



REVISTA
Casa da

ISSN 2316-8056

GEOGRAFIA
de Sobral

MÉTRICAS DA PAISAGEM APLICADAS A IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS NA RAIA DIVISÓRIA SÃO PAULO-PARANÁ-MATO GROSSO DO SUL

Landscape Metrics for identifying priority areas for the implementation of Ecological Corridors in the São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul regions

Métricas del Paisaje para la identificación de áreas prioritarias en la implementación de Corredores Ecológicos en la region de la frontera São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v26.1006>

Diogo Laércio Gonçalves¹

Messias Modesto dos Passos²

Edineia Aparecida dos Santos Galvanin³

Histórico do Artigo:

Recebido em 06 de dezembro de 2023

Aceito em 19 de abril de 2024

Publicado em 25 de abril de 2024

RESUMO

O artigo tem como objetivo demonstrar o uso das métricas da paisagem aplicadas a identificação de áreas prioritárias para implementação de corredores ecológicos na Raia Divisória São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul, enquanto um suporte da ecologia na análise geográfica da paisagem. A metodologia envolveu a análise de algumas métricas relativas à forma, tamanho e borda, descritas por McGarigal e Marks (1995) e Lang e Blascke (2009) através da ferramenta *Patch Analyst* do software *ArcGIS*, além da análise da paisagem por matrizes hexagonais de acordo com Ramos et al. (1976), seguindo os dados série histórica de uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomas para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 (ano de início da pesquisa). Os dados foram sistematizados em tabelas, quadros e mapas, indicando o panorama da paisagem e as áreas prioritárias para a conectividade dos fragmentos florestais levando em considerações aspectos geográficos e ecológicos, tendo em vista a importância da área na transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrado.

Palavras-Chave: Paisagem. Fragmentação Florestal. Métricas da Paisagem. Corredores Ecológicos.

¹ Professor Assistente Doutor do Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Campus de Ourinhos/SP. Email: diogo.goncalves@unesp.br

 <https://orcid.org/0000-0002-0647-6283>

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente/SP. Email: modesto.passos@unesp.br

 <https://orcid.org/0000-0002-0360-7612>

³ Professora Assistente Doutora do Curso de Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Campus de Ourinhos/SP. Email: edineia.galvanin@unesp.br

 <https://orcid.org/0000-0002-6678-9599>



Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, v. 26, n. 1, p. 272-289, 2024, <http://uvanet.br/rcgs>. ISSN 2316-8056 © 1999, Universidade Estadual Vale do Acaraú. Todos os direitos reservados.

ABSTRACT

This paper demonstrates the use of landscape metrics applied to identify priority areas for implementing ecological corridors in the Raia Divisória São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul, providing support for ecology in the geographical analysis of the landscape. The methodology involved the analysis of various metrics related to shape, size, and edge, as described by McGarigal and Marks (1995) and Lang and Blascke (2009), using the Patch Analyst tool of the ArcGIS software. Additionally, the landscape was analyzed using hexagonal matrices, following the approach by Ramos et al. (1976). The study considered historical data series of land use and coverage from the MapBiomias Project for the years 1985, 1995, 2005, and 2017 (the year in which the research began). The data were systematized in tables, charts, and maps, providing an overview of the landscape and indicating priority areas for the connectivity of forest fragments. The analysis took into account both geographical and ecological aspects, considering the importance of the area in the transition between the Atlantic Forest and Cerrado biomes.

Palavras-Chave: Landscape. Forest Fragmentation. Landscape Metrics. Ecological Corridors.

RESUMEN

El artículo tiene como objetivo demostrar el uso de métricas paisajísticas aplicadas a la identificación de áreas prioritarias para la implementación de corredores ecológicos en la Raia Divisória São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul, como apoyo a la ecología en el análisis geográfico del paisaje. La metodología implicó el análisis de algunas métricas relacionadas con la forma, tamaño y borde, descritas por McGarigal y Marks (1995) y Lang y Blascke (2009), utilizando la herramienta Patch Analyst del software ArcGIS. Además, se analizó el paisaje mediante matrices hexagonales, siguiendo el enfoque de Ramos et al. (1976), y se consideraron series de datos históricos de uso y cobertura del suelo del Proyecto MapBiomias para los años 1985, 1995, 2005 y 2017 (año en que comenzó la investigación). Los datos se sistematizaron en tablas, gráficos y mapas, proporcionando una visión general del paisaje e indicando áreas prioritarias para la conectividad de los fragmentos de bosque. Se tuvieron en cuenta aspectos geográficos y ecológicos, considerando la importancia de la zona en la transición entre los biomas del Bosque Atlántico y el Cerrado.

Palavras-Chave: Paisaje. Fragmentación Forestal. Métricas del Paisaje. Corredores Ecológicos.

INTRODUÇÃO

A paisagem enquanto uma ferramenta de observação e de hierarquização dos fenômenos espaciais, desempenha um papel fundamental na cientificidade da geografia. Ab'Saber (2003), caracteriza a paisagem, enquanto uma herança, seja em processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo da sociedade ao longo da história. Esta concepção é corroborada por Bertrand (1968), que identificava a paisagem não como uma mera agregação de elementos geográficos desconexos, mas sim, do resultado da interação entre os elementos físicos, biológicos e, igualmente importante, da ação antrópica, que de forma dialética, reagem uns sobre os outros, dando forma a um conjunto único e indissociável. Em síntese, a paisagem assume o papel de um objeto de estudo geográfico ao representar uma porção do espaço onde a relação sociedade-natureza se materializa.

No que se refere ao planejamento ambiental, a paisagem desempenha um papel essencial como categoria de análise científica, estando intrinsecamente relacionada tanto aos modelos teóricos de análise geográfica, como o geossistema, quanto aos modelos ecossistêmicos da ecologia. Notadamente, o desenvolvimento destas teorias tem contribuído para a análise em suas respectivas áreas do

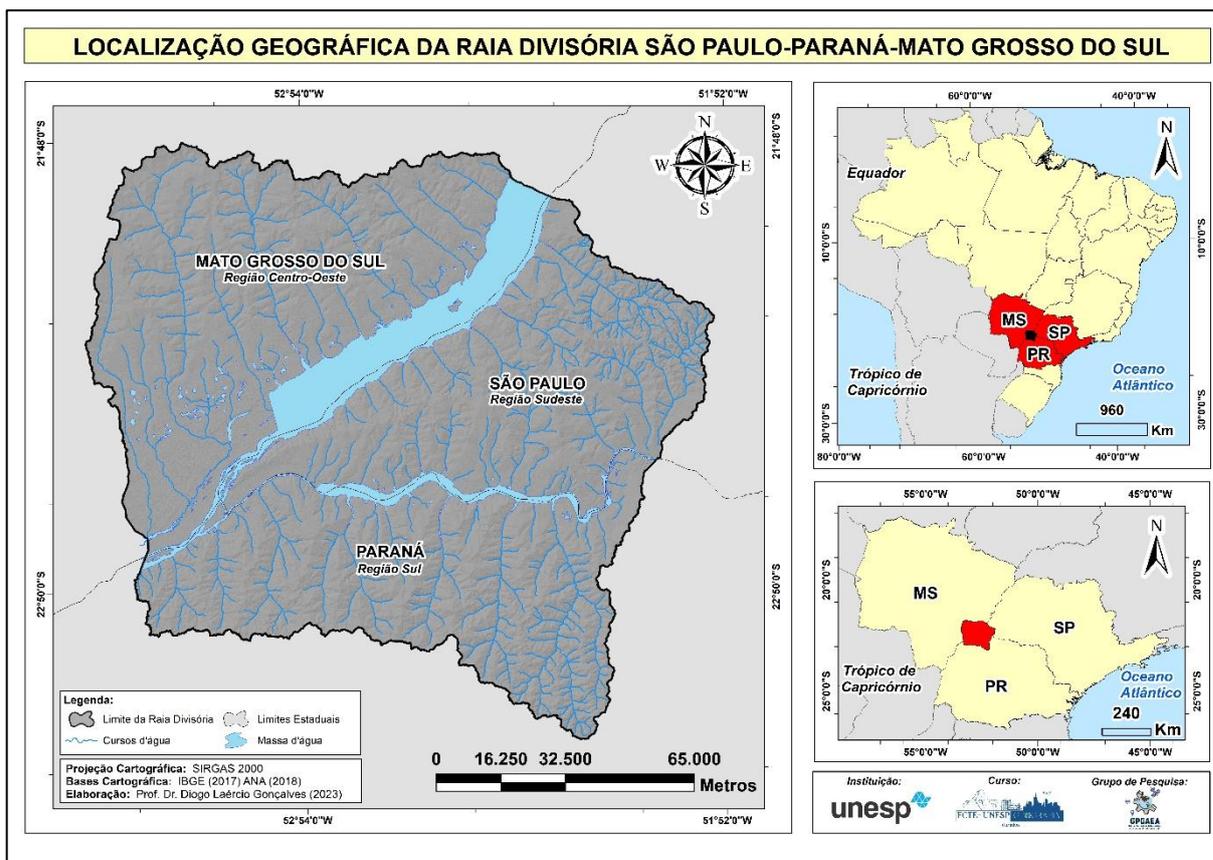
conhecimento. No entanto, tendo em vista a complexidade que envolve o planejamento ambiental frente à expansiva ação antrópica e seus diversos atores de produção do espaço, se faz necessário o trânsito interdisciplinar entre métodos e metodologias das referidas ciências que corroboram neste quesito.

Além disso, o uso dos estudos da ecologia da paisagem pode contribuir para o planejamento ambiental aplicado à perspectiva geográfica por meio dos métodos/metodologias de análise da paisagem. Como já mencionado, sob a abordagem ecológica, a paisagem é concebida como um mosaico composto por: mancha-corredor-matriz (*patch-corridor-matrix*) (FORMAN, 1995). Esta visão envolve uma análise da paisagem que se baseia na relação entre habitat/não-habitat, pautada no enfoque biocêntrico. Desta forma, as manchas definem as áreas de habitat remanescentes, como os fragmentos florestais, enquanto os corredores representam habitats lineares, as matas ciliares, e a matriz representa as áreas de uso da terra que não constituem habitat.

A área de estudo denominada de Raia Divisória São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul (SP-PR-MS), constitui três distintas formas de ocupação e colonização que, ao longo da história, moldaram a paisagem de maneiras singulares. Embora as características naturais inicialmente fossem praticamente homogêneas, alguns obstáculos surgiram. As políticas de colonização e desenvolvimento adotadas por cada um dos estados, aliadas às dificuldades de travessia dos rios Paraná e Paranapanema antes das obras de infraestrutura viabilizadas pela construção das usinas hidrelétricas: Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) e Rosana, acabaram por diferenciar a forma pela qual cada porção da raia, que se estende entre os três estados. Essas particularidades foram determinantes se uma região era privilegiada ou não na integração do sistema produtivo.

Entendemos por Raia Divisória a porção bem delimitada por Gonçalves (2020), envolvendo: o Extremo Oeste do estado de São Paulo, o Noroeste do estado do Paraná e o Sudeste do estado do Mato Grosso do Sul. Essa área é constituída por um conjunto de bacias hidrográficas situadas no alto curso do rio Paraná, com destaque para a bacia do rio Paranapanema em seu baixo curso (principal afluente do rio Paraná neste percurso). O município de Rosana, localizado no estado de São Paulo, assume uma posição central nesse contexto devido à sua localização geográfica na área de confluência entre os dois grandes rios, constituindo-se numa região de contato imediato entre os três estados concomitantemente. (Figura 1)

Figura 1: Localização da Raia Divisória SP-PR-MS.



Org.: dos autores.

No tocante ao planejamento ambiental, se faz necessário levantarmos os aspectos legais que fornecem os subsídios para a realização dele. Neste contexto, a legislação ambiental brasileira se torna o principal suporte, associadas as leis e resoluções estaduais e municipais que completam este pacote. No caso específico da Raia Divisória SP-PR-MS, outro fator que merece atenção são os Planos Ambientais de Conservação e Uso do Entorno de Reservatórios Artificiais (PACUERA) dado a existência áreas inundadas para a construção de Usinas Hidrelétricas ao longo dos rios Paraná e Paranapanema.

Como mencionado anteriormente, uma das principais alternativas de recomposição das paisagens fragmentadas frente as crescentes atividades de uso do solo é a formação de corredores ecológicos. Ao longo de toda a literatura, tanto da ecologia da paisagem como da biogeografia, o conceito de corredor é ampliado e adaptado a cada tipo de habitat no qual ele se insere. Nos últimos anos, sobretudo pelo avanço das ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto, tem sido possível planejar as áreas potenciais para corredores ecológicos através de técnicas de modelagem de estimativa de ganhos ambientais, bem como da análise das métricas da paisagem e da dimensão fractal.

Para garantir a conectividade destes habitats, é necessário um estudo prévio da paisagem em questão com a definição dos Locais de Potencial de Conectividade (LPC). No Brasil por exemplo, a definição dos LPCs é dada pela interligação de habitats naturais já existentes e preservados por lei a exemplo das: Áreas de Preservação Permanente (APP), Reservas Legais (RL), previstos pelo Código Florestal (Lei Federal 12.651/2012), Unidades de Conservação (UC) (Lei Federal 9985/2000) e demais fragmentos florestais remanescentes ou reflorestados

Nesse contexto, para a investigação proposta por esta pesquisa, a qual se baseia na análise da paisagem da Raia Divisória visando a identificação de áreas prioritárias para a implementação de corredores ecológicos, empregamos algumas técnicas de análise da paisagem advindas da ecologia, especialmente no que diz respeito aos fragmentos florestais (manchas), através de algumas métricas de paisagem. As métricas adotadas são baseadas em algoritmos que analisam as características espaciais e estruturais das manchas, permitindo a avaliação de fatores como tamanho, forma ou borda, que são importantes para compreender processos como a fragmentação e o efeito de borda.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo em vista a abordagem da ecologia da paisagem para a indicação das áreas prioritárias para a implementação de corredores ecológicos, nossa abordagem metodológica incorporou a análise das métricas da paisagem, utilizando a extensão *Patch Analyst* no *software ArcGIS*. Esta extensão, permite analisar os dados da paisagem de acordo com a conceitualização ecológica da estrutura paisagística combinada entre mancha-corredor-matriz, podendo processar os dados tanto no formato vetorial (*shapefile*) como imagem (*raster*).

No caso da Raia Divisória, utilizando os mapas de uso e cobertura da terra gerados com base nos dados do MapBiomias (SOUZA et al., 2020) foi possível mensurar alguns processos de antropização na paisagem, especialmente a fragmentação e o efeito de borda, a partir do cálculo de métricas relativas ao tamanho, borda e forma empregando a metodologia descrita em McGarigal e Marks (1995) e Lang e Blascke (2009) (tabela 1).

Tabela 1: Métricas da Paisagem analisadas pela extensão *Patch Analyst* para a Raia Divisória SP-PR-MS.

Tipo	Sigla	Nome	Fórmula	Descrição
Tamanho	<i>TLA</i>	<i>Total Landscape Área</i>		Área total da Paisagem.
Tamanho	<i>CA</i>	<i>Class Área</i>	$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right)$	Área total de todas as manchas da classe expressa em hectares.
Tamanho	<i>NumP</i>	<i>Number of Patches</i>	$NumP = n_i$	Número total de manchas por classe.
Tamanho	<i>MPS</i>	<i>Mean Patche Size</i>	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{1}{10.000} \right)$	Tamanho médio da mancha.
Tamanho	<i>PSCoV</i>	<i>Patch Size Coefficient of Variance</i>	$PSCoV = \frac{PSSD}{MPS} (100)$	Desvio Padrão do tamanho da mancha dividido pelo tamanho médio da mancha, multiplicado por 100
Borda	<i>TE</i>	<i>Total Edge</i>	$TE = \sum P_{ij}$	Comprimento total da borda (perímetro) para cada classe.
Borda	<i>ED</i>	<i>Edge Density</i>	$EB = \frac{TE}{TLA}$	Densidade de borda, relação expressa entre perímetro de cada classe (TE) e a área total da paisagem (TLA) em m/m ² .
Forma	<i>MSI</i>	<i>Mean Shape Index</i>	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{p_{ij}}{2\sqrt{\pi} \cdot a_{ij}} \right)}{n_i}$	Indicador médio de forma, expressa o quanto a média é mais próxima do formato circular.

*onde: a = área; i = classes; j = manchas; n = número.

Fonte: McGarigal e Marks (1995) e Lang e Blascke (2009)

Org.: os autores.

A análise dos dados, seguiu inicialmente com o conjunto de dados da série histórica dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2017 (ano de início da pesquisa), com algumas métricas relativas à tamanho como a área total dos fragmentos florestais para cada ano (*CA*), o número total de fragmentos (*NumP*), o tamanho médio dos fragmentos (*MPS*) e o coeficiente de variação do tamanho da mancha (*PSCoV*). Após esta etapa, as demais métricas foram analisadas somente para o período mais atual (2017), distribuídas em classes de acordo com seu tamanho, sendo: muito pequenos (até 50 ha), pequenos (até 200 ha), médio (até 500 ha), grande (até 1000 ha) e muito grande (acima de 1000 ha), seguindo a metodologia de Santos (2017).

Para os dados de 2017, analisou-se as métricas relativas à tamanho: área total dos fragmentos florestais (*CA*) e o número total de fragmentos (*NumP*). As métricas relativas à borda analisadas, foram o comprimento total das bordas (*TE*) e a densidade de borda (*ED*). Por fim, como métrica de forma foram analisados o indicador médio da forma da mancha (*MSI*), que descreve o quanto a mancha é mais próxima de um formato circular conforme o valor estiver mais próximo de um.

Complementando as análises, foram produzidos alguns modelos utilizando como base a proposta de Ramos *et al.* (1976), que propõem a divisão da paisagem em matrizes hexagonais do mesmo tamanho, criando uma *fishnet* (grade) para toda paisagem. Esta proposta tem sido bastante difundida na ecologia da paisagem e na biogeografia, especialmente na modelagem de corredores ecológicos, indicando as localidades com menor incidência de fragmentos florestais dentro do raio de cada hexágono.

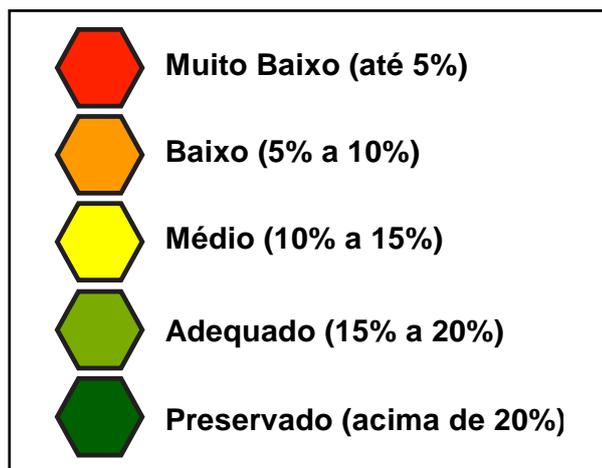
O formato hexagonal ao contrário de outras formas geométricas é mais utilizado devido ao espaçamento regular em relação às outras redes de igual densidade e perímetro menor. Também se destaca a vantagem de possuir seis unidades adjacentes em posição simetricamente equivalentes (RAMOS *et al.*, 1976; LEAL *et al.*, 2019). Desta maneira, de acordo com a escala de trabalho escolhida (1:250.000), dividiu-se a paisagem da Raia Divisória em uma malha de 373 hexágonos iguais de 50 km² no formato *shapefile*.

Para isto, utilizou-se a ferramenta *Create Hexagon Regions*, também disponível na extensão *Patch Analyst*. Analisando os fragmentos florestais dos quatro anos avaliados (1985, 1995, 2005 e 2017), estabelecemos uma classificação baseada no percentual de cobertura florestal por propriedade rural destinada para Reserva Legal (RL) na região da Raia (mínimo de 20%), considerando também o cômputo da Área de Preservação Permanente (APP) na complementação do percentual de Reserva legal (RL) em caso de áreas consolidadas. Foram delimitadas as seguintes classes, de acordo com a figura 2.

Os dados de cobertura florestal foram sobrepostos as áreas dos hexágonos, a partir da ferramenta *Tabulate Intersection*, que cria uma tabela com o percentual de cobertura florestal para cada hexágono existente. Após este processo, a tabela é adicionada ao atributo do *shapefile* da matriz hexagonal a partir da ferramenta *Join* (juntar), dando as informações em percentual, para a composição do mapa final a partir das classes estabelecidas.

Com os resultados obtidos para cada ano, podemos ver como ocorreram as mudanças do ponto de vista da preservação da paisagem, chegando até o percentual mais atual (2017).

Figura 2: Percentual de cobertura florestal por matriz hexagonal.



Org.: dos autores.

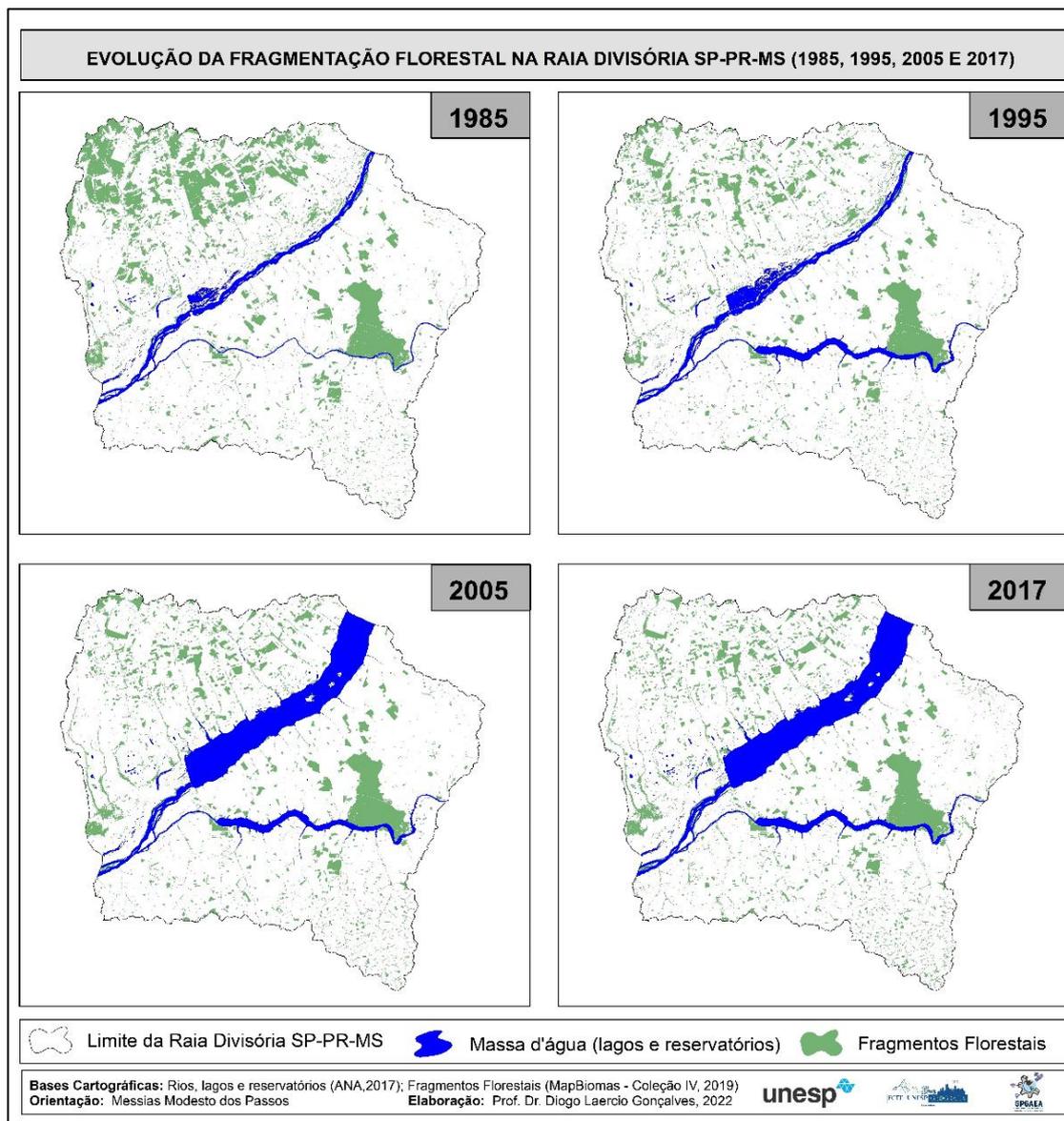
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando o conjunto de dados fornecido pela Coleção 4 do Projeto MapBiomias para a Raia Divisória SP-PR-MS pela classificação de uso e cobertura da terra da série Landsat em intervalos decenais, partiremos para uma análise integrada dos anos analisados (1985, 1995, 2005 e 2017), levando em consideração a transformação da paisagem neste período em cada porção estadual.

Tendo em vista que o processo de ocupação inicial de cada porção estadual foi distinto, isso reflete até os dias atuais no panorama geral da Raia, embora nas últimas décadas, agentes como a CESP e os movimentos sociais de luta pela reforma agrária, dirimiram parte destas diferenças, suscitando um aspecto de uma paisagem relativamente homogênea.

Boa parte da ocupação do território raiano já se encontrava consolidado, o que explica o baixo percentual de cobertura vegetal desde 1985 (Figura 3). O impacto socioambiental mais evidente nos últimos anos, foi as construções das hidrelétricas da CESP, que, concomitantemente, intensificou o fluxo migratório entre os limites estaduais devido suas obras de infraestrutura ligando São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul, via Rosana (município central de dispersão entre os estados).

Figura 3: Evolução da Fragmentação Florestal na Raia Divisória SP-PR-MS (1985, 1995, 2005 e 2017).



Fonte: MapBiomas, Coleção IV (2019).

Org.: os autores.

As mudanças mais notáveis na paisagem raiana restringiram-se na porção sul-mato-grossense, especialmente pelo gigantesco impacto causado pelo lago da UHE Engenheiro Sérgio Motta. Em 1985, a área ocupada pelos cursos d'água, especialmente o rio Paraná na porção sul-mato-grossense, representava cerca 3% das terras raiana no Mato Grosso do Sul. Este percentual alavancou para cerca 14% após o enchimento do lago em 1999 sendo uma das modificações antrópicas mais significativas numericamente.

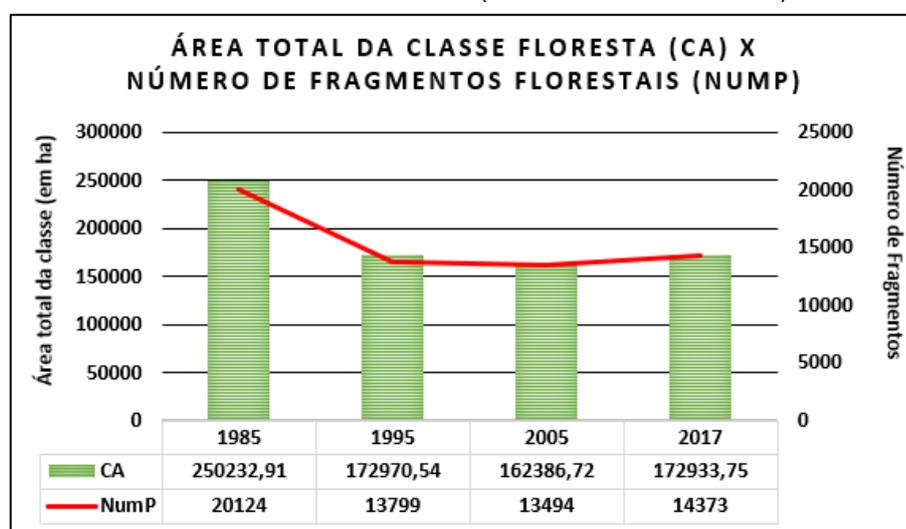
Acompanhado disto, veio a diminuição da cobertura florestal de cerca 23% para 11% do percentual total entre 1985 e 2017, além do decréscimo das áreas de vegetações pioneiras não florestais típicas de várzea que contabilizam em 1985 cerca de 12%, passando para apenas 5% em 2017.

Desta forma, as análises dos dados seguirão inicialmente com a apresentação das métricas da paisagem para a Raia Divisória SP-PR-MS. Posteriormente, apresentaremos as áreas identificadas como prioritárias para a conectividade e as potencialidades da aplicação da Lei Federal 12.651/12 (Código Florestal Brasileiro), com efeito na diminuição da fragmentação florestal e no efeito de borda, nesta região.

Métricas relativas ao tamanho

Para o cálculo das métricas relativas ao tamanho das manchas foram observados à relação da área total da classe *floresta*, evidenciado pelo algoritmo CA, e do número total de manchas (*NumP- Number of Patches*), para cada intervalo decenal (Figura 4).

Figura 4: Relação entre o total da Classe Floresta (CA) e o Número de Fragmentos Florestais (NumP) na Raia Divisória SP-PR-MS (1985, 1995, 2005 e 2017).



Fonte: MapBiomass, Coleção IV (2019).

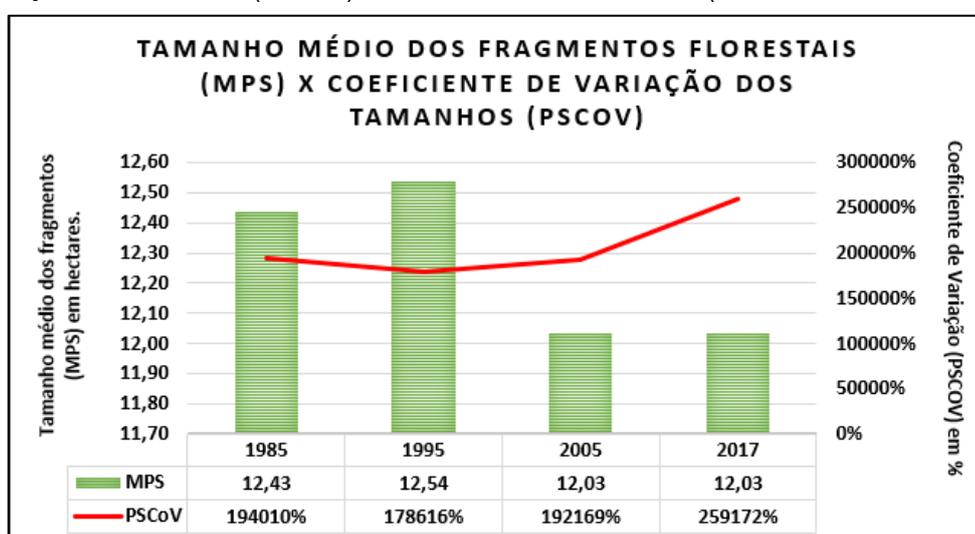
Org.: os autores.

Nos intervalos estudados, a área destinada à classe floresta obteve uma queda de aproximadamente 87.846,18 hectares entre 1985 e 2005, acompanhada posteriormente de um aumento entre 2005 e 2017 (10.547,03 hectares). Concomitantemente, os números de manchas (fragmentos florestais) acompanharam esta oscilação, numa diminuição do número de fragmentos de 6.630, entre o período de 1985 e 2005. Posteriormente, vemos um aumento de 879 fragmentos entre 2005 e 2017.

Também se observou o tamanho médio das manchas (*Mean Patch Size-MPS*) para cada intervalo estudado, juntamente com o coeficiente de variação do tamanho da mancha (*Patch Size Coefficient of Variance- PSCoV*). Observou-se que tamanhos médios das manchas para este período pouco oscilaram, se mantendo próximo à casa dos 12 hectares, sendo o maior em 1995 com 12,54 ha que apresentou o menor coeficiente de variação do tamanho da mancha (178,6%)

Nos últimos dois períodos (2005 e 2017) o tamanho médio manteve-se em 12,03 hectares, entretanto, no último ano analisado, o coeficiente de variação do tamanho da mancha foi o maior observado, com 259,172% (Figura 5).

Figura 5: Relação entre o tamanho médio dos fragmentos florestais (MPS) e do coeficiente de variação dos tamanhos (PSCoV) na Raia Divisória SP-PR-MS (1985, 1995, 2005 e 2017).



Fonte: MapBiomias, Coleção IV (2019).

Org.: os autores.

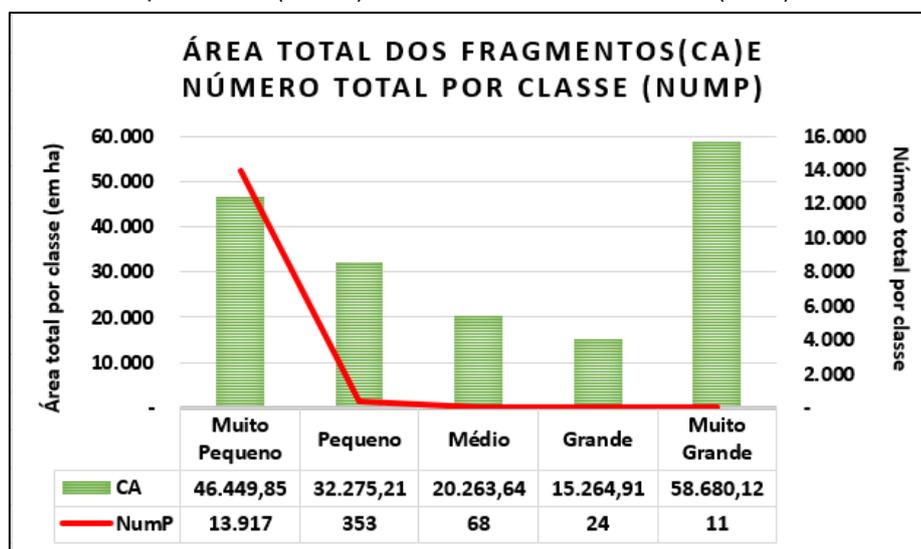
As demais análises consideraram apenas os dados do ano de 2017 tendo em vista o planejamento ambiental para a Raia Divisória no cenário mais recente.

Como resultado, temos a maior parte dos fragmentos florestais do ano de 2017, enquadrados na categoria muito pequeno (até 50 ha). Este fato se deve justamente a fragmentação provocado pelo uso da terra, especialmente por mosaicos de agricultura e pastagem. Ao todo foram identificados 13.917 fragmentos nesta classe, representando uma área de 46.449,85 hectares (aproximadamente 27% do total da área de todos os fragmentos). Dos 353 fragmentos pequenos (até 200 ha) representaram 32.275,21 hectares (18,66%), enquanto os 68 de tamanho médio (até 500 ha), representaram 20.263,64 hectares (11,72%).

Para se ter um contraponto, as áreas de fragmentos muito grandes (acima de 1.000 ha) representaram um total de cobertura de 58.680,12 hectares (33,93%). Estas áreas são representadas

por um conjunto de apenas 11 fragmentos, sendo a maior parte destes de Unidades de Conservação, a maior delas o Parque Estadual Morro do Diabo, com 33.845,33 hectares. Já os fragmentos grandes (até 1.000 ha), representaram 15.264,91 hectares (8,83%) (Figura 6).

Figura 6: Relação entre a área total dos fragmentos por classe (CA) e do número total dos fragmentos por classe (NumP) na Raia Divisória SP-PR-MS (2017).



Fonte: MapBiomias, Coleção IV (2019).

Org.: os autores.

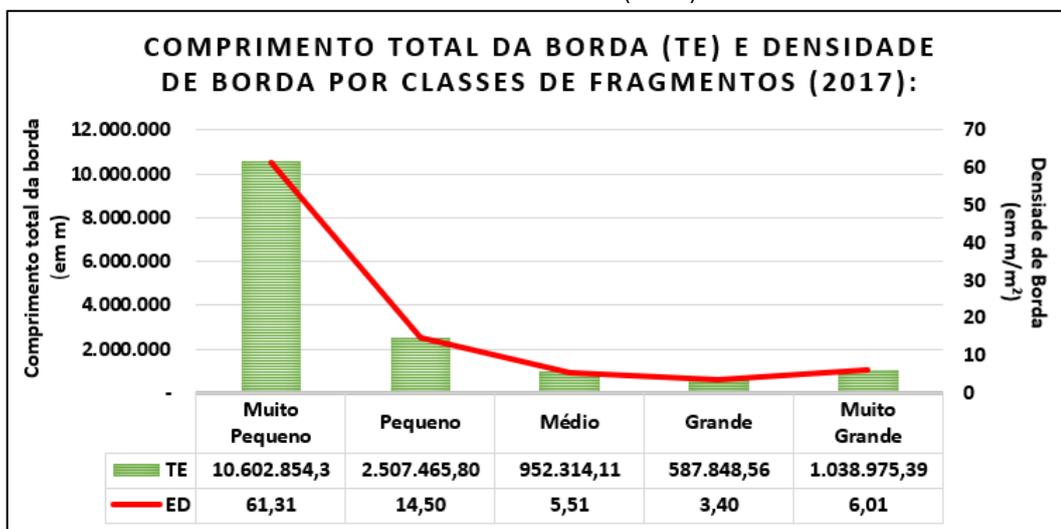
Métricas relativas à borda

As métricas relativas à borda, são baseadas na relação área/perímetro. Sua análise na paisagem é importante, principalmente no que diz respeito à identificação do efeito de borda. Quanto maior é a fragmentação, maior é o efeito causado pelas bordas, especialmente quando se trata de fragmentos pequenos e isolados.

Observou-se que no ano de 2017, devido a maior parte dos fragmentos estarem representados na classe muito pequena (até 50 ha), o perímetro dos mesmos fora maior, com o total de 10.602.854,39 metros, que, por consequência, causou maior densidade de borda com 61,31 m/m². Sendo assim, podemos concluir que quanto maior o processo de fragmentação em fragmentos de pequeno porte, maior tende a ser a densidade de borda.

Nos fragmentos muito grandes, por sua vez, embora representem o maior percentual de cobertura entre todos os fragmentos com 33,93%, o comprimento total da borda é bem menor com 1.038.975,39 metros, o que resulta um efeito de borda menor com 6,01 m/m² (Figura 7)

Figura 7: Relação entre o comprimento total da borda (TE) e da densidade de borda (ED) na Raia Divisória SP-PR-MS (2017).



Fonte: MapBiomas, Coleção IV (2019).

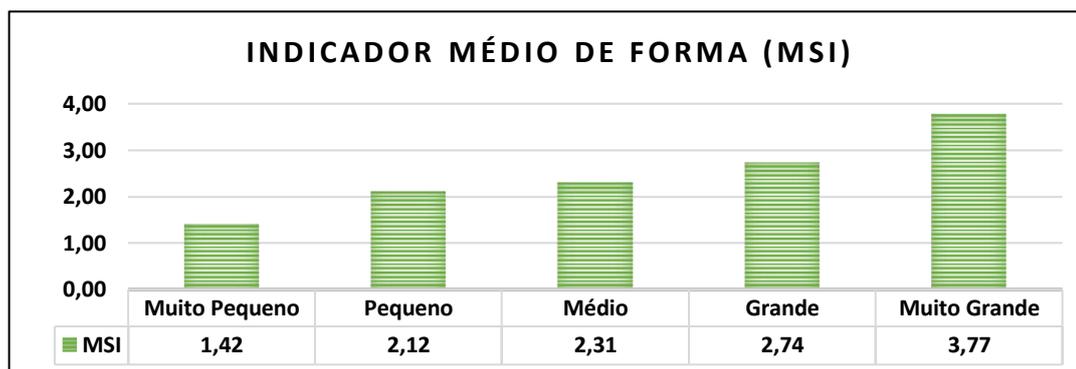
Org.: os autores.

Métricas relativas à forma

As métricas relativas à forma, complementam a análise anterior, especialmente no que se refere ao efeito de borda. Sendo assim, como métricas relativas à borda estas são expressas através da relação área/perímetro em que é possível identificar os padrões das formas de cada classe de fragmento numa determinada paisagem, sendo que o item principal a ser analisado neste contexto, diz respeito à regularidade e à irregularidade da forma.

Em paisagens altamente fragmentadas dispostas em uma matriz de uso da terra essencialmente agrícola como no caso da Raia Divisória SP-PR-MS, a tendência é para uma padronização das manchas possuindo uma geometria mais simples. Destarte, ao analisarmos o indicador médio de forma dos mesmos, vemos que os fragmentos muito pequenos e pequenos, possuem geometria menos complexa sendo os valores apresentados mais próximos de 1 (1,42 e 2,12), ou seja, mais próximas ao formato de um círculo. Já no caso dos fragmentos muito grandes as geometrias analisadas são mais complexas com um índice médio de forma de 3,77, ou seja, mais distante do formato circular (Figura 8).

Figura 8: Indicador médio de forma (MSI) na Raia Divisória SP-PR-MS (2017).



Fonte: MapBiomias, Coleção IV (2019).

Org.: os autores.

Ao analisarmos os dados relativos à forma, temos que levar em consideração sua relação com o efeito de borda. Vimos anteriormente, que os fragmentos muito pequenos apresentaram proporcionalmente a maior densidade e comprimento total de borda, em detrimento dos fragmentos muito grandes nos quais o índice de borda foi menor. Isto indica que, embora isoladamente, as áreas dos fragmentos menores possuam menor quantidade de borda, proporcionalmente ao analisarmos sua distribuição em várias manchas, o efeito de borda será maior do que em relação aos fragmentos maiores. Sendo assim, formas mais irregulares e maiores são consideradas melhores para a manutenção da fauna e flora local, haja vista sua resiliência ao efeito de borda.

Matrizes Hexagonais

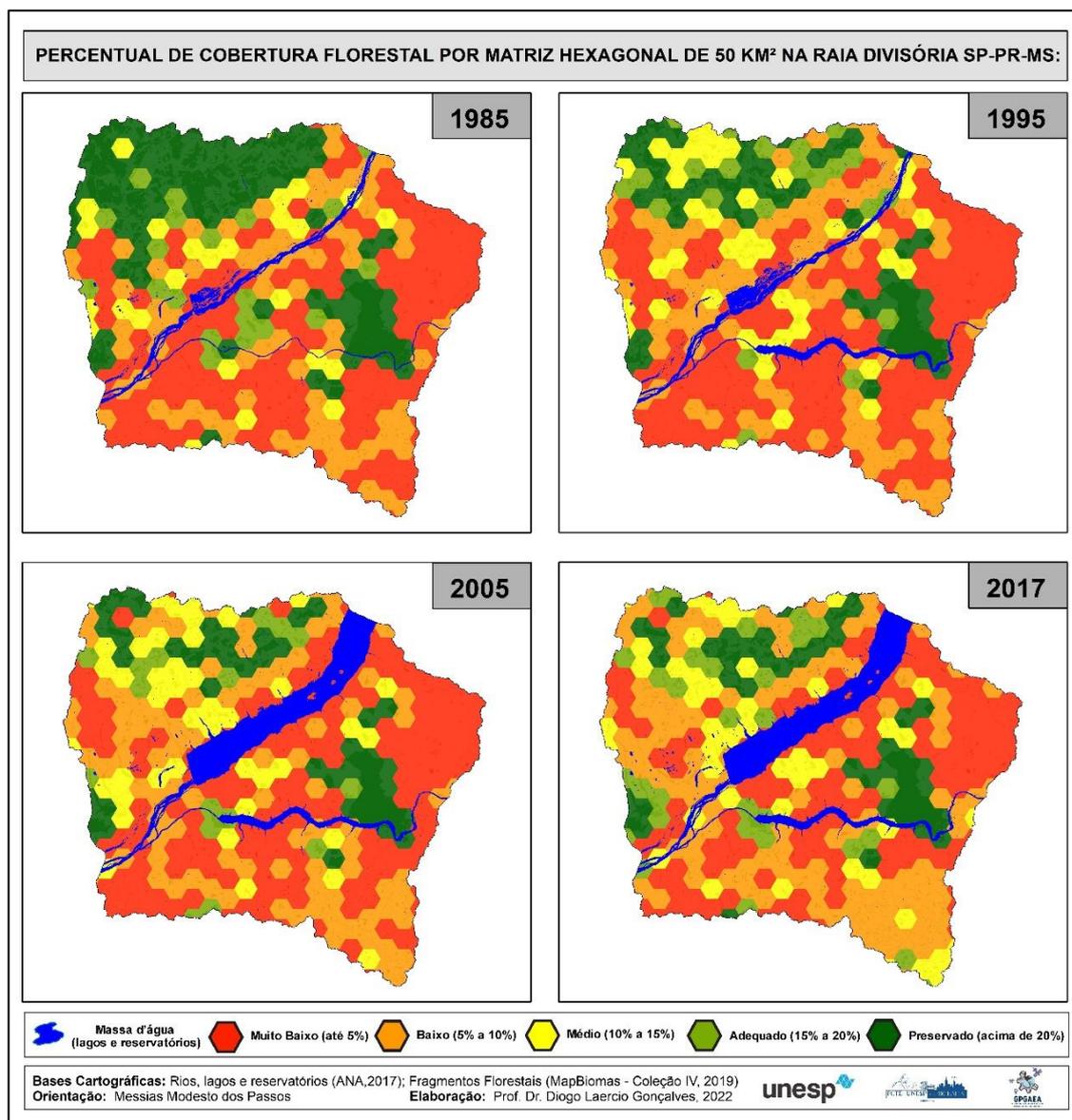
Considerando a espacialização dos dados percentuais para toda a Raia Divisória, independentemente dos limites de uso e cobertura da terra, também foi utilizada uma metodologia da ecologia, pautada em uma análise da paisagem a partir de matrizes hexagonais correspondentes a um mosaico de paisagens distribuídas proporcionalmente pelo mesmo recorte, equivalente à 50 km² para cada hexágono

Como as matrizes recobrem toda a área, é possível identificar a espacialização das áreas com maior percentual de cobertura florestal, independentemente se for de APP, RL ou UC. Isto também nos permite analisar as mudanças ocorridas ao longo dos anos, uma vez que para áreas de imóveis rurais e urbanos, os limites estabelecidos estão em constante mutação, não sendo possível mensurar se os percentuais correspondem exatamente à mesma propriedade analisada anteriormente.

Ao longo dos anos analisados (1985, 1995, 2005 e 2017), podemos verificar que o número de matrizes hexagonais com percentual de cobertura florestal considerado preservado (acima de 20%), diminui drasticamente na porção sul-mato-grossense (Figura 9). Por outro lado, nas porções paulista e

paranaense este número pouco alterou, dado que boa parte das áreas destas regiões já se encontravam com uso agropecuário consolidado em 1985. Nos dois últimos períodos (2005 e 2017), houve uma variação significativa entre a faixa de percentual muito baixo (até 5%) para baixo (de 5% a 10%), o que corrobora para um tímido percentual de aumento da classe florestal entre os últimos anos, já comprovado anteriormente.

Figura 9: Percentual de Cobertura Florestal por Matriz Hexagonal de 50 km² na Raia Divisória SP-PR-MS (1985, 1995, 2005 e 2017).



Fonte: MapBiomas, Coleção IV (2019).

Org.: os autores.

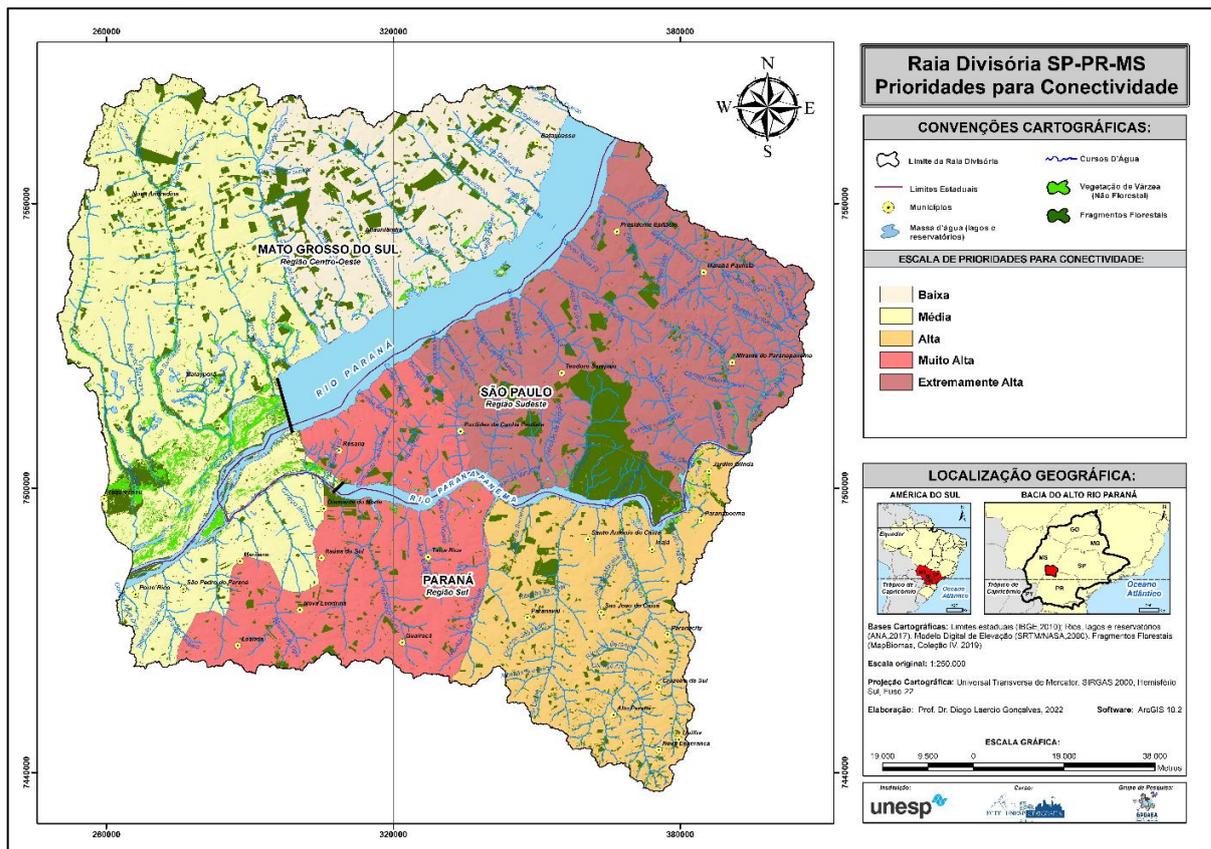
Ainda assim, o percentual de cobertura florestal é baixo, especialmente nas mesmas áreas identificadas na análise por imóvel. Estas áreas também representam a maior distância entre os

fragmentos florestais, sendo acima de 1 km podendo em alguns casos, chegar até a 7 km de distância entre as áreas de habitat, o que prejudica o fluxo gênico e contribui para o isolamento das espécies da fauna local (BRITO, 2012).

Cabe ressaltar que como o percentual analisado diz respeito apenas às áreas de cobertura florestal, os índices percentuais para as áreas de terraços e planícies aluviais são relativamente baixos, pela presença de formações naturais não-florestais (GONÇALVES, 2020).

Considerando a realidade atual com base nas informações para o ano de 2017, a análise final indica as áreas com maiores potencialidades para a conexão dos fragmentos florestais, tendo como suporte os aspectos geográficos. Foram identificadas áreas prioritárias para a conectividade, utilizando os critérios geográficos e ecológicos que envolvem: a vulnerabilidade dos geocomplexo enquanto unidades de paisagem (fragilidade potencial do relevo e suscetibilidade à erosão), o percentual de cobertura florestal e a distância entre os fragmentos (Figura 10).

Figura 10: Prioridades para conectividade na Raia Divisória SP-PR-MS (2017).



Org.: os autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As métricas da paisagem oferecem uma perspectiva abrangente para compreender os impactos substanciais da fragmentação florestal motivada pelo uso e cobertura da terra, no funcionamento integrado da paisagem enquanto um sistema. Tanto na ecologia através do modelo ecossistêmico, como na geografia pelo modelo geossistêmico é a paisagem que irá indicar a materialização da relação sociedade/natureza no espaço geográfico, através dos padrões de uso e cobertura da terra.

Com base nas informações apresentadas neste artigo, podemos observar um cenário de aumento da fragmentação da paisagem na Raia Divisória. Analisando as características geográficas da paisagem, a diminuição da cobertura vegetal em decorrência da pastagem e agricultura, tem causado problemas como erosão e assoreamento dos corpos d'água, tendo em vista a fragilidade potencial do relevo e a suscetibilidade dos solos areníticos que se encontram em boa parte da área de estudo.

Neste contexto, urge medidas necessárias para a reconexão destas paisagens, para que possam contribuir com a sustentabilidade local, especialmente o fluxo gênico das espécies de fauna e floral, aproveitando as potencialidades atuais nesta paisagem tendo em vista a existência de importantes unidades de conservação no local, sejam de proteção integral ou uso sustentável, tais como: o Parque Estadual Morro do Diabo as Estações Ecológicas do Caiuá e Mico Leão Preto e a Área de Proteção Ambiental Ilhas e Várzeas do rio Paraná, sendo importantes redutos de Mata Atlântica e Cerrado, nesta porção do espaço geográfico.

Essa fragmentação está associada a um aumento do efeito de borda, prejudicando o fluxo gênico e o desenvolvimento das espécies de fauna e flora em seu habitat. Com a utilização de algumas metodologias oriundas da ecologia podemos contribuir para o entendimento da dinâmica da paisagem na Raia Divisória e seu cenário atual visando o planejamento ambiental, indicação das possíveis áreas prioritária para ações de estabelecimento de corredores ecológicos.

A análise da paisagem através das métricas utilizando a ecologia e o modelo ecossistêmico em suporte direto à teoria geográfica contribui diretamente na identificação de processos antrópicos como a fragmentação dos habitats de fauna e flora e o efeito de borda.

Com efeito deste debate, espera-se que a identificação das áreas prioritárias a conectividade, possam servir de apoio a comunidade local, especialmente no cumprimento da legislação ambiental brasileira através das APP ao longo dos cursos d'água afluentes do rio Paraná e Parapanema e as Reservas Legais no interior das propriedades rurais, envolvendo os produtores locais no manejo destas áreas priorizando as potencialidades de conexões com fragmentos florestais

maiores, conectando a paisagem de forma sustentável, tendo em vista sua importância no cenário local e regional.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. B. **Os Domínios da Natureza no Brasil**: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Révue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, Toulouse, v. 39, n. 3, p. 249-272, 1968. D.O.I.: <https://doi.org/10.3406/rgpso.1968.4553>.
- BRASIL, **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências** - Lei Federal Nº 12. 651; Brasília –DF, 25 de maio de 2012
- BRITO, Francisco – **Corredores Ecológicos**: uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas - 2ª edição, Florianópolis, Editora da UFSC, 2012.
- FORMAN, R. T. T. - **Land mosaics**: the ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. - **Landscape ecology** - Wiley & Sons Ed., New York, 1986.
- GONÇALVES, D. L. **Políticas Ambientais na Raia Divisória São Paulo-Paraná-Mato Grosso do Sul**: estudo das áreas potenciais para a criação de corredores ecológicos, Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2020.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LEAL, F. A. et. al. Modelagem de corredores ecológicos para conexão entre duas florestas nacionais em Rondônia - **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 2, p. 204-212, mar/abr. 2019. D.O.I.: <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i2.6747>.
- MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **FRAGSTATS**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW-351, Corvallis, 1995.
- RAMOS, A. et al. Visual landscape evaluation: a grid technique . **Landscape Plann.**, 3: 67-88, 1976. D.O.I.: [https://doi.org/10.1016/0304-3924\(76\)90103-9](https://doi.org/10.1016/0304-3924(76)90103-9).
- SANTOS, C. R. **Alternativa metodológica para alocação de corredores ecológicos utilizando modelagem ambiental**. Tese (Doutorado em Geografia) Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente-SP, 2017.
- SOUZA JR, C. M. et. al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine – **Remote Sensing**, Volume 12, Issue 17, 2020, D.O.I.: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.