

**DINÂMICA DOS PADRÕES ESTRUTURAIS NAS ECORREGIÕES DA  
CAATINGA: MUDANÇAS NA ESTRUTURA DA PAISAGEM (1985–2018)**

**DYNAMICS OF STRUCTURAL PATTERNS IN CAATINGA ECOREGIONS:  
LANDSCAPE STRUCTURE CHANGES (1985–2018)**

**DINÁMICA DE LOS PATRONES ESTRUCTURALES EN LAS ECORREGIONES  
DE LA CAATINGA: CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE ENTRE  
1985 Y 2018**



10.56238/revgeov17n4-137

**Ana Chastinet Tavares**

Mestre em Ciências Ambientais

Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana

E-mail: anachastinet90@gmail.com

**Rodrigo Nogueira Vasconcelos**

Doutor em Ecologia

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana

E-mail: rnv@uefs.br

**Jocimara Souza Britto Lobão**

Doutora em Geografia

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana

E-mail: juci.lobao@uefs.br

**Mariana Martins Medeiros de Santana**

Doutora em Ecologia

Instituição: Universidade do Estado do Amapá

E-mail: mariana.medeiros@ueap.edu.br

**Deorgia Tayane Mendes de Souza**

Doutora em Geociências Aplicadas e Geodinâmica

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana

E-mail: dtmsouza@uefs.br

**Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha**

Doutor em Geologia

Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana

E-mail: wrocha@uefs.br



**Carolina Oliveira de Santana**Doutora em Geoquímica  
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana  
E-mail: cosantana@uefs.br**Luanna Maia Carneiro**Doutora em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente  
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana  
E-mail: lmcarneiro@uefs.br

---

**RESUMO**

Este estudo analisa a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra nas ecorregiões do bioma Caatinga entre 1985 e 2018, com o objetivo de compreender as mudanças nos padrões estruturais da paisagem e suas implicações ecológicas. A abordagem metodológica baseou-se na aplicação de métricas de ecologia da paisagem (TA, NP, PLAND e LPI) e na análise de transições entre classes de uso, utilizando séries temporais do projeto MapBiomias. Os resultados evidenciam uma tendência consistente de redução da vegetação nativa e expansão das atividades agropecuárias em todas as ecorregiões, acompanhada pelo aumento da fragmentação e do isolamento dos remanescentes florestais. Embora a maior mancha da paisagem permaneça associada à floresta natural, verificou-se incremento expressivo no número de fragmentos, indicando intensificação da pressão antrópica. As taxas de regeneração foram reduzidas em todo o bioma, destacando-se as Dunas do São Francisco com maior recuperação (1,4%) e a Depressão Sertaneja Setentrional com os menores valores (0,1%). As maiores conversões para áreas não vegetadas ocorreram na Depressão Sertaneja Meridional Menor (17,2%). Os resultados reforçam a existência de padrões espaciais heterogêneos de degradação e apontam para a necessidade urgente de estratégias diferenciadas de conservação, monitoramento contínuo e estudos em maior escala de detalhe para subsidiar o planejamento ambiental no semiárido brasileiro.

**Palavras-chave:** Ecologia da Paisagem. Métricas da Paisagem. Semiárido. Padrões Ecológicos. Conservação Ambiental.

**ABSTRACT**

This study investigates the spatiotemporal dynamics of land use and land cover across Caatinga biome ecoregions from 1985 to 2018, aiming to understand changes in landscape structural patterns and their ecological implications. The methodological framework integrates landscape ecology metrics (TA, NP, PLAND, and LPI) and land-use transition analysis using MapBiomias time-series data. The results reveal a consistent trend of native vegetation loss and agricultural expansion across all ecoregions, accompanied by increasing fragmentation and isolation of forest remnants. Although the largest landscape patch remains associated with natural forest, a substantial increase in patch number indicates intensified anthropogenic pressure. Regeneration rates were low throughout the biome, with the São Francisco Dunes showing the highest recovery (1.4%) and the Northern Sertaneja Depression the lowest (0.1%). The highest conversions to non-vegetated areas occurred in the Southern Sertaneja Depression Minor (17.2%). These findings highlight heterogeneous spatial patterns of degradation and emphasize the urgent need for region-specific conservation strategies, continuous monitoring, and fine-scale studies to support environmental planning in Brazil's semiarid region.

**Keywords:** Landscape Ecology. Landscape Metrics. Semiarid. Ecological Patterns. Environmental Conservation.

## RESUMEN

Este estudio analiza la dinámica espacio-temporal del uso y cobertura de la tierra en las ecorregiones del bioma Caatinga entre 1985 y 2018, con el objetivo de comprender los cambios en los patrones estructurales del paisaje y sus implicaciones ecológicas. La metodología se basó en la aplicación de métricas de ecología del paisaje (TA, NP, PLAND y LPI) y en el análisis de transiciones entre clases de uso, utilizando series temporales del proyecto MapBiomias. Los resultados evidencian una tendencia consistente de reducción de la vegetación nativa y expansión de las actividades agropecuarias en todas las ecorregiones, acompañada de un aumento de la fragmentación y del aislamiento de los remanentes forestales. Aunque el mayor parche del paisaje sigue siendo de bosque natural, se registró un incremento significativo en el número de fragmentos, lo que indica una intensificación de la presión antrópica. Las tasas de regeneración fueron bajas en todo el bioma, destacándose las Dunas del São Francisco con la mayor recuperación (1,4%) y la Depresión Sertaneja Septentrional con los valores más bajos (0,1%). Las mayores conversiones hacia áreas no vegetadas ocurrieron en la Depresión Sertaneja Meridional Menor (17,2%). Los resultados resaltan la existencia de patrones espaciales heterogéneos de degradación y subrayan la necesidad urgente de estrategias de conservación diferenciadas, monitoreo continuo y estudios a mayor escala de detalle para apoyar la planificación ambiental en el semiárido brasileño.

**Palabras clave:** Ecología del Paisaje. Métricas del Paisaje. Semiárido. Patrones Ecológicos. Conservación Ambiental.



## 1 INTRODUÇÃO

As alterações no uso e cobertura da terra decorrem, predominantemente, de processos antrópicos que modificam os padrões espaciais das paisagens e interferem nos processos ecológicos, resultando em impactos sobre a biodiversidade (Oliveira; Valente; Vettorazzi, 2002; Fahrig, 2003). No âmbito da ecologia da paisagem, torna-se possível quantificar esses padrões espaciais e monitorar a dinâmica do uso da terra ao longo do tempo, produzindo informações estratégicas para o manejo e a conservação ambiental (Metzger, 2001).

As mudanças nas paisagens do bioma Caatinga, impulsionadas por atividades antrópicas, geram transformações nos padrões espaço-temporais de uso e cobertura da terra, tornando indispensável a obtenção de informações detalhadas sobre as ecorregiões e as consequências dessas pressões sobre sua integridade ecológica (Castelletti et al., 2013; Leal et al., 2005). Do ponto de vista conceitual, uma ecorregião pode ser definida como uma unidade relativamente extensa de terra e água, delimitada pelos fatores bióticos e abióticos que regulam a estrutura e o funcionamento das comunidades naturais nela presentes (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002). As zonas de transição entre ecorregiões são particularmente sensíveis a variações nos padrões de precipitação, altitude e relevo (Suter, 1998), o que as torna especialmente vulneráveis às perturbações antrópicas.

Estudos realizados pela EMBRAPA (Zoneamento Agroecológico do Nordeste – ZANE, 1993, 2000) juntamente com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio do Programa Nacional da Biodiversidade, contribuíram para o conhecimento dos aspectos geofísicos e ambientais do bioma Caatinga e indicaram áreas prioritárias para conservação. A The Nature Conservancy do Brasil (TNC) iniciou em 1998 o Programa Caatinga, que utilizou divisões ecogeográficas ou ecorregiões como unidades geográficas para o planejamento, considerando diversas espécies e tipos de comunidades naturais inter-relacionadas (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002). Esta configuração fornece uma base para o desenvolvimento de estratégias prioritárias para a conservação biológica do Bioma (Silva et al., 2013a).

Admitindo a importância do conhecimento acerca dos padrões espaciais da Caatinga, pesquisas sobre a quantificação desses padrões foram realizadas (Carvalho; Freitas, 2005; Silva et al., 2013b). Destacam-se, nesse sentido, as produções que abordam as mudanças no uso e cobertura de terras a partir de séries temporais de imagens de satélite (Batista; Santos, 2011; Fernandes et al., 2015; Sousa; Santos, 2020). Segundo Fernandes et al. (2015), em uma região semiárida do Estado de Sergipe, os resultados indicam um aumento de mais de 26% do desmatamento da vegetação nativa, sendo a Caatinga a mais impactada, convertida em sua maioria em pastagens. Outra pesquisa sobre a análise multitemporal da dinâmica de uso e cobertura do solo na região do médio São Francisco indicou uma predominância da vegetação campestre na paisagem, identificando os anos em que a supressão da vegetação ou alternância de atividades agrícolas são mais intensas (Dos Santos et al., 2019).



A literatura científica sobre o tema tem ressaltado a importância de considerar as especificidades do bioma Caatinga; contudo, poucos estudos tratam especificamente das ecorregiões que o compõem, evidenciando uma lacuna considerável em relação à análise dos padrões espaço-temporais dessas unidades. O diferencial desta pesquisa reside na realização de uma análise multitemporal abrangente das ecorregiões do bioma Caatinga, identificando as unidades de maior potencial para a conservação ambiental e aquelas mais vulneráveis à perda de cobertura vegetal.

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivos: (i) analisar como as mudanças de uso e cobertura da terra se processam para as diferentes ecorregiões do Bioma Caatinga e como alteram os padrões estruturais das paisagens; (ii) avaliar a dinâmica de uso e cobertura da terra para as diferentes ecorregiões por meio das transições das classes, identificando onde ocorreram as maiores transformações; e (iii) identificar como se comportam estruturalmente as diferentes ecorregiões da Caatinga por meio da utilização de métricas da paisagem em uma série temporal (1985–2018).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A ecologia da paisagem é um campo interdisciplinar que investiga as relações entre os padrões espaciais das paisagens e os processos ecológicos que nelas ocorrem. Segundo Metzger (2001), a disciplina permite quantificar padrões espaciais e monitorar a dinâmica do uso da terra ao longo do tempo, gerando informações fundamentais para o manejo e a conservação ambiental. Forman e Godron (1986 apud Oliveira; Valente; Vettorazzi, 2002) estabeleceram que a paisagem é composta por mosaicos de manchas heterogêneas que interagem entre si, sendo que as mudanças nesse mosaico refletem diretamente os processos ecológicos subjacentes.

A fragmentação de habitats é um dos principais efeitos das mudanças no uso e cobertura da terra, resultando em perdas expressivas de biodiversidade. Fahrig (2003) demonstrou que a fragmentação reduz o tamanho dos habitats disponíveis, isola populações e compromete o fluxo gênico entre espécies, levando à diminuição da diversidade biológica em escala regional e local. Essas consequências são especialmente severas em biomas tropicais, onde a diversidade de espécies é elevada e muitas delas apresentam baixa tolerância à perturbação de seus habitats.

No contexto brasileiro, o bioma Caatinga configura-se como o único bioma exclusivamente nacional e o maior domínio de florestas tropicais sazonalmente secas da América do Sul (Silva; Leal; Tabarelli, 2017). Sua vegetação é dominada por espécies caducifólias adaptadas ao longo período de estiagem característico do semiárido nordestino (Prado, 2003). A Caatinga abrange nove ecorregiões com características biogeográficas e ecológicas distintas, delimitadas por fatores bióticos e abióticos que regulam a estrutura e o funcionamento das comunidades naturais locais (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002). Essa heterogeneidade torna a abordagem por ecorregiões especialmente adequada para o planejamento e a conservação da biodiversidade do bioma.



Historicamente, os estudos sobre uso e cobertura da terra no bioma Caatinga evidenciam uma progressiva substituição da vegetação nativa por atividades agropecuárias. Carvalho e Freitas (2005) e Silva et al. (2013b) realizaram análises pioneiras sobre os padrões espaciais da Caatinga, demonstrando o avanço do desmatamento em diferentes escalas. Fernandes et al. (2015) quantificaram um aumento superior a 26% no desmatamento em região semiárida de Sergipe, com a Caatinga convertida majoritariamente em pastagens. Batista e Santos (2011) identificaram que 77,34% da área do município de Teofilândia era ocupada por pastagens e solo exposto, evidenciando a extensão das transformações antrópicas no semiárido baiano.

As métricas da paisagem constituem um conjunto de índices quantitativos que descrevem a composição e a configuração espacial das paisagens em diferentes níveis hierárquicos manchas, classes e paisagem total. McGarigal, Cushman e Regan (2005) organizaram as principais métricas utilizadas na ecologia da paisagem, entre elas a área total da classe (TA), o número de fragmentos (NP), a proporção de área (PLAND) e o índice da maior mancha (LPI). Essas métricas permitem identificar tendências de fragmentação, expansão ou retração de determinadas classes de uso ao longo do tempo, subsidiando análises multitemporais de longa duração.

O projeto MapBiomias representa um avanço metodológico significativo para o monitoramento do uso e cobertura da terra no Brasil. A plataforma utiliza imagens multitemporais do satélite Landsat (resolução espacial de 30 m) e algoritmos de classificação supervisionada com Random Forest, processados na plataforma Google Earth Engine, para gerar séries históricas anuais de mapeamento para todos os biomas brasileiros (Souza et al., 2020; Mapbiomas, 2020). A Coleção 4.1, utilizada neste estudo, disponibiliza 35 mapas anuais para o período 1985–2018, permitindo análises robustas das dinâmicas de uso e cobertura da terra nas ecorregiões da Caatinga.

A análise das transições entre classes de uso e cobertura da terra complementa as métricas da paisagem ao revelar as direções e magnitudes das mudanças ocorridas ao longo do tempo. Segundo Souza et al. (2020), a reconstrução de três décadas de transformações nos biomas brasileiros com base em dados Landsat demonstra a aceleração do desmatamento em diversas regiões, com destaque para a substituição de florestas naturais por pastagens e cultivos agrícolas. Esses resultados reforçam a importância de estudos específicos por ecorregiões, capazes de identificar vulnerabilidades e prioridades de conservação em escala regional.

## 2.1 ECORREGIÕES DA CAATINGA E CONSERVAÇÃO

O conceito de ecorregião, definido como uma unidade geográfica relativamente extensa delimitada por fatores bióticos e abióticos que regulam a estrutura das comunidades naturais (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002), foi adotado como base para o planejamento de conservação do bioma Caatinga pela The Nature Conservancy do Brasil (TNC) desde 1998. Essa abordagem permite integrar



informações sobre biodiversidade, relevo, clima e uso da terra de forma espacialmente explícita, facilitando a identificação de áreas prioritárias para proteção e restauração.

Leal et al. (2005) apontaram que a Caatinga é um dos biomas mais ameaçados do Brasil, com mais de 50% de sua cobertura vegetal original já comprometida por atividades humanas. A criação de unidades de conservação é o principal instrumento legal para a proteção da biodiversidade no bioma; no entanto, o percentual de área protegida permanece abaixo das metas internacionais estabelecidas pela Convenção sobre Diversidade Biológica (Araripe et al., 2020). Castelletti et al. (2013) estimaram que a fragmentação e o desmatamento continuados colocam em risco não apenas espécies endêmicas da Caatinga, mas também a prestação de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação hídrica e a proteção dos solos.

Estudos realizados por Sano et al. (2019) sobre as ecorregiões do Cerrado demonstraram que a análise espacial em escala ecorregional é eficaz para identificar gradientes de pressão antrópica e priorizar ações de conservação. A transposição dessa abordagem para a Caatinga representa uma contribuição metodológica relevante, especialmente considerando que a distribuição das unidades de conservação no bioma é espacialmente heterogênea e, muitas vezes, não coincide com as áreas de maior vulnerabilidade ecológica.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

O presente estudo foi conduzido nas ecorregiões do bioma Caatinga, que abrange uma área total de aproximadamente 92,04 milhões de hectares. O bioma está predominantemente localizado na Região Nordeste do Brasil; entre os estados nordestinos, apenas o Maranhão não integra o bioma, enquanto a única extensão fora do Nordeste corresponde ao estado de Minas Gerais, na Região Sudeste.

A Caatinga é caracterizada por um extenso período de estiagem e baixos índices pluviométricos. Sua vegetação dominante é a floresta tropical sazonalmente seca, com distintas fisionomias e elevada densidade de plantas lenhosas, com predominância de espécies caducifólias (Prado, 2003). Os solos apresentam elevada heterogeneidade, variando entre tipos rochosos, férteis e profundos até arenosos e de baixa fertilidade. O clima é predominantemente semiárido, com índice de aridez superior a 0,65, e temperatura média anual oscilando entre 25 e 30 °C (Sampaio, 2010).

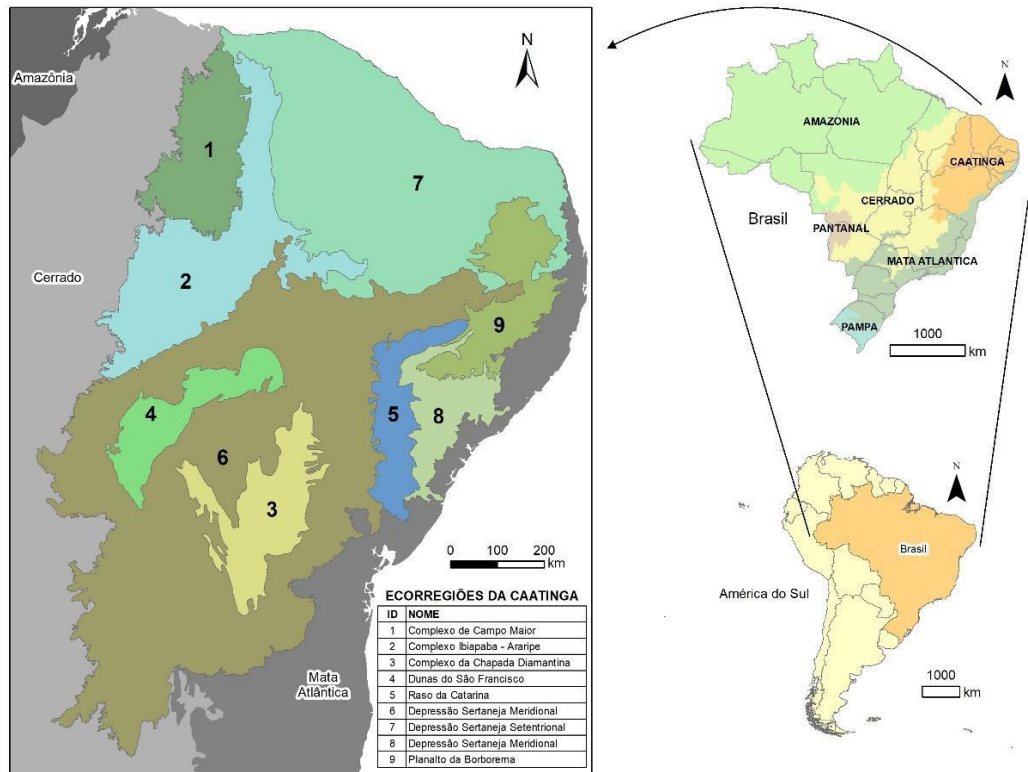
Vale ressaltar que as ecorregiões foram redelimitadas para atender às congruências da delimitação anterior (IBGE, 2004) e atual do Bioma Caatinga (IBGE, 2019), modificando-se os polígonos das áreas originais a fim de contemplar mudanças nas poligonais que descrevem o bioma no tempo e incluir áreas de similaridade vegetacional não contempladas nos polígonos originais.

O estudo foi direcionado às nove ecorregiões que constituem o bioma: (i) Complexo de Campo Maior; (ii) Complexo Ibiapaba–Araripe; (iii) Complexo da Chapada Diamantina; (iv) Dunas do São



Francisco; (v) Raso da Catarina; (vi) Depressão Sertaneja Meridional Maior; (vii) Depressão Sertaneja Setentrional; (viii) Depressão Sertaneja Meridional Menor; e (ix) Planalto da Borborema (Silva; Leal; Tabarelli, 2017).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo contendo as ecorregiões do Bioma Caatinga e a posição em que se encontra em relação ao Brasil e à América do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

Os mapas de uso e cobertura da terra empregados para a quantificação dos padrões espaciais da paisagem foram obtidos da Coleção 4.1 do projeto MapBiomas (2020), que disponibiliza uma série temporal de 35 mapas anuais (1985–2018) para o bioma Caatinga, incluindo os limites oficiais do bioma (IBGE, 2004; 2019). As metodologias de produção dos mapas estão descritas no Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) da Coleção 4, Versão 1.0 (agosto de 2019), bem como no artigo de Souza et al. (2020), publicado na revista Remote Sensing.

O MapBiomas consiste em uma rede colaborativa multidisciplinar, integrada por ONGs, universidades e empresas de tecnologia, voltada à geração anual de mapas de uso e cobertura da terra para todos os biomas brasileiros. A coordenação específica do bioma Caatinga é realizada por equipes da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), da Associação Plantas do Nordeste (APNE) e por representantes da empresa GeoDatin. A produção dos mapas baseia-se em imagens multitemporais do satélite Landsat (resolução espacial de 30 m), com classificação pixel a pixel, cujo processamento é integralmente executado na plataforma Google Earth Engine (Mapbiomas, 2020). O fluxo



metodológico contempla a geração de mosaicos temporais, a modelagem espectral de mistura e a classificação supervisionada da cobertura do solo.

A partir de análises preliminares, detectou-se que as principais mudanças nas ecorregiões do bioma Caatinga ocorreram entre duas classes: Floresta Natural e Agropecuária. O Quadro 1 apresenta a descrição geral das classes utilizadas neste estudo.

Quadro 1. Reclassificação das classes de cobertura da terra com base na Coleção 4.1 do projeto MapBiomias.

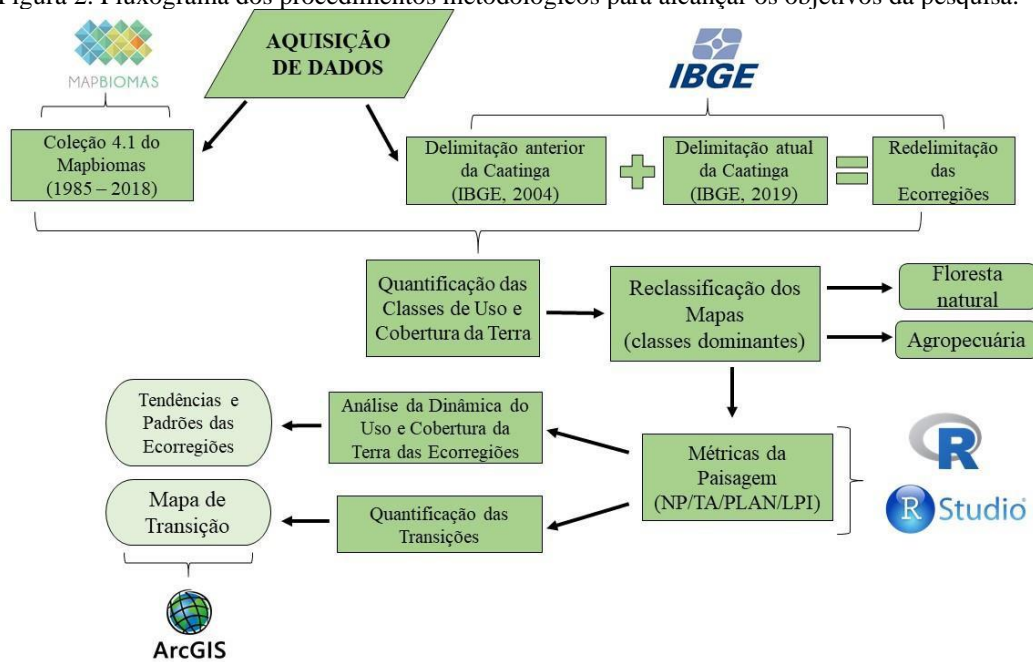
<b>Classificação MapBiomias</b>	<b>Reclassificação</b>	<b>Descrição Geral</b>
Formação Florestal	Floresta natural	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo – Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semi-Decidual e Decidual.
Formação Savânica	Floresta natural	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semi-contínuo – Savana Estépica Arborizada, Savana Arborizada.
Pastagem	Agropecuária	Áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas à atividade agropecuária.
Cultura Anual e Perene	Agropecuária	Áreas predominantemente ocupadas com cultivos anuais e, em algumas regiões do Nordeste, com a presença de cultivos perenes.
Cultura Semi-Perene	Agropecuária	Áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar.
Mosaico de Agricultura e Pastagem	Agropecuária	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A identificação dos pixels de transição entre floresta natural e agropecuária se deu após a aquisição dos mapas de uso e cobertura da terra, em uma série temporal (1985–2018) para cada ecorregião, resultando na quantificação do quanto de área foi alterada entre esses anos e sua respectiva porcentagem. A partir dos mapas anuais de uso e cobertura e dos mapas de transição, foi possível analisar o dinamismo das ecorregiões, quantificando as classes de uso da terra para cada ecorregião, evidenciando as regiões anteriormente não vegetadas que se tornaram áreas com vegetação natural e vice-versa.



Figura 2. Fluxograma dos procedimentos metodológicos para alcançar os objetivos da pesquisa.



Fonte: Autor (2020).

### 3.3 MÉTRICAS DA ESTRUTURA DA PAISAGEM

Para quantificar as mudanças dos padrões espaciais das paisagens ao longo da série temporal, foram selecionadas quatro métricas consagradas na literatura de ecologia da paisagem: área total da classe (TA), número de fragmentos (NP), porcentagem de área de mesma classe na paisagem (PLAND) e porcentagem de ocupação do maior fragmento da classe na paisagem (LPI) (Tabela 1).

A área total (TA) da classe corresponde à soma das áreas de todas as manchas pertencentes a uma determinada categoria. À medida que a TA se aproxima de zero, o tipo de classe torna-se progressivamente mais raro na paisagem. Trata-se de uma medida de composição que quantifica a proporção da paisagem ocupada por cada categoria de uso. O número de fragmentos (NP) permite mensurar o grau de fragmentação e a heterogeneidade espacial de uma classe, sendo um indicador direto da intensidade do processo de fragmentação.

A porcentagem de área de mesma classe na paisagem (PLAND) quantifica a abundância proporcional de cada categoria de uso, permitindo comparações diretas entre classes e a análise de suas contribuições relativas à composição da paisagem. O índice de maior mancha (LPI) constitui uma medida de dominância espacial: quando seu valor se aproxima de zero, a maior mancha da respectiva classe torna-se proporcionalmente menor, indicando perda de conectividade e dominância. Essa métrica varia de 0 a 100 (McGarigal; Cushman; Regan, 2005; McNamara et al., 2015).



Tabela 1. Métricas da paisagem utilizadas para quantificar as classes de uso e cobertura para cada uma das nove ecorregiões do bioma Caatinga.

Métrica	Descrição	Unidade	Intervalo
NP	Número de fragmentos ou manchas existentes nas classes temáticas	Adimensional	$NP \geq 1$
TA	Somatório das áreas de todas as manchas presentes na área de estudo	Hectares (ha)	$TA > 0$
PLAND	Porcentagem de área de mesma classe na paisagem	Porcentagem (%)	$0 < PLAND \leq 100$
LPI	Porcentagem de ocupação do maior fragmento da classe na paisagem	Porcentagem (%)	$0 < LPI \leq 100$

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados foram processados e analisados nos ambientes R (R Core Team, 2019) e RStudio (RStudio Team, 2016), enquanto a produção dos mapas temáticos foi realizada no programa SIG ArcGIS (Esri). O cálculo das métricas da paisagem baseou-se no pacote SDMTools: Species Distribution Modelling Tools (VanDerWal et al., 2014). A geração dos gráficos foi realizada com o pacote ggplot2 (Wickham, 2016). A síntese dos procedimentos metodológicos encontra-se representada na Figura 2.

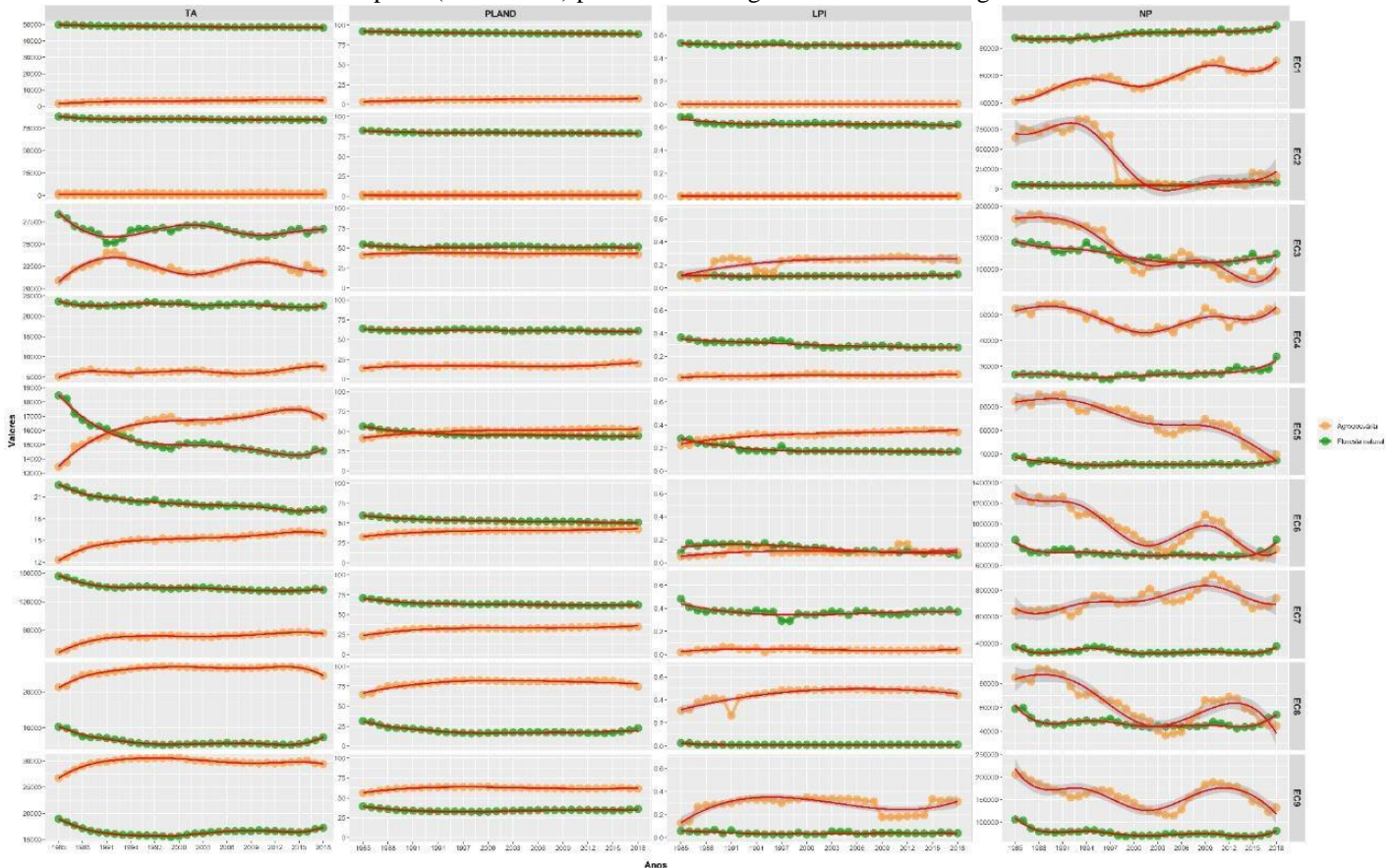
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 MÉTRICAS DA PAISAGEM

Como tendência geral observada nas ecorregiões, as métricas da paisagem indicaram redução da área total (TA) de floresta natural, acompanhada pelo aumento proporcional (PLAND) da agropecuária. Ao longo da série temporal, a maior mancha contínua (LPI) permaneceu associada à floresta natural; no entanto, verificou-se paralelamente o incremento no número de fragmentos florestais (NP), indicando crescente isolamento dos remanescentes de vegetação nativa diante do avanço agropecuário (Figura 3).



Figura 3. Gráficos relacionando os valores das métricas da paisagem (A) TA, (B) PLAND, (C) LPI e (D) NP ao longo da série temporal (1985–2018) para cada ecorregião do Bioma Caatinga.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As ecorregiões com maior proporção de floresta natural foram o Complexo do Campo Maior (aproximadamente 90%), o Complexo Ibiapaba–Araripe (75%) e as Dunas do São Francisco (60%). Em termos do índice de maior mancha (LPI), o Complexo do Campo Maior apresentou 50% de sua paisagem ocupada por floresta contínua, o Complexo Ibiapaba–Araripe registrou 60% e as Dunas do São Francisco mantiveram um LPI florestal de 25%, valor que permaneceu relativamente estável ao longo de toda a série histórica (Figura 3).

Em contraste, as ecorregiões Depressão Sertaneja Meridional Menor e Planalto da Borborema foram as únicas nas quais a maior mancha da paisagem correspondeu à agropecuária durante todo o período analisado. O LPI agropecuário evidenciou trajetória de crescimento contínuo: na Depressão Sertaneja Meridional Menor, a maior mancha agrícola respondia por 25% da paisagem no início da série, chegando a 50% no final do período (Figura 3).

No Planalto da Borborema, a maior mancha de agropecuária correspondia a cerca de 20% da paisagem no início da série e alcançou aproximadamente 30% ao final do período. Em ambas as ecorregiões, a proporção total da agropecuária superou a da floresta natural, com valores de 75% e 60%, respectivamente (Figura 3).

A ecorregião Raso da Catarina merece atenção especial: a partir da década de 1990, observou-se uma inversão de dominância entre as classes, com declínio expressivo da floresta natural e expansão

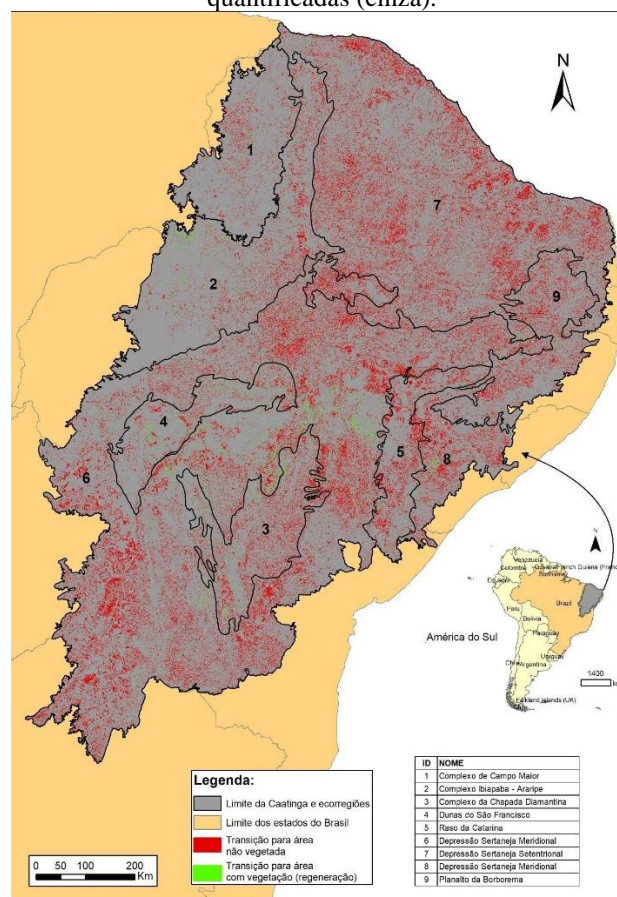


exponencial da agropecuária em termos de área e proporção. O LPI acompanhou essa tendência, refletindo o crescimento da maior mancha agrícola e o encolhimento da maior mancha florestal, com a agropecuária consolidando-se como classe dominante até o final do período analisado (Figura 3).

#### 4.2 TRANSIÇÕES DAS ECORREGIÕES

A análise das transições entre as classes de floresta natural e agropecuária nas ecorregiões do bioma Caatinga demonstra que a conversão para áreas desprovidas de vegetação foi a tendência predominante, com proporções variando de 5,1% a 17,2% (Figura 4).

Figura 4. Mapa de transição das ecorregiões do bioma Caatinga evidenciando a transição de áreas naturais para outro uso (vermelho), transições para áreas com vegetação/regeneração (verde) e áreas estáveis e demais transições não quantificadas (cinza).



Nota: Em verde, classe floresta natural; em laranja, classe agropecuária. EC1 – Complexo de Campo Maior; EC2 – Complexo Ibiapaba–Araripe; EC3 – Complexo da Chapada Diamantina; EC4 – Dunas do São Francisco; EC5 – Raso da Catarina; EC6 – Depressão Sertaneja Meridional Maior; EC7 – Depressão Sertaneja Setentrional; EC8 – Depressão Sertaneja Meridional Menor; EC9 – Planalto da Borborema.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses valores correspondem, respectivamente, ao Complexo do Campo Maior ecorregião com menor taxa de conversão e à Depressão Sertaneja Meridional Menor, onde as perdas foram mais severas. Em sentido oposto, as transições para floresta natural (regeneração) apresentaram os menores valores do conjunto, com intervalos entre 0,1% e 1,4%, registrados nas ecorregiões Depressão Sertaneja Setentrional e Dunas do São Francisco, respectivamente (Tabela 2; Figura 4). Esses



resultados reforçam a assimetria profunda entre os processos de degradação e recuperação vegetal nas ecorregiões estudadas (Figura 4, Tabela 2).

Tabela 2. Informação por ecorregião do valor total de área e a proporção de duas transições ao longo dos anos: transição para áreas não vegetadas e proporção de regeneração.

Ecorregião	ID	Área Total (ha)	Transição para áreas não vegetadas	Proporção de regeneração
Complexo de Campo Maior	1	5.352.317,07	5,1%	0,2%
Complexo Ibiapaba–Araripe	2	10.306.290,93	8,0%	0,5%
Complexo da Chapada Diamantina	3	4.732.682,06	13,3%	1,1%
Dunas do São Francisco	4	3.438.084,42	8,0%	1,4%
Raso da Catarina	5	3.055.403,85	16,3%	0,3%
Depressão Sertaneja Meridional Maior	6	35.884.037,37	15,4%	0,7%
Depressão Sertaneja Setentrional	7	21.637.363,94	16,4%	0,1%
Depressão Sertaneja Meridional Menor	8	3.055.869,93	17,2%	0,5%
Planalto da Borborema	9	4.579.765,64	13,8%	0,2%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados evidenciam que as transformações verificadas nas ecorregiões estão diretamente vinculadas à intensificação dos processos antrópicos, em particular à expansão das atividades agropecuárias. Ao longo da série temporal, extensas áreas de floresta natural foram convertidas em zonas desprovidas de qualquer tipo de cobertura vegetal. Observou-se, ainda, uma ínfima proporção de regeneração florestal natural padrão comum às nove ecorregiões —, o que evidencia o desequilíbrio entre os processos de degradação e os de recuperação vegetal espontânea (Figura 4, Tabela 2).

#### 4.3 DISCUSSÃO

As ecorregiões do bioma Caatinga foram marcadas, ao longo do período analisado, pela coexistência de duas classes dominantes: a floresta natural e a agropecuária. Os resultados apontam para uma tendência consistente de retração da vegetação nativa, expansão agropecuária e intensificação da fragmentação florestal em todas as ecorregiões investigadas. A análise das mudanças no uso e cobertura da terra contribui de forma decisiva para a compreensão das implicações sobre a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

As dinâmicas espaço-temporais observadas nas nove ecorregiões revelam uma trajetória negativa generalizada, marcada pela redução da cobertura vegetal e pelo aumento expressivo do número de fragmentos agropecuários. A ecorregião Raso da Catarina constitui um exemplo emblemático desse processo: o declínio acentuado da floresta natural e a expansão acelerada da agropecuária indicam uma transição estrutural na qual a vegetação nativa foi progressivamente



substituída por usos produtivos. É notável que esse avanço ocorreu inclusive em ecorregiões que abrigam unidades de conservação consolidadas, como a Estação Ecológica Raso da Catarina (BA) e o Parque Nacional da Chapada Diamantina (BA), demonstrando que a existência de UCs, por si só, não é condição suficiente para conter a pressão antrópica.

As ecorregiões Depressão Sertaneja Meridional Menor e Planalto da Borborema permaneceram durante todos os anos com a proporção da maior mancha na paisagem correspondendo à agropecuária e com maior área total. Esses resultados são um alerta para a importância da conservação desses ambientes. O Planalto da Borborema possui solos profundos e férteis e vegetação arbustiva aberta e arbórea. Já a Depressão Sertaneja Meridional Menor apresenta rios temporários e permanentes, grande presença de corpos d'água temporários, vegetação do tipo Caatinga arbustiva e arbórea, proporcionando alta diversidade de flora e fauna (Velloso; Sampaio; Pareyn, 2002).

Os dados evidenciam que, embora algumas ecorregiões ainda preservem maior proporção de floresta em relação à agropecuária, as transições para regeneração florestal ao longo do período 1985–2018 foram escassas. Em contraste, a proporção de áreas convertidas para usos sem cobertura vegetal foi expressivamente superior, reafirmando a urgência de criar e consolidar áreas de proteção relevantes para a biodiversidade regional.

Este estudo reafirma a importância crítica de preservar as regiões que ainda mantêm cobertura vegetal significativa, uma vez que a intensificação dos processos antrópicos transforma estruturalmente as paisagens de forma frequentemente irreversível. Tais transformações podem culminar na subdivisão de manchas florestais contínuas ou na supressão completa da floresta natural, com consequências diretas sobre a biodiversidade incluindo a perda de habitats, a redução de recursos alimentares e de abrigo, e a diminuição do fluxo gênico entre populações isoladas.

Um conjunto expressivo de estudos converge para os resultados aqui obtidos, especialmente no que tange à substituição da cobertura vegetal natural por áreas agrícolas em diferentes escalas espaciais. Castro et al. (2014) realizaram análise em uma zona de transição Cerrado–Caatinga e obtiveram crescente aumento dos fragmentos de agropecuária em detrimento dos fragmentos de floresta: em 1988, mais de 90% do município era de Vegetação Natural; em 2000, esse percentual caiu para 80%; e em 2008, chegou a 64%. Batista e Santos (2011) comprovaram o uso extensivo da terra por meio de práticas agropecuárias, onde 77,34% da área do município de Teofilândia corresponde às classes de pastagem e solo exposto.

A heterogeneidade ambiental da Caatinga, a atual distribuição das unidades de conservação, as pressões da mudança climática global e as mudanças no uso e cobertura da terra destacam a necessidade de definir novas áreas protegidas para atingir as metas de conservação. Em abril de 2018, a inclusão da unidade de conservação de Boqueirão da Onça, na Bahia, elevou para 8,8% o percentual de áreas protegidas no bioma, ainda abaixo do compromisso de 10% assumido pelo Brasil com o Plano



Nacional de Áreas Protegidas – PNAP (Decreto n.º 5758/2006) para cumprir a meta da Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB (Araripe et al., 2020; Prestes; Perello; Gruber, 2018).

As unidades de conservação são instrumentos legais de proteção ambiental que minimizam a perda de áreas florestais, resguardam a biodiversidade e auxiliam na manutenção dos serviços ambientais; entretanto, a quantidade percentual de área protegida no bioma não é, por si só, garantia desses benefícios, sendo necessárias eficácia e fiscalização adequada (Leberger et al., 2020).

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontam para a forte e crescente influência dos processos antrópicos nas ecorregiões do bioma Caatinga, com destaque para a expansão agropecuária em detrimento da vegetação nativa. Os dados revelam uma trajetória de redução da floresta natural e de fragmentação progressiva das maiores manchas florestais entre as ecorregiões, sinalizando o avanço de formas de uso que comprometem os processos ecológicos fundamentais e, por consequência, os padrões de biodiversidade do bioma.

Uma das contribuições centrais desta pesquisa consiste na análise individualizada do uso e cobertura da terra para cada uma das nove ecorregiões do bioma Caatinga, uma abordagem ainda pouco explorada na literatura. Essa lacuna precisa ser preenchida também por pesquisas aplicadas à conservação dos recursos naturais, e o presente estudo representa uma contribuição científica relevante nesse sentido.

Esta pesquisa permite concluir que determinadas ecorregiões concentram perdas severas de floresta natural, com conversão para usos sem vegetação, configurando zonas de alta prioridade para a conservação dentro do bioma. Evidencia-se, assim, a necessidade de estudos em maior resolução espacial e temporal nessas localidades, bem como o fortalecimento da fiscalização e da governança ambiental nas áreas críticas identificadas.

Esta pesquisa amplia o conhecimento espaço-temporal sobre a heterogeneidade ambiental das ecorregiões da Caatinga e demonstra a necessidade urgente de estratégias regionais diferenciadas para o manejo e a conservação. Destaca-se como contribuição científica a caracterização detalhada dos padrões e dinâmicas da paisagem, a identificação da relação entre mudanças espaciais e vulnerabilidade ecológica, e a reafirmação do papel ecológico insubstituível das ecorregiões para a manutenção da biodiversidade do bioma.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do edital CNPq/MCTI



nº 441271/2023-5 – Presente, Passado e Futuro da Biodiversidade do Semiárido: Inventários, Monitoramento, Impactos das Mudanças Climáticas e Implicações para o Uso e Conservação da Flora, Fauna e Fungos. W.J.F.R. foi apoiado por bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq (processo nº 314954/2021-0), Projeto Prospecta 4.0 – CNPq (processo nº 407907/2022-0) e pelo projeto CTBIO – FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia do Semiárido (UEFS – CTBio-CIMATEC SERTÃO). Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estudos Interdisciplinares e Transdisciplinares em Ecologia e Evolução (INCT IN-TREE), financiado pelo CNPq (408930/2024-1), pela CAPES (88887.195651/2025-00) e pela FAPESP. Financiamento adicional foi fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), por meio do programa Bioeconomia, Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental na Bahia, no âmbito da Chamada nº 38/2022, Acordo de Cooperação Técnica nº 294/2023 e Termo de Outorga nº PPF0003/2023. Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM/UEFS) pelo apoio institucional, bem como ao SENAI CIMATEC pela contribuição no desenvolvimento científico e tecnológico voltado à inovação aplicada. R.N.V. foi apoiado pelo INCT IN-TREE e agradece a bolsa SET-G 30202010010121001 – CTBIO – FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia do Semiárido (UEFS – CTBio-CIMATEC SERTÃO), vinculado a Projetos Especiais.



**REFERÊNCIAS**

- AB'SÁBER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ARARIPE, F. A. de A. L. et al. Análise de componente principal do RAPPAM em unidades de conservação de Caatinga na Depressão Sertaneja Setentrional, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 68121–68138, 2020.
- BATISTA, J. L. O.; SANTOS, R. L. Análise da dinâmica do uso e ocupação da terra em pequenos municípios baianos do semiárido brasileiro: o caso de Teofilândia. *Revista de Geografia Norte Grande*, n. 49, p. 139–155, 2011.
- CARVALHO, V. C.; FREITAS, M. W. D. Abordagem integrada para mapeamento da dinâmica da cobertura da terra em três áreas piloto do bioma Caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2005.
- CASTELLETTI, C. H. M. et al. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (org.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: UFPE, 2013.
- DOS SANTOS, N. M. et al. Análise multitemporal da dinâmica de uso e cobertura do solo na região do médio São Francisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2019.
- EMBRAPA. Zoneamento agroecológico do Nordeste (ZANE). Recife: EMBRAPA, 1993.
- EMBRAPA. Zoneamento agroecológico do Nordeste (ZANE): atualização metodológica. Recife: EMBRAPA, 2000.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, p. 487–515, 2003. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- FERNANDES, M. R. de M. et al. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 4, p. 472–482, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.137714>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatibilização dos limites*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Mapa de biomas do Brasil: primeira aproximação*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- LEAL, I. R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 8–17, 2005.
- LEBERGER, R. et al. Patterns of bird diversity and threat in urbanizing landscapes of South America. *Landscape and Urban Planning*, v. 194, p. 103671, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103671>
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: dez. 2020.



- MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; REGAN, C. Quantifying terrestrial habitat loss and fragmentation: a protocol. Fort Collins: USDA Forest Service, 2005.
- MCNAMARA, J. et al. Long-term spatio-temporal changes in a West African bushmeat trade system. *Conservation Biology*, v. 29, n. 5, p. 1446–1457, 2015. <https://doi.org/10.1111/cobi.12521>
- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica*, v. 1, n. 1-2, p. 1–9, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>
- OLIVEIRA, R. de; VALENTE, A.; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP. *Scientia Forestalis*, n. 62, p. 114–129, 2002.
- PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (org.). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: UFPE, 2003. p. 3–73.
- PRESTES, L. D.; PERELLO, L. F. C.; GRUBER, N. L. S. Evaluating management effectiveness: the specific case of environmental protection areas (APAs). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 44, p. 340–359, 2018. <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.55648>
- R CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 3 jun. 2020.
- RSTUDIO TEAM. RStudio: integrated development for R. Boston: RStudio, Inc., 2016. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 3 jun. 2020.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29–48.
- SANO, E. E. et al. Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 818–828, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.108>
- SILVA, A. C. da C. et al. Aspectos de ecologia de paisagem e ameaças à biodiversidade em uma unidade de conservação na Caatinga, em Sergipe. *Revista Árvore*, v. 37, n. 3, p. 479–490, 2013a. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000300010>
- SILVA, E. A. et al. Dinâmica do uso e cobertura da terra do município de Floresta, PE. *Floresta*, v. 43, n. 4, p. 611–620, 2013b. <https://doi.org/10.5380/ufv.v43i4.30494>
- SILVA, J. L. C. et al. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 7, n. 2, p. 180–197, 2018. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v7e2201918>
- SILVA, J. M. C. da; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (ed.). *Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America*. Cham: Springer, 2017. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3>
- SOUSA, J. S.; SANTOS, E. M. dos. Dinâmica da mudança do uso e cobertura da terra em uma paisagem da Caatinga protegida e sua zona de amortecimento. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, p. 219–234, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0019>
- SOUZA, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>



SUTER, S. Managing protected areas in the tropics. *Gale OneFile: Health and Medicine*, v. 281, p. 356–360, 1998.

THE NATURE CONSERVANCY (TNC). Programa Caatinga: planejamento e conservação ecorregional. Recife: TNC Brasil, 1998.

VANDERWAL, J. et al. *SDMTools: species distribution modelling tools*. Version 1.1-221. 2014. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/SDMTools/index.html>. Acesso em: 17 mar. 2021.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões: propostas para o bioma Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste; TNC do Brasil, 2002.

WICKHAM, H. *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. New York: Springer, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>.

