

# ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL POR MEIO DE MÉTRICAS DA PAISAGEM NA REGIÃO DE ECÓTONO ENTRE CERRADO E MATA ATLÂNTICA

ANALYSIS OF FOREST FRAGMENTATION THROUGH LANDSCAPE METRICS IN THE ECOTONE REGION BETWEEN THE CERRADO AND ATLANTIC FOREST

ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN FORESTAL MEDIANTE MÉTRICAS DEL PAISAJE EN LA REGIÓN DE ECOTONO ENTRE EL CERRADO Y LA MATA ATLÂNTICA

<https://www.ufv.br/>

## // RESUMO

### AUTOR

Angeline Martini 

Shauanne Dias Pancieri 

Fillipe Tamiozzo Pereira Torres 

### FILIAÇÃO INSTITUCIONAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)

### E-MAIL

[martini.angeline@gmail.com](mailto:martini.angeline@gmail.com)

[shauanne.pancieri@ufv.br](mailto:shauanne.pancieri@ufv.br)

[tamiozzo@ufv.br](mailto:tamiozzo@ufv.br)

DATA DE SUBMISSÃO: 03/ 06/24

DATA DE APROVAÇÃO: 00/ 00/00

DOI: 10.12957/GEOUERJ.2024.8809



E-ISSN 1981-9021  
APRESENTAÇÃO EDIÇÃO ESPECIALXVII  
GEOCRÍTICA2024, APRESENTAÇÃO N.46.

ESTE É UM ARTIGO DE ACESSO ABERTO DISTRIBUÍDO SOB OS TERMOS DA LICENÇA CREATIVECOMMONS BY-NC-SA 4.0, QUE PERMITE USO, DISTRIBUIÇÃO E REPRODUÇÃO PARA FINS NÃO COMERCIAIS, COM A CITAÇÃO DOS AUTORES E DA FONTE ORIGINAL E SOB A MESMA LICENÇA.

A transição entre Cerrado e Mata Atlântica origina uma paisagem única, composta por expressiva diversidade biológica, mas que sofre constante ameaça pelas ações antrópicas. Compreender a estrutura da paisagem com foco na fragmentação florestal é importante para gerar subsídios à conservação da biodiversidade, de modo que a sociedade possa usufruir dos recursos florestais no futuro, de maneira sustentável. O objetivo deste estudo foi analisar a fragmentação florestal em uma área de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica, considerada como de prioridade para a recuperação ambiental no estado de Minas Gerais. As informações disponíveis no MapBiomias 2022 serviram como base para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo da região e elaboração do mapa de fragmentação florestal. As operações de geoprocessamento foram elaboradas no ArcGIS e as métricas da paisagem, tamanho e forma de cada mancha foram calculadas no Fragstats. A matriz da paisagem é representada por atividades agropecuárias e os fragmentos florestais têm em média 5,74ha de área, mas 82,16% são menores do que isso. Os fragmentos com dimensões inferiores a 1ha totalizam 32,57%. Na Mata Atlântica há um predomínio de fragmentos com menos de 5ha, enquanto no Cerrado 32,9% da cobertura florestal está em fragmentos maiores que 100ha. Os valores de índice de forma não diferiram significativamente entre os biomas, apenas na maior classe de tamanho. Pode-se concluir que matriz da paisagem caracterizada por atividades agropecuárias promoveu expressiva fragmentação florestal para a região sendo a área de Mata Atlântica mais fragmentada do que a de Cerrado.

**Palavras-chave:** Conservação da natureza. Recursos florestais. Estrutura da paisagem. Minas Gerais. MapBiomias

## // ABSTRACT

The transition between the Cerrado and the Atlantic Forest creates a unique landscape, characterized by significant biological diversity, yet constantly threatened by human actions. Understanding the landscape structure focusing on forest fragmentation is crucial to provide support for biodiversity conservation, enabling society to sustainably utilize forest resources in the future. The aim of this study was to analyze forest fragmentation in an ecotone area between the Cerrado and the Atlantic Forest, considered a priority for environmental restoration in the state of Minas Gerais. Information available in MapBiomias 2022 served as the basis for creating the land use and land cover map of the region and the forest fragmentation map. Geoprocessing operations were conducted using ArcGIS, and landscape metrics, such as size and shape of each patch, were calculated using Fragstats. The landscape matrix is dominated by agricultural activities, and forest fragments have an average area of 5.74 hectares, with 82.16% being smaller than that. Fragments smaller than 1 hectare account for 32.57%. In the Atlantic Forest, there is a predominance of fragments smaller than 5 hectares, while in the Cerrado, 32.9% of forest cover is in fragments larger than 100 hectares. The values of the shape index did not differ significantly between biomes, except in the largest size class. It can be concluded that the landscape matrix characterized by agricultural activities has led to significant forest fragmentation in the region, with the Atlantic Forest area being more fragmented than the Cerrado area.

**Keywords:** Nature conservation, Forest resources. Landscape structure. Minas Gerais. MapBiomias.

## // RESUMEN

La transición entre Cerrado y Mata Atlántica crea un paisaje único, compuesto por una importante diversidad biológica, pero que está constantemente amenazado por la acción humana. Comprender la estructura del paisaje con un enfoque en la fragmentación de los bosques es importante para generar subsidios para la conservación de la biodiversidad, de modo que la sociedad pueda disfrutar de los recursos forestales en el futuro, de manera sostenible. El objetivo de este estudio fue analizar la fragmentación forestal en un área de ecotono entre Cerrado y Mata Atlántica, considerada una prioridad para la recuperación ambiental en el estado de Minas Gerais. La información disponible en MapBiomias 2022 sirvió de base para elaborar el mapa de uso y cobertura del suelo de la región y elaborar el mapa de fragmentación forestal. Las operaciones de geoprocésamiento se desarrollaron en ArcGIS y las métricas del paisaje, el tamaño y la forma de cada parche se calcularon en Fragstats. La matriz paisajística está representada por actividades agrícolas y los fragmentos de bosque tienen una superficie promedio de 5,74ha, pero el 82,16% son menores que esa. Los fragmentos menores a 1ha suman el 32,57%. En la Mata Atlántica predominan fragmentos menores a 5ha, mientras que en el Cerrado el 32,9% de la cobertura forestal se encuentra en fragmentos mayores a 100ha. Los valores del índice de forma no difirieron significativamente entre biomas, sólo en la clase de mayor tamaño. Se puede concluir que la matriz paisajística caracterizada por actividades agrícolas promovió una importante fragmentación forestal para la región, siendo el área de Mata Atlántica más fragmentada que el Cerrado.

**Palabras Clave:** Conservación de la Naturaleza. Recursos forestales. Estructura del paisaje. Minas Gerais. MapBiomias.

## INTRODUÇÃO

A influência humana acentuou a modificação das paisagens terrestres e os efeitos das alterações climáticas sobre os ecossistemas se agravaram, o que nos leva a necessidade de desenvolver estratégias para manter a biodiversidade e os benefícios dos serviços ecossistêmicos (DOMINGUES et al., 2023). Embora o conceito de paisagem seja complexo, multidimensional e que pode apresentar diversas abordagens (AL HASHEMI, 2016), quando direcionado a conservação da natureza é associado diretamente à ecologia da paisagem, ciência que busca investigar as interações recíprocas entre padrões espaciais e processos ecológicos em uma gama de escalas espaciais (BANKS-LEITE et al., 2022).

Os estudos em ecologia da paisagem adotam principalmente a aplicação de métricas espaciais, onde o tamanho e a forma dos fragmentos costumam ser indispensáveis, tendo em vista que impactam os resultados de qualquer análise (CUNNINGHAM et al., 2024). A escala espacial apropriada para quantificar a influência da paisagem na biodiversidade é geralmente conceituada em termos de espécies, comunidades ou processos ecológicos (BANKS-LEITE et al., 2022).

Uma das principais causas do declínio da biodiversidade global foi a fragmentação dos habitats (BLANCO-LIBREROS et al., 2021). Proveniente principalmente do desmatamento e outras atividades humanas, que levaram à perda generalizada de florestas a nível mundial, resultando no aparecimento de manchas florestais isoladas e na redução da conectividade entre elas (ZHEN et al., 2023). Tendo em vista que ainda muitas atividades priorizaram o bem estar econômico e colocaram em risco o bem estar ambiental (STEVANATO et al., 2023), torna-se necessário as ações de conservação e restauração dos ecossistemas naturais para promover a manutenção da biodiversidade (RIBEIRO et al., 2020).

A fragmentação de um ecossistema natural pode produzir mudanças diversas em uma área, alterando vários aspectos da paisagem e impossibilitando a manutenção da complexidade natural, entre as consequências mais danosas estão o isolamento dos fragmentos e o efeito de borda, responsáveis pela redução e extinção de populações de organismos, além do empobrecimento genético (STEVANATO et al., 2023).

A fragmentação florestal é normalmente influenciada por fatores socioeconômicos, naturais e antropogênicos (ZHEN et al., 2023). Quando em taxas elevadas, podem levar à perda de conectividade que afetam as populações (JARAMILLO et al., 2023), uma vez que a conectividade populacional influencia a ecologia funcional e está relacionada à capacidade das espécies de persistir e se recuperar de perturbações ecológicas (RAMÍREZ-DELGADO et al., 2022). Essa perda de conectividade, associada às alterações climáticas, pode ser irreversível para a biodiversidade (JARAMILLO et al., 2023).

A partir dos indícios de que as alterações climáticas irão modificar os ecossistemas sul-americanos, que a perda de conectividade impedirá a migração das populações (ANJOS et al., 2021) e que a crescente demanda humana pelo uso da terra em paisagens de hotspots de biodiversidade vem intensificando as perdas de florestas em todo o mundo (TAUBERT et al., 2018; JARAMILLO et al., 2023), torna-se fundamental os estudos desta natureza no Brasil. País

historicamente marcado por uma economia exploratória de recursos naturais, onde a produção concentrada na pecuária, agricultura, extração vegetal e mineral, atuou de modo agressivo e contínuo, gerando desmatamento e fragmentação das florestas (STEVANATO et al., 2023).

Dentre os biomas existentes no Brasil, tanto o Cerrado quanto a Mata Atlântica estão entre os 25 principais hotspots de biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2000) e também são áreas de prioridades global para a restauração de ecossistemas, voltados à conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças do clima (STRASSBURG et al., 2020).

O Cerrado, localizado na região central do Brasil, é o segundo maior bioma do continente sul-americano, rico em biodiversidade e caracterizado por um clima tropical com acentuada variação sazonal de precipitação ao longo do ano (BARBOZA et al., 2024). É também o segundo bioma em extensão do Brasil, atrás apenas da Amazônia. Apresenta 1.983.017 km<sup>2</sup> de área em território brasileiro (23,3%) e está presente em todas as grandes regiões país, mas com maior expressão no Centro-Oeste, onde ocupa 56,1% da superfície (IBGE, 2019).

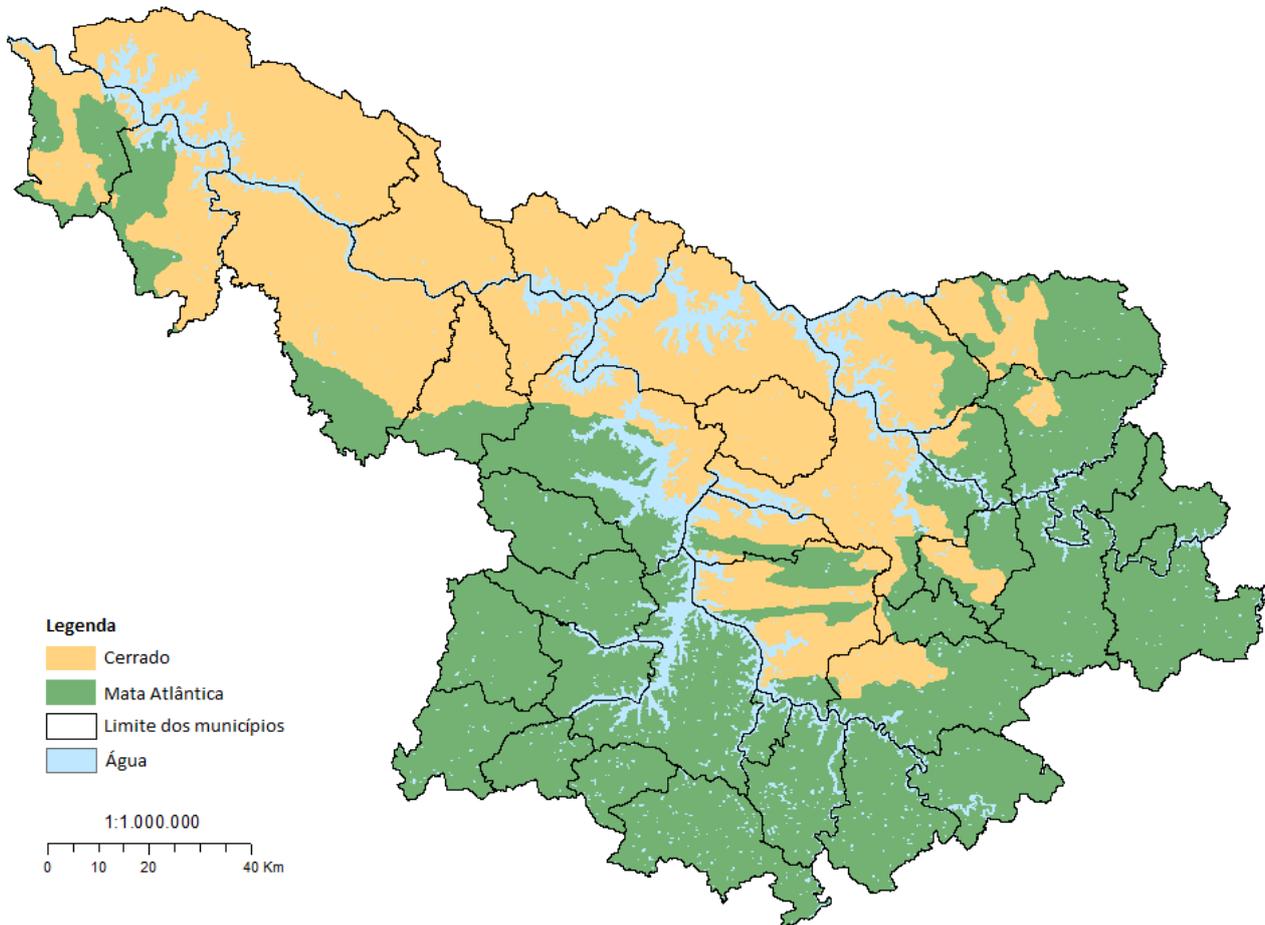
Em contraste, a Mata Atlântica na costa leste do Brasil é a segunda maior floresta tropical da América do Sul e conhecida pela sua elevada biodiversidade, caracterizada por um clima predominantemente tropical com chuvas durante todo o ano (BARBOZA et al., 2024). É terceiro maior bioma em área do Brasil, apresenta 1.107.419 km<sup>2</sup> (13% do território), presente em 15 estados da federação, incluindo completa ou parcialmente todos os estados litorâneos (IBGE, 2019).

Devido as rápidas mudanças nos ambientes tropicais, torna-se urgente melhorar a compreensão da distribuição do ecótono Cerrado-Mata Atlântica e garantir a conservação da sua diversidade única, que pode representar recursos vitais para um futuro sustentável (PENNINGTON et al. 2018). Os ecótonos são zonas de transição entre comunidades vegetais adjacentes, que refletem mudanças graduais ou abruptas nas condições ambientais e nos processos ecológicos, o que resulta em áreas relativamente dinâmicas e instáveis em comparação com os seus ecossistemas vizinhos (SMITH et al., 2021). Estas zonas são particularmente pertinentes para examinar as respostas da vegetação às alterações climáticas, uma vez que as populações de plantas presentes estão frequentemente no limite das suas capacidades fisiológicas (WASSO et al., 2013).

Estudos que direcionam esforços para a conservação da biodiversidade e que utilizam como base dados espaciais, podem fornecer subsídios técnicos e científicos para projetos de planejamento ambiental, de modo que toda a sociedade possa usufruir dos benefícios de um meio ambiente sustentável (RIBEIRO et al., 2020). Desta forma, o objetivo deste estudo foi analisar a fragmentação florestal em uma área de ecótono entre Cerrado e Mata Atlântica, utilizando métricas da paisagem, para fornecer subsídios à conservação da biodiversidade.



**Figura 2.** Domínio de Mata Atlântica e Cerrado na área de estudo em Minas Gerais, Brasil



Fonte: Elaborado própria

A altitude da área de estudo varia de 608 a 1439 metros e as principais classes de solo incluem afloramento rochoso, Cambissolo, Nitossolo, Plintossolo, Latossolo, Argissolo, Neossolo, Gleissolo e áreas úmidas (IBGE, 2024).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do mapeamento do uso e ocupação do solo, foram utilizadas as informações disponíveis no MapBiomas, (Coleção 8 de 2022), com mosaicos de resolução espacial de 30 metros. As classes atribuídas pelo MapBiomas foram redefinidas de acordo com as características necessárias para o presente estudo. Os fragmentos florestais para a paisagem analisada foram considerados como a união das classes: formação florestal, formação savânica, mangue, floresta alagável e restinga arbórea. Renomeadas como cobertura de árvores nativas. As classes plantio florestal (silvicultura) e formação natural não florestal foram mantidas separadas. Uma tabela com as principais informações de estatística descritiva para cada classe de uso e ocupação do solo foi elaborada com a divisão entre Mata Atlântica e Cerrado.

A delimitação dos Biomas considerados neste estudo foi o mapa temático de informação geográfica no formato vetorial do tipo shapefile também provenientes do MapBiomas 2022. Quanto a estrutura da paisagem, para compreender a configuração espacial de um tipo de mancha de particular interesse, a análise é conduzida como mapa simples binário, onde existem apenas duas classes, a classe de interesse e as outras classes combinadas. Assim, para tratar da fragmentação florestal na área de estudo, a classe cobertura de árvores nativas foi adotada como classe de mancha de interesse e as demais foram combinadas em um mapa binário, sendo também mantida a hidrografia.

As bases de informações, operações de geoprocessamento e a composição cartográfica final foram elaboradas no ArcGIS versão 10.3.1. O sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS 2000, Zona 23 Sul foi adotado para todos os mapeamentos produzidos. Tais informações foram exportadas para software Fragstats 4.2, onde se calculou as métricas da paisagem tamanho e forma de cada mancha. Isto porque, a interação do formato e tamanho da mancha pode influenciar uma série de processos ecológicos importantes (McGARIGAL et al., 2024).

A área de cada mancha que compreende um mosaico de paisagem (AREA) é talvez a informação mais importante e útil contida na paisagem, além de ser a base para muitos dos índices de manchas, classes e paisagens, tem também uma grande utilidade ecológica por si só (McGARIGAL et al., 2024). Já o índice de forma (SHAPE) indica o quanto irregular é uma forma, medindo a complexidade da forma de um fragmento em relação à forma básica, onde o valor do índice tem limite inferior igual a 1, quando todos os fragmentos apresentam a forma de um quadrado, com forte ação humana e quanto mais complexo for o fragmento, o índice apresenta maior valor (McGARIGAL et al., 2024).

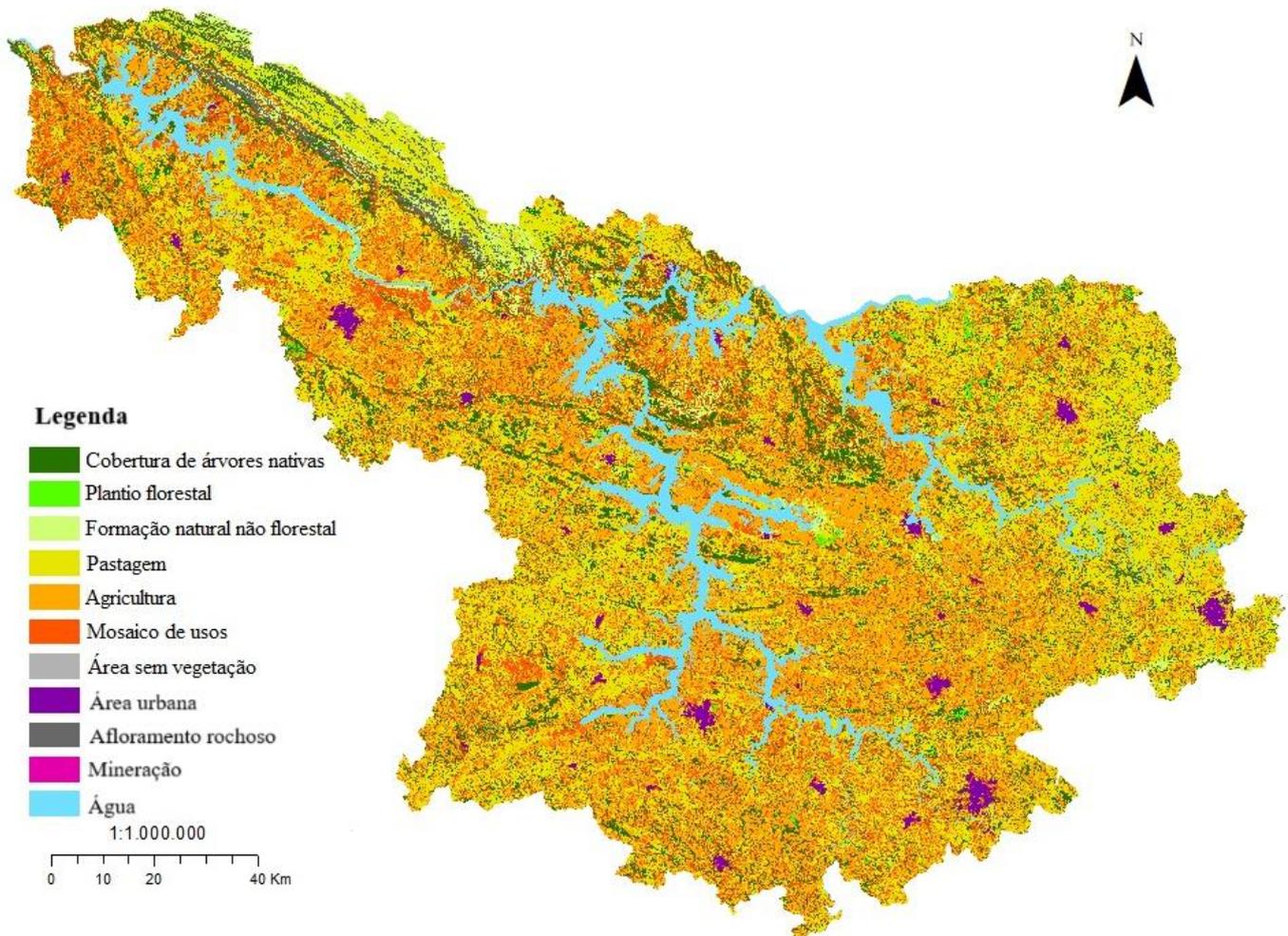
Os resultados obtidos para cada fragmento no software Fragstats 4.2 foram processados em planilha do software Excel. Os dados foram tratados com a divisão dos biomas e os fragmentos foram classificados de acordo com as classes de tamanhos propostas por (SANTOS et al., 2018): Muito pequeno (<5 ha), Pequeno (5–10 ha), Médio (10–100 ha) e Grande (>100 ha) para detalhar melhor a característica da paisagem. Uma tabela com as principais informações foi elaborada com a divisão entre Mata Atlântica e Cerrado para permitir a comparação.

## RESULTADOS

O mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo apresentou onze classes, com um valor acurácia geral de 90%, onde para a classe fragmentos florestais o valor de exatidão foi de 93,6%.

A matriz da paisagem é representada por atividades agropecuárias (55,25%), uma vez que as áreas de pastagem (34,46%) e agricultura (20,78%) foram predominantes neste mosaico (Figura 3). Os remanescentes florestais correspondem a 12,48% da paisagem e as formações naturais não florestais 2,23%. Destaca-se ainda, a presença de produção florestal equivalente a 0,87% da área da paisagem.

**Figura 3.** Mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Grande, em Minas Gerais, Brasil



Fonte: Elaborado própria

Dentre as diferenças na paisagem do Cerrado e Mata Atlântica (Tabela 1), foi possível observar que o uso para pastagem tem uma área 60 vezes maior na Mata Atlântica embora no Cerrado a proporção do número de manchas desta classe tenha sido maior (19,2%). No Cerrado, a área de formação natural não florestal foi 10,2 vezes maior do que na Mata Atlântica, enquanto que a área de plantio florestal foi 64,6 vezes menor.

**Tabela 1.** Comparação dos resultados de Estatística descritiva para cada classe de uso e ocupação do solo entre Mata Atlântica e Cerrado na área de estudo

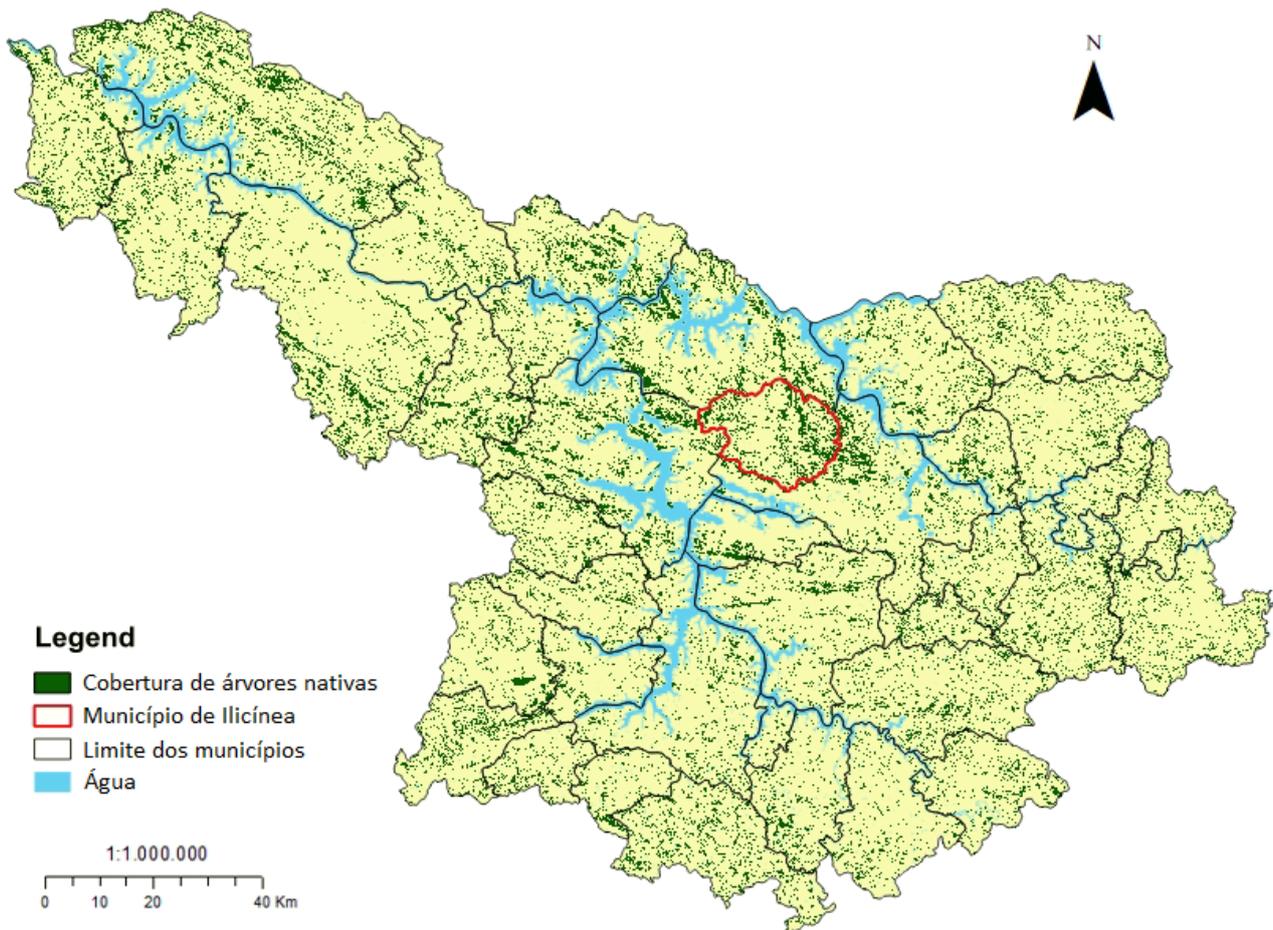
Uso e cobertura do solo	Cerrado					Mata Atlântica				
	Área		Número de manchas		Média e Dvp	Área		Número de manchas		Média das manchas
	(ha)	%	u	%	(ha)	(ha)	%	u	%	(ha)
Pastagem	258569,85	28,4	17270	19,2	14,97 (±261,91)	431958,83	39,6	19512	15,5	22,14 (±573,71)
Mosaico de usos	194092,34	21,3	29162	32,4	6,66 (±65,24)	211278,82	19,3	53958	42,9	3,92 (±25,04)
Agricultura	183545,84	20,1	9983	11,1	18,39 (±86,61)	232947,44	21,3	18524	14,7	12,58 (±52,68)
Cobertura de árvores nativas	111416,79	12,2	17623	19,6	6,32 (±30,76)	138775,00	12,7	26695	21,2	5,20 (±17,87)
Água	83204,04	9,1	617	0,7	134,85 (±1628,28)	48326,94	4,4	1373	1,1	35,20 (±1024,34)
Formação Natural não florestal	40623,51	4,5	9792	10,9	4,15 (±25,11)	4153,08	0,4	1433	1,1	2,90 (±13,81)
Afloramento rochoso	21233,21	2,3	2127	2,4	9,98 (±54,48)	3,48	0,0	1	0,0	3,48 -
Área urbana	9270,05	1,0	145	0,2	63,93 (±228,88)	12604,81	1,1	195	0,2	64,64 (±269,69)
Plantio florestal	6884,76	0,8	1443	1,6	4,77 (±12,64)	10656,36	0,9	3155	2,5	3,38 (±8,18)
Área sem vegetação	2753,89	0,3	1742	1,9	1,58 (±2,61)	1250,00	0,1	765	0,6	1,63 (±2,89)
Mineração	78,67	0,0	8	0,0	9,83 (±16,00)	57,65	0,0	5	0,0	11,53 (±14,37)
Total Geral	911672,95	100,0	89912	100,0	10,14 (±184,66)	1092012,41	100,0	125616	100,0	8,69 (±252,00)

Fonte: Elaborado própria

O maior número de manchas nos dois biomas foi classificado como mosaico de usos, seguido por cobertura de árvores nativas, pastagem e agricultura. Foram classificadas como mosaico de usos, todas as demais formas de uso e ocupação do solo, distintas das dez classes previamente estabelecidas. As manchas de pastagem apresentam dimensões médias maiores na Mata Atlântica, enquanto as de agricultura são menores.

O mapa binário elaborado para compreender a configuração espacial da fragmentação florestal na área de estudo apresentou um total de 43.623 fragmentos florestais que totalizam 2.502,66 km<sup>2</sup> (Figura 4). Os fragmentos têm em média 5,74 ha de área, variando de 0,0848 a 1.557,89 ha, dos quais 82,16% apresentam dimensões menores do que a média (5,74ha) e 32,57% são inferiores a 1 ha.

**Figura 4.** Mapa da fragmentação florestal na área de estudo da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Grande, em Minas Gerais, Brasil

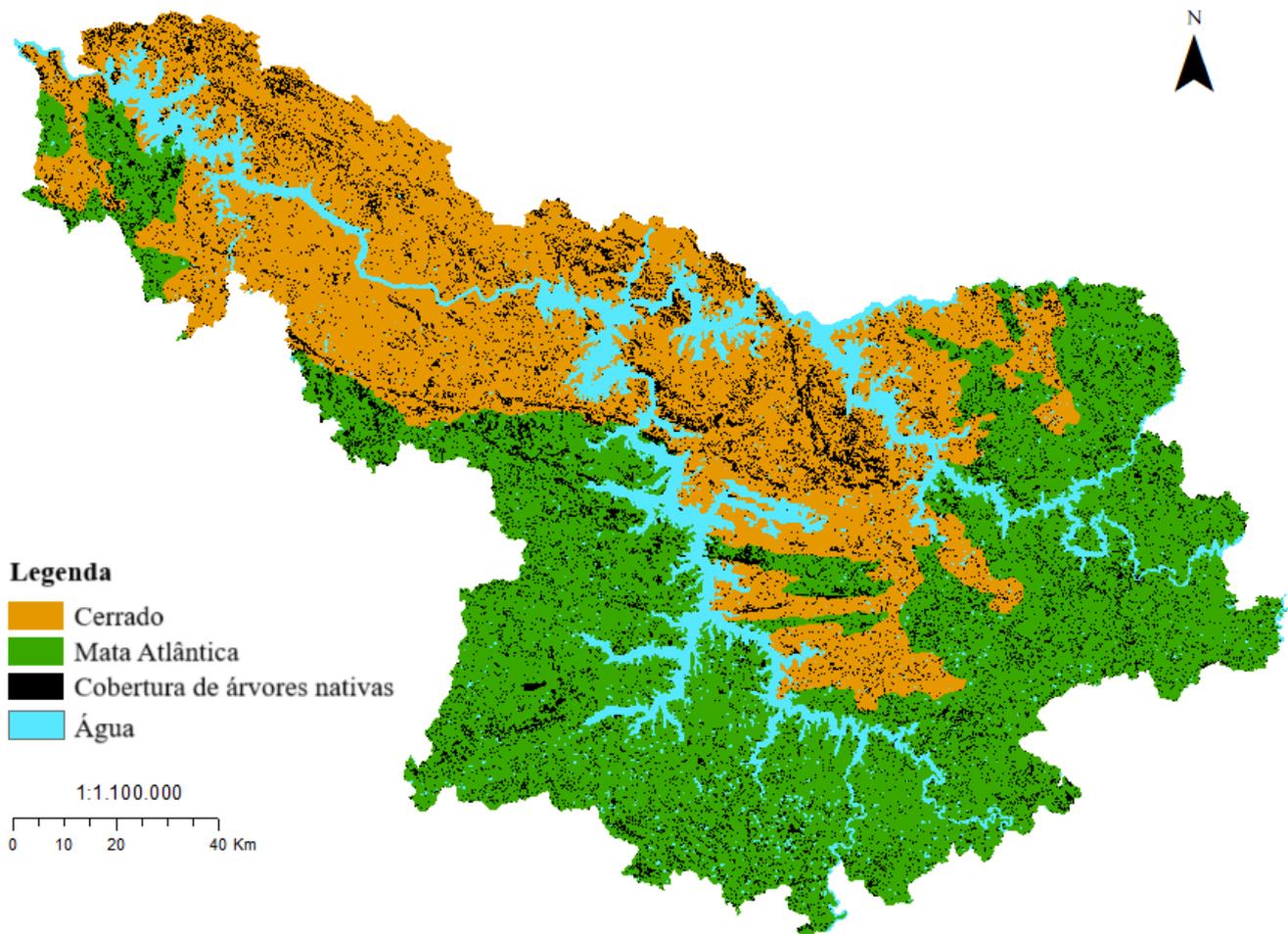


Fonte: Elaborado própria

A maior concentração de fragmentos florestais com dimensões maiores ocorre na região de Ilícinea e entorno, compreendendo áreas do Parque Estadual Serra da Boa Esperança. Destaca-se ainda, que em toda a paisagem apenas 266 fragmentos (0,61%) tem área maior do que 100 ha.

A área de cobertura florestal nativa foi maior na Mata Atlântica (138.775,00 ha), no entanto, esta cobertura é mais fragmentada do que no Cerrado, tendo em vista a existência de 26.695 manchas com média de 5,20 ha. No Cerrado, existem 111.416,79 ha de cobertura florestal nativa, em 17.623 manchas com média de 6,32 ha (Figura 5).

**Figura 5.** Mapa da fragmentação florestal evidenciando a transição entre Mata Atlântica e Cerrado na área de estudo da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Grande, em Minas Gerais, Brasil



Fonte: Elaborado própria

A paisagem analisada apresenta 55,5% dos fragmentos de floresta nativa em área de Mata Atlântica, com densidade equivalente a 10,67 fragmentos por hectare. Já no Cerrado os fragmentos de floresta nativa totalizam 44,5% com 7,04 fragmentos por hectare.

Os fragmentos com menos de 5 ha (muito pequeno) na Mata Atlântica foram os que predominaram em quantidade na paisagem (79,58%), corroborando para a área de Mata Atlântica ser mais fragmentada. Além disso, foi possível observar que no Cerrado 32,9% da

cobertura florestal nativa está em grandes fragmentos, enquanto que na Mata Atlântica os fragmentos com mais de 100 ha somam apenas 16,9% (Tabela 2).

**Tabela 2.** Estatística descritiva para as principais métricas da paisagem aplicadas aos fragmentos florestais existentes na Mata Atlântica e Cerrado, organizados por classe de tamanho

Classes de tamanho	Área total		Tamanho dos Fragmentos				Índice de Forma			
	(ha)	%	Nº	Média (ha)	Maior (ha)	Desvio Padrão	Média	Maior	Menor	Desvio Padrão
Cerrado										
Grande (>100 ha)	36.691,18	32,9	146	251,31	1.557,89	210,30	5,74	14,33	2,09	2,32
Médio (10-100 ha)	41.701,00	37,4	1659	25,14	99,69	18,37	2,67	6,48	1,18	0,86
Pequeno (5-10 ha)	11.508,85	10,3	1662	6,92	9,92	1,38	2,00	3,73	1,06	0,47
Muito pequeno (<5 ha)	21.515,76	19,3	14.16	1,52	4,92	1,11	1,42	3,33	1,00	0,32
Total Cerrado	111.416,79	44,5	17.62	6,32	1.557,89	30,76	1,63	14,33	1,00	0,71
Mata Atlântica										
Grande (>100 ha)	23.408,60	16,9	118	198,38	816,71	134,28	4,66	8,62	1,86	1,41
Médio (10-100 ha)	63.287,63	45,6	2645	23,93	99,52	17,03	2,56	6,23	1,13	0,82
Pequeno (5-10 ha)	18.656,92	13,4	2686	6,95	9,92	1,42	2,03	4,16	1,00	0,53
Muito pequeno (<5 ha)	33.421,85	24,1	21.25	1,57	4,92	1,15	1,50	3,60	1,00	0,37
Total Mata Atlântica	138.775,00	55,5	26.7	5,20	816,71	17,87	1,67	8,62	1,00	0,61
Total Geral	250.191,79	100	44318	5,65	1557,89	23,85	1,65	14,33	1,00	0,65

Fonte: Elaborado própria

O índice de forma médio dos grandes fragmentos foi maior na área de Cerrado (5,74), sendo que o maior índice de forma foi encontrado nesta categoria (14,33). As demais classes apresentaram valores semelhantes, não diferindo entre Mata Atlântica e Cerrado. Os valores de índice de forma foram diretamente proporcionais às classes de tamanho dos fragmentos, ou seja, os menores valores de índices de forma foram encontrados nos menores fragmentos.

## DISCUSSÃO

Os padrões espaciais das florestas têm sido estudados em uma ampla variedade de localizações geográficas nas pesquisas sobre conservação porque há uma preocupação crescente com os efeitos negativos generalizados da fragmentação dos habitats, responsável por uma das principais causas do declínio da biodiversidade global (GRANTHAM, 2020; BLANCO-LIBREROS, et al, 2021).

Na paisagem analisada, a matriz é representada por atividades agropecuárias, principal uso e ocupação do território brasileiro e responsável por grande parte do desmatamento. Mesmo que o desmatamento causado por pastagens persista na maioria dos biomas, a conversão de pastagens para cultivo de soja e outras culturas agrícolas intensivas têm se intensificado desde 2006 (CABALLERO et al., 2023). Embora a matriz tenha sido denominada como agropecuária, para melhor retratar as características do país, é importante destacar que diferentes usos e tamanhos de explorações agrárias desempenham papéis diferentes na conservação da biodiversidade à escala da paisagem e, por isso as singularidades da matriz paisagística devem ser consideradas nas políticas de conservação (POMPEU, et al., 2024).

As manchas de pastagem apresentaram dimensões médias maiores na Mata Atlântica, enquanto as de agricultura foram menores. Esses resultados indicam que as paisagens com matriz de pastagens são mais fragmentadas no Cerrado do que as paisagens com matriz de terras agrícolas (ASSIS et al., 2021). Provavelmente isso ocorre porque a agricultura mecanizada requer áreas grandes e contínuas para ocorrer (MARTINELLI et al., 2010). Independente da cultura, a substituição da vegetação nativa por lavouras e pastagens compromete a diversidade funcional das plantas nativas e influencia negativamente as funções ecossistêmicas (MARTELLO et al., 2023).

No Cerrado, a área de formação natural não florestal foi 10,2 vezes maior do que na Mata Atlântica, o que é um resultado esperado, tendo em vista que esta é uma característica natural do bioma. Por estar inserido em uma fronteira agrícola estima-se que o Cerrado tenha perdido pelo menos 50% de sua cobertura vegetal natural nas últimas décadas (MARTELLO et al., 2023). O que faz deste resultado ser importante porque demonstra que possivelmente há uma área maior de fragmentos de Cerrado na região do que a considerada por este estudo.

O mapa binário para compreender a configuração espacial da fragmentação florestal evidenciou uma paisagem extremamente fragmentada. Os fragmentos apresentaram em média 5,74 ha, com 82,16% deles com dimensões inferiores a isso e 32,57% menores que 1 ha. Esse elevado número de pequenos fragmentos representa uma ameaça à segurança ecológica da região no que diz respeito à conservação da biodiversidade e à manutenção dos processos e serviços ecossistêmicos (SANTOS et al., 2020).

Os fragmentos de floresta, embora muitas vezes megadiversos, apresentaram dimensões pequenas e com baixa conectividade entre si, além de se distribuírem de modo espalhado pela paisagem agrícola (DOMINGUES et al., 2023). Essa configuração da paisagem constitui o principal motor da perda de habitat, que é a principal ameaça à conservação da biodiversidade (MARTELLO et al., 2023). Assim, ações de conservação e restauração da vegetação nativa em

propriedades privadas, que aumentem a conexão entre áreas naturais maiores, são importantes para a manutenção da biodiversidade em paisagens (RIBEIRO et al., 2020).

Vale destacar que a manutenção de pequenas manchas também é amplamente reconhecida como uma importante ferramenta para a conservação em áreas fragmentadas (FAHRIG, 2020). Os pequenos fragmentos ainda podem ser muito importantes para diminuir o isolamento entre florestas e aumentar a conectividade funcional para organismos de média a alta mobilidade (VANCINE et al., 2024).

Em toda a paisagem apenas 266 fragmentos têm área maior do que 100 ha, sendo que a maior concentração de fragmentos florestais com dimensões maiores ocorreu na região próxima ao município de Ilícinea, compreendendo áreas do Parque Estadual Serra da Boa Esperança. Este resultado enfatiza a importância em se estabelecer áreas protegidas, tendo em vista que o Parque é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral que foi criada em 2007 por meio do Decreto Estadual 44.520 e atualmente permanece sob responsabilidade do Instituto Estadual de Florestas (MINAS GERAIS, 2024).

Outro resultado importante encontrado por esta pesquisa é que a Mata Atlântica está mais fragmentada do que o Cerrado na área de estudo, tendo em vista a maior densidade (10,67 fragmentos por hectare), o tamanho médio geral (5,20 ha) e o predomínio de fragmentos muito pequeno (79,58%). Pesquisas anteriores já afirmaram que no geral a Mata Atlântica tem um panorama com maior efeito de perda e fragmentação de vegetação do que outros biomas, até mesmo do que o Cerrado (POMPEU et al., 2024; VANCINE et al., 2024). E é preciso ressaltar que a funcionalidade de pequenos fragmentos de Mata Atlântica é fortemente influenciada pela composição da matriz circundante (SANTOS et al., 2020). Ribeiro et al. (2009), constataram que 83,4% da cobertura vegetal original da Mata Atlântica no território brasileiro era formada por fragmentos com menos de 50 ha. Já Vancine et al. (2024), encontrou resultados mais preocupantes para todo o bioma, com 97% dos fragmentos menores que 50 ha. Em regiões pontuais, também já se verificou um alto grau de fragmentação florestal da Mata Atlântica, como no Espírito Santo, onde os fragmentos são menores do que 5 ha (SANTOS et al., 2020). E na região do Centro de Endemismo Pernambuco, onde cerca de 90% da floresta é formada por fragmentos com menos de 10 ha (DIAS et al., 2023).

Vancine et al. (2024) em uma análise comparativa entre os anos de 1986 e 2020, verificou que houve uma redução no número e área de fragmentos com mais de 500.000 ha na Mata Atlântica e um nítido aumento de fragmentos com menos de 50 ha. Destacou ainda, que esse aumento na proporção de fragmentos menores tem impacto direto na manutenção da diversidade de espécies e no tamanho populacional de múltiplos grupos taxonômicos.

Os resultados para o Cerrado foram relativamente melhores na região, pois 32,9% da cobertura florestal está em fragmentos maiores que 100 ha, mas isso se deve principalmente à influência de um único fragmento com mais de 1000 ha, o que não exclui a preocupação também com este bioma. Segundo Pompeu et al. (2024) a grande maioria dos fragmentos de Cerrado no Brasil são relativamente pequenos, com cerca de 60% apresentando menos de 1 ha. Em pesquisa realizada no Cerrado do Vale do Paraíba Paulista os autores verificaram que além da perda de habitat na região, a maioria dos remanescentes de Cerrado tinham menos de 30 ha (CIMA et al., 2023). Mas assim como na presente pesquisa, em estudo realizado na Bacia

Hidrográfica do Rio São Francisco, o Cerrado foi o bioma com maior área total da classe de fragmentos grandes (FERNANDES et al., 2022)

Os valores de índice de forma não diferiram significativamente entre os biomas, apenas para a maior classe de tamanho. De modo geral, quanto menor o tamanho do fragmento, mais próximo de 1 é o valor do índice de forma. Na pesquisa realizada no Vale do Paraíba Paulista, Cima et al. (2023) verificaram que os pequenos remanescentes de Cerrado também tinham índice de forma próximo ao valor 1.

O uso de métricas de fragmentação é eficaz para calcular estimativas precisas do impacto de mudanças da paisagem nas políticas de desenvolvimento sustentável para a conservação dos ecossistemas (JARAMILLO et al., 2023). A crescente disponibilidade de mapas de uso e cobertura do solo de alta resolução temporal e espacial oferece oportunidades para a compreensão dos padrões de fragmentação resultantes do desmatamento (POMPEU et al., 2024). É importante destacar que há uma tendência quanto aumento do número de fragmentos florestais, mas este aumento, não se deve apenas a fragmentação de grandes áreas, está também acompanhado de um modesto, mas essencial incremento de vegetação, principalmente proveniente da regeneração natural, com novos fragmentos surgindo em áreas anteriormente desmatadas (VANCINE et al., 2024). Algumas iniciativas como o pacto da restauração da Mata Atlântica e Lei da Mata Atlântica de 2006 podem favorecer esse surgimento de novas áreas de cobertura florestal (FERNANDES et al., 2022).

## CONCLUSÃO

A cobertura de vegetação nativa na paisagem analisada encontra-se fragmentada e sob pressão direta da matriz caracterizada por atividades agropecuárias, com predomínio das classes pastagem (34,46%) e agricultura (20,78%). A pastagem teve uma área 60 vezes maior na porção de Mata Atlântica do que no Cerrado. Essa fragmentação dos ecossistemas naturais é preocupante porque reduz a geração de serviços ecossistêmicos relacionados à biodiversidade.

Os fragmentos florestais têm em média 5,74 ha de área, mas 82,16% deles apresentam dimensões menores do que este valor. Desta forma, a paisagem apresentou um predomínio de fragmentos classificados como muito pequenos, principalmente na porção de Mata Atlântica (79,58%), e a existência de fragmentos maiores foi diretamente relacionada a presença de áreas protegidas.

A paisagem analisada apresentou 55,5% dos fragmentos de floresta nativa em área de Mata Atlântica, com densidade equivalente a 10,67 fragmentos por hectare. Já no Cerrado os fragmentos de floresta nativa totalizaram 44,5% com 7,04 fragmentos por hectare.

A área de cobertura nativa foi maior na Mata Atlântica, no entanto, esta foi mais fragmentada do que no Cerrado. Portanto, o panorama da Mata Atlântica apresentar o maior efeito de perda e fragmentação de vegetação do que nos demais biomas se confirmou nesta pesquisa, uma vez que a área de Mata Atlântica apresentou maior fragmentação do que a de Cerrado.

É importante destacar que em pesquisas sobre a configuração da paisagem quanto a fragmentação dos ecossistemas naturais, há uma tendência quanto aumento do número de fragmentos, por isso, recomenda-se avaliar a possibilidade das ações de restauração ecológica estarem refletindo nos resultados encontrados.

## AGRADECIMENTOS

O estudo em questão faz parte como produto do Projeto pertencente ao Programa de P&D regulado pela ANEEL, nº 00394-2103/2021, com o título: “Utilização de Inteligência Artificial no Desenvolvimento de Metodologias Inovadoras de Recuperação e Proteção de Nascentes e Áreas Degradadas em Zonas de Recargas de Aquíferos Contribuintes dos Reservatórios das UHE’s Furnas e Peixoto”. Esse Projeto de P&D foi desenvolvido por Furnas Centrais Elétricas S/A juntamente com a empresa Ingá Engenharia e Consultoria Ltda.

## REFERÊNCIAS

- ALEHASHEMI, A.; MANSOURI, S. Landscape; a Shifting Concept The Evolution of the Concept of Landscape from Renaissance. *Bagh- e Nazar*, v.14, n.57, p. 33-44, 2018.
- ANJOS, L. J.; de SOUZA, E. B.; AMARAL, C. T.; IGAWA, T. K.; DE TOLEDO, P. M. Future projections for terrestrial biomes indicate widespread warming and moisture reduction in forests up to 2100 in South America. *Global Ecology and Conservation*. v.25, e01441. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01441>
- ASSIS, T. O.; ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S. Effects of deforestation over the Cerrado landscape: a study in the Bahia Frontier. *Land*, v. 10, n. 4, p.352. 2021. <https://doi.org/10.3390/land10040352>
- BANKS-LEITE, C.; MATTHEW G. B.; EWERS, R. B.; ORME, C. D. L.; PIGOT, A. L. The macroecology of landscape ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, v.37, n.6, p. 480 – 487, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.01.005>
- BARBOZA, A. C. G; TAGLIACOLLO, V.; JACOBUCCI, G. B. Influence of Seasonal Hydrological Regimes on Benthic Macroinvertebrates in Two The Brazilian Biodiversity Hotspots, *Limnologica*, v. 106, e126170, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2024.126170>
- BLANCO-LIBREROS, J. F.; RAMÍREZ-RUIZ, K. Threatened mangroves in the Anthropocene: Habitat fragmentation in urban coastalscapes of *Pelliciera* spp.(Tetrameristaceae) in northern South America. *Frontiers in Marine Science*, v.8, e670354. 2021. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.670354>
- CABALLERO, C. B.; BIGGS, T. W.; VERGOPOLAN, N.; WEST, T. A. P.; RUHOFF, A. Transformation of Brazil's biomes: the dynamics and fate of agriculture and pasture expansion into native vegetation. *Science of The Total Environment*, v. 896, e166323, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166323>
- CIMA, I. S.; AMARAL, S.; MASSI, K. G. Mapping Cerrado Remnants in an Anthropized Landscape in Southeast Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 32, e101032, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101032>
- CUNNINGHAM, C.; BEAZLEY, K. F.; BUSH, P. G.; BRAZNER, J. C. Addressing the Boundary and Modifiable Areal Unit Problems Simultaneously when Measuring Landscape Fragmentation Using Patch-Based Metrics: a Case Study of Effective Mesh Size in Nova Scotia, Canada. *Environmental Modeling & Assessment*, v.29, p. 655–665, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10666-023-09950-w>
- DIAS, T. D. C.; SILVEIRA L. F.; FRANCISCO, M. R. Spatiotemporal dynamics reveals forest rejuvenation, fragmentation, and edge effects in an Atlantic Forest hotspot, the Pernambuco Endemism Center, northeastern Brazil. *PLoS One*, v. 18, n. 9, e0291234, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291234>

DOMINGUES, G. F.; HUGHES, F. M.; DOS SANTOS, A. G.; CARVALHO, A. F.; CALEGARIO, A. T.; SAITER, F. Z.; MARCATTI, G. E. Designing an optimized landscape restoration with spatially interdependent non-linear models, *Science of The Total Environment*, v. 873, e162299, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162299>

FAHRIG, L. Why do several small patches hold more species than few large patches? *Global Ecology and Biogeography*. v.29, n. 4, p.615-628, 2020. <https://doi.org/10.1111/geb.13059>

FERNANDES, M. M.; LIMA, A. H. S.; WANDERLEY, L. L.; FERNANDES, M. R. M.; ARAUJO FILHO, R. N. Fragmentação florestal na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 32, n. 3, p. 1227-1246, 2022. <https://doi.org/10.5902/1980509845253>

GRANTHAM, H. S.; DUNCAN, A.; EVANS, T. D.; JONES, K. R.; BEYER, H. L.; SCHUSTER, R.; WALSTON, J.; RAO, J. C.; ROBINSON, J. G.; CALLOW, M.; Anthropogenic modification of forests means only 40% of remaining forests have high ecosystem integrity. *Nature Communications*. v. 11, e5978. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Bioma e sistema Costeiro-Marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000. Série Relatórios Metodológicos, v. 45. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geociências. Dados ambientais. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais). Acesso em: 30 abr. 2024

JARAMILLO, J.J.; RIVAS, C.A.; OTEROS, J.; NAVARRO-CERRILLO, R. M. Forest Fragmentation and Landscape Connectivity Changes in Ecuadorian Mangroves: Some Hope for the Future? *Applied Sciences*. v.13, n. 8, e5001. 2023. <https://doi.org/10.3390/app13085001>

MARTELLO, F.; SANTOS, J. S. dos; SILVA-NETO, C. M.; CÁSSIA-SILVA, C.; SIQUEIRA, K. N.; ATAÍDE, M. V. R. de; RIBEIRO, M. C.; COLLEVATTI, R. G. Landscape structure shapes the diversity of plant reproductive traits in agricultural landscapes in the Brazilian Cerrado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 341, e108216, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108216>

MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: Impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. v.2, p.431–438. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.09.008>

McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors; available at the following web site: <https://www.fragstats.org>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MINAS GERAIS. INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Parque Estadual Serra da Boa Esperança. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MYERS, N.; MITTERMELER, R. A.; MITTERMELER, C. G. G.; DA FONSECA, G. A. B. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, v. 403 p. 853-858. 2000. <https://doi.org/10.1038/35002501>

- PENNINGTON, R. T.; LEHMANN, C. E. R.; ROWLAND, L. M. Tropical savannas and dry forests. *Current Biology*, v.28, n. 9, 2018.
- POMPEU, J.; ASSIS, T. O.; OMETTO, J. P. Landscape changes in the Cerrado: challenges of land clearing, fragmentation and land tenure for biological conservation. *Science of The Total Environment*, v. 906, e167581, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167581>
- RAMÍREZ-DELGADO, J. P.; DI MARCO, M.; WATSON, J. E.; JOHNSON, C. J.; RONDININI, C.; CORREDOR LLANO, X.; ARIAS, M.; VENTER, O. Matrix condition mediates the effects of habitat fragmentation on species extinction risk. *Nature Communications*, v.13, p. 595. 2022
- RIBEIRO, J. P.; METZGER, A. C.; MARTENSEN, F. J.; PONZONI, M. M. Hirota The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? implications for conservation. *Biol. Conserv*, v. 142, p. 1141-1153. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- RIBEIRO, M. P.; MELLO, K.; VALENTE, R. A. Avaliação da estrutura da paisagem visando à conservação da biodiversidade em paisagem urbanizada. *Ciência Florestal*, v. 30, n. 3, p. 819-834, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509837683>
- SÁ JÚNIOR, A. et al. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. *Brasil. Climatologia Teórica e Aplicada*, v.108, p.1-7, 2012.
- SANTOS, J. S.; LEITE, C. C. C.; VIANA, J. C. C.; SANTOS, A. R.; FERNANDES, M. M.; ABREU, V. S.; NASCIMENTO, T. P.; SANTOS, L. S.; FERNANDES, M. R. M.; SILVA, G. F.; MENDONÇA, A. R. Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest, *Ecological Indicators*, v. 88, p. 414-424, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.01.011>.
- SANTOS, A. R.; ARAÚJO, E. F.; BARROS, Q. S.; FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M.; MOREIRA, T.; SOUZA, K. B.; SILVA, E. F.; SILVA, J. P. M.; SANTOS, J. S.; BILLO, D.; SILVA, R. F.; NASCIMENTO, G. S. P.; GANDINE, S. M. S.; PINHEIRO, A. A.; RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.; SILVA, S. F.;
- SENHORELO, A. P.; HEITOR, F. D.; BERUDE, L. C.; TELLES, L. A. A. Fuzzy concept applied in determining potential forest fragments for deployment of a network of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest, *Ecological Indicators*, v.115, e106423, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106423>.
- SISEMA - SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Infraestrutura de Dados Espaciais. IDE-Sisema. Disponível em: [idesisema.meioambiente.mg.gov.br](https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br). Acesso em: 30 abr. 2024.
- SMITH, A. J.; GOETZ, E. M. Climate change drives increased directional movement of landscape ecotones. *Landscape Ecology*, v.36, p.3105–3116, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01314-7>
- STEVANATO, M.; COLAVITE, A. P.; PAROLIN, M. A Ecologia de Paisagem nos Estudos de Fragmentos Florestais. *Revista Geonorte*, v.14, n.45, p.01-19, 2023. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2023.V.14.N.45.01.19>

STRASSBURG, B. B. N.; IRLBARREM, A.; BEYER, H. L.; CORDEIRO, C. L.; CROUZELLES, R.; JAKOVAC, C. C.; JUNQUEIRA, A. B.; LACERDA, E.; LATAWLEC, A. E.; BALMFORD, A.; BROOKS, T. M.; BUTCHART, S. H. M.; CHAZDON, R. L.; ERB, K-H.; BRANCALION, P.; BUCHANAN, G.; COOPER, D.; DÍAZ, S.; DONALD, P. F.; KAPOS, V.; LECLÈRE, D.; MILES, L.; OBERSTEINER, M.; PLUTZAR, C.; SCARAMUZZA, C. A. M.; SCARANO, F. R.; VISCONTI, P. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature*, v. 586, p. 724-729, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>

TAUBERT, F.; FISCHER, R.; GROENEVELD, J.; LEHMANN, S.; MÜLLER, M.S.; RÖDIG, E.; WIEGAND, T.; HUTH, A. Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, v. 554, p.519–522. 2018.

VANCINE, M. H.; MUYLAERT, R. L.; NIEBUHR, B. B.; OSHIMA, F. de, J. E.; TONETTI, V.; BERNARDO, R.; ANGELO, C. de; ROSA, M. R.; GROHMANN, C. H.; RIBEIRO, M. C. The Atlantic Forest of South America: Spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. *Biological Conservation*, v.291, e110499, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>

WASSON, K.; WOOLFOLK, A.; FRESQUEZ, C. Ecotones as Indicators of Changing Environmental Conditions: Rapid Migration of Salt Marsh–Upland Boundaries. *Estuaries and Coasts*, v.36, p. 654–664, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12237-013-9601-8>

ZHEN, S.; ZHAO, Q.; LIU, S.; WU, Z.; LIN, S.; LI, J.; HU, X. Detecting Spatiotemporal Dynamics and Driving Patterns in Forest Fragmentation with a Forest Fragmentation Comprehensive Index (FFCI): Taking an Area with Active Forest Cover Change as a Case Study. *Forests*, v.14, n.6, e1135. 2023; <https://doi.org/10.3390/f14061135>