



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT E CONECTIVIDADE ECOLÓGICA EM
SERGIPE: O PAPEL DA RESTAURAÇÃO AMBIENTAL E O CUMPRIMENTO DO
CÓDIGO FLORESTAL**

LUIS FELLIPE MARTINS DE ALMEIDA

SÃO CRISTÓVÃO – SE

BRASIL

2026



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

**FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT E CONECTIVIDADE ECOLÓGICA EM
SERGIPE: O PAPEL DA RESTAURAÇÃO AMBIENTAL E O CUMPRIMENTO DO
CÓDIGO FLORESTAL**

LUIS FELLIPE MARTINS DE ALMEIDA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Ecologia da
Universidade Federal de Sergipe, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Sidney Feitosa Gouveia

SÃO CRISTÓVÃO – SE

BRASIL

2026

*“Os sonhos não determinam o lugar que você
vai estar, mas produzem a força necessária para
o tirar do lugar em que está.”*

Augusto Cury

RESUMO

A fragmentação de habitats constitui um dos maiores desafios contemporâneos para a conservação da biodiversidade, especialmente em estados com elevado grau de antropização, como Sergipe. Assim, o presente estudo buscou investigar a contribuição do cumprimento do código florestal, quanto à preservação da vegetação ripária, grau de conectividade e fragmentação de habitat no estado de Sergipe, deixando de ser apenas uma exigência legal, mas passando a representar um instrumento estratégico para conter a perda de habitats e recuperar a funcionalidade da paisagem. A restauração florestal nas áreas prioritárias é fundamental para reverter a fragmentação, fortalecer a conectividade ecológica e garantir o funcionamento da biodiversidade em Sergipe. Com base na análise espacial das Áreas de Preservação Permanente das seis bacias hidrográficas em Sergipe, o estudo revela que os remanescentes de Floresta Natural encontram-se bastante fragmentados e apresentam conectividade reduzida. Isso se reflete em altos índices de divisão dos habitats (SPLIT) e reduzidos valores de conectividade (AI) no cenário vigente. A simulação da restauração integral das APPs, de acordo com as normas do Código Florestal, aponta para uma expressiva redução da fragmentação e um aumento na conectividade estrutural, resultando na criação de corredores ecológicos mais contínuos e integração de pequenos fragmentos, principalmente nas bacias dos rios Japarutuba e Sergipe. Ainda assim, a recomposição das APPs, isoladamente, não garante áreas-núcleo contínuas em todas as bacias, permanecendo trechos com fragmentos relativamente pequenos e vulneráveis. Esses resultados demonstram que a recuperação das APPs é uma abordagem fundamental tanto para reverter a fragmentação da paisagem quanto para viabilizar a regularização ambiental em áreas com déficit de vegetação nativa. Assim, o estudo fornece subsídios práticos para orientar ações de restauração e assegurar o cumprimento do Código Florestal, promovendo a sustentabilidade das paisagens no estado de Sergipe.

Palavra-chave: fragmentação de habitat; conectividade; análise espacial.

ABSTRACT

Habitat fragmentation is one of the greatest contemporary challenges for biodiversity conservation, especially in states with a high degree of human impact, such as Sergipe. Therefore, this study sought to investigate the contribution of compliance with the Forest Code to the preservation of riparian vegetation, the degree of connectivity, and habitat fragmentation in the state of Sergipe, moving beyond mere legal requirements to become a strategic instrument for curbing habitat loss and restoring landscape functionality. Forest restoration in priority areas is fundamental to reversing fragmentation, strengthening ecological connectivity, and ensuring the functioning of biodiversity in Sergipe. Based on the spatial analysis of Permanent Preservation Areas in the six hydrographic basins in Sergipe, the study reveals that the remaining natural forests are highly fragmented and exhibit reduced connectivity. This is reflected in high habitat split indices and reduced connectivity values in the current scenario. The simulation of the complete restoration of Permanent Preservation Areas (APPs), according to the standards of the Forest Code, points to a significant reduction in fragmentation and an increase in structural connectivity, resulting in the creation of more continuous ecological corridors and the integration of small fragments, mainly in the Japaratuba and Sergipe river basins. Even so, the restoration of riparian buffer zones, in isolation, does not guarantee continuous core areas in all basins, leaving stretches with relatively small and vulnerable fragments. These results demonstrate that the recovery of APPs is a fundamental approach both to reverse landscape fragmentation and to enable environmental regularization in areas with a deficit of native vegetation. Thus, the study provides practical support to guide restoration actions and ensure compliance with the Forest Code, promoting the sustainability of landscapes in the state of Sergipe.

Key-word: habitat fragmentation; connectivity; spatial analysis.

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação de habitats representa um dos principais vetores de erosão da biodiversidade global, especialmente nos trópicos, onde a pressão antrópica sobre os ecossistemas naturais é crescente e intensa (Haddad et al., 2015). A fragmentação de habitat ou de ecossistema é usualmente caracterizada como o processo em que “uma grande extensão de habitat é transformada em muitos fragmentos menores de menor área total, isolados uns dos outros por uma matriz de habitats diferentes do original” (Wilcove; Mcellan; Dobson, 1986). Para Fahrig (2003), essa definição envolve em diversos impactos decorrentes do processo de fragmentação sobre o padrão estrutural dos habitats, tais como (i) a redução na quantidade de habitat, (ii) aumento no número de fragmentos, (iii) redução do tamanho dos fragmentos e (iv) aumento no isolamento dos fragmentos. Esse fenômeno compromete não apenas a estabilidade populacional e genética de inúmeras espécies, mas também o funcionamento dos ecossistemas e a provisão de serviços ambientais essenciais à qualidade de vida (Fahrig, 2003; Laurance et al., 2018).

A restauração florestal surge como instrumento de resgate ecológico. No entanto, é necessário planejamento estratégico de restauração em áreas degradadas e perturbadas, como também, a compreensão dos efeitos da fragmentação. Assim, o objetivo da restauração florestal, além de reconstituir o padrão estrutural florístico original, é promover a conectividade entre fragmentos, permitindo a transição de espécies, o fluxo gênico e a ampliação das funções ecossistêmicas em escala de paisagem (Forman & Godron, 1986; Tavares & Tavares, 2018). Para Rodrigues (2009), a criação de corredores ecológicos e a restauração das matas ciliares são práticas fundamentadas no aumento da conectividade e na redução significativa dos efeitos negativos do isolamento, beneficiando a biodiversidade, como a regulação hídrica e a estabilização de solos.

No Brasil, o Código Florestal (Lei 12.651/2012) cria o arcabouço legal para proteção da vegetação nativa por meio das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs), estabelecendo planos de manejo para a conservação e recuperação da cobertura florestal em propriedades rurais (Santos & Garcia, 2021). As APPs, em especial as matas ciliares, cumprem um papel imprescindível na proteção dos recursos hídricos, na contenção de processos erosivos e no favorecimento da conectividade ecológica ao longo dos cursos d'água (Martins, 2012; Rodrigues, 2009). Porém, segundo Santos e Garcia (2021), a

implementação dessas exigências legais no Brasil enfrenta obstáculos como a falta de legislação ambiental, limitações econômicas dos proprietários rurais e a carência de fiscalização efetiva dos órgãos municipais.

Em Sergipe que apresenta menor faixa territorial brasileira, sendo considerado o menor estado do país cuja extensão aproximadamente 21.910 km², a fragmentação dos habitats ganha contornos dramáticos em função de fatores históricos, socioeconômicos e políticos. Segundo Fernandes et al. (2017), a fragmentação da vegetação da caatinga do estado, um dos biomas principais, aumentou significativamente entre os anos de 1992 e 2013, em consequência da conversão da vegetação nativa para outros usos da terra. Corso et al. (2024) analisaram a dinâmica de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2021, verificaram a intensa expansão de pastagens e do mosaico agricultura-pastagem sobre a cobertura florestal, além de projetarem cenários de continuidade, destacam tendências negativas do processo de antropização da paisagem sergipana, como a redução relativa da cobertura florestal e diminuição dos estoques de carbono, evidenciando urgência para ações de conservação e restauração.

No início do século, o estado era ocupado por 41,07% de cobertura florestal (Campos, 1912). Atualmente, é aproximadamente 21,2% do território do estado, restando apenas cerca de 8,3% da faixa do bioma Mata Atlântica. Além disso, a Caatinga, impactada pelo desmatamento e uso intensivo do solo para proveitos de agropecuária, apresenta apenas 12,9% de cobertura florestal (MapBiomas, 2024). Os dois biomas apresentam remanescentes disjuntos, frequentemente inferiores a 50 hectares, separados por extensas áreas agrícolas, pastagens e zonas urbanas (Silva et al., 2023). Essa configuração compromete direta ou indiretamente a riqueza e composição de espécies nativas, trazendo um aumento na vulnerabilidade dos habitats às mudanças climáticas, alteração dos ciclos hidrológicos e intensificação dos processos erosivos.

A restauração dos ambientes fragmentados em Sergipe, assim como de outros estados, pode ser balizada pelo cumprimento do Código Florestal. Este instrumento legal estabelece diretrizes e indicadores práticos, como a largura da vegetação ripária mínima necessária conforme as dimensões dos corpos d'água, bem como determina as responsabilidades dos diferentes atores sociais, como proprietários e poder público. Assim, ele permite o direcionamento do planejamento da paisagem e na recuperação das áreas degradadas (Rodrigues & Gandolfi, 2007). Especificamente, podemos usar essas diretrizes de base para um estudo contrafactual de propriedades que as paisagens poderiam apresentar, caso o Código

Florestal fosse adequadamente cumprido. Além disso, existem mecanismos econômicos que podem viabilizar e incentivar a restauração em propriedades rurais, como programas de pagamento por serviços ambientais e os mercados de crédito de carbono. Recentemente, a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PNPSA, 2021) e o marco regulatório do mercado de carbono (Decreto nº 11.075/2022) oferecem base jurídica para criar instrumentos remuneratórios para proprietários que utilizam para conservação ou restauração da cobertura florestal, inclusive na Mata Atlântica de Sergipe (CORSO et al., 2024).

Uma análise contrafactual é uma metodologia para avaliar o impacto causal de uma intervenção (e.g., política) ao comparar o que aconteceu (a realidade observada) com o que teria acontecido se a intervenção não tivesse ocorrido, criando um “cenário hipotético” (o contrafactual) para comparação (Mahoney & Barrenechea, 2019). Ou seja, podemos simular um cenário de restauração das paisagens do estado em conformidade com as normas de vegetação ripária e investigar como aspectos das paisagens poderiam mudar com essa intervenção.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi de realizar uma análise contrafactual da contribuição do cumprimento do Código Florestal, com ênfase nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) associadas às matas ciliares, para avaliar como a restauração dessas áreas poderia contribuir para reduzir a fragmentação de habitats e aumentar a conectividade dos remanescentes florestais do estado de Sergipe.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar um levantamento da cobertura da terra e das áreas remanescentes de Floresta Natural nas Áreas de Preservação Permanente ao longo das principais bacias hidrográficas de Sergipe.
- Simular um cenário de restauração das APPs de matas ciliares em conformidade com o Código Florestal, substituindo as ocupações antrópicas presentes por vegetação nativa ao longo dos cursos d'água.

- Calcular e comparar indicadores, ou seja, métricas de paisagem relacionadas à fragmentação e à conectividade da Floresta Natural entre os cenários SEM e COM, nas bacias hidrográficas principais do estado de Sergipe.
- Analisar, através da comparação entre os dois cenários, a capacidade da restauração das APPs para reduzir a fragmentação florestal e melhorar a conectividade estrutural e funcional das áreas remanescentes de Floresta Natural em Sergipe.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo está situada no Estado de Sergipe, região Nordeste do Brasil, dividida em suas principais bacias hidrográficas: Piauí, Vaza-Barris, São Francisco, Japaratuba, Sergipe e Real. O relevo sergipano, em geral, apresenta por baixas a médias altitudes com predomínio de terrenos suavemente ondulados e áreas de decomposições mais expressivas em direção ao interior. Na costa litorânea, destacam-se planícies costeiras formadas por depósitos recentes e influenciados por ambientes flúvio-marinhos, além de comportar dunas e áreas de estuário. Em seguida, encontram-se os tabuleiros costeiros (terrenos aplanados e dissecados), os quais funcionam como linha de transição entre a faixa litorânea e as regiões mais internas. No interior, o relevo tende a apresentar superfícies mais baixas e interflúvios, com elevações isoladas (serras e formações rochosas) que influenciam o escoamento da drenagem e a divisão da paisagem (IBGE, 2022; CPRM, 2020).

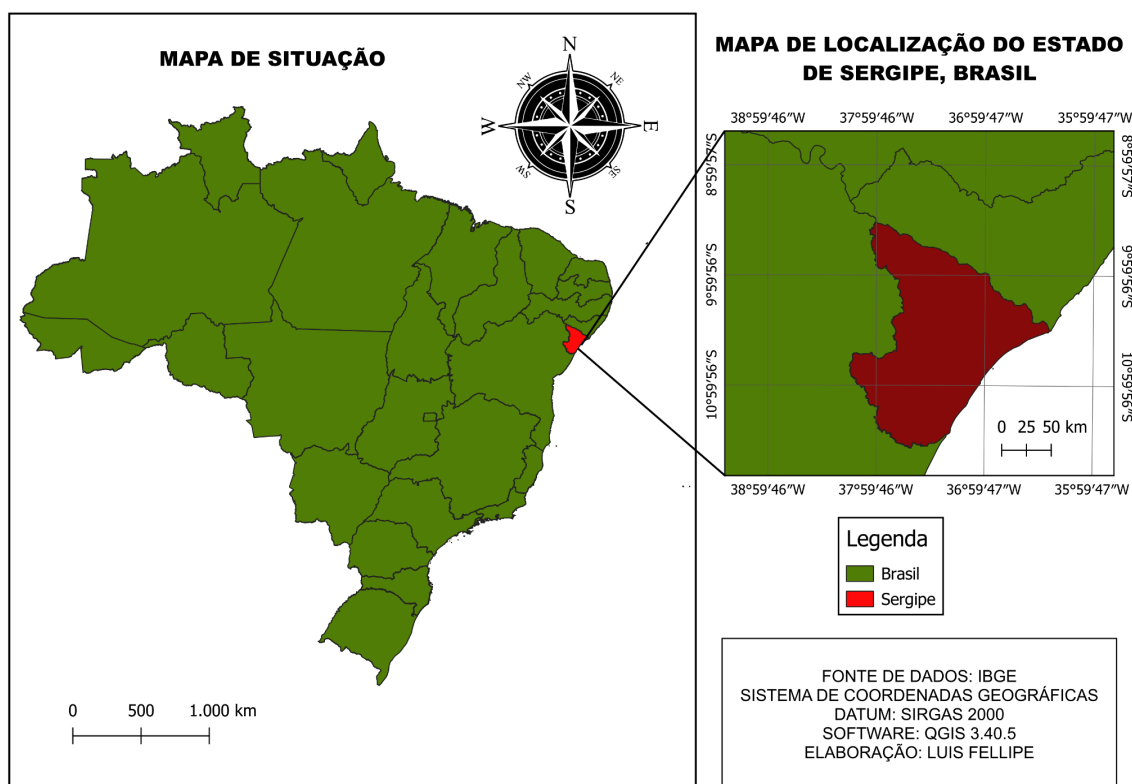
A rede hidrográfica de Sergipe apresenta relação com o relevo e o gradiente climático. O Rio São Francisco é o principal eixo hidrográfico regional, pois apresenta uma função estratégica na disponibilidade hídrica e na estruturação socioeconômica, principalmente no setor Norte do estado e nas proximidades de áreas perto de sua foz. Além dele, Sergipe é escoado por bacias de rios de importância estadual, tendo como destaque o rio Sergipe, Vaza-Barris, Japaratuba, Piauí, e Real, que deságuam, sobretudo, no Atlântico e formam estuários importantes na zona costeira. (ANA, 2021; IBGE, 2022). Porém, em termos de

funcionamento hidrológico, apresenta-se densidade de drenagem e uma durabilidade maior em setores mais úmidos (especialmente nas proximidades litorâneas), ao passo que no interior a sazonalidade pluviométrica reduz as vazões e aumentam a intermitência de canais, afetando a gestão hídrica e sensibilidade ambiental (ANA, 2021).

Em Sergipe, as condições climáticas variam da costa para o sertão sergipano: a costa litorânea é relativamente mais úmida, enquanto o interior possui uma maior restrição hídrica. Segundo os sistemas de classificação climática utilizadas, como o de Köppen-Geiger, o estado apresenta climas tropicais predominantes na zona litorânea e no agreste, enquanto que no interior tendem a desenvolver condições de secas severas, com maior irregularidade pluviométrica e longos períodos de estiagem (ALVARES et al., 2013; IBGE, 2022). Essa variação climática influencia na disponibilidade hídrica da superfície e do subterrâneo, onde ocorrem as propriedades de uso do solo e formações distributivas da vegetação. A mudança entre as áreas costeiras e interioranas, em termos geoambientais, dialoga com linhas de maior influência de formações úmidas com características das áreas secas do Nordeste podendo, nesse contexto, ser discutido como elemento fundamental ao abordar sobre cobertura vegetal, fragmentação, conectividade ou pressões antrópicas (AB'SÁBER, 2002; IBGE, 2022).

Figura 1 - Mapa de situação e localização do Estado de Sergipe no Brasil em destaque.

Fonte: IBGE (malhas territoriais). Elaboração: Luis Fellipe, no QGIS 3.40.5, (2026).



3.2 Dados espaciais, pré-processamento e reclassificação do raster

Para caracterizar o uso e a cobertura da terra, foram utilizados dados do projeto MapBiomias, Coleção 9 (2022), em formato raster, com resolução espacial de 30x30 m. As camadas vetoriais das bacias hidrográficas e da rede de drenagem foram obtidas pelo sistema SERhidro (<https://serhidro.semec.se.gov.br/>), disponibilizado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Sustentabilidade e Ações Climáticas (SEMACE). Todos os dados foram estruturados e processados no software **QGIS (versão 3.40.5)**, no sistema de referência **SIRGAS 2000/UTM 24S**. Na reclassificação do raster foram agrupadas as classes de uso e cobertura do solo. As classes de cobertura florestal foram reunidas em categoria única, cujo nome denominado Floresta Natural, enquanto as outras categorias Pastagem, Agricultura e as demais coberturas antropizadas foram agrupadas na classe Uso Antrópico. As categorias Área Urbana e Água foram mantidas, pois, mesmo localizadas em Áreas de Preservação Permanente, não foram consideradas passíveis de recuperação neste presente estudo.

3.3 Delimitação das APPs e elaboração do contrafactual

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo dos cursos d'água foram delimitadas usando o Sistema de Informação Geográfica (SIG) com base na rede de drenagem obtidas junto ao SERHIDRO/SEMAC. Inicialmente, a hidrografia foi conferida e ajustada ao sistema de referência SIRGAS 2000/ UTM 24S. Em seguida, a partir dos eixos dos cursos d'água, foram geradas áreas de influência laterais (*buffers*) com larguras definidas conforme o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). As faixas de APP assim obtidas foram intersectadas com os limites das bacias hidrográficas, resultando, para cada bacia, em um polígono da área total de APP.

Em seguida, as APPs foram utilizadas como máscara para recortar o mapa *raster* do MapBiomas, o que nos deu um mapa de uso e cobertura do solo restrito às APPs. Com esse recorte, foram construídos dois cenários distintos, um cenário SEM restauração (SEM), que representa o estado atual das APPs, mantendo as classes originais do MapBiomas. O outro cenário, COM restauração (COM), simulou o cumprimento do Código Florestal, em que todas as áreas dentro das APPs classificadas como usos antrópicos foram transformadas na categoria Floresta Natural, excetuando-se apenas as categorias "Área Urbana" e "Água" (Figura 2). No entanto, foram consideradas, somente para visualização, as classes do cenário COM restauração, como análise principal para a simulação (Figura 2).

3.4 Métricas de fragmentação e conectividade

Para cada conjunto de dados de bacia e cenário (SEM e COM), a classe Floresta Nativa foi isolada por reclassificação binária (floresta = 1; demais classes = 0).

Em seguida, foram calculados, para a categoria Floresta Nativa nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) de cada bacia, os seguintes indicadores:

- **AI (Aggregation Index)** - índice de agregação dos fragmentos, ou seja, mede a conectividade dos fragmentos, variando de 0 a 100, de modo que, valores mais altos representam maior agregação/conectividade.

- **SPLIT (Splitting Index)** - mostra o grau de divisão do habitat, ou seja, nível de separação do ambiente; valores altos indicam paisagens mais fragmentadas.

A escolha das métricas SPLIT e AI deve-se ao fato de representarem formas diretas e pouco redundantes para os dois aspectos centrais deste estudo. Outras métricas disponíveis são em grande parte correlacionadas com essas ou menos relevantes para os objetivos

propostos. Assim, foi escolhido esses indicadores para facilitar a interpretação focando nas respostas mais alinhadas à pergunta de pesquisa.

A manipulação de dados espaciais foi realizada com o software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2002) e as métricas de paisagens foram calculadas com o auxílio do software Fragstats 4.3 (McGarigal, 2015).

4. RESULTADOS

4.1 Distribuição espacial da Floresta Nativa nas APPs

A Figura 2 apresenta a distribuição da cobertura do solo nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) em Sergipe nos cenários SEM (A) e COM restauração (B). No cenário SEM restauração, observa-se que grande parte das APPs da rede de drenagem está ocupada por atividades humanas, com a Floresta Nativa (verde) restrita às manchas descontínuas, principalmente no interior do estado. Em várias porções das bacias hidrográficas, especialmente no centro-sul e no leste sergipano, as matas ciliares são interrompidas por grandes áreas de agricultura e pecuária.

No cenário COM restauração, as áreas antrópicas APP são cobertas por vegetação nativa, criando corredores florestais mais contínuos, que acompanham o curso dos rios principais e de seus afluentes. Notadamente, percebe-se uma redução de falhas na vegetação ao longo da drenagem e uma maior conexão entre fragmentos florestais que, no cenário SEM, apareciam visualmente isolados.

Figura 2 - Cobertura do solo nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) do estado de Sergipe nos cenários (A) sem restauração e (B) com restauração. Em azul, corpos d'água; em verde, Floresta Nativa; em preto, áreas urbanas; em vermelho, floresta plantada. Fonte MapBiomas - Coleção 9 (2022); SEMAC/SE - hidrografia; elaboração própria no QGIS.

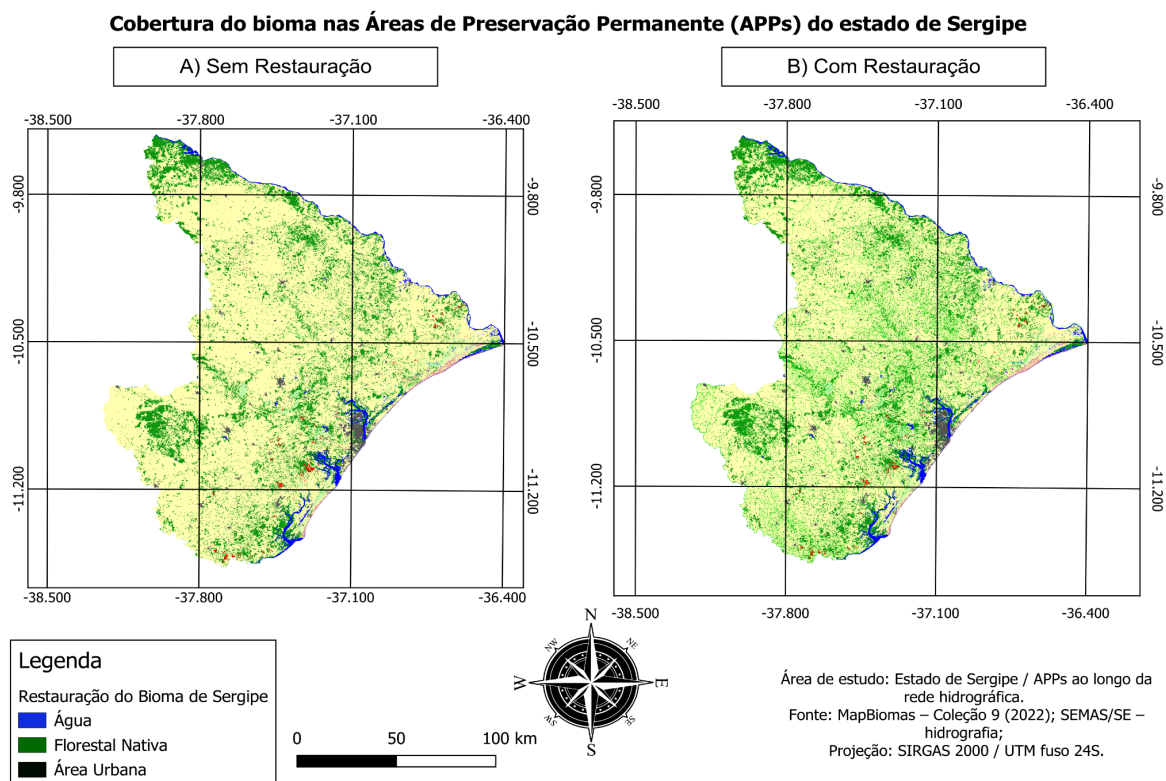
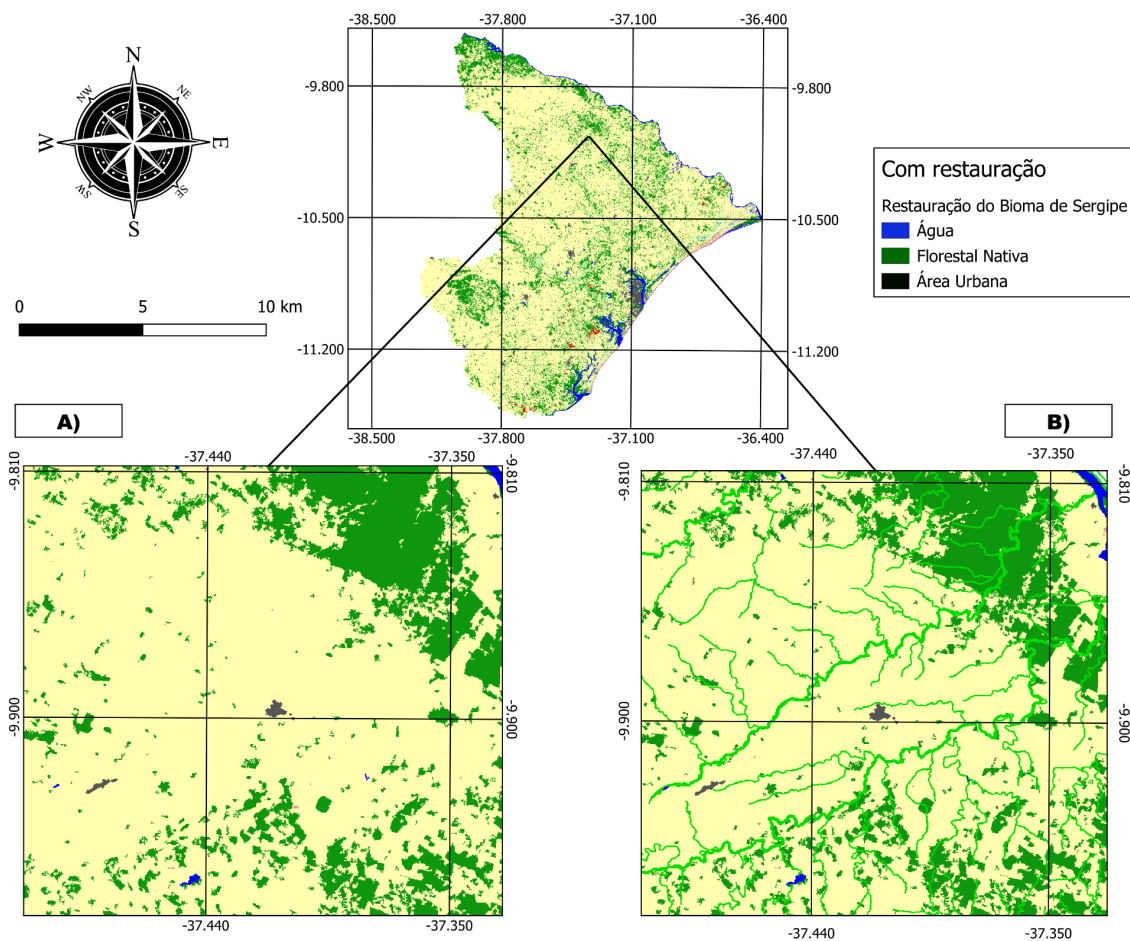


Figura 3 - Localização detalhada das áreas SEM restauração (A) e COM restauração (B).

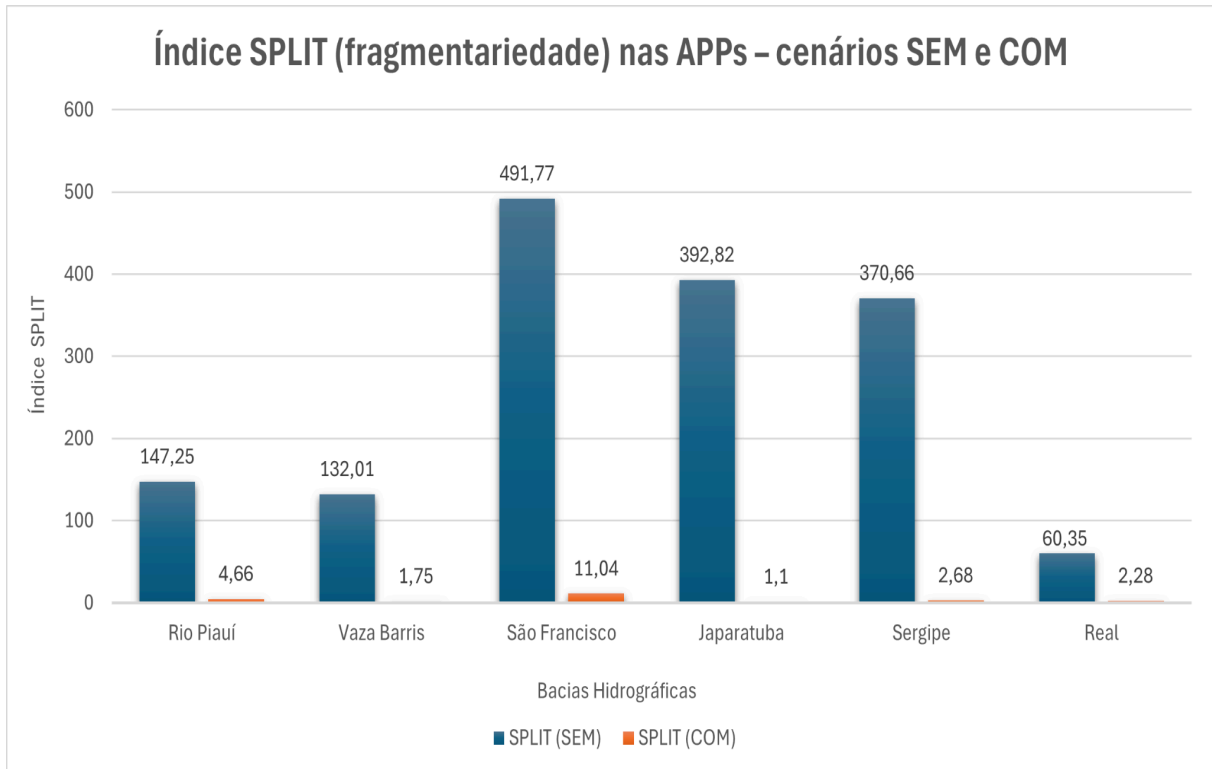


4.2 Índice SPLIT (fragmentação)

A **Figura 4**, apresenta resultados dos valores de subdivisão da paisagem para os cenários SEM e COM. Atualmente, nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), as bacias apresentam elevados níveis de fragmentação, indicando que as paisagens estão altamente fragmentadas. A bacia do rio São Francisco é a que apresenta o maior valor observado (SPLIT = 491,77), sendo a mais fragmentada entre as analisadas; em seguida, seguem as bacias do rio Japarutuba (392,82) e do rio Sergipe (370,66).

No cenário COM (**Figura 4**), os valores de SPLIT diminuem drasticamente em todas as bacias, principalmente nas bacias do Rio Japarutuba (1,10) e do Rio Sergipe (2,68), que projetam a menor fragmentação. Em termos gerais, a redução de SPLIT entre os cenários ultrapassa 96% em todas as bacias, atingindo aproximadamente 99,7% na bacia do Japarutuba. Isso mostra a transição de uma paisagem composta por fragmentos pequenos para outra formada pelos mesmos fragmentos, porém, mais integrados.

Figura 4 - Valores do índice de subdivisão (Splitting Index) para áreas de Floresta Nativa em APPs nas bacias hidrográficas sergipanas, avaliando os cenários sem restauração (SEM) e com restauração (COM)

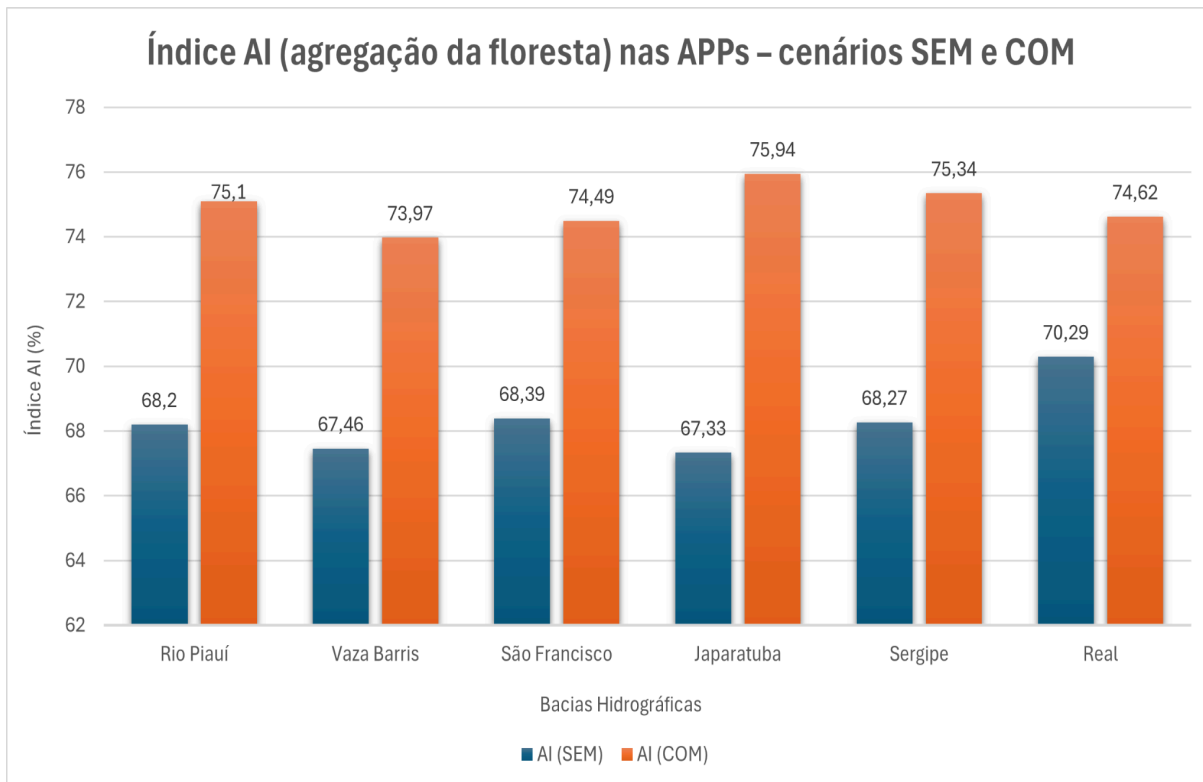


4.3 Índice AI (conectividade dos fragmentos)

Os resultados são apresentados na Figura 5, que mostra o índice de agregação (AI). Atualmente, nas áreas de preservação permanente, o AI apresenta valores consistentemente mais altos no cenário COM restauração em todas as bacias hidrográficas. No cenário SEM, o AI demonstra variações de 67,33 (Japarutuba) a 70,29 (Real), denotando uma concentração moderada da floresta nas APPs. No cenário COM, esses valores aumentam para um intervalo entre 73,97 (Vaza Barris) e 75,94 (Japarutuba).

A bacia do rio Japarutuba destaca-se novamente ao exibir o menor AI no contexto SEM e o maior AI no contexto COM, reforçando que essa é a unidade hidrográfica que obtém maior proveito, em relação à agregação de fragmentos, com a restauração simulada das APPs.

Figura 5 - Valores do índice AI (Aggregation Index) para áreas de Floresta Nativa em APPs nas bacias hidrográficas sergipanas, nos cenários panorâmicos sem restauração (SEM) e com restauração (COM).



5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que, no contexto do estado de Sergipe, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) apresentam elevado nível de fragmentação e estrutura de conectividade da Floresta Natural relativamente baixa na situação atual. O padrão de segmentos descontínuos de vegetação ciliar, que pode ser visualizado nos mapas (Figuras 2 e 3), é corroborado quantitativamente por altos valores dos índices de subdivisão (SPLIT) e por um índice relativamente baixo de agregação (AI). Essa configuração está alinhada à literatura, que identifica a fragmentação de habitats como um dos principais catalisadores da perda de biodiversidade em ambientes altamente antropizados, especialmente em áreas tropicais (HADDAD et al., 2015; LAURANCE et al., 2018; FAHRIG, 2019; ARROYO-RODRÍGUEZ et al., 2020).

Em Sergipe, onde a cobertura florestal remanescente já é reduzida e se compõe principalmente por pequenos fragmentos (CAMPOS, 1912; SILVA et al., 2023;

FERNANDES et al., 2017; CORSO et al., 2024)), a conservação de APPs isoladas tende a acentuar os efeitos de borda, comprometer a qualidade do habitat e aumentar a suscetibilidade dos ecossistemas às mudanças climáticas e a fenômenos extremos. A simulação que avalia a recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), representada pelo cenário COM, resulta em uma notável transformação estrutural na paisagem. A substituição das zonas antropizadas por vegetação nativa ao longo das faixas ciliares promove a união de vários fragmentos isolados, resultando em uma diminuição do número de fragmentos vegetais, que se tornam maiores e mais interconectados. Isso se reflete no aumento da agregação (AI), bem como na significativa redução das subdivisões de habitats (SPLIT). Sob a perspectiva da ecologia de paisagem, esse padrão aumenta a conectividade estrutural e reduz a fragmentação, fatores que favorecem a continuidade de populações em ambientes heterogêneos (FORMAN; GODRON, 1986; WU; HOBBS, 2002).

Uma conectividade elevada tende a facilitar a movimentação da fauna entre os fragmentos, o fluxo gênico e a recolonização de áreas degradadas, reduzindo o risco de extinções locais e melhorando a resiliência da biota frente a perturbações. (BARRET; PELES, 1999; FAHRIG, 2003). Do ponto de vista ecológico, restaurar essas Áreas de Preservação Permanente (APPs) envolve mais do que simplesmente recompor a cobertura arbórea. As matas ciliares funcionam como corredores ecológicos naturais, conectando fragmentos que se encontram em topos de montanhas, encostas e vales, e aumentando a permeabilidade do ambiente para espécies nativas (RODRIGUES, 2009; TAVARES; TAVARES, 2018).

A existência de faixas contínuas de vegetação ripária ao longo das margens favorece a movimentação de diversas espécies, incluindo aves, mamíferos e insetos polinizadores, além de auxiliar na dispersão de sementes por toda a rede de drenagem. Ao mesmo tempo, a restauração dessas áreas auxilia na estabilização do solo, no controle da erosão e na proteção dos cursos d'água, reduzindo o assoreamento, aprimorando a infiltração de água e regulando o regime hidrológico das bacias hidrográficas (MARTINS, 2012; ANA, 2021). Assim, a conectividade aumenta serviços ecossistêmicos como biodiversidade, sequestro de carbono e na qualidade e quantidade de água, sendo verificado pelos índices de paisagem cujo está intimamente relacionado à melhora de diversos serviços ambientais significativos para a sociedade sergipana.

A análise das bacias hidrográficas revela que Japaratuba e Sergipe se destacam por apresentarem os maiores aumentos relativos na conectividade e na diminuição da

fragmentação no cenário COM, indicando que essas áreas atualmente enfrentam um considerável déficit em termos de restauração, mas possuem elevado potencial de benefícios ecológicos se as Áreas de Preservação Permanente (APPs) forem adequadamente reestruturadas. A bacia do Rio Real, embora comece com um menor nível de fragmentação, também demonstra progressos significativos nos índices, sugerindo a formação de corredores ripários mais coesos. Esses achados se conectam com a pesquisa recente de FERNANDES et al. (2017), que revelou um aumento significativo na fragmentação da vegetação nativa em Sergipe entre 1992 e 2013, relacionado à conversão das coberturas naturais em usos antrópicos. Assim, o trabalho atual sugere que a reconstituição das APPs, em conformidade com a abordagem analítica de fragmentação de FERNANDES et al. (2017) e o Código Florestal, tem a potencialidade em reverter parte desse processo, especialmente nas bacias mais críticas, enfatizando a importância das políticas de restauração na mitigação de tendências negativas já documentadas.

O processo de ampliação da conectividade vai além de ser um número representativo. Em áreas onde a Floresta Natural está limitada a pequenos remanescentes dispersos, como ocorre em grande parte de Sergipe (SILVA et al., 2023), a conectividade é um fator crucial que influencia consideravelmente a capacidade das espécies de se forragear, ou seja, de se movimentar em busca de alimento, abrigo e parceiros reprodutivos (FORMAN; GODRON, 1986; BARRETT; PELES, 1999). O isolamento dos fragmentos é um dos principais agravantes da fragmentação, pois reduz a permeabilidade da paisagem e a redução dos procedimentos ecológicos do habitat (ALANDI et al., 2009). Uma maior conectividade resulta na diminuição do isolamento entre as populações, reduz a endogamia e promove uma maior diversidade genética, aspectos essenciais para a adaptação das espécies às mudanças ambientais (FAHRIG, 2003). Por outro lado, a diminuição da fragmentação florestal, refletida na redução do índice de subdivisão (SPLIT), indica uma queda na quantidade de pequenos fragmentos altamente suscetíveis às bordas, sendo substituídos por áreas mais extensas e estruturalmente mais estáveis.

Fragmentos maiores geralmente conseguem manter microclimas internos mais favoráveis, uma maior complexidade estrutural e uma maior diversidade de espécies, além de abrigar populações com menor risco de extinção local (HADDAD et al., 2015; LAURANCE et al., 2018). No contexto de Sergipe, as matas ciliares atuam como corredores para a fauna, contribuindo para a movimentação de aves, mamíferos e insetos polinizadores entre os

remanescentes que auxiliam a dispersão de sementes ao longo das bacias hidrográficas (RODRIGUES, 2009; TAVARES; TAVARES, 2018). Segundo CASTRO; FERREIRA (2009) e PARDINI et al. (2010), os maiores fragmentos, que alguns pesquisadores chamam de “fragmento-núcleo” ou “fragmento-fonte”, podem ser vistos como a fonte primária de recursos e material genético para os fragmentos menores, destacando-se, nesse aspecto, sua relevância no âmbito da paisagem. FERNANDES et al. (2024) suplementam a ideia de que pequenos fragmentos florestais também possuem sua contribuição significativa, podendo funcionar como trampolins-ecológicos (*stepping-stones*), ou seja, elementos de ligação entre extensas áreas, cuja função é promover o crescimento da heterogeneidade e a permeabilização da matriz da paisagem, atuando como abrigo para espécies que necessitam de ambientes particulares.

Do ponto de vista jurídico e institucional, os resultados corroboram a importância do cumprimento efetivo do Código Florestal. A Lei nº 12.651/2012 estabelece a responsabilidade de preservar e restaurar as Áreas de Preservação Permanente aos proprietários rurais, além de designar às autoridades administrativas a tarefa de fiscalizar, fornecer suporte técnico e elaborar recursos econômicos que viabilizem a recuperação das áreas degradadas (BRASIL, 2012; SANTOS; GARCIA, 2021). A Constituição de 1988 assegura expressamente o poder-dever do Estado em garantir a responsabilidade, estabelecendo a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado (art. 225), ou seja, impõe não apenas ao poder público, mas também à coletividade, o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Dessa forma, a implementação do cenário COM não pode ser visualizada apenas como responsabilidade individual dos proprietários, mas deve ser implementada para o interesse da coletividade, que requer cooperação entre proprietários, órgãos ambientais e governos municipais e estadual. Exemplos de instrumentos que podem facilitar e tornar a recomposição das APPs mais viável e socialmente aceitável em Sergipe incluem, assistência técnica e programas de regularização ambiental como os corredores ecológicos fundamentais na gestão ambiental, pois asseguram a conectividade entre áreas de conservação e a manutenção da biodiversidade. Além desses mecanismos, temos os instrumentos de pagamento por serviços ambientais e a venda de créditos de carbono apoiados pela Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais e pelo recente marco regulatório do mercado de carbono no Brasil, permitindo instituir remuneração aos proprietários rurais pela conservação e restauração da

cobertura florestal, tornando ações ambientais economicamente mais atraentes propiciando uma reciprocidade benéfica (CORSO et al., 2024)

Ao realizar uma comparação entre a situação observada (cenário SEM) e o cenário hipotético em cumprimento do Código Florestal de modo integral (cenário COM), o modelo contrafactual possibilita uma comparação analítica relevante de uma área e uma aplicabilidade dos resultados dessa avaliação no planejamento urbano em conjunto com a preservação da conectividade florestal (SILVESTRE, 2019). Essa estimativa não mede o potencial aumento da conectividade e da redução da fragmentação, mas também aponta as áreas onde os benefícios seriam mais significativos, fornecendo suporte ao planejamento territorial e à priorização das ações de restauração. Em outras palavras, a análise contrafactual converte o cumprimento do Código Florestal de um ordenamento jurídico abstrato em um cenário concreto de benefícios ecológicos, permitindo que gestores públicos e os demais envolvidos socialmente visualizem os resultados esperados de sua implementação quanto à conectividade, à integridade dos habitats e à oferta de serviços ambientais.

Em resumo, ao apresentar que a reconstituição das Áreas de Preservação Permanente em Sergipe tem a capacidade de reduzir significativamente a fragmentação, melhorar a conectividade e fortalecer as funções ecológicas fundamentais, esta análise enfatiza a importâncias da integração da restauração florestal nas abordagens de conservação e no planejamento territorial do estado. A junção de dados empíricos locais com as bases teóricas da ecologia de paisagem e com a legislação vigente evidencia que a recuperação das APPs não é apenas uma exigência de caráter normativo, mas uma oportunidade factual de reconstruir ecossistemas fragmentados, assegurar a diversidade biológica e fortalecer a resiliência socioecológica das bacias hidrográficas de Sergipe.

6. CONCLUSÃO

A integração de análises geográficas no QGIS com os indicadores de ecologia da paisagem do Fragstats possibilitou uma avaliação aprofundada do estado de fragmentação e do potencial de restauração da Floresta Natural nas áreas de preservação permanente (APPs) dos rios das principais bacias hidrográficas sergipanas. Os resultados revelam que, no atual cenário, as APPs estão intensamente ocupadas por usos antrópicos, resultando em uma paisagem bastante fragmentada, com baixa conectividade funcional e estrutural. A simulação

de cumprimento íntegro do Código Florestal nas APPs (cenário COM) permitiu visualizar o padrão espacial de formação de corredores ecológicos contínuos ao longo da rede de drenagem, o que garantiria um aumento considerável nos indicadores que medem conectividade e reduções significativas do índice de fragmentariedade (SPLIT) em todas as bacias hidrográficas.

Em conclusão, a recuperação das APPs em Sergipe possui grande potencial para mudar o cenário atual de fragmentação, transformando um mosaico de pequenos fragmentos isolados em uma rede de corredores ambientais funcionais em escala de bacia hidrográfica. Assim, do ponto de vista do planejamento ambiental, os resultados destacam a importância de priorizar ações de restauração seguindo o cumprimento do Código Florestal nas APPs, sobretudo, principalmente nas bacias do rio Japarutuba e do Sergipe, nos quais os ganhos de conectividade foram mais relevantes.

7. REFERÊNCIAS

Alandi, C.M.; LA Guerra, M.M.; Puig, C.C.; Fernández, J.V.L. Conectividad ecológica y áreas protegidas: Herramientas y casos prácticos. Madrid: FUNGOBE, 2009. 86p.

Arroyo-Rodríguez, V. et al. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*, v. 23, p. 1404-1420, 2020.

Brasil. Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 maio 2012.

Castro, E. C.; Ferreira, N. C. Diagnóstico do padrão de paisagem com métricas dos remanescentes de vegetação em Goiânia. *Habitus*, Goiânia, v. 7, n. 1, p. 229-247, 2009.

Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v.34, 2003.

Fahrig, L. Habitat fragmentation: A long and tangled tale. *Global Ecology and Biogeography*, v. 28, p. 33-41, 2019.

Fernandes, M. R. de M. et al. Análise temporal da fragmentação florestal na região semiárida de Sergipe. *Nativa*, v. 5, n. 6, p. 421-427, 2017.

- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons.
- Haddad, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, v. 1, n. 2, 2015.
- Jesus, J. B. de et al. Fragmentação florestal em região semiárida no Nordeste do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 39, e201902044, 2019.
- MapBiomas. Projeto MapBiomas – Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://mapbiomas.org>>.
- Martins, S. V. (2012). *Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados*. UFV/Ed. UFV.
- Pardini, R.; Bueno, A. A.; Gardner, T. A.; Prado, P. I.; Metzger, J. P. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. *PLoS ONE*, v. 5, n. 10, p. e13666, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013666>.
- Primack, R. B. Rodrigues, E. (2001). *Biologia da Conservação*. Editora Melhoramentos.
- Ribeiro, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? *Biological Conservation*, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.
- Rodrigues, R. R., & Gandolfi, S. (2007). *Restauração Ecológica de Florestas Tropicais*. Edusp.
- Rodrigues, R. R. (2009). *Diretrizes para a Restauração da Biodiversidade em Paisagens Fragmentadas*. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
- Santos, R. F. Garcia, L.G. (2021). *Código Florestal Brasileiro Comentado*. Editora Blucher.
- SEMARH-SE. *Diagnóstico florestal de Sergipe*. Aracaju: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos, 2014. 200 p.
- Silva, J. M. C., & Souza, J. P. (2019). *Biomass Brasileiros: Diversidade, Conservação e Sustentabilidade*. Editora Interciência.

Silvestre, B. dos S.; Sansolo, D. G. Análise da paisagem em Bertioga (SP): a aplicação de um modelo contrafactual para análise da relevância da Reserva Natural dos SESC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 42, 2022.

Tavares, J.C., & Tavares, V. A. (2018). *Ecologia de Paisagens Fragmentadas: Teoria e Prática*. Editora UFV.

Willcove, D. S.; McLellan, C. H.; Dobson, A. P. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: Soulé, M. E. (ed.). *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*. Sunderland: Sinauer Associates, 1986. p. 237-256.