



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

RAQUEL DOS SANTOS CABRAL

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA
GUAPI-MACACU POR MEIO DAS MÉTRICAS DA PAISAGEM**

Prof. Dr. CLÁUDIA MOSTER
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

RAQUEL DOS SANTOS CABRAL

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA
GUAPI-MACACU POR MEIO DAS MÉTRICAS DA PAISAGEM**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof^ª. Dr^ª. CLÁUDIA MOSTER
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**



HOMOLOGAÇÃO Nº 6/2026-DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)

Nº do Protocolo: 23083.029607/2026-41

Seropédica-RJ, 29 de junho de 2026.

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA
HIDROGRÁFICA GUAPI-MACACU POR MEIO DAS MÉTRICAS DA PAISAGEM**

RAQUEL DOS SANTOS CABRAL

APROVADA EM: 25/06/2026

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. CLÁUDIA MOSTER – UFRRJ (Orientador)

Prof. Dr. MARCONDES GERALDO COELHO JUNIOR – UFRRJ (Membro)

Dr. JORGE EDUARDO LEÓN SARMIENTO – USP (Membro)

(Assinado digitalmente em 29/06/2026 11:07)

CLAUDIA MOSTER
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)
Matricula: ###630#3

(Assinado digitalmente em 30/06/2026 09:05)

**MARCONDES GERALDO COELHO
JUNIOR**
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptCAmb (12.28.01.00.00.00.29)
Matricula: ###088#1

(Assinado digitalmente em 01/07/2026 17:31)

JORGE EDUARDO LEON SARMIENTO
ASSINANTE EXTERNO
Passaporte: ###431#3

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 6, ano: 2026, tipo: **HOMOLOGAÇÃO**, data de emissão: 29/06/2026 e o código de verificação: **2f906129f5**

Dedico este trabalho à minha tia Dena,
que me ensinou a amar os rios, a rezar e a lutar
politicamente por um mundo mais justo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às mulheres da minha família, especialmente à minha mãe, Leila, e à minha irmã, Rafaela, por me ensinarem a ser independente e a correr atrás dos meus sonhos desde cedo, mas também por estarem sempre prontas para me acolher caso algo desse errado. Às minhas avós, Regina e Tereza, que viveram a luta do trabalho no campo, mas me ensinaram a ver na natureza beleza e pertencimento.

Ao meu pai, Antônio, por ter me ensinado desde a amarrar os cadarços para ir ao jardim de infância até a como caminhar por uma floresta fechada.

Ao meu companheiro, Moreno, por compartilhar toda a jornada da graduação, as noites mal dormidas antes das provas, as incertezas do futuro e também por me ajudar a carregar um peso que a vida, coincidentemente, entregou parecido para os dois cedo demais.

Às minhas amigas de infância, Ana Lize, Layz, Juliana, Larissa, Bianca e Maria, por crescerem ao meu lado, celebrarem minhas conquistas e permanecerem presentes nos momentos difíceis mesmo quando os caminhos da vida seguiram rumos diferentes.

Aos amigos do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas, especialmente Maria Carolina e Gabriel, por tornarem o final da graduação mais leve, pela ajuda mútua diante dos desafios acadêmicos e pela amizade construída entre trabalhos, saídas de campo e horas compartilhadas no laboratório.

E à minha professora e orientadora, Cláudia, por proporcionar um ambiente saudável de aprendizado, acolher minhas dúvidas, pelos puxões de orelha necessários e por me lembrar que o nosso trabalho não nasce da crença de que o mundo não tem mais jeito, mas da esperança de que ainda existem pessoas dispostas a transformá-lo.

RESUMO

A bacia hidrográfica Guapi-Macacu apresenta grande relevância ecológica, paisagística e hidrológica para o estado do Rio de Janeiro, por reunir importantes remanescentes de Mata Atlântica e exercer papel estratégico para a manutenção da disponibilidade hídrica. Ao mesmo tempo, trata-se de uma área historicamente marcada por intensas transformações no uso e cobertura da terra, com expansão de atividades agropecuárias, ocupações antrópicas e processos de fragmentação florestal que alteraram a estrutura da paisagem e influenciaram a dinâmica dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo analisar a fragmentação florestal da bacia hidrográfica Guapi-Macacu nos anos de 1985 e 2024, por meio de métricas da paisagem, com o intuito de avaliar se as mudanças na cobertura florestal, resultaram em melhoras na configuração dos fragmentos e na conectividade da paisagem. Para isso, foram utilizados dados geoespaciais de uso e cobertura da terra, processados no software QuantumGIS (QGIS) versão 3.44.9 *Solothurn* e analisados por meio de métricas no software *Fragstats 4.2* que permitiram caracterizar a estrutura da paisagem considerando as sub-bacias hidrográficas formadoras da Guapi-Macacu. A análise também considerou a distribuição dos remanescentes florestais em diferentes classes de tamanho e localizados em áreas de preservação permanente. Assim, a análise permitiu verificar a quantidade de cobertura floresta na paisagem e sua organização espacial em relação às áreas legalmente protegidas. Os resultados indicaram aumento da cobertura florestal, mas associada à intensificação da fragmentação, com aumento do número de fragmentos muito pequenos, maior distanciamento e extensão de grandes fragmentos, e redução da conectividade entre os remanescentes. A análise por sub-bacias evidenciou diferenças importantes e os ganhos na cobertura florestal não ocorreram de maneira homogênea. Da mesma forma, os resultados evidenciaram que não ocorreu priorização de florestas em áreas de proteção. Em especial, observou-se que a sub-bacia do Guapiaçu apresentou limitações mais evidentes quanto à recomposição de APPs, sobretudo em áreas de topo de morro. Conclui-se que o aumento da cobertura florestal não refletiu em diminuição da fragmentação e no aumento da conectividade. As métricas de análise da paisagem se mostraram ferramentas eficazes para compreender a dinâmica da fragmentação florestal na bacia, contribuindo para o diagnóstico ambiental. Os resultados oferecem subsídios relevantes para a tomada de decisão, especialmente no planejamento de ações de conservação, restauração e gestão territorial voltadas à proteção dos recursos naturais da região.

Palavras-chave: Métricas da paisagem; Mata Atlântica; Ecologia da Paisagem; Sub-bacias

ABSTRACT

The Guapi-Macacu watershed holds great ecological, landscape, and hydrological relevance in the state of Rio de Janeiro, as it encompasses important remnants of the Atlantic Forest and plays a strategic role in maintaining the region's water availability. At the same time, it is an area historically marked by intense transformations in land use and land cover, with the expansion of agricultural activities, anthropic occupations, and forest fragmentation processes that have altered the landscape structure and influenced the dynamics of terrestrial and aquatic ecosystems. In this context, this study aimed to analyze the forest fragmentation of the Guapi-Macacu river basin in the years 1985 and 2024 using landscape metrics, with the purpose of evaluating whether the changes in forest cover resulted in improvements in the configuration of the fragments and landscape connectivity. To achieve this, geospatial data on land use and land cover were processed using the QuantumGIS (QGIS) software version 3.44.9 Solothurn and analyzed through metrics in the Fragstats 4.2 software, which allowed for the characterization of the landscape structure at both the river basin and sub-basin scales. The analysis also considered the distribution of forest cover across different fragment size classes and within permanent preservation areas (APPs), in order to understand not only the amount of remaining forest but also its spatial organization and its relationship with legally protected areas. The results indicated an increase in forest cover over the studied period; however, this advancement was associated with an intensification of fragmentation, featuring a growth in the number of very small fragments, isolation and expansion of large fragments, and a reduction in connectivity among the remnants. The sub-basin analysis evidenced important differences between the sectors of the Guapi-Macacu. The gains in forest cover did not occur homogeneously, nor did they prioritize legally protected areas in all cases. In particular, it was observed that the Guapiaçu sub-basin presented more evident limitations regarding the restoration of legal protected areas, especially in hilltop areas. It is concluded that the increase in forest cover did not reflect a decrease in fragmentation or an increase in connectivity. Furthermore, landscape metrics proved to be effective tools for understanding the dynamics of forest fragmentation in the basin, contributing to the environmental diagnosis. The results offers relevant insights for decision-making, especially in planning conservation, restoration, and territorial management actions aimed at protecting the region's natural resources.

Keywords: Landscape metrics; Atlantic Forest; Landscape Ecology; Sub-watershed

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Métricas da paisagem	3
2.2 Extensão do efeito de borda na Mata Atlântica	4
2.3 Instrumentos e mecanismos oficiais de conservação e restauração aplicados na bacia hidrográfica Guapi-Macacu	5
2.4 Transformações da paisagem na bacia hidrográfica Guapi-Macacu	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	6
3.2 Aquisição e caracterização dos dados geoespaciais	7
3.3 Preparo e processamento dos dados da cobertura florestal.....	8
3.4 Preparo e processamento dos fragmentos florestais por classes de tamanho	10
3.5 Caracterização da paisagem a nível de sub-bacia hidrográfica	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1 Análise da fragmentação da paisagem (1985 e 2024)	13
4.2 Conectividade da paisagem	17
4.3 Fragmentação em nível de sub-bacia hidrográfica.....	21
5. CONCLUSÃO	24
6. REFEERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é um bioma que apresenta elevada biodiversidade e alto endemismo, porém o intenso processo histórico de ocupação e exploração do território, reduziu expressivamente sua cobertura vegetal original (Dantas *et al.*, 2017). A substituição da vegetação nativa do bioma por atividades agropecuárias, expansão urbana e outras formas de uso da terra intensificou os processos de fragmentação florestal, e resultou em uma paisagem marcada pela divisão dos remanescentes florestais e por mudanças na sua estrutura e dinâmica ecológica (Simoni, 2025). Em razão da riqueza biológica associada ao elevado grau de degradação e ameaça, a Mata Atlântica é reconhecida mundialmente como “hotspot” de biodiversidade, conceito proposto por Norman Myers, em 1988, para designar áreas prioritárias para conservação (Mazzurana, 2016).

A fragmentação da paisagem compreende a divisão das manchas de vegetação por áreas destinadas a usos antrópicos (Simoni, 2025), provoca alterações significativas na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas, afeta diretamente a biodiversidade e a dinâmica ambiental (Bianchi; Kersten, 2014). De acordo com Fernandes *et al.* (2022), a redução da cobertura vegetal e o isolamento dos fragmentos favorecem a perda de habitats, a diminuição da riqueza e diversidade biológica e comprometem a permanência de espécies mais sensíveis às alterações ambientais, especialmente aquelas tipicamente florestais e especialistas (Mendes, 2023). Fragmentos muito reduzidos tendem a sofrer maior influência dos efeitos de borda, e tornam-se mais suscetíveis à invasão de espécies exóticas, pragas e alterações microclimáticas, o que intensifica a degradação ambiental da paisagem (D’Arrochella, 2022; Oliveira, 2025).

As consequências da fragmentação também se estendem aos processos físicos e hidrológicos da paisagem. Alterações no uso e cobertura da terra modificam fluxos de água, vento e radiação, interferindo no equilíbrio ecológico do núcleo de ambientes fragmentados (Simoni, 2025). A redução da cobertura florestal e das matas ciliares, associada à substituição da vegetação natural por usos agropecuários e urbanos, influencia negativamente a qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos, comprometendo processos como infiltração da água no solo, recarga hídrica e regulação da vazão dos cursos d’água (Delmaschio, 2025; Souza, 2023).

A conectividade entre os fragmentos florestais assume, portanto, papel central na conservação da paisagem (Costa; Galvão; Silva, 2019). Em termos ecológicos, a conectividade representa a capacidade de ligação entre habitats e a possibilidade de deslocamento das espécies ao longo da paisagem, permitindo a dispersão de sementes, o fluxo gênico e a manutenção de diversos processos ecológicos essenciais (Longo *et al.*, 2024). Em contrapartida, a perda dessa conectividade intensifica o isolamento dos fragmentos e reduz sua funcionalidade ecológica. Identificar áreas prioritárias para conservação e restauração ecológica torna-se uma estratégia importante para minimizar os efeitos da fragmentação e ampliar a resiliência ambiental das paisagens fragmentadas (Silva; Souza, 2014).

A paisagem é considerada mais do que um conjunto de elementos naturais isolados, é interpretada como um sistema funcional e integrado, resultado da interação contínua entre sociedade e natureza (Steinke *et al.*, 2023). Essa perspectiva é importante para compreender as transformações provocadas pelas ações antrópicas sobre os ambientes naturais, especialmente em biomas intensamente modificados, como a Mata Atlântica, o qual possui mais de 90% dos fragmentos florestais com área inferior a 5 ha (Petzinger; Berreta, 2025).

A Ecologia da Paisagem utiliza uma abordagem que auxilia a compreensão da organização espacial dos remanescentes florestais e as relações ecológicas estabelecidas dentro e entre eles. De acordo com Metzger (2001), essa área do conhecimento reúne uma abordagem geográfica, voltada à influência humana sobre a paisagem e à gestão territorial, e outra

ecológica, relacionada aos efeitos do contexto espacial sobre os processos ecológicos e a conservação biológica. Juntas, essas abordagens permitem analisar as configurações da paisagem e as interações dos fragmentos florestais, inseridos em mosaicos heterogêneos de uso e cobertura da terra (Silva; Souza, 2014).

As bacias hidrográficas constituem importantes unidades de análise da paisagem pois integram componentes físicos, biológicos e antrópicos que interagem de forma dinâmica e interdependente (Neta, 2026). Sua utilização permite compreender as relações entre relevo, hidrologia, cobertura vegetal, clima, uso e ocupação da terra e recursos hídricos, além de subsidiar o diagnóstico de impactos ambientais e o planejamento de ações de conservação e recuperação ambiental (Correia *et al.*, 2026). O estado do Rio de Janeiro, por meio da Lei Estadual nº 3.239/1999 reconheceu a bacia hidrográfica como unidade básica para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, favorecendo ações integradas de conservação e recuperação ambiental (Rio de Janeiro, 1999).

As métricas da paisagem são ferramentas que permitem quantificar a estrutura espacial da paisagem escolhida como objeto de estudo, e compreender características relacionadas ao tamanho, forma, isolamento e conectividade dos fragmentos florestais em unidades de planejamento, como as bacias hidrográficas (Silva; Souza, 2014). Essas métricas fornecem suporte científico para estratégias de conservação, restauração ecológica e planejamento territorial, e auxiliam na identificação de áreas prioritárias para manutenção dos processos ecológicos na paisagem (Dantas; Almeida; Lins, 2007; Petzinger; Berreta, 2025).

No estado do Rio de Janeiro, destaca-se a bacia hidrográfica Guapi-Macacu, inserida em uma região composta por importantes remanescentes de Mata Atlântica e responsável pelo abastecimento hídrico de grande parte do leste metropolitano fluminense (Silva; Costa; Seabra, 2023). A importância da conservação da Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu foi evidenciada durante a crise hídrica de 2002, quando a redução da vazão dos rios Macacu e Guapiaçu comprometeu até 30% o abastecimento de água pelo Sistema Imunana-Laranjal nos períodos de estiagem, e afetou aproximadamente 2 milhões de habitantes dos municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí e parte de Maricá (Peixoto; Silva; Almeida, 2016). Tal cenário voltou a ser registrado em 2021, quando a estiagem do mês de agosto fez com que a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) operasse com apenas 88% da capacidade de produção do sistema (ATRIBUNA, 2021). E posteriormente, no ano de 2024, quando a captação de água novamente foi reduzida devido às secas nos rios Guapiaçu e Macacu (Simão, 2024).

A bacia hidrográfica Guapi-Macacu, além da importância hídrica, exerce papel estratégico para a conservação da biodiversidade, pois seus remanescentes florestais da Mata Atlântica, integram importantes rotas de dispersão biológica no estado do Rio de Janeiro e podem contribuir para a manutenção dos fluxos ecológicos em escala regional (D'Arrochella, 2022). Entretanto, a paisagem da bacia hidrográfica Guapi-Macacu passou por intensas transformações antrópicas desde a década de 1940, favorecida pelo crescimento demográfico e pelo desenvolvimento econômico dos municípios inseridos na bacia caracterizado majoritariamente por atividades agropecuárias (Pedreira *et al.*, 2012).

A configuração espacial em 2011 passou a ser caracterizada pela concentração de pastagens e áreas agrícolas nas porções de menor relevo e planícies, correspondendo a 43,6% da paisagem, enquanto a cobertura florestal ocupava aproximadamente 45% da área da bacia, permanecendo predominantemente nas áreas mais íngremes e de difícil acesso (Cardoso, 2022; Pedreira *et al.*, 2010; Uzeda *et al.*, 2011). Nas últimas décadas, contudo, mudanças na legislação ambiental, a criação de unidades de conservação e os processos de regeneração natural, favoreceram o aumento da cobertura florestal para 54,36%, mantendo a concentração das transformações antrópicas nas áreas de menor relevo e maior acessibilidade (Silva; Costa; Seabra, 2023). Embora o padrão histórico de ocupação da bacia tenha permanecido

relativamente igual, ainda é necessário compreender se o aumento da cobertura florestal foi suficiente para modificar a estrutura da paisagem, especialmente em relação à fragmentação e à conectividade dos remanescentes florestais ao longo da bacia hidrográfica.

Considerando o potencial da relação entre área da cobertura florestal e conectividade da paisagem, este trabalho teve como objetivo analisar a fragmentação florestal da bacia hidrográfica Guapi-Macacu nos anos de 1985 e 2024, por meio de métricas da paisagem. Com base nos cenários analisados, na função ecológica e hídrica da bacia e nos impactos decorrentes da fragmentação da paisagem, os resultados poderão contribuir para a identificação de áreas prioritárias para conservação e restauração florestal, e gerar subsídios técnicos para o planejamento de ações de conservação, restauração ecológica e gestão dos recursos hídricos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Métricas da paisagem

As métricas da paisagem são índices quantitativos utilizados para descrever a composição e a configuração espacial da paisagem, possibilitando relacionar padrões espaciais a processos ecológicos. Logo, constituem ferramentas importantes para a análise integrada da estrutura da paisagem e para o suporte ao planejamento territorial (Petzinger; Berreta, 2025). Essas métricas são calculadas em diferentes níveis de análise: mancha, classe e paisagem. As métricas de mancha descrevem características de fragmentos individuais; as métricas de classe sintetizam o padrão espacial de uma determinada cobertura da terra; e as métricas de paisagem representam a estrutura do mosaico como um todo (McGarigal; Marks, 1995).

A estrutura da paisagem possui dois componentes principais: a composição, relacionada à quantidade de cada classe de cobertura presente na paisagem, e a configuração, que está associada ao tamanho, divisão e à distribuição dos fragmentos de cada classe (McGarigal; Marks, 1995). A análise desses componentes, de acordo com Silva e Souza (2014), permite subsidiar o estabelecimento de estratégias de conectividade na paisagem, a partir da identificação de fragmentos com maior prioridade para a conservação ambiental, em especial aqueles que fazem parte das áreas legalmente protegidas, como as Áreas de Preservação Permanente (APP). Portanto, a fragmentação florestal e a conectividade representam aspectos interdependentes da estrutura da paisagem. A fragmentação descreve como e quanto a cobertura florestal está subdividida e distribuída no espaço, enquanto a conectividade expressa as consequências dessa configuração para o fluxo biológico entre remanescentes (Fahrig, 2003).

No contexto da fragmentação florestal, as métricas em nível de classe são amplamente utilizadas por permitirem a análise integrada dos principais componentes da paisagem, sendo capazes de representar simultaneamente aspectos de quantidade e de configuração espacial dos habitats (McGarigal; Marks, 1995). A dimensão quantitativa refere-se à proporção de cobertura florestal disponível e perdida que pode ser analisada através das métricas Porcentagem da Paisagem (PLAND), Índice da Maior Mancha (LPI) e Índice da Área Central (CAI), enquanto a dimensão estrutural está relacionada à divisão e à distribuição dos fragmentos, que podem ser analisadas pelas métricas Número de Manchas (NP), Índice de Divisão da Paisagem (DIVISION) e o Índice de Agregação (AI).

O PLAND quantifica a porcentagem da paisagem ocupada pela classe. O LPI representa a proporção da paisagem ocupada pela maior mancha da classe, permitindo avaliar a dominância dos principais remanescentes. O CAI representa a porcentagem da mancha que é composta por núcleo intacto e livre dos efeitos de borda. O NP corresponde ao número de manchas existentes na paisagem e possibilita identificar alterações na subdivisão da cobertura

florestal. O DIVISION expressa o grau de subdivisão da paisagem, enquanto o AI quantifica o nível de agregação espacial das manchas. Assim, a utilização conjunta dessas métricas permite uma avaliação integrada da fragmentação florestal, contemplando tanto a composição quanto a configuração na paisagem (Ene e Mcgarigal, 2023).

Martins, Martines e Toppa (2024) destacaram a conectividade como uma estratégia fundamental para reduzir os efeitos da fragmentação. A conectividade pode ser avaliada por diferentes métricas em conjunto. Em estudos de ecologia da paisagem aplicados a bacias hidrográficas, destacam-se as métricas em nível de classe: Distância Euclidiana do Vizinheiro Mais Próximo (ENN), Índice de Proximidade (PROX) e Índice de Conectividade (CONNECT) (Fernandes; Fernandes, 2017; Longo et al., 2024; Petzinger; Berreta, 2024, 2025).

A métrica ENN corresponde à distância entre uma mancha e a mancha vizinha mais próxima pertencente à mesma classe. Essa distância é determinada pela menor distância entre as bordas das manchas, sendo calculada a partir da distância de centro a centro das células que as compõem. O PROX avalia o grau de conectividade de uma mancha ao considerar o tamanho e a proximidade de todas as manchas da mesma classe localizadas dentro de um raio de busca predefinido. E o CONNECT representa a porcentagem de conexões funcionais existentes entre as manchas de uma mesma classe, considerando uma distância máxima predefinida (Ene e Mcgarigal, 2023).

A conectividade funcional pode ser avaliada para diferentes grupos ecológicos, portanto a distância predefinida para o CONNECT irá variar de acordo com a sensibilidade e demanda de cada grupo. Segundo Vida e Pinto (2022), a distância entre remanescentes florestais exerce influência direta sobre os fluxos biológicos na paisagem. Os autores observaram que fragmentos separados por até 60 m podem atuar como corredores ecológicos, enquanto distâncias entre 60 e 120 m favorecem a conectividade funcional por meio de trampolins ecológicos (*stepping stones*), especialmente para espécies com limitada capacidade de dispersão, como pequenos mamíferos, aves de pequeno porte, insetos e plantas dependentes desses organismos para a dispersão de pólen e sementes.

Dessa forma, a fragmentação florestal e a conectividade funcional derivam da mesma configuração espacial dos remanescentes, sendo a conectividade uma expressão das consequências estruturais da fragmentação sobre o arranjo e a continuidade do habitat. Assim, ainda que possam ser quantificadas por métricas distintas, ambas integram a análise da fragmentação da paisagem em diferentes níveis de interpretação.

2.2 Extensão do efeito de borda na Mata Atlântica

A relevância do monitoramento da fragmentação florestal é reconhecida pela legislação estadual do Rio de Janeiro, Lei Estadual nº 5.690/2010, que institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima, e estabelece o inventário florestal estadual como instrumento destinado à produção de informações periódicas sobre a conservação da biodiversidade, fragmentação florestal, dinâmica da cobertura vegetal e os estoques de carbono associados à restauração florestal e ao desmatamento evitado (Rio de Janeiro, 2010).

Os impactos da fragmentação florestal, provenientes do processo de divisão das áreas contínuas de vegetação em remanescentes menores e isoladas, variam em função do tamanho, da forma e do grau de isolamento dos fragmentos (Oliveira, 2025). Entre as principais consequências da fragmentação florestal destaca-se o efeito de borda, definido por Lima-Ribeiro (2008) como o conjunto de alterações físicas, químicas e biológicas que ocorrem na zona de transição entre os fragmentos florestais e a matriz circundante. Segundo o estudo de caso realizado por Zaú (1998) para a Mata Atlântica, a extensão do efeito de borda varia dependendo do parâmetro analisado, podendo alcançar aproximadamente 60 m para alterações

microclimáticas, mais de 150 m para mudanças na estrutura do dossel e ultrapassar 500 m para alterações na composição florística.

Resultados mais recentes corroboram esses valores para a Mata Atlântica. Parra-Sanchez; Banks-Leite, (2020), ao avaliarem comunidades de epífitas ao longo de gradientes de borda, verificaram que os efeitos podem se estender até 500 m para esse grupo de plantas que dependem de condições microclimáticas mais estáveis e de florestas estruturalmente conservadas, sendo consideradas importantes indicadoras da qualidade ambiental das remanescentes. E estimaram que mais de 80% da área remanescente da Mata Atlântica sofre influência dos efeitos de borda nessa escala e que somente 1,7% de 265 mil fragmentos existentes no bioma apresentam área do núcleo livre desses impactos.

Apesar de estudos indicarem que os efeitos de borda na Mata Atlântica atingem distâncias superiores a 500 m, é comum que pesquisas da ecologia da paisagem adotem profundidades menores em suas análises. Fernandes *et al.* (2024), utilizaram a distância de 100 m para avaliar a fragmentação florestal em remanescentes de Mata Atlântica. De forma semelhante, Uzeda et al. (2011) nos primeiros estudos de métricas da paisagem realizados na bacia hidrográfica Guapi-Macacu, também adotaram a faixa de 100 m para avaliar a influência do uso do solo sobre a vegetação nativa. Isso demonstra que a profundidade considerada para o efeito de borda não é fixa, e varia conforme o componente ecológico analisado e os objetivos de cada estudo.

2.3 Instrumentos e mecanismos oficiais de conservação e restauração aplicados na bacia hidrográfica Guapi-Macacu

Os mecanismos de conservação e restauração florestal desempenham papel fundamental na manutenção da cobertura vegetal e dos serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica Guapi-Macacu. Entre os principais instrumentos de conservação destacam-se as Unidades de Conservação (UCs). A bacia abriga áreas protegidas, como o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, o Parque Estadual dos Três Picos, a Estação Ecológica Estadual do Paraíso, a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim, a APA de Petrópolis, a APA da Bacia do Rio Macacu, a APA Guapi-Guapiaçu e a APA Rio São João (Uzeda *et al.*, 2011). Em conjunto, essas unidades contribuem para a conservação da biodiversidade e para a manutenção de extensos remanescentes florestais em diferentes estágios de regeneração.

Os instrumentos legais e projetos voltados à restauração florestal implementados na bacia hidrográfica, são a Lei nº 12.651 de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e estabelece normas gerais para a conservação e recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e das Reservas Legais (RLs), incluindo áreas consolidadas até 22 de julho de 2008, inseridas em assentamentos da reforma agrária (Brasil, 2012). E o projeto Guapiaçu, patrocinado pela Petrobrás, iniciou em 2013 e restaurou aproximadamente 213 ha de floresta da Mata Atlântica da região (Projeto Guapiaçu, 2025).

A Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA) constitui uma organização não governamental que também desenvolve ações voltadas à restauração ambiental na região. Desde 2001, a instituição realiza a aquisição de fragmentos florestais remanescentes e áreas anteriormente ocupadas por pastagens degradadas, com objetivo de restaurar e contribuir para a conexão entre fragmentos de vegetação nativa. Como resultado dessas iniciativas, a REGUA restaurou mais de 700 hectares de áreas degradadas (REGUA, 2024). Portanto, a restauração florestal na bacia Guapi-Macacu ocorre por meio da integração entre instrumentos legais, unidades de conservação, programas governamentais e iniciativas da sociedade civil.

2.4 Transformações da paisagem na bacia hidrográfica Guapi-Macacu

A bacia hidrográfica Guapi-Macacu possui o histórico de uso e ocupação da terra fortemente relacionado ao desenvolvimento das atividades agropecuárias. De acordo com Uzeda *et al.* (2011), em 2011 as áreas agrícolas ocupavam 43,6% da paisagem da bacia, enquanto a cobertura florestal representava 45% de sua extensão, devido a história da região, caracterizada pelo cultivo predominante de culturas como aipim, milho e inhame por famílias de assentamentos da reforma agrária desde a década de 40. O autor Wentzel (2022) destaca o município de Cachoeiras de Macacu como uma das principais áreas de produção agrícola, marcado pela chegada de assentamentos da reforma agrária a partir de 1940, três registrados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA): Papucaia de 1967, São José da Boa Morte de 1982 e Fazenda Serra Queimada de 2001, os quais somam 1464 famílias, além de outras que lutam pela titularidade da terra.

As áreas de relevo plano e suavemente ondulado passaram a ser destinadas à agricultura, à pecuária e, posteriormente, à expansão urbana, enquanto os setores montanhosos permaneceram relativamente preservados devido às restrições impostas pelo relevo (Cardoso, 2022; Pedreira et al., 2010). Esse processo consolidou um padrão de uso da terra em que os maiores remanescentes florestais se concentram nas regiões de cabeceira, ao passo que as porções médias e inferiores apresentam maior intensidade de ocupação antrópica, impulsionada tanto pela aptidão agrícola quanto pelo crescimento demográfico e pelo desenvolvimento econômico dos municípios inseridos na bacia (Pedreira et al., 2012). Como consequência, a ocupação concentrou-se nas planícies aluviais, fundos de vale e margens dos cursos d'água, áreas de elevada importância para a manutenção dos processos hidrológicos e que abrangem grande parte das Áreas de Preservação Permanente (APPs). A conversão da vegetação nativa nesses ambientes intensificou processos erosivos, o assoreamento dos rios e a degradação da qualidade da água (Pedreira et al., 2010).

As mudanças na legislação, implementação de unidades de conservação, programas de restauração florestal e outras iniciativas de conservação contribuíram para alterações na configuração da paisagem. De acordo com Silva; Costa; Seabra, (2023) a cobertura florestal em 2023 passou a ocupar 54,36% da paisagem, as áreas agropastoris 37,80% e as áreas urbanizadas 3,27%. Apesar do predomínio da cobertura florestal, a análise do Índice de Transformação Antrópica (ITA) realizada por esses autores, demonstrou que as áreas mais baixas apresentaram maior grau de alteração pela ação humana. As planícies (ITA = 5,08) foram classificadas como paisagens muito transformadas, refletindo a intensa ocupação por atividades agropastoris, urbanas e industriais. Em contraste, as áreas mais elevadas e de relevo acidentado apresentaram os menores índices de transformação (ITA < 1,34), classificadas como paisagens pouco transformadas. Esse padrão de distribuição da transformação antrópica não ocorreu de forma aleatória, mas reflete o histórico de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica Guapi-Macacu, marcado pela expansão das atividades agropecuárias. Embora essa organização espacial tenda a se manter ao longo do tempo, a dinâmica da cobertura florestal pode modificar a estrutura da paisagem, promovendo alterações no grau de fragmentação e na conectividade entre os remanescentes florestais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica Guapi-Macacu (Figura 1), com aproximadamente 1.640 km² de área e inserida na Região Hidrográfica Baía de Guanabara (RH-

V), localizada no estado do Rio de Janeiro. A bacia corresponde a maior área de drenagem da RH-V e é formada por três rios principais, o rio Guapimirim, Guapiaçu e o Macacu, que originam três sub-bacias. A precipitação anual, varia entre 1.800 e 2.600 mm e no ponto de confluência entre esses cursos d'água, a vazão média anual é de 181 m³. s⁻¹ (Abuchacra, 2018; Lopes; Schuler; Gonçalves, 2023). Inserida no bioma Mata Atlântica, a bacia hidrográfica é composta por floresta ombrófila densa em diferentes estágios sucessionais, mangue, brejos e campos inundáveis, e formada majoritariamente pelo município de Cachoeiras de Macacu, que corresponde a 72% de sua área, seguida pelos municípios de Guapimirim (24%) e Itaboraí (4%), conforme Uzeda *et al.* (2011).

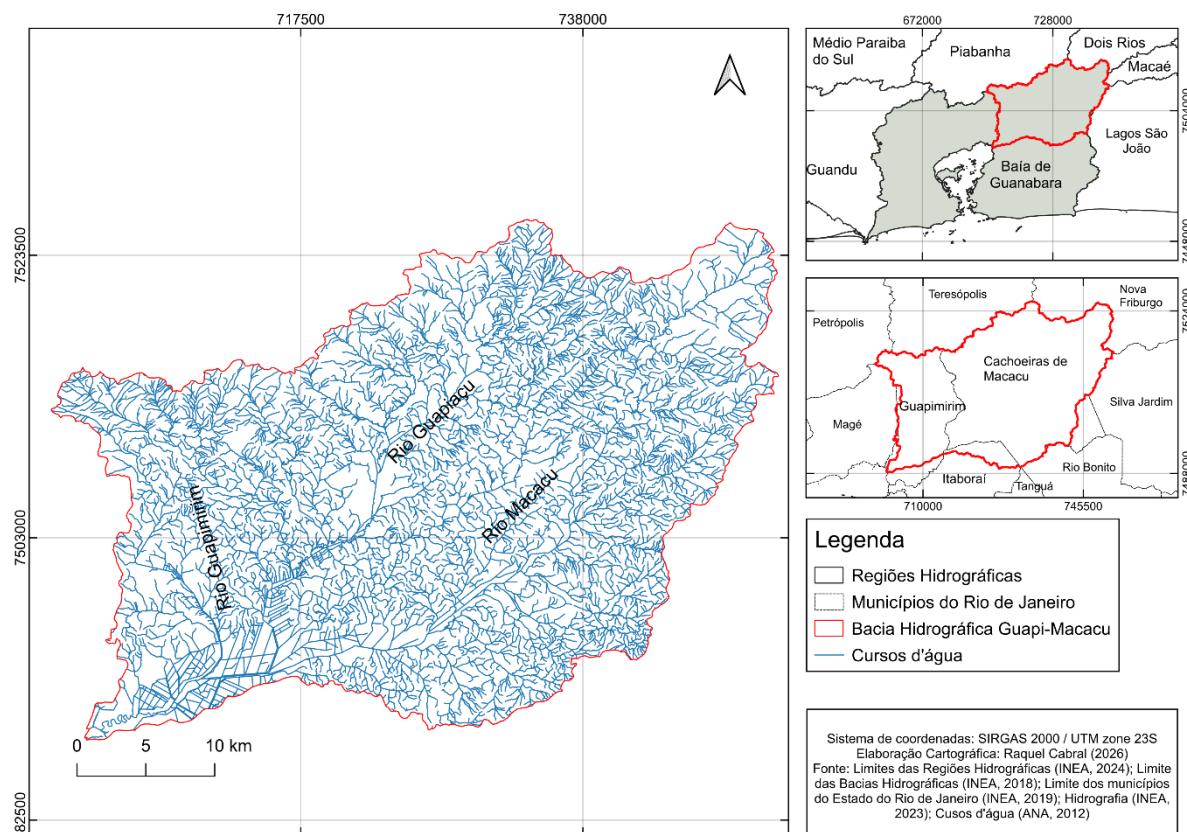


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica Guapi-Macacu na região hidrográfica da Baía de Guanabara, estado do Rio de Janeiro, com destaque para os municípios inseridos em sua área de drenagem e a rede hidrográfica principal. Fonte: Autora (2026)

3.2 Aquisição e caracterização dos dados geoespaciais

As análises conduzidas utilizaram como base os dados geoespaciais apresentados na Tabela 1. O uso e cobertura do solo foi utilizado para o cálculo das métricas da paisagem e para a caracterização da área de estudo, enquanto o Modelo Digital de Elevação (MDE) permitiu a geração de curvas de nível e a delimitação das sub-bacias hidrográficas. Os arquivos vetoriais das regiões hidrográficas, das bacias hidrográficas e dos municípios do Estado do Rio de Janeiro subsidiaram a caracterização e o recorte espacial da área analisada. A base hidrográfica possibilitou o cálculo das Áreas de Preservação Permanente (APPs) associadas aos cursos d'água, conforme os critérios estabelecidos pela Lei nº 12.651/2012. E os dados das APPs de nascentes, topos de morro, áreas com elevada declividade, lagos e lagoas foram utilizados para caracterizar e quantificar a cobertura florestal remanescente.

Tabela 1. Dados de entrada utilizados nas análises do estudo, com indicação do tipo de dado, fonte e ano de referência. Fonte: Autora (2026)

DADO DE ENTRADA	TIPO DE DADO	FONTE	ANO
Uso e cobertura do solo	Raster: 30m x 30m	MapBiomas Coleção 10 (via Google Earth Engine)	2024
Modelo Digital de Elevação	Raster: 30m x 30m	Google Earth Engine	2024
Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro	Shapefile: vetor	GeoINEA	2024
Bacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro	Shapefile: vetor	GeoINEA	2018
Municípios do Estado do Rio de Janeiro	Shapefile: vetor	GeoINEA	2019
Hidrografia	Shapefile: vetor	GeoINEA	2023
Áreas de Preservação Permanente (APP) em nascentes	Shapefile: vetor	SIGA Águas	2021
Áreas de Preservação Permanente (APP) em topo de morro	Shapefile: vetor	SIGA Águas	2021
Áreas de Preservação Permanente (APP) em lagos e lagoas	Shapefile: vetor	SIGA Águas	2012
Áreas de Preservação Permanente (APP) em declividade > 45°	Shapefile: vetor	SIGA Águas	2021

3.3 Preparo e processamento dos dados da cobertura florestal

Utilizando o software QuantumGIS (QGIS) versão 3.44.9 *Solothurn*, os dados geoespaciais foram processados. Os limites das bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, e dos limites da bacia hidrográfica Guapi-Macacu, foram as camadas de máscara para recortar os rasters de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 e 2024, obtidos da Coleção 10 do MapBiomas por meio da plataforma Google Earth Engine. O uso do solo foi reclassificado em duas classes: “Floresta” e “Não Floresta” com o objetivo de possibilitar a análise integrada de todos os remanescentes florestais da bacia hidrográfica. Foram considerados como “Floresta” as formações florestais, formações savânicas, mangue, floresta alagável e restinga arbórea, conforme a classificação adotada pelo MapBiomas na coleção 10. Embora as métricas da paisagem devam ser adaptadas para interpretação de diferentes fisionomias florestais, considerou-se a localização da área de estudo, com formação característica de Mata Atlântica. As demais classes de uso e cobertura da terra foram agrupadas na categoria “Não Floresta”.

Após a reclassificação, os rasters foram processados no software Fragstats 4.2, desenvolvido em 1995 por Kevin McGarigal e Barbara J. Marks, para análise quantitativa da estrutura espacial da cobertura florestal por meio de métricas da paisagem. A princípio, foram realizados testes exploratórios para eliminar métricas redundantes ou que não eram apropriadas para o objetivo do estudo. As métricas selecionadas são as apresentadas na Tabela 2, agrupadas

de acordo com o atributo ecológico analisado e descritas com base na interpretação de Ene e Mcgarigal (2023).

Tabela 2. Métricas da paisagem processadas para análise da cobertura florestal da bacia hidrográfica Guapi-Macacu nos anos de 1985 e 2024, acompanhadas de sua respectiva sigla, unidades de medida e descrição. Fonte: Autora (2026)

ANÁLISE	MÉTRICA	SIGLA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Fragmentação	Percentual da paisagem	PLAND	0 < % 100	Percentual da área da paisagem ocupada pela classe
	Índice da Maior Mancha	LPI	0 < % 100	Percentual da área da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe
	Número de fragmentos	NP	n°	Quantidade de fragmentos de uma classe
	Índice de divisão da paisagem	DIVISION	n° (0-1)	Probabilidade de dois pontos escolhidos aleatoriamente na paisagem não estarem no mesmo fragmento
	Índice de agregação	AI	0 < % 100	Percentual de agregação dos fragmentos de uma classe na paisagem: os fragmentos estão agrupados ou dispersos na paisagem?
Conectividade	Índice de conectividade	CONNECT	0 < % 100	Percentual de fragmentos de uma classe conectados entre si dentro de uma distância pré-definida
	Índice de proximidade	PROX_MN	n° (n°≥0)	Proximidade dos fragmentos de uma mesma classe, considerando o tamanho e a distância dos fragmentos vizinhos dentro de um raio de busca definido
	Distância euclidiana média do vizinho mais próximo	ENN_MN	m	Distância até o fragmento mais próximo da mesma classe

As métricas utilizadas para analisar a fragmentação da classe florestal foram: Porcentagem da Paisagem (PLAND), Índice da Maior Mancha (LPI), Número de Manchas (NP), Índice de Divisão da Paisagem (DIVISION) e Índice de Agregação (AI). Essas métricas permitem avaliar tanto a quantidade de cobertura florestal quanto seu grau de subdivisão e distribuição espacial.

De acordo com Ene e Mcgarigal (2023), o PLAND representa a proporção da paisagem ocupada pela classe florestal, aproximando-se de 0 quando essa classe se torna rara na paisagem e de 100 quando toda a área é composta por floresta. O LPI indica a proporção ocupada pela maior mancha florestal, sendo próximo de 0 quando a maior mancha é muito reduzida e igual a 100 quando uma única mancha ocupa toda a paisagem. O NP corresponde ao número de manchas florestais, sendo igual a 1 quando existe apenas um fragmento na paisagem. Esse índice indica o grau de subdivisão da classe, embora não forneça informações sobre tamanho ou distribuição dos fragmentos isoladamente. O DIVISION representa a probabilidade de dois pixels escolhidos aleatoriamente pertencerem a fragmentos distintos. Valores próximos de 0 indicam baixa fragmentação, enquanto valores próximos de 1 refletem uma paisagem altamente subdividida em pequenos fragmentos. O AI expressa o grau de agregação dos fragmentos florestais, sendo igual a 0 quando os fragmentos estão totalmente dispersos e atingindo 100 quando estão completamente agregados em um único bloco contínuo.

Para avaliar a conectividade da paisagem, foram utilizadas as métricas Distância Euclidiana Média do Vizinho Mais Próximo (ENN_MN), Índice de Proximidade (PROX) e Índice de Conectividade (CONNECT), que permitem avaliar o potencial de conexão entre os remanescentes florestais e inferir os efeitos da configuração espacial da paisagem sobre o fluxo biológico. Ene e Mcgarigal (2023), interpretam o ENN_MN como a distância euclidiana média entre um fragmento e seu vizinho mais próximo da mesma classe. Valores baixos indicam maior proximidade entre os remanescentes e, conseqüentemente, maior potencial de conectividade. O PROX, como grau de isolamento dos fragmentos ao considerar simultaneamente a distância, o tamanho e a quantidade de manchas vizinhas da mesma classe dentro de um raio de busca predefinido. Por se tratar de uma métrica adimensional, sua interpretação é essencialmente relativa, sendo utilizada para comparar o grau de proximidade entre diferentes paisagens ou períodos de análise. Valores mais elevados indicam maior proximidade e maior disponibilidade de habitat no entorno do fragmento. Neste estudo, foi adotado um raio de busca de 1.000 m, conforme utilizado por Uzeda et al. (2011) para a bacia hidrográfica Guapi-Macacu. O índice CONNECT, como a proporção de fragmentos funcionalmente conectados a partir de uma distância-limite definida pelo usuário, variando de 0 (ausência de conectividade) a 100 (todos os fragmentos conectados). Foi utilizado para avaliar o potencial de conectividade considerando o limiar de 100 m, adotado com base em Vida e Pinto (2022). Os autores indicam que indicam que fragmentos separados por distâncias entre 60 e 120 m podem atuar como *stepping stones*, favorecendo a conectividade funcional para organismos com limitada capacidade de dispersão, como pequenos mamíferos, aves de pequeno porte, insetos e espécies vegetais dependentes desses organismos para dispersão de pólen e sementes. Os resultados gerados pelo Fragstats 4.2 foram exportados e analisados no software Microsoft Excel, de acordo com conceituação, caracterização e especificações de Ene e Mcgarigal (2023) e (Neel; McGarigal; Cushman, 2004).

3.4 Preparo e processamento dos fragmentos florestais por classes de tamanho

A fim de compreender a contribuição e influência de fragmentos de diferentes dimensões para a configuração da paisagem, complementar a análise da estrutura da paisagem e aprofundar a avaliação da hipótese proposta no estudo, foi realizada a avaliação dos fragmentos florestais por classes de tamanho na configuração espacial da cobertura florestal. A partir dos rasters reclassificados, foi calculado no software QGIS a área de todos os fragmentos pertencentes à classe "Floresta" para os anos 1985 e 2024. Os fragmentos foram classificados em quatro categorias de tamanho, expressas em hectares (ha): muito pequenos (< 5 ha), pequenos (5–25 ha), médios (25–150 ha) e grandes (> 150 ha) e processados no software Fragstats 4.2. Além disso, os rasters contendo os fragmentos classificados por tamanho foram convertidos para vetor e mapeados no QGIS para visualização do comportamento das classes de tamanho nos anos definidos.

As métricas selecionadas para analisar os remanescentes florestais agrupados por classes de tamanho (Tabela 3) foram escolhidas por sua capacidade de identificar a contribuição de fragmentos de diferentes dimensões para a configuração da paisagem, permitindo compreender como cada classe participou das mudanças observadas na fragmentação e na conectividade entre 1985 e 2024.

Tabela 3. Métricas da paisagem processadas no Fragstats 4.2 para avaliar as classes de tamanho dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica Guapi-Macacu em 1985 e 2024, acompanhadas de sua respectiva sigla, unidades de medida e descrição. Fonte: Autora (2026)

ANÁLISE	MÉTRICA	SIGLA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
Fragmentação	Número de fragmentos	NP	n°	Quantidade de fragmentos de uma classe
	Índice da Maior Mancha	LPI	0 < % 100	Percentual da área da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe
	Índice médio de área central	CAI_MN	0 < % 100	Percentual médio da área dos fragmentos de uma classe composta por área nuclear
Conectividade/Isolamento	Distância euclidiana média do vizinho mais próximo	ENN_MN	m	Distância até o fragmento mais próximo da mesma classe

As métricas Número de Manchas (NP) e Índice da Maior Mancha (LPI) foram utilizadas para avaliar a distribuição dos remanescentes entre as diferentes classes de tamanho, permitindo identificar em quais classes ocorreram as principais mudanças ao longo do período analisado. Embora essas métricas não permitam distinguir precisamente se as alterações decorreram de processos de supressão da vegetação, regeneração florestal ou da combinação de ambos, elas possibilitam caracterizar a configuração espacial resultante dessa dinâmica, indicando se as mudanças estiveram associadas ao aumento ou à redução do número de fragmentos de uma determinada classe, se essas mudanças estão refletidas em toda classe ou somente nas maiores manchas de cada classe, e permitem inferir suas implicações para a fragmentação e a conectividade da cobertura florestal. Dessa forma, tornam possível compreender como remanescentes de diferentes dimensões contribuíram para a configuração espacial da cobertura florestal e para os padrões de fragmentação observados na paisagem de 1985 e 2024.

O Índice da Área Central (CAI) foi empregado para avaliar a proporção de área núcleo nos fragmentos de cada classe de tamanho. Diferentemente das métricas que quantificam a extensão da cobertura florestal, o CAI permite estimar o ganho e perda de habitats de interior em 1985 e 2024, considerando uma faixa de borda predefinida, e possibilita interpretar como essas áreas estão distribuídas ao longo da paisagem, a partir dos diferentes tamanhos de fragmentos na bacia hidrográfica. Em conjunto com as métricas NP e LPI, o CAI possibilitou verificar se o aumento da cobertura florestal observado, entre 1985 e 2024, esteve associado ao surgimento de novos fragmentos, à expansão de remanescentes com áreas núcleo mais extensas, ou à combinação desses processos. A faixa de borda indicada para cálculo do CAI foi de 100 metros, semelhante a Uzeda et al. (2011).

Para complementar e aprofundar a análise da conectividade, foi utilizada apenas a métrica Distância Euclidiana Média do Vizinho Mais Próximo (ENN_MN), que permitiu avaliar o grau de isolamento entre fragmentos pertencentes à mesma classe de tamanho. Os resultados gerados pelo Fragstats 4.2 foram exportados e analisados no software Microsoft Excel, seguindo as recomendações de Ene e McGarigal (2023) e Neel, McGarigal e Cushman (2004).

3.5 Caracterização da paisagem a nível de sub-bacia hidrográfica

Complementar à análise das métricas da paisagem da classe florestal, realizou-se a avaliação na mudança da cobertura florestal nos anos de 1985 e 2024, nas principais sub-bacias hidrográficas (SBH) da bacia Guapi-Macacu: SBH do rio Guapimirim, SBH do rio Guapiaçu e SBH do rio Macacu (Figura 2). Essa abordagem foi adotada em função da grande extensão da bacia Guapi-Macacu e de sua heterogeneidade espacial, o que permite identificar padrões

diferenciados de uso e cobertura da terra entre seus distintos compartimentos. A análise foi conduzida de forma integrada, considerando a distribuição espacial da cobertura florestal e sua ocorrência em Áreas de Preservação Permanente (APPs), visto que o histórico de uso e ocupação da bacia ocorreu principalmente em áreas mais acessíveis e economicamente favoráveis, frequentemente coincidentes com essas áreas protegidas.

Essa abordagem complementa a interpretação das métricas de fragmentação e conectividade ao permitir avaliar a hipótese de que o aumento da cobertura florestal contribuiu para reduzir a fragmentação e aumentar a conectividade da paisagem, considerando também, se essas melhorias se estenderam e contemplaram áreas ambientalmente sensíveis.

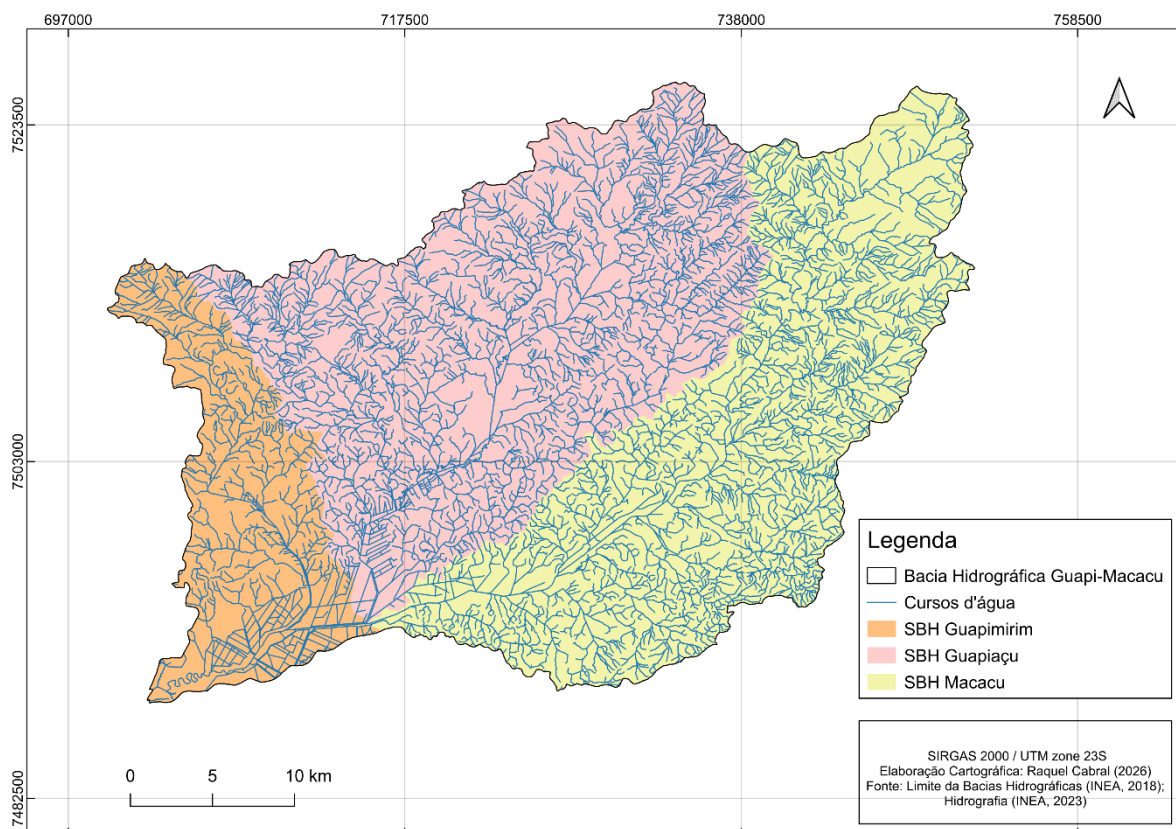


Figura 2. Mapa de localização e delimitação das sub-bacias hidrográficas dos rios Guapimirim (SBH Guapimirim), Guapiaçu (SBH Guapiaçu) e Macacu (SBH Macacu) na bacia hidrográfica Guapi-Macacu, e representação da rede hidrográfica principal. Fonte: Autora (2026)

Para a quantificação da cobertura florestal nas sub-bacias hidrográficas, as camadas vetoriais referentes aos anos de 1985 e 2024, contendo a classe florestal e os fragmentos classificados por classes de tamanho, foram recortadas a partir da coleção Map Biomas coleção 10, utilizando os limites de cada sub-bacia como máscara. Em seguida, realizou-se o cálculo da área de cobertura florestal em cada sub-bacia, para os anos de 1985 e 2024, por meio da calculadora de campo da tabela de atributos no software QGIS.

A análise da fragmentação florestal em cada sub-bacia hidrográfica foi realizada a partir da contagem do número de fragmentos pertencentes a cada classe de tamanho nos anos de 1985 e 2024, e analisadas a partir dos resultados das métricas da paisagem que caracterizaram esses fragmentos. Para isso, foram utilizadas as camadas vetoriais da cobertura florestal previamente classificadas por tamanho, recortadas de acordo com os limites de cada sub-bacia. A quantificação dos fragmentos foi obtida por meio da tabela de atributos das camadas resultantes

no software QGIS, permitindo avaliar as alterações na composição e na distribuição das classes de tamanho entre os períodos analisados para cada sub-bacia hidrográfica.

Posteriormente, para a análise das Áreas de Preservação Permanente (APPs) em cada sub-bacia hidrográfica, foi realizada a operação de interseção entre as camadas de cobertura florestal de cada ano e as camadas das APPs de área de nascente, topo de morro, lagos e lagoas, declividade superior a 45° e curso d'água. Esse procedimento resultou em camadas vetoriais específicas para cada categoria de APP, ano de análise e sub-bacia hidrográfica, permitindo a quantificação da área de cobertura florestal presente em cada tipo de APP nos anos de 1985 e 2024. As áreas foram calculadas utilizando a calculadora de campos da tabela de atributos das camadas resultantes da operação de interseção no QGIS.

A delimitação das APPs de cursos d'água foi realizada a partir da camada hidrográfica da bacia Guapi-Macacu por meio da ferramenta Buffer, em virtude da indisponibilidade de bases de dados contendo essas áreas previamente delimitadas para a área de estudo, e adotou-se uma faixa marginal uniforme de 30 metros em ambas as margens para toda a rede hidrográfica. Tal procedimento foi fundamentado na Lei nº 12.651/2012, que estabelece largura mínima de 30 metros para APPs ao longo de cursos d'água naturais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da fragmentação da paisagem (1985 e 2024)

Os dados da Figura 3 evidenciam o aumento da cobertura florestal na bacia hidrográfica. Entretanto, o aumento da cobertura florestal observado em 2024, em comparação a 1985, foi de apenas aproximadamente 2%, refletindo-se no aumento da área ocupada pela maior mancha, que passou de 39,4% para 42,18%. Isso demonstra que o aumento do número de manchas (NP), de 1.394 para 1.969, ocorreu principalmente devido ao surgimento de manchas muito pequenas, que não contribuíram de forma significativa para a cobertura florestal da paisagem (Figura 4).

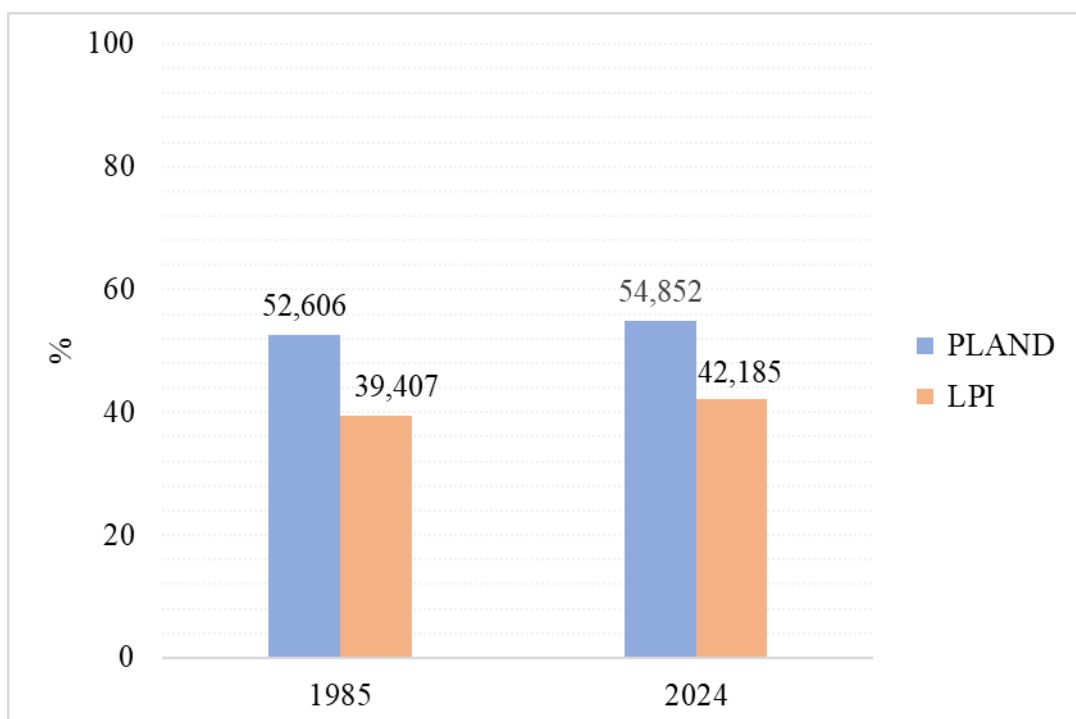


Figura 3. Gráfico de valores das métricas PLAND (Percentual da Paisagem) e LPI (Índice da Maior Mancha) da cobertura florestal em 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

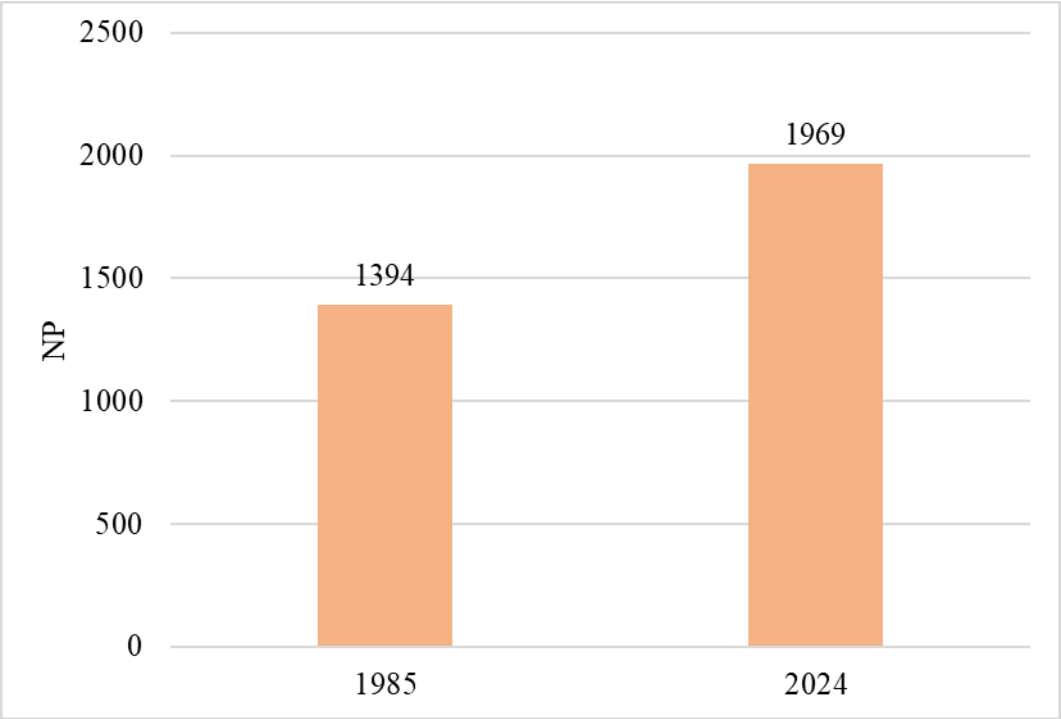


Figura 4. Gráfico do número de manchas (NP) da cobertura florestal em 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

Ao observar a Tabela 4, que apresenta o número de fragmentos por classe de tamanho, verifica-se que essa dinâmica realmente ocorreu devido ao aumento do número de fragmentos muito pequenos, que passaram de 1.068 para 1.647, no período analisado. Além disso, também houve aumento no número de fragmentos pequenos, que passaram de 229 para 252, em 2024.

Tabela 4. Número de fragmentos por classe de tamanho Muito Pequeno (MP); Pequeno (P); Médio (M) e Grande (G), nos anos de 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

CLASSE	INTERVALO (ha)	Nº FRAGMENTOS	
		1985	2024
Muito pequeno (MP)	<5	1068	1647
Pequeno (P)	5-25 ha	229	252
Médio (M)	25-150ha	75	52
Grande (G)	>150 ha	22	18

Além disso, observa-se que o número de fragmentos grandes diminuiu entre 1985 e 2024. Entretanto, a maior mancha dessa classe aumentou sua participação de 74% para 76% (Figura 5). Como essa mancha corresponde também ao maior remanescente da classe florestal, é possível inferir que o aumento da cobertura florestal ocorreu principalmente pela expansão dos grandes fragmentos já existentes na bacia hidrográfica. Dessa forma, embora ocorreu

redução no número de fragmentos grandes, a expansão da maior mancha compensou essa perda, refletindo-se no aumento do PLAND entre os períodos analisados.

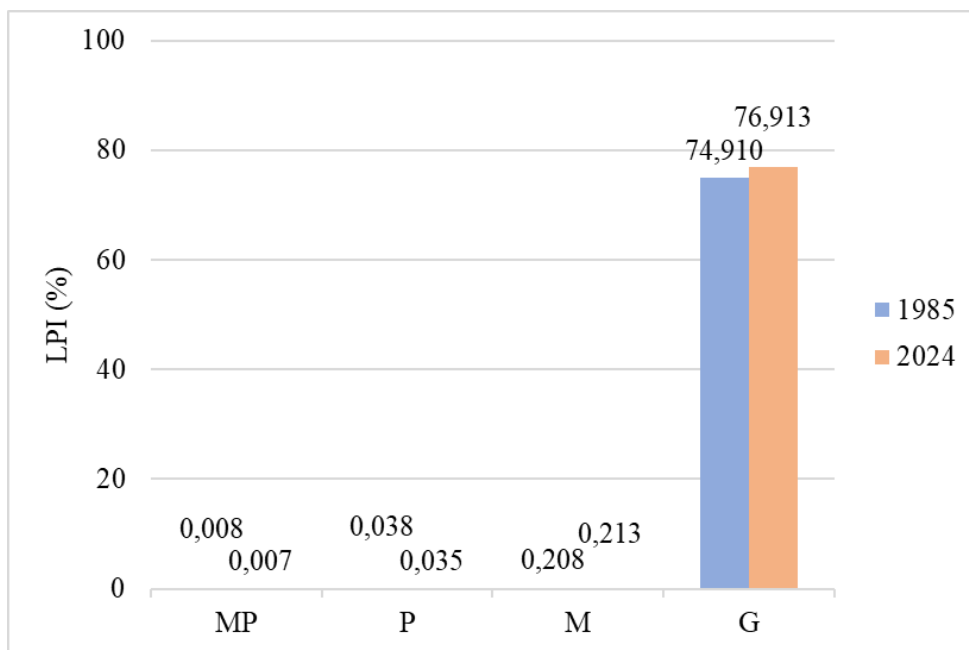


Figura 5. Gráfico de distribuição do LPI (%) para as classes de tamanho MP (muito pequeno), P (pequeno), M (médio) e G (grande) para os anos de 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

Os elevados valores de DIVISION ($\approx 84\%$) e AI ($\approx 94\%$) observados tanto na paisagem de 1985 quanto em 2024 (Figura 6), mostram que a paisagem permaneceu altamente subdividida em pequenas áreas de floresta, uma vez que valores elevados de DIVISION refletem maior subdivisão da paisagem. Ao mesmo tempo, os elevados valores de AI indicam que a cobertura florestal continuou fortemente agregada em um grande bloco contínuo localizado em uma porção da bacia hidrográfica.

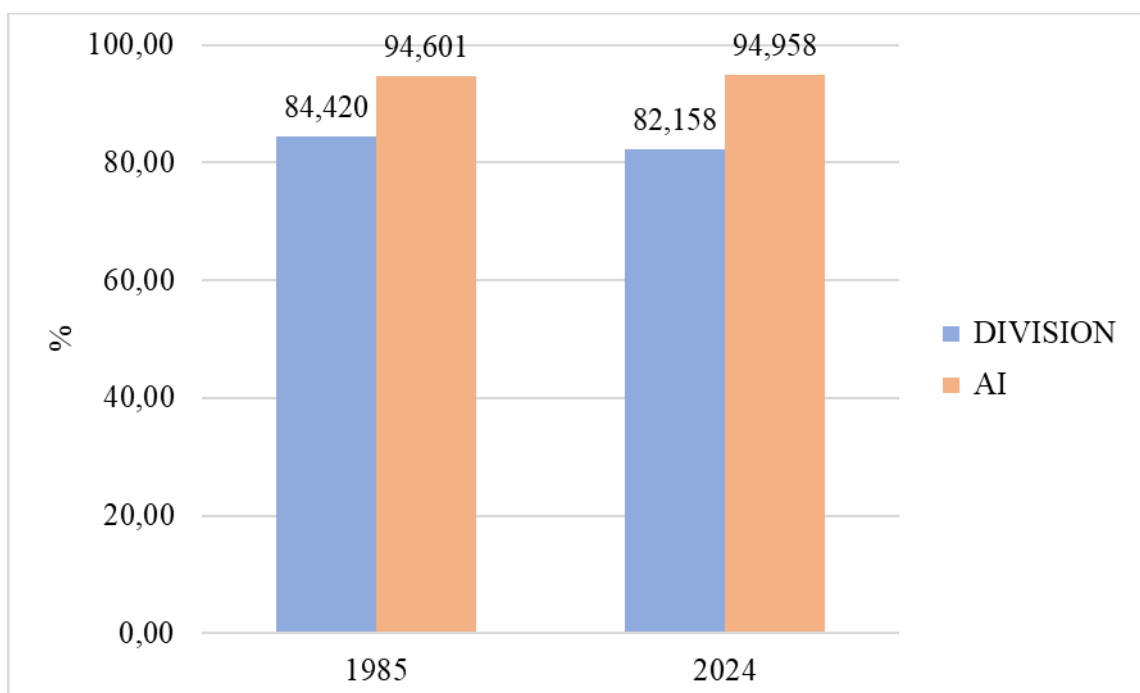


Figura 6. Gráfico dos percentuais das métricas DIVISION (índice de divisão) e AI (índice de agregação) nos anos de 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

A distribuição espacial dos fragmentos florestais apresentada na Figura 7 corrobora com os resultados observados na Figura 6, e evidencia as alterações na configuração da paisagem da Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu, entre 1985 e 2024. Os maiores remanescentes florestais permaneceram concentrados nas porções norte e nordeste da bacia, regiões associadas a relevo mais acidentado e que apresentam maior continuidade da cobertura vegetal. Em contrapartida, as regiões centrais da bacia apresentaram uma paisagem caracterizada pela maior dispersão de fragmentos muito pequenos, pequenos e médios.

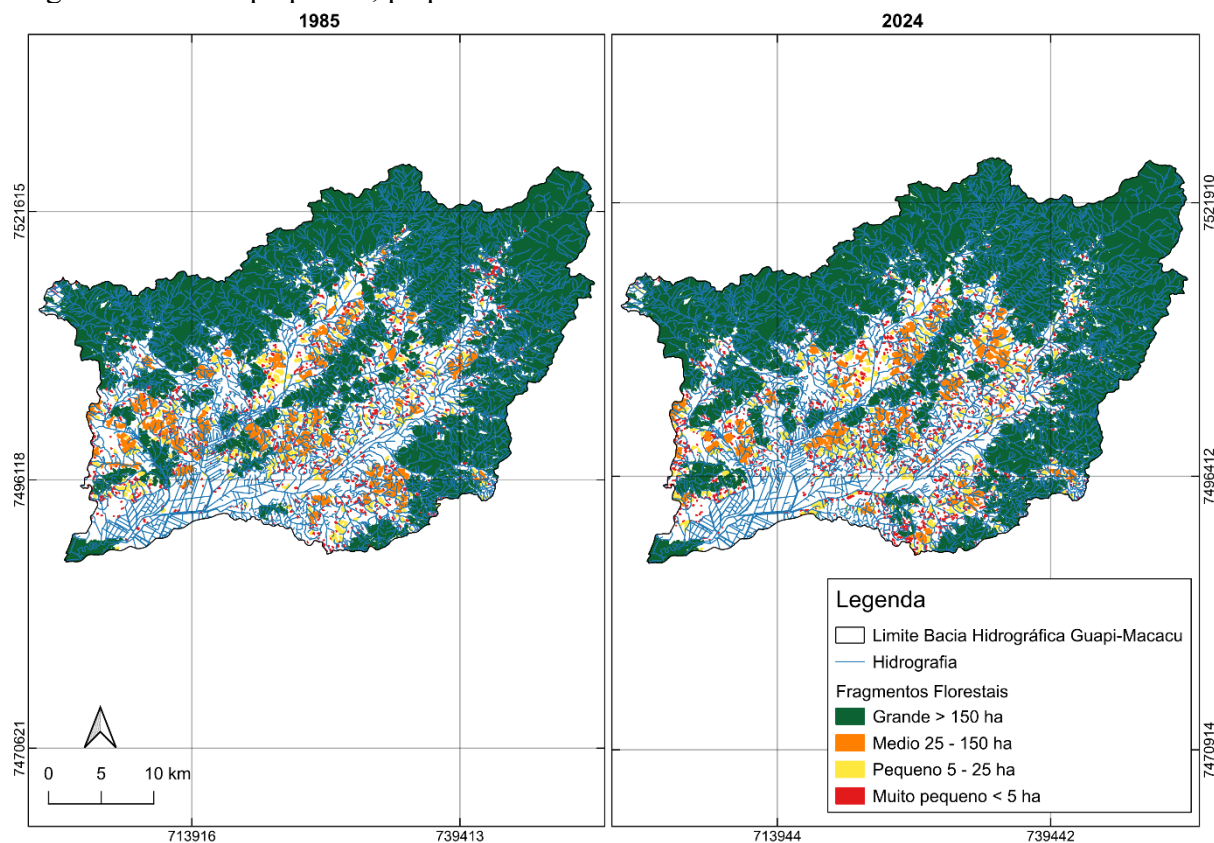


Figura 7. Mapa de distribuição espacial dos fragmentos florestais classificados por classes de tamanho na Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu nos anos de 1985 e 2024. As classes consideradas foram: muito pequeno (< 5 ha), pequeno (5–25 ha), médio (25–150 ha) e grande (> 150 ha). Fonte: Autora (2026)

De acordo com a Figura 8, as partes mais baixas da bacia estão caracterizadas por fragmentos tão pequenos, que a área de núcleo praticamente é nula, enquanto as áreas mais altas da bacia possuem fragmentos mais extensos e com áreas mais continuas. Logo, embora o padrão histórico de transformação antrópica nas porções mais baixas da bacia já indicasse que sua conversão demandaria um longo período, esperava-se que o aumento da cobertura florestal promovesse melhorias na estrutura da paisagem, reduzindo a fragmentação nesses ambientes. No entanto, os resultados indicam que os elevados índices de transformação antrópica nessas áreas tendem a persistir, uma vez que o incremento da cobertura florestal ocorre predominantemente por meio da expansão dos grandes remanescentes concentrados e preservados nas porções mais elevadas da bacia. Com ocorrência de aumento de fragmentos muito pequenos e pequenos, nas partes mais baixas, e pouca área de floresta preservada dos efeitos de borda promovidos pelo uso antrópico.

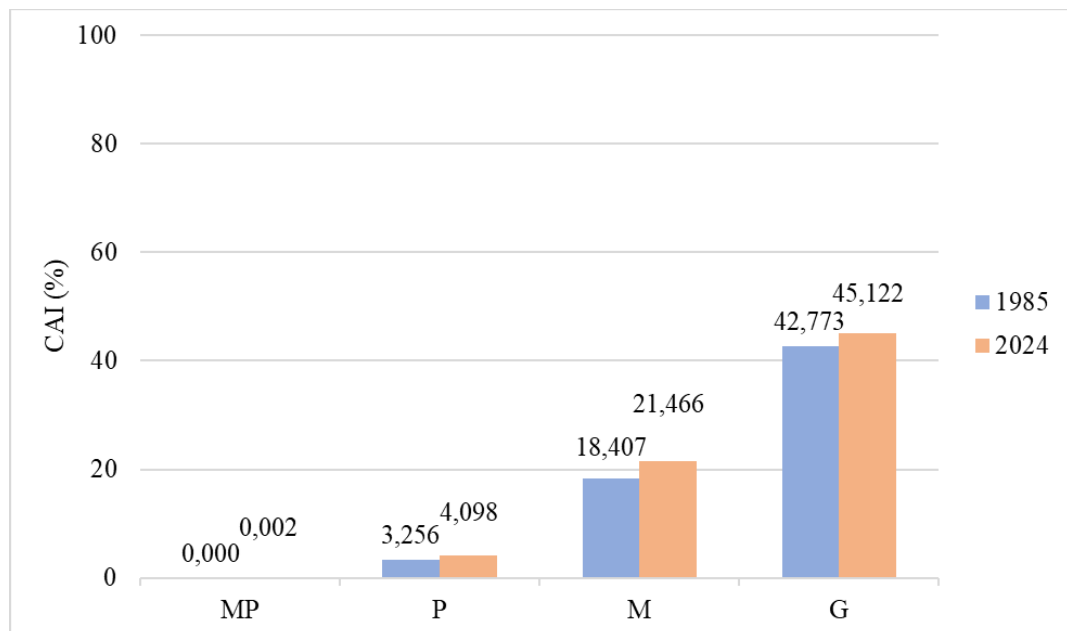


Figura 8. Gráfico de porcentagem do Índice de Área Central (CAI) nos anos de 1985 e 2024 para as diferentes classes de tamanho dos fragmentos: muito pequenos (MP), pequenos (P), médios (M) e grandes (G). Fonte: Autora (2026).

Considerando que a fragmentação florestal descreve o grau de subdivisão e a distribuição espacial da cobertura florestal, os resultados indicam que a hipótese de redução da fragmentação em decorrência do aumento da cobertura florestal não foi corroborada para a bacia hidrográfica como um todo. Embora tenha ocorrido incremento da cobertura florestal entre 1985 e 2024, a configuração espacial resultante caracteriza uma paisagem composta por numerosos fragmentos distribuídos de forma heterogênea. Enquanto os grandes remanescentes permaneceram concentrados nas porções mais elevadas da bacia, as áreas de menor altitude passaram a ser dominadas por fragmentos muito pequenos, com reduzida ou inexistente área núcleo e distribuídos ao longo de todo o vale.

Esses resultados evidenciaram que o aumento da cobertura florestal não foi suficiente para promover uma redução consistente da fragmentação nas áreas historicamente mais alteradas. A concentração dos grandes remanescentes em uma única porção da bacia, associada à predominância de pequenos fragmentos nas áreas mais antropizadas, mantém uma distribuição espacial heterogênea da cobertura florestal. Como consequência, remanescentes com maior capacidade de fornecer habitats de interior permanecem espacialmente concentrados, enquanto grande parte da paisagem continua formada por fragmentos mais suscetíveis aos efeitos de borda. Esse padrão tende a restringir o fluxo de organismos entre diferentes setores da bacia e a limitar a conectividade ecológica em escala da paisagem.

4.2 Conectividade da paisagem

A conectividade reflete as consequências da configuração espacial promovida pela fragmentação, especialmente no que se refere ao fluxo biológico entre remanescentes, tanto em termos estruturais quanto funcionais. No que diz respeito ao isolamento indicado pela métrica de distância euclidiana média do vizinho mais próximo (ENN_MN), observada na Figura 9, houve uma redução em 2024 (109 m) em comparação a 1985 (120 m) entre as manchas de cobertura florestal. Entretanto, o coeficiente de variação manteve-se elevado, em torno de 200 m, em ambos os períodos.

Esse elevado coeficiente de variação é influenciado principalmente pelo padrão de organização dos grandes fragmentos, que, ao se tornarem mais agregados nas áreas mais elevadas da bacia, passaram simultaneamente a apresentar maior isolamento. Evidenciado na Figura 10, em que o ENN_MN da classe dos grandes fragmentos resultou no aumento de aproximadamente 200 m, do ano 1985 para 2024. Por outro lado, a redução geral do ENN_MN da classe floresta está associada ao aumento considerável do número de fragmentos muito pequenos e pequenos, dispersos pela área central da bacia, os quais também apresentaram menores valores de ENN_MN, conforme evidenciado na Figura 10.

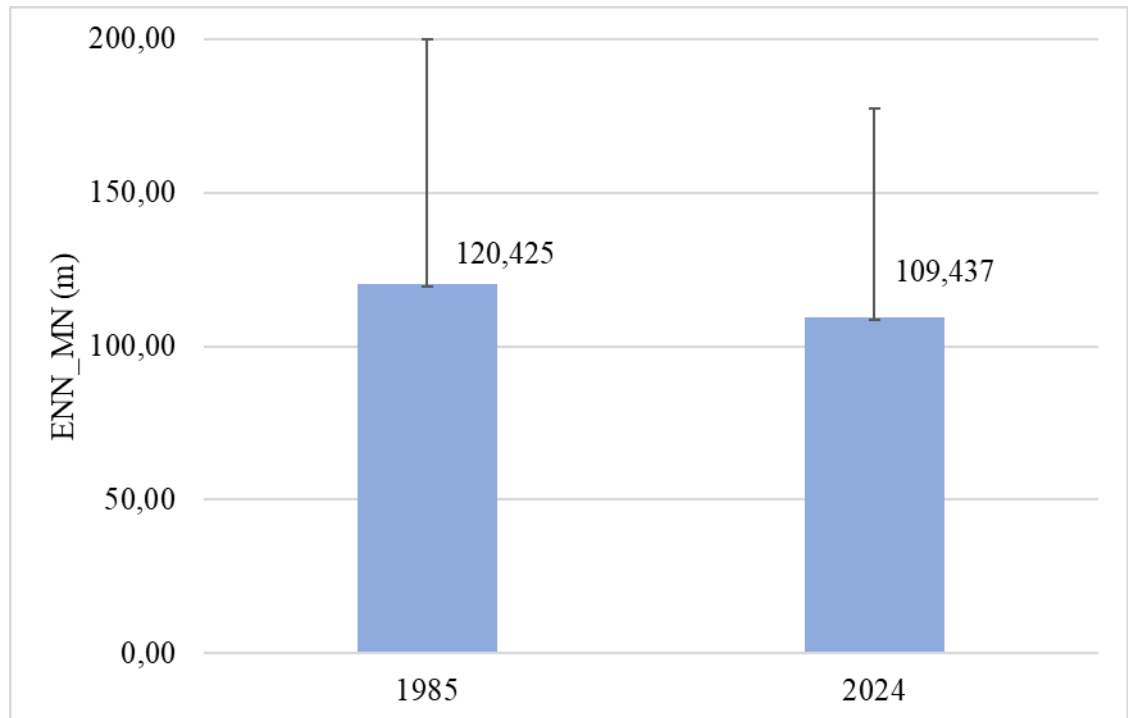


Figura 9. Gráfico de valores médios da métrica de distância do vizinho mais próximo (ENN_MN), em metros, nos anos de 1985 e 2024, apresentando as respectivas barras de erro padrão. Fonte: Autora (2026).

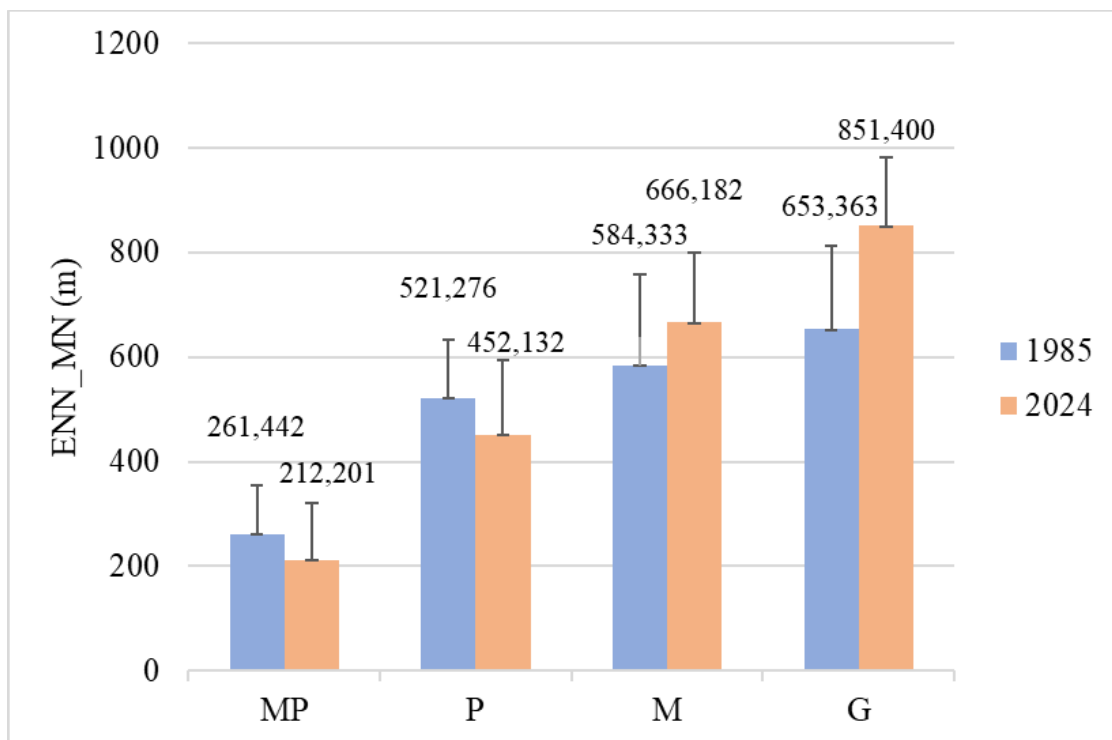


Figura 10. Gráfico dos valores médios da Distância do Vizinho Mais Próximo (ENN_MN) nos anos de 1985 e 2024 para as diferentes classes de tamanho dos fragmentos: muito pequenos (MP), pequenos (P), médios (M) e grandes (G). Fonte: Autora (2026).

O Índice de Proximidade (PROX_MN), apresentado na Figura 11, também apresentou redução, indicando que a quantidade e, principalmente, o tamanho das áreas florestais no entorno dos remanescentes, diminuíram dentro do raio de 1000 m. Dessa forma, o resultado corrobora uma configuração da vizinhança florestal que se tornou menos favorável à conectividade estrutural, refletindo maior isolamento entre os fragmentos.

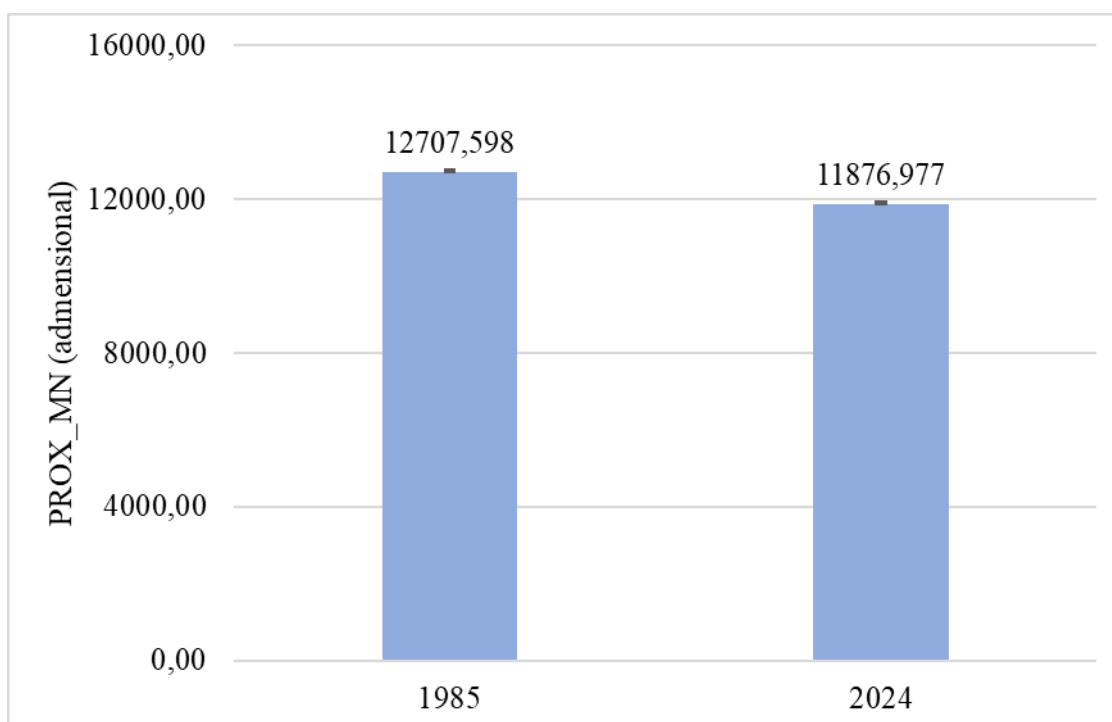


Figura 11. Gráfico dos valores médios do Índice de Proximidade (PROX_MN) nos anos de 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

Essa configuração possui grande peso na métrica CONNECT, apresentada no gráfico da Figura 12. Em ambos os anos, os valores foram muito baixos, inferior a 0,1%. Como o CONNECT se aproxima de zero, indica ausência de conectividade para o limiar de distância adotado. O presente estudo não teve como foco um grupo biológico específico, por isso, adotou-se essa métrica para avaliar o potencial de conectividade considerando o limiar de 100 m. O valor foi definido a partir do estudo de Vida e Pinto (2022), os quais indicam que fragmentos separados por distâncias entre 60 e 120 m podem atuar como *stepping stones*, favorecendo a conectividade funcional para organismos com limitada capacidade de dispersão, como pequenos mamíferos, aves de pequeno porte, insetos e espécies vegetais dependentes desses organismos para dispersão de pólen e sementes.

Considerando esse cenário, também foi calculada a conectividade com base no limiar acima do ENN_MN (200 m) para ambos os anos, porém os valores permaneceram inferiores a 1%, sendo 0,45% em 1985, e 0,45% em 2024. Os valores somente atingiram 1% quando considerado o limiar de 1000 m.

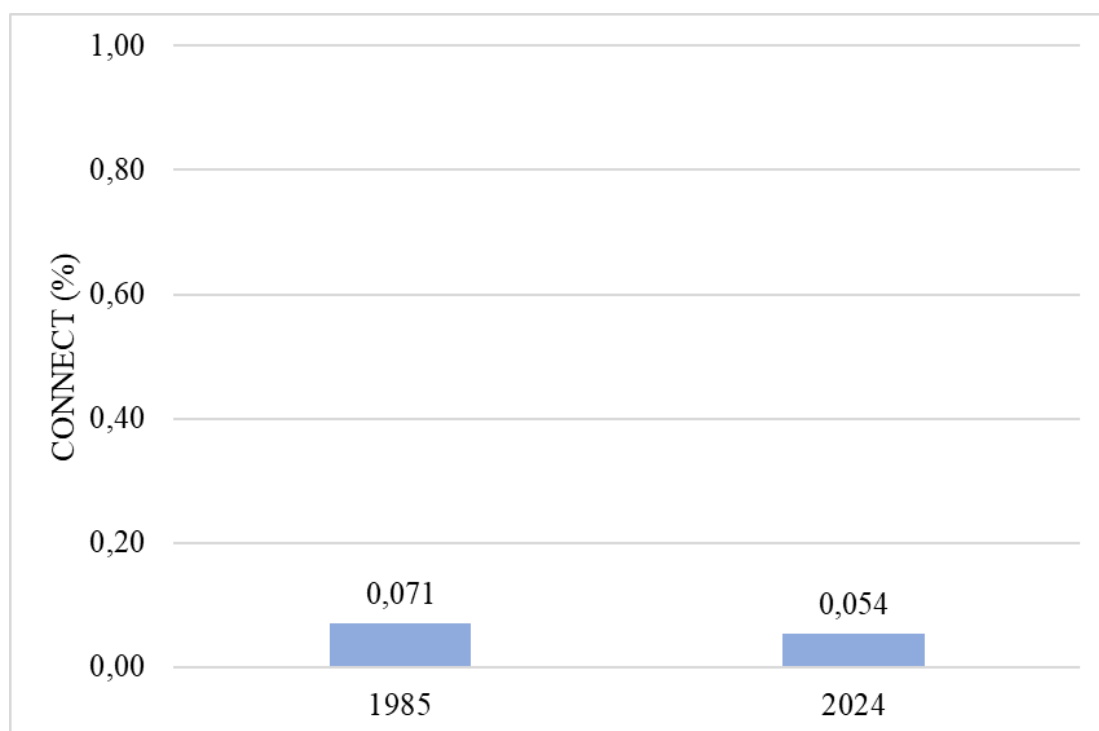


Figura 12. Gráfico de porcentagem do Índice de Conectividade (CONNECT) nos anos de 1985 e 2024. Fonte: Autora (2026).

Apesar de avanços pontuais na conectividade estrutural, evidenciados pela diminuição do ENN_MN para a classe floresta, observa-se elevada variabilidade em torno da média, o que indica que não houve uma melhora efetiva e consistente da conectividade na paisagem. A conectividade funcional apresentou redução, e o entorno dos remanescentes tornou-se menos favorável à conexão entre fragmentos. Os resultados sugerem rejeição da hipótese proposta, tanto sob o ponto de vista estrutural quanto no que se refere ao potencial de funcionalidade. A paisagem reflete as consequências do aumento da fragmentação, evidenciando a interdependência entre os processos. Assim, ainda que algumas métricas indiquem variações na conectividade estrutural, não se observa uma melhora efetiva da conectividade da classe

florestal, uma vez que a conectividade funcional diminuiu e a matriz ao redor dos remanescentes se tornou menos favorável à conexão entre fragmentos.

4.3 Fragmentação em nível de sub-bacia hidrográfica

As alterações observadas na estrutura da paisagem não ocorreram de maneira uniforme em toda a Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu. A análise do balanço de fragmentos por classe de tamanho nas diferentes sub-bacias permite identificar padrões espaciais distintos de fragmentação e conservação da cobertura florestal. A Figura 13 apresenta as variações no número de fragmentos entre 1985 e 2024 para as sub-bacias dos rios Guapimirim, Guapiaçu e Macacu, e possibilita avaliar como os processos de ganho e perda de remanescentes florestais se manifestaram em cada setor da bacia.

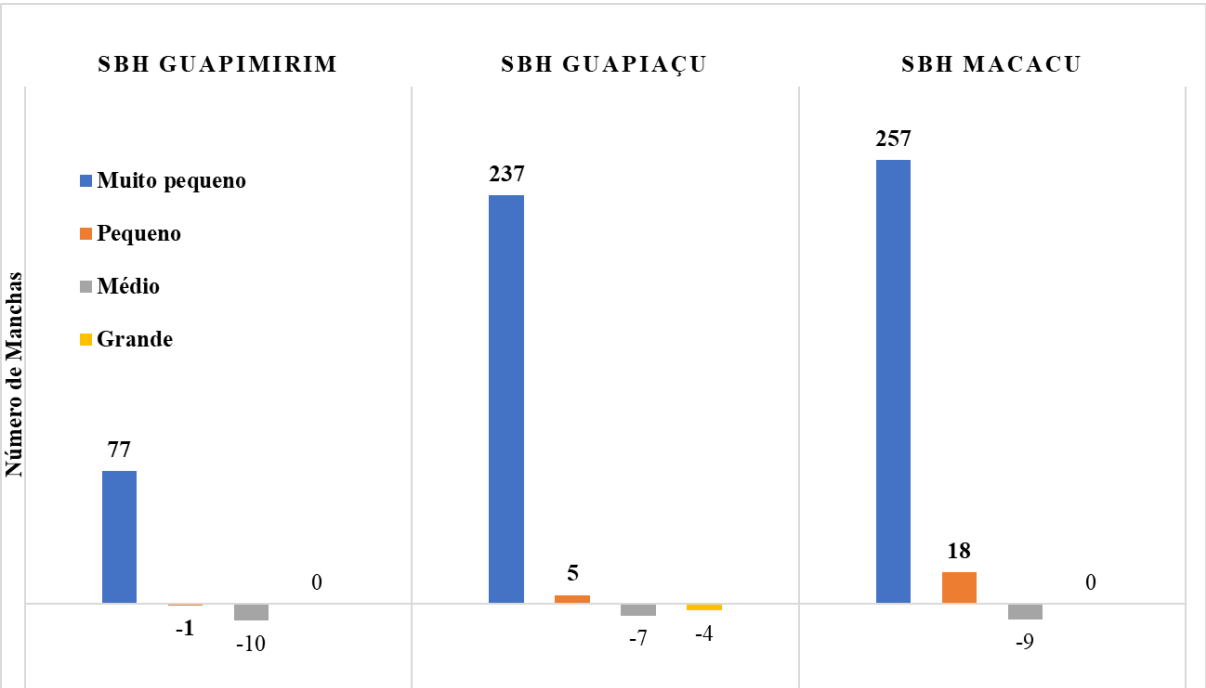


Figura 13. Balanço do número de manchas florestais por classe de tamanho nas sub-bacias hidrográficas (SBH) dos rios Guapimirim, Guapiaçu e Macacu entre 1985 e 2024. Valores positivos indicam aumento de manchas, enquanto valores negativos indicam redução no número de fragmentos em cada classe de tamanho. Fonte: Autora (2026).

A sub-bacia do rio Guapimirim apresentou as menores alterações no número de fragmentos quando comparada às demais. O aumento de 77 fragmentos muito pequenos, associado à redução de apenas 1 fragmento pequeno e 10 fragmentos médios, sugere um processo de fragmentação menos intenso. Entretanto, a perda de fragmentos médios requer atenção, uma vez que essa classe representa um importante estágio intermediário na dinâmica da paisagem.

Na sub-bacia do rio Guapiaçu foram observadas as mudanças mais expressivas na configuração dos remanescentes florestais. O aumento de 237 fragmentos muito pequenos ocorreu simultaneamente à redução de 7 fragmentos médios e de 4 fragmentos grandes, indicando um processo mais intenso de fragmentação da cobertura florestal. A perda de fragmentos médios, associada à redução do número dos grandes remanescentes, sugere

enfraquecimento da conectividade da paisagem, pois indica que a redução de fragmentos médios não aconteceu por evolução da classe para classe de maior tamanho.

A sub-bacia do rio Macacu apresentou o maior aumento de fragmentos muito pequenos, com acréscimo de 257 unidades, além do aumento de 18 fragmentos pequenos e da redução de 9 fragmentos médios. Embora os fragmentos grandes tenham permanecido estáveis, a diminuição dos remanescentes médios pode representar uma redução da capacidade de conexão entre os grandes blocos florestais.

Dessa forma, observou-se simplificação da estrutura da paisagem, caracterizada pela permanência dos grandes fragmentos, redução dos fragmentos médios e aumento da ocorrência de fragmentos de pequenas dimensões. O mapa apresentado na Figura 5 permite compreender a distribuição e a dinâmica desses fragmentos entre 1985 e 2024 em cada sub-bacia hidrográfica, bem como sua relação com a rede hidrográfica principal e seus afluentes.

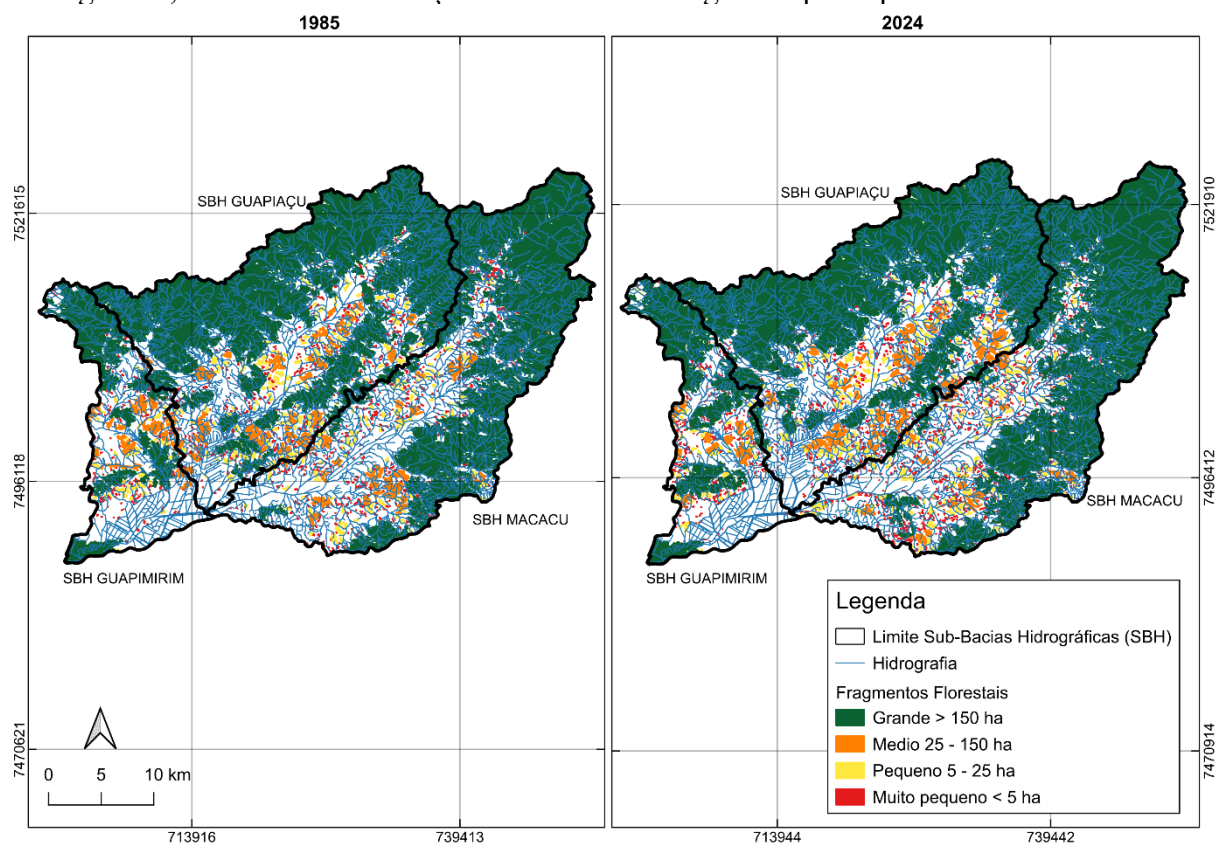


Figura 14. Distribuição espacial dos fragmentos florestais classificados por tamanho nas sub-bacias hidrográficas de Guapimirim, Guapiaçu e Macacu nos anos de 1985 e 2024, na configuração da paisagem e na organização dos remanescentes florestais em relação à rede hidrográfica. Fonte: Autora (2026).

A área da sub-bacia do rio Guapimirim em 1985, apresentava grandes remanescentes florestais encontradas nas porções mais elevadas da sub-bacia, mas também em áreas associadas ao principal curso d'água. Em 2024, houve uma reorganização espacial dessa classe, com redução de sua ocorrência nas proximidades do rio principal e maior concentração nas áreas de maior altitude. Esse padrão indica que, embora o balanço do número de fragmentos grandes apresentado na Figura 13 tenha permanecido inalterado, os grandes fragmentos não permaneceram integralmente conservados em suas posições originais na paisagem.

A sub-bacia do rio Guapiaçu, em 1985, continha nas áreas de menor altitude fragmentos grandes visualmente mais próximos entre si e com maior potencial de conexão. Em 2024, esses remanescentes deixaram de compor a paisagem dessas regiões, e foram substituídos

predominantemente por fragmentos médios. A classe dos fragmentos médios também reduziu ao longo do período analisado (Figura 13), esse padrão sugere um processo contínuo de fragmentação da paisagem na sub-bacia e diminuição do potencial de conectividade entre os remanescentes, especialmente nas áreas próximas ao exutório da sub-bacia.

A sub-bacia do rio Macacu foi, visualmente, a que apresentou menor alteração na distribuição dos fragmentos médios e grandes ao longo do período analisado, mantendo extensos remanescentes florestais concentrados principalmente nas áreas de maior altitude. Entretanto, observou-se o surgimento de numerosos fragmentos muito pequenos (< 5 ha) ao longo do curso principal do rio e de seus afluentes, em regiões onde, em 1985, não havia remanescentes florestais.

Apesar do aumento da cobertura florestal na bacia hidrográfica Guapi-Macaci, a variação da cobertura florestal nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) apresentou padrões distintos entre as sub-bacias hidrográficas dos rios Guapimirim, Guapiaçu e Macacu (Figura 15). As APPs associadas aos cursos d'água apresentaram os maiores ganhos de cobertura florestal em todas as sub-bacias, com destaque para a sub-bacia do Macacu, que registrou incremento de 568,57 ha. Em contraste, as APPs de topo de morro exibiram os resultados mais heterogêneos, incluindo expressiva redução de cobertura florestal na sub-bacia do Guapiaçu (-620,66 ha).

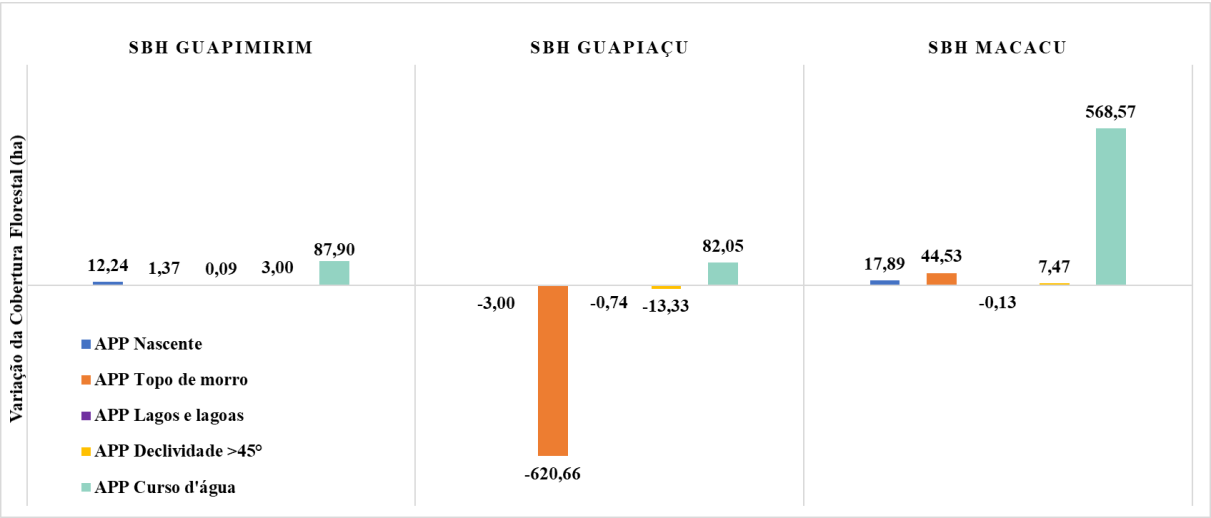


Figura 15. Variação da cobertura florestal (ha) nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) de nascente, topo de morro, lagos e lagoas, declividade superior a 45° e cursos d'água nas sub-bacias hidrográficas (SBH) dos rios Guapimirim, Guapiaçu e Macacu, entre 1985 e 2024. Valores positivos indicam ganho de cobertura florestal, enquanto valores negativos representam redução. Fonte: Autora (2026).

A sub-bacia do rio Guapimirim, considerando as áreas calculadas para cada sub-bacia, a menor extensão territorial (187,03 km²), apresentou incremento de cobertura florestal em todas as categorias de APP avaliadas. Em contraste, a sub-bacia do rio Guapiaçu, a maior da área de estudo (562,14 km²), registrou redução da cobertura florestal na maioria das categorias de APP, com destaque para a expressiva perda observada nas áreas de topo de morro. Por outro lado, a sub-bacia do rio Macacu (510,61 km²) apresentou os maiores ganhos de cobertura florestal, impulsionados principalmente pelo aumento da vegetação nas APPs associadas aos cursos d'água, evidenciando um processo de recuperação ou expansão da cobertura florestal nessas áreas.

O gráfico da Figura 16 demonstrou como as alterações observadas nas APPs interferiram nos ganhos de cobertura florestal de cada sub-bacia. A SBH Guapiaçu apresentou

uma expressiva perda de cobertura florestal em APPs de topo de morro (Figura 6), o que contribuiu para que o ganho total de cobertura florestal na sub-bacia fosse de apenas 115,72 ha. Além disso, a área de APP apresentou saldo negativo de 555,67 ha, indicando que os ganhos de vegetação não foram suficientes para compensar as perdas ocorridas nessas áreas protegidas.

A SBH Macacu foi a que apresentou o maior ganho de cobertura florestal total, com incremento de 2.185,62 ha. Também foi a sub-bacia que registrou a maior quantidade de ganho em APPs, totalizando 638,32 ha, evidenciando que parte significativa da expansão da cobertura florestal ocorreu em áreas legalmente protegidas. Já a SBH Guapimirim apresentou ganho de 462,64 ha de cobertura florestal, dos quais apenas 104,61 ha ocorreram em APPs. Apesar do saldo positivo de vegetação na sub-bacia, os ganhos em áreas protegidas foram relativamente baixos em comparação ao aumento total da cobertura florestal.

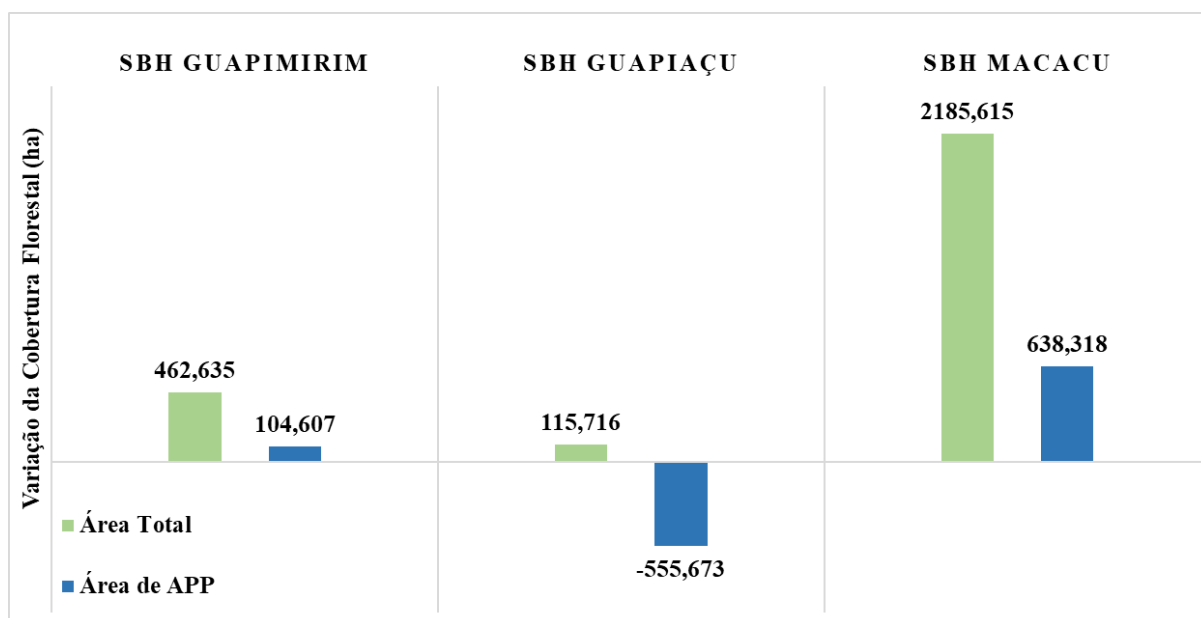


Figura 16. Ganho de cobertura florestal total (ha) e sua parcela correspondente em Áreas de Preservação Permanente (APPs) nas sub-bacias hidrográficas de Guapimirim, Guapiaçu e Macacu entre 1985 e 2024. Valores negativos indicam redução da cobertura florestal em APPs.

Os resultados indicam que, entre 1985 e 2024, a Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu passou por um aumento geral da cobertura florestal, mas esse crescimento não ocorreu de forma suficiente para reorganizar a paisagem, em termos de conectividade. Na prática, aumentou a cobertura com floresta, porém distribuída de maneira fragmentada e irregular entre as sub-bacias. Esse padrão fica mais evidente ao observar que, ao mesmo tempo em que aumentaram os fragmentos muito pequenos, houve redução dos fragmentos médios, que são essenciais para conectar os grandes remanescentes. Assim, a paisagem passou a ter mais “ilhas” de vegetação isoladas, mesmo com ganhos de área florestal.

Dessa forma, mesmo com o aumento da cobertura florestal, os resultados mostram que a paisagem não se tornou mais conectada de forma consistente. O ganho de vegetação ocorreu, mas não foi suficiente para diminuir a fragmentação nem para recuperar a continuidade dos remanescentes, principalmente nas áreas mais sensíveis da bacia.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados, foi possível concluir que as métricas da paisagem se mostraram eficazes para avaliar a estrutura, a configuração e a dinâmica espacial da cobertura florestal da bacia hidrográfica Guapi-Macacu. Por meio delas, foi possível identificar não apenas o aumento da cobertura florestal entre 1985 e 2024, mas também a permanência de um cenário de elevada fragmentação e baixa conectividade funcional, visto que a ampliação da área florestada não ocorreu de maneira homogênea e eficiente para restaurar a conectividade ecológica da paisagem na bacia.

Reforça-se a importância de ações de conservação e restauração voltadas prioritariamente à conexão dos médios e pequenos fragmentos, especialmente Áreas de Preservação Permanente (APP), onde as transformações na paisagem da bacia persistem desde o século XX, por serem mais acessível e economicamente favoráveis para atividades agropecuárias. E além disso, embora tenha sido observado ganho de cobertura florestal em toda a bacia hidrográfica e nas sub-bacias, esse incremento ocorreu sem contemplar, de forma significativa, as áreas privadas legalmente protegidas (APP's), as quais detêm a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade (fauna e flora), proteger o solo e assegurar o bem-estar humano. Padrão particularmente evidenciado na sub-bacia do Guapiaçu, apesar da extensão territorial, teve o menor incremento de cobertura florestal, e as poucas áreas de ganho não contemplaram de modo satisfatório as APPs, sobretudo as de topo de morro.

6. REFEERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUCHACRA, Paula Ferreira Falheiro. **Reconstituição ambiental da planície costeira do nordeste da baía de Guanabara (RJ) a partir do holoceno médio e novas contribuições ao debate do antropoceno**. 2018. 216 f. Tese (Doutorado Em Geografia)–Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.

ATRIBUNA. CEDAE reduz abastecimento de água para Niterói, SG, Maricá e Itaboraí. **A Tribuna**, Niterói, 27 ago. 2021. Disponível em: <https://www.tribunarj.com.br/materia/cedae-reduce-abastecimento-de-agua-para-niteroi-sg-marica-e-itaborai>. Acesso em: 22 jun. 2026.

BIANCHI, Juliana Santos; KERSTEN, Rodrigo de Andrade. Edge effect on vascular epiphytes in a subtropical Atlantic Forest. **Acta Botanica Brasilica**, v. 28, p. 120–126, 2014.

CARDOSO, Lara Novis Lemos Machado Pereira. **Uma história ambiental da bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu à luz dos documentos da Agenda 21 do COMPERJ, 2007-2011**. 2022. 45f. (Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Gestão de Projetos Ambientais)- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Niterói.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 22 jun. 2026.

CORREIA, Elizabeth de Fátima *et al.* As contribuições da paisagem no processo de planejamento urbano e ambiental e na gestão integrada da bacia hidrográfica. **Revista de Geopolítica**, v. 17, n. 3, p. 1-22 . 2026.

COSTA, Adriana; GALVÃO, Amanda; SILVA, Lucas Gonçalves da. Mata atlântica brasileira: análise do efeito de borda em fragmentos florestais remanescentes de um hotspot para conservação da biodiversidade. **Revista Geomae - Geografia Meio Ambiente e Ensino**, v. 10, n. 1, p. 112–123, 2019.

DANTAS, José Roberto da Costa; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; LINS, Gustavo Aveiro. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi/Macacu e suas consequências para o abastecimento de água nos municípios do leste da Baía de Guanabara. **CETEM/MCT**, 26 p., 2007.

DANTAS, Mayara *et al.* Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, p. 87–97. 2017.

D'ARROCHELLA, Marcio Luiz Gonçalves. Potencial de conectividade de paisagens de Mata Atlântica via polinização por mariposas e modelagem atmosférica (RJ – MG). **HUMBOLDT**, v. 1, n. 4, 2022.

DELMASCHIO, Bruno Sára. **Análise da influência da alteração do uso e cobertura da terra na vazão de uma bacia hidrográfica**. 2025. 27 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

FAHRIG, Lenore. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. Volume 34, 2003, p. 487–515, 1 nov. 2003.

ENE, Eduard; MCGARIGAL, Kevin. **Contents**. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure, 2023. Disponível em: <https://www.fragstats.org/index.php/documentation>. Acesso em: 22 jun. 2026.

FERNANDES, Milton Marques *et al.* Fragmentação florestal na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1227–1246, 2022.

FERNANDES, Milton Marques *et al.* Análise da fragmentação florestal na Mata Atlântica de sergipe. **Nativa**, v. 12, n. 3, p. 467–473, 2024.

LIMA-RIBEIRO, Matheus de Souza. Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, p. 535–545, 2008.

LONGO, Regina Márcia *et al.* Métricas da paisagem e qualidade ambiental nos remanescentes florestais do Ribeirão Quilombo em Campinas/SP. **Ciência Florestal**, v. 34, e71899, p. 1-22, 2024.

LOPES, Ana Francisca Miranda; SCHULER, Azeneth Eufrausino; GONÇALVES, Alexandre Ortega. Análise de séries temporais de precipitação na região da Bacia Hidrográfica Guapi-Macacu, Rio De Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25., 2023, Sergipe. **Anais [...]**. Centro de Convenções AM Malls - Sergipe, 2023.

MARTINS, Sabrina Kelly Batista; MARTINES, Marcos Roberto; TOPPA, Rogério Hartung. Análise da paisagem urbana visando a implantação de corredor ecológico entre os dois maiores fragmentos florestais do município de Campinas (São Paulo, Brasil): a Mata de Santa Genebra

e a Mata Ribeirão Cachoeira. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 44, e216366–e216366, p. 1-15, 2024.

MAZZURANA, Elis Regina. Mata Atlântica: patrimônio natural, cultural e biológico do Brasil. **Revista Encontros Teológicos**, v. 31, n. 3, p. 459-472, 2016.

MCGARIGAL, Kevin; MARKS, Barbara J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122 p. (General Technical Report, PNW-GTR-351).

MENDES, Clarice Braúna. **Efeitos da perda e fragmentação de habitat sobre a biodiversidade: uma busca por padrões, mecanismos e modelos aplicados à conservação**. 2023. 198 f. Dissertação (Doutorado em Ecologia e Evolução)- Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, p. 1–9, 2001.

NEEL, Maile C.; MCGARIGAL, Kevin; CUSHMAN, Samuel A. Behavior of class-level landscape metrics across gradients of class aggregation and area. **Landscape Ecology**, v. 19, n. 4, p. 435–455, 2004.

NETA, Elza Ribeiro dos Santos. Paisagem geossistêmica aplicada à gestão ambiental de bacias hidrográficas. **Periódicos Brasil. Pesquisa Científica**, v. 5, n. 1, p. 589–601, 2026.

OLIVEIRA, Marina Baldani. **Efeito da fragmentação florestal na viabilidade de sementes da Mata Atlântica**. 2025. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

PARRA-SANCHEZ, Edicson; BANKS-LEITE, Cristina. The magnitude and extent of edge effects on vascular epiphytes across the Brazilian Atlantic Forest. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 18847, 2020.

PEDREIRA, B. da C. C. G. *et al.* Síntese do cenário contemporâneo da oferta e consumo de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu. 2010.

PEDREIRA, B. da C. C. G. *et al.* Caracterização socioeconômica das bacias hidrográficas dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu. 2012.

PEIXOTO, Diego Rafael dos Santos; SILVA, Elenice Rachid da; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. Valoração econômica de recurso ambiental (VERA) da bacia hidrográfica de Guapi/Macacu (RJ). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 217–224, 2016.

PETZINGER, Juliana Gisele Gottschalk; BERRETA, Márcia dos Santos Ramos. Análise espacial de isolamento e proximidade dos fragmentos de Mata Atlântica do sul do Brasil. **Revista Territorium Terram**, v. 8, n. esp. 1, p. 160–179, 2025.

PROJETO GUAPIAÇU. **O projeto**. Cachoeiras de Macacu: Ação Socioambiental – ASA, 2026. Disponível em: <https://www.projetoguapiacu.org/o-projeto/>. Acesso em: 22 jun. 2026.

REGUA. **Resultados**. Cachoeiras de Macacu: REGUA, 2024. Disponível em: <https://www.regua.org.br/resultados>. Acesso em: 22 jun. 2026.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei n.º 3.239, de 2 de agosto de 1999**. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro: Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 1999.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei nº 5.690, de 14 de abril de 2010**. Dispõe sobre a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável e dá outras providências. Rio de Janeiro: Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Maria do Socorro Ferreira da; SOUZA, Rosemeri Melo e. Padrões espaciais de fragmentação florestal na flona do ibura – Sergipe (spatial patterns of forest fragmentation in the Flona Ibura – Sergipe). **Mercator**, v. 13, n. 3, p. 121–137, 2014.

SILVA, Paola Nogueira da; COSTA, Evelyn de Castro Porto; SEABRA, Vinicius da Silva. Índice de transformação antrópica por unidades de paisagem na bacia do macacu-guapiaçu - RJ. **Revista Tamoios**, v. 19, n. 2, p. 24–44, 2023.

SIMÃO, Clara. Rio enfrenta pior crise hídrica em 22 anos, alerta presidente da Cedae. **CBN Rio**, Rio de Janeiro, 17 set. 2024. Disponível em: <https://cbn.globo.com/programas/cbn-rio/entrevista/2024/09/17/rio-enfrenta-pior-crise-hidrica-em-22-anos-alerta-presidente-da-cedae.ghtml>. Acesso em: 22 jun. 2026.

SIMONI, Leonardo Ferraresi. **Análise da fragmentação da paisagem na Unidade de Planejamento Hídrico Baixo Paranapanema Margem Direita: estudo das áreas potenciais para conectividade e restauração florestal**. 2025. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) Universidade Estadual Paulista, Ourinhos.

SOUZA, Ruan Vinicius Smaniotto de. **Efeito do uso do solo e mata ciliar sobre a qualidade da água em paisagens fragmentadas da Mata Atlântica**. 2023. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

STEINKE, Valdir Adilson *et al.* **Geografia da Paisagem: Múltiplas Abordagens, Vol. 1**. [S.l.]: Portal de Livros da UnB, 2023. 505 p.

UZEDA, M. C. *et al.* Explorando as relações entre estrutura da paisagem e atributos de qualidade de fragmentos em região de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 31 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Solos, 190).

VIDA, Caio Gois; PINTO, Lilian Vilela Andrade. Ecologia de paisagem: uma análise estrutural dos remanescentes florestais pertencentes ao projeto Conservador do Mogi. *In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18 E SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSULDEMINAS*, 11, 2022, Inconfidentes. **Anais [...]**. Instituto Federal do Sul de Minas Gerais - Minas Gerais, 2022.

WENTZEL, Thiago. O projeto de construção da barragem do guapiaçu (Cachoeiras de Macacu/RJ): a necropolítica e a injustiça ambiental no projeto de construção da barragem do Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu/RJ. **GEOgraphia**, v. 24, p. 1-17, 2022.

ZAÚ, André Scarambone. Fragmentação da Mata Atlântica: aspectos teóricos. **Floresta e Ambiente**, v. 5, p. 160–170, 1998.