORE Total (A) e CPLAND (B) entre os cenários de análise.**

Já no estado do Amazonas, marcado por grandes manchas florestais e bons resultados para as métricas CORE Total e CPLAND (ao se analisar separadamente os

cenários), observou-se o menor aumento na métrica CPLAND se comparado aos demais estados inseridos no bioma. Isso indica um menor potencial de contribuição do CAR para as áreas-núcleo dos fragmentos florestais da unidade federativa, possivelmente devido ao fato de os polígonos de PI declarados na região apresentarem dimensões reduzidas em comparação às grandes unidades de conservação e terras indígenas presentes no local.

Contudo, as pequenas manchas florestais que seriam estabelecidas com o cumprimento da legislação ambiental também possuem relevância na ecologia da paisagem. Cosimo, Martins e Gleriani [9], sugerem que a restauração florestal próxima a fragmentos florestais de maior área central pode aumentar a área funcionalmente conectada para espécies que podem atravessar a matriz, resultando em maior permeabilidade e uma maior fonte de recursos para essas espécies, que poderiam usar essas áreas de restauração como trampolins ecológicos.

#### 4. CONCLUSÕES

As métricas de Ecologia da Paisagem e os dados de Sensoriamento Remoto permitiram a avaliação espacial dos fragmentos florestais do Bioma Amazônia. A metodologia adotada evidenciou o potencial das áreas do CAR em alterar a estrutura da paisagem amazônica. Os resultados indicaram uma diferença significativa da área central dos fragmentos em cinco das nove unidades federativas do bioma. Tocantins, Maranhão e Rondônia apresentaram os piores percentuais de CPLAND, enquanto Amazonas, Amapá e Roraima obtiveram as melhores proporções.

Os resultados demonstraram maior potencial de contribuição do CAR nas áreas-núcleo no estado do Pará pelo maior aumento nas duas métricas de paisagem avaliadas (CORE Total e CPLAND). Já o estado do Amazonas teria menor acréscimo de CPLAND, mas a literatura reforça a importância destas pequenas áreas centrais na dispersão das espécies de fauna e flora.

As áreas centrais desempenham um papel importante na manutenção da biodiversidade e na conectividade florestal. Embora o cumprimento da legislação vigente possa ampliar estas áreas-núcleo em algumas regiões do bioma, isso não garante sua conservação a longo prazo. Estudos desta natureza são importantes para fundamentar políticas públicas para a conservação ambiental do Bioma Amazônia. Nesse contexto, o Sensoriamento Remoto e a Ecologia da Paisagem são ferramentas importantes para monitorar mudanças espaciais e avaliar o impacto das políticas de conservação ambiental.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao financiamento pela cooperação entre Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) e Empresa Brasileira de Pesquisa

Agropecuária (EMBRAPA) por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] W. F. Fagan, R. S. Cantrell and C. Cosner. How habitat edges change species interactions. *The American Naturalist*, v. 153, n. 2, p. 165-182, 1999.
- [2] Projeto Mapbiomas – [Coleção 7]. *Série Anual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil*. 2023.
- [3] Embrapa Territorial. *Agricultura e preservação ambiental: uma análise do Cadastro Ambiental Rural*. Campinas, 2020. Disponível em: <[www.embrapa.br/car](http://www.embrapa.br/car)>. Acesso em: 27 out. 2024.
- [4] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Malha Municipal Digital da Divisão Político-Administrativa Brasileira*. Escala: 1: 250.000. Atualização: 2021.
- [5] D. M. Lapola et al. The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science*, v. 379, n. 6630, p. eabp8622, 2023.
- [6] S. Lang and T. Blaschke. *Análise da Paisagem com SIG*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- [7] I. D. S. Brasil et al. Contributions of Forest Regeneration after Intense Fragmentation in the Amazon through Morphological Spatial Pattern Analysis. *Forest Science*, 2022.
- [8] A. I. Seca, H. S. Pereira and F. Miziara. Challenges for the implementation of the jurisdictional REDD+ in the Brazilian state of Amazonas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 59, P. e1721, 2024.
- [9] L. H. E. Cosimo, S. V. Martins and J. M. Gleriani. Suggesting priority areas in the buffer zone of Serra do Brigadeiro State Park for forest restoration compensatory to bauxite mining in Southeast Brazil. *Ecological engineering*, v. 170, p. 106322, 2021.
- [10] Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais – INPE. Programa de Monitoramento da Amazônia e demais Biomas: *Desmatamento – Amazônia Legal*. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 08 out. 2024.
- [11] D. F. Amaral et al. Expansion of soybean farming into deforested areas in the amazon biome: The role and impact of the soy moratorium. *Sustainability Science*, v. 16, n. 4, p. 1295-1312, 2021.
- [12] L. B. Vedovato et al. The extent of 2014 forest fragmentation in the Brazilian Amazon. *Regional Environmental Change*, v. 16, n. 8, p. 2485–2490, 2016.
- [13] E. N. Broadbent et al. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biological conservation*, v. 141, n. 7, p. 1745-1757, 2008.
- [14] W. F. Laurance et al. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biological conservation*, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011.