

GEOTECNOLOGIAS E MÉTRICAS DA PAISAGEM EM ÁREA PROTEGIDA



<https://doi.org/10.56238/arev7n7-164>

Data de submissão: 10/06/2025

Data de Publicação: 10/07/2025

Roberto Macedo Gamarra

Doutor em Ecologia e Conservação
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS
Email: roberto.gamarra@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0049-0009>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3613571158571739>

Mara Cristina Teixeira Gamarra

Bacharel em Ciências Biológicas
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
E-mail: mara.c.teixeira@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4522-3657>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4545639546396023>

Mayara Oliveira da Silva

Doutoranda em Tecnologias Ambientais
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
E-mail: mayaraeaa@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8139-8652>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2159069093530534>

Eryck Cintra Cavalcante

Graduando em Engenharia Ambiental
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
E-mail: cavalcante.eryck@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-3449-972X>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8792424801093052>

Gervásio Castro Morais Magaia

Mestrando em Recursos Naturais
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
E-mail: gervasio.magaia@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-4406-5815>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1081392997196173>

Anna Raquel Sant'Ana de Assis Silva

Mestranda em Recursos Naturais
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
E-mail: anna.santana@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-7764-7448>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5240865980611193>

Luiza de Oliveira Vaz

Graduando em Engenharia Ambiental
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS
E-mail: luiza.vaz@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3996-6928>
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7341846580337647>

Antonio Conceição Paranhos Filho

Doutor em Geologia Ambiental
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS
E-mail: antonio.paranhos@ufms.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8366463150019459>

RESUMO

A análise da alteração das relações espaciais entre os distintos elementos presentes na paisagem que influenciam a distribuição de matéria, energia e espécies ao longo do tempo é uma das características fundamentais da ecologia da paisagem, chamada de dinâmica da paisagem. O estudo da dinâmica da paisagem permite analisar o comportamento e a variação (fluxo) de matéria, energia e espécies. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a dinâmica da paisagem de uma unidade de conservação formal, o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, através da análise da fragmentação da vegetação ao longo do tempo, utilizando geotecnologias. Com a análise multitemporal de diferentes elementos espaciais como a área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea, indicando a perda/ganho de habitat, do grau de fragmentação, do tamanho e da forma dos fragmentos (através de métricas da paisagem), ou seja, dos parâmetros que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, foi possível avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação. E também permitiu relacionar parâmetros simples como quantidade, tamanho e perímetro dos fragmentos com quantidade de matéria, energia e espécies. A comparação dos valores desses parâmetros ao longo do tempo indica o comportamento e a variação de matéria, energia e espécies (fluxo) em cada fragmento e na paisagem como um todo.

Palavras-chave: Ecologia da paisagem; Imagens de satélite; Análise multitemporal; Dinâmica da paisagem.

1 INTRODUÇÃO

No Mato Grosso do Sul, cuja área é de aproximadamente 358.000 km², o Cerrado ocupa 65,5% da área total do Estado (IBGE, 2025). Em 1985, 41,6% do Cerrado no Mato Grosso do Sul estava ocupado por áreas destinadas às atividades agropecuárias, sendo intensificada a ocupação destas áreas na década de 1990. Atualmente, a área encontra-se bem mais reduzida e em muitas propriedades não existem nem 20% de vegetação nativa exigidos por lei (Pott e Pott, 2003; Pagotto *et al.*, 2006; Gamarra *et al.*, 2021).

A fragmentação de habitats e a conversão da cobertura do solo para fins agrícolas são ameaças constantes para a conservação da biodiversidade no Bioma Cerrado. Estas paisagens dominadas por atividades agrícolas tornaram-se mosaicos dinâmicos, que são formados por diferentes usos da terra (Carvalho *et al.*, 2009). Machado *et al.* (2004) estimam que o bioma Cerrado deverá ser totalmente destruído no ano de 2030 se as atuais taxas de perda de habitat se manterem.

Diante da drástica fragmentação das áreas de Cerrado é fundamental a realização de pesquisas, sobretudo nos locais que possuem fragmentos significativos e que estão protegidos sob alguma forma de unidade de conservação. Com isso, um dos obstáculos para a conservação da diversidade biológica do Cerrado é a insuficiência de estudos direcionados para a resolução de problemas ambientais (Klink e Machado, 2005). Conhecer a variabilidade ambiental e a dinâmica da fragmentação florestal fornece dados para o manejo correto e a conservação.

Dentre as consequências mais importantes do processo de fragmentação florestal, destacam-se a diminuição da diversidade biológica, a extinção de espécies, a modificação na polinização, dispersão de sementes por animais, herbivoria, predação de herbívoros e outros distúrbios do regime hidrológico das bacias hidrográficas, as mudanças climáticas, a degradação dos recursos naturais e a deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais (Scariot *et al.*, 2005). Além disso, a fragmentação resulta em remanescentes de vegetação nativa que se avizinham a áreas agrícolas e outras formas de uso, alterando significativamente a água e os nutrientes dos solos (Saunders *et al.*, 1991; Coutinho, 2016). Reduz e isola as áreas propícias à sobrevivência das populações nativas, provocando mudanças na paisagem como um todo (Metzger, 1999; Moreira, 2012).

Nesse contexto, os conceitos da Ecologia da Paisagem aliados às ferramentas de Geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG – Sistema de Informações Geográficas) fornecem um importante subsídio para o entendimento e planejamento para resolução de problemas ambientais.

A ecologia da paisagem traz um enfoque centrado nas relações horizontais entre as diferentes unidades da paisagem e considera o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, a

interação e troca através da paisagem, a influência da heterogeneidade nos processos bióticos e abióticos e seu manejo (Turner, 1987; Metzger, 2001; Cain et al., 2017).

Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto são consideradas “as mais importantes ferramentas holísticas para a análise, planejamento e gestão da paisagem” (Lang e Blaschke, 2009).

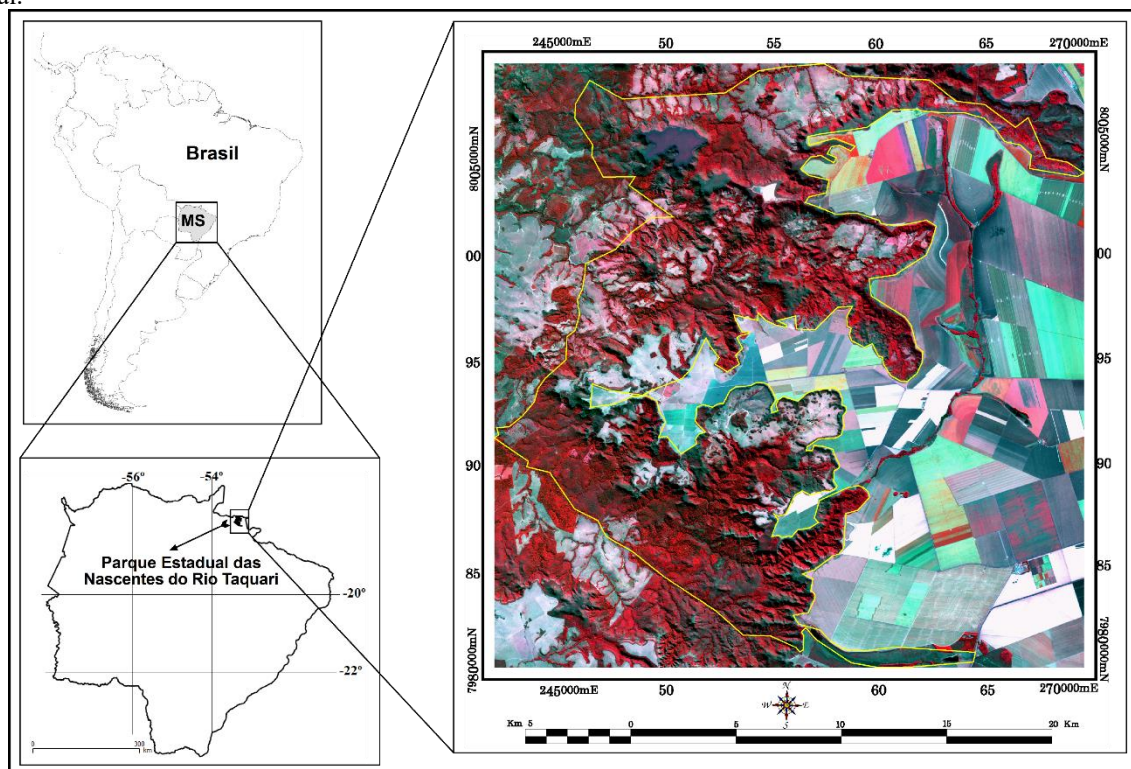
Diante do exposto, este estudo busca avaliar a dinâmica da paisagem do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari através da análise multitemporal da fragmentação da vegetação ao longo do tempo, utilizando geotecnologias.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), além de sua importância para o bioma Cerrado, abriga nascentes deste importante rio para o Pantanal. Está localizado na região Centro Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso de Sul, entre as coordenadas 17°59’ a 18°15’ S e 53°10’ a 53°26’ W. O PENRT foi criado através do Decreto Estadual no 9.622 de 09 de outubro de 1999 (Mato Grosso do Sul, 1999), com área de 30.618,96 hectares, abrangendo 26.849,62 hectares no Município de Alcinópolis-MS e 3.769,34 hectares em Costa Rica-MS (Figura 1). É uma das áreas núcleo do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari (brCarbon, 2025), ou seja, um dos remanescentes ambientalmente mais importantes no Cerrado.

Figura 1. Localização do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari (PENRT), remanescente do Bioma Cerrado e importante fragmento do Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari, abriga as nascentes de um importante rio para o Pantanal.



Fonte: Imagem do satélite ALOS sensor AVNIR-2 com resolução espacial de 10 m de 04 de julho de 2010. Composição falsa cor RGB 432. Limite do PENRT em amarelo. No lado esquerdo da imagem, as áreas em vermelho intenso significam vegetação densa. O padrão geométrico do lado direito da imagem mostra áreas agrícolas, que circundam o PENRT (Gamarra et al., 2016).

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Na realização do trabalho foram utilizadas seis cenas do satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 224/073, com 30 m de resolução espacial, de 18 de julho de 1984 (INPE, 1984), 16 de julho de 1989 (INPE, 1989), 30 de julho de 1994 (INPE, 1994), 28 de julho de 1999 (INPE, 1999), 25 de julho de 2004 (INPE, 2004) e 26 de julho de 2010 (INPE, 2010). Como material de apoio foram utilizadas ainda duas cenas ortorretificadas do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), uma do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*) com 10 m de resolução espacial de 04 de julho de 2010 (GlobalGeo, 2010a) e outra do sensor PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) com 2,5 m de resolução espacial de 19 de agosto de 2010 (GlobalGeo, 2010b).

Todas as seis cenas do satélite LANDSAT 5 foram georreferenciadas com erro inferior a 1 pixel, utilizando como base de referência as cenas do satélite ALOS (UTM, fuso 22, WGS84). Essas cenas foram recortadas utilizando o vetor do limite oficial do PENRT (em formato *shapefile*) obtido no Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (SISLA) do Instituto de Meio Ambiente

de Mato Grosso do Sul (IMASUL) (SISLA, 2025).

Na análise multitemporal foram utilizadas somente imagens LANDSAT 5, todas da época seca, para garantir maior distinção entre as fitofisionomias e menor interferência da sazonalidade (fenologia). Além de manter as características da imagem (resolução espacial, espectral e radiométrica).

Os programas utilizados foram o Geomatica 2018 (PCI, 2018) para o georreferenciamento e recorte das imagens de satélite e integração de todos os dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Ecognition 2.0 (Definiens, 2002) para classificação orientada a objetos.

2.3 COLETA DE DADOS EM CAMPO

Foram realizadas três etapas de trabalho de campo no intuito de identificar os tipos de cobertura do solo (incluindo as fitofisionomias descritas por Ribeiro e Walter, 1998) e fazer o reconhecimento dos fragmentos de vegetação para relacioná-los com as imagens de satélite da área de estudo, utilizando máquina fotográfica digital, densiômetro esférico e receptor GPS (*Global Positioning System*) de navegação. Durante o levantamento do histórico da área, os moradores e a gerente do parque foram entrevistados sobre as mudanças ocorridas na cobertura do solo da área de estudo. Levantamentos bibliográficos também auxiliaram nessa atividade.

2.4 COBERTURA DO SOLO: CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Depois dos trabalhos de campo, para geração das cartas de cobertura do solo dos diferentes anos, foi realizada a classificação orientada a objetos nos seis recortes das imagens do satélite LANDSAT 5, utilizando o programa Ecognition 2.0 (Definiens, 2002), de acordo com o método utilizado em Gamarra (2013). Foram utilizadas quatro classes de cobertura do solo, incluindo as fitofisionomias descritas na chave de Ribeiro e Walter (1998) e agrupando diferentes classes espectrais de cobertura do solo descritas em Paranhos Filho et al. (2021), que faz a relação entre fitofisionomias do Cerrado e imagens do satélite Landsat para o Cerrado:

- a) Formação Florestal: Engloba as fitofisionomias Cerradão, Mata Seca, Mata Ciliar e Mata de Galeria;
- b) Formação Savânica: Corresponde a fitofisionomia Cerrado Sentido Restrito;
- c) Formação Campestre: Engloba as fitofisionomias Campo Limpo, Campo Sujo e Campo Rupestre. Vale ressaltar que na classe formação campestre estão incluídos tanto campos nativos como pastos e outras formações campestres exóticas/cultivadas;
- d) Água/ Área úmida: Corresponde a corpos aquosos como rios e lagos e áreas úmidas como

brejos, veredas e banhados.

É importante destacar que foram incluídos na classe espectral de cobertura do solo Formação Campestre os campos de Cambaúva ou cambauvais, que são campos onde predominam uma espécie nativa de bambu (*Apoclada arenicola*), conhecida como Cambaúva que são encontradas predominantemente nas áreas de encostas do PENRT.

2.5 ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM

O grau de fragmentação da cobertura vegetal (avaliado através do número de fragmentos existentes no PENRT em cada ano analisado) e o Índice de Circularidade (IC) foram calculados a partir dos fragmentos de vegetação arbórea, ou seja, foram utilizadas nesse cálculo somente as classes espectrais de cobertura do solo Formação Florestal e Formação Savânica (fitofisionomias de Mata ciliar, Mata seca, Cerradão e Cerrado sentido restrito), pois este índice é geralmente utilizado em fragmentos florestais, mas visto que o Cerrado é um bioma com vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, foram incluídos os fragmentos de fitofisionomias que possuem árvores.

A partir dos vetores gerados na classificação orientada a objetos dos recortes das imagens dos diferentes anos analisados (com atributos de área e perímetro dos polígonos) foi criado um banco de dados SIG.

O primeiro passo foi dissolver os polígonos adjacentes das classes Formação Florestal e Formação Savânica, desse modo os polígonos passaram a representar os fragmentos de vegetação.

Vale ressaltar que os fragmentos com área inferior a 1 ha foram descartados pois estão sujeitos a distorção de área e perímetro no momento da geração dos vetores a partir de imagens do satélite LANDSAT 5 (pixel de 30 x 30m).

2.5.1 Métrica Da Paisagem: Índice De Circularidade (IC)

O Índice de Circularidade (IC) de cada fragmento foi obtido por meio da equação:

$$IC = 2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot S/P \quad (1)$$

onde:

IC = índice de circularidade;

S = área do fragmento (em metros quadrados);

P = perímetro do fragmento (em metros).

A classificação dos fragmentos quanto à forma foi realizada a partir dos valores de IC, que permitem identificar se os fragmentos possuem tendências de formas alongadas ou circulares. Os valores de IC igual a 1 indicam fragmentos com tendência circular e, à medida que esse valor se torna menor, o fragmento apresenta-se com tendência mais alongada (Nascimento *et al.*, 2006; Hentz *et al.*, 2015).

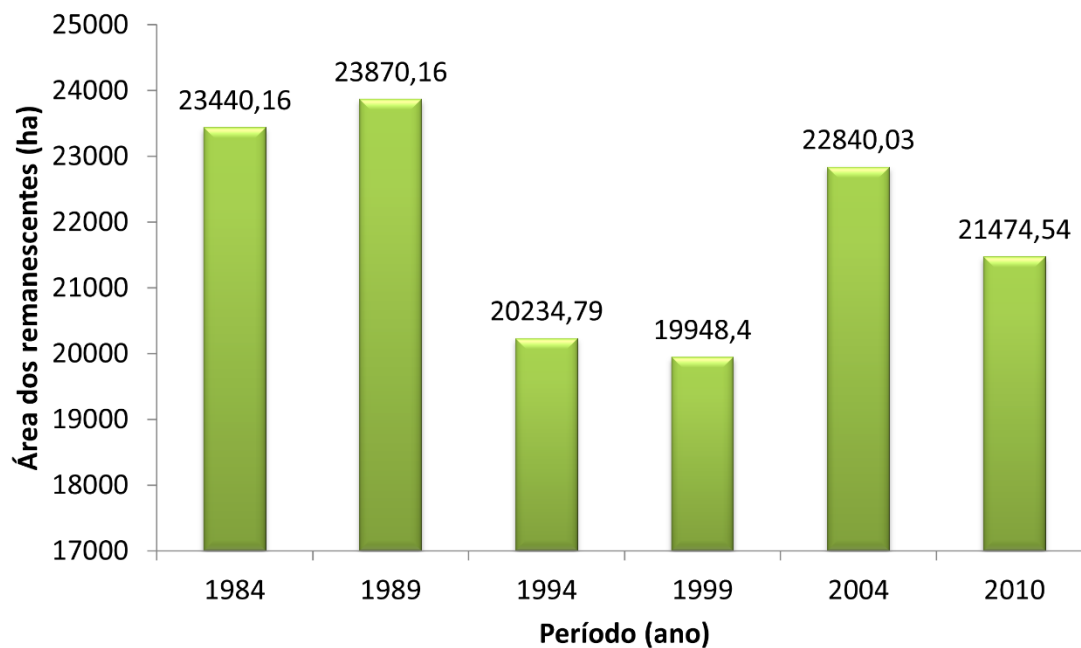
Assim, no presente trabalho, fragmentos que apresentaram valores de $IC < 0,4$ foram classificados como muito irregulares, com IC entre 0,4 e 0,65 como irregulares e com $IC > 0,65$ como regulares.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ÁREA OCUPADA PELOS REMANESCENTES

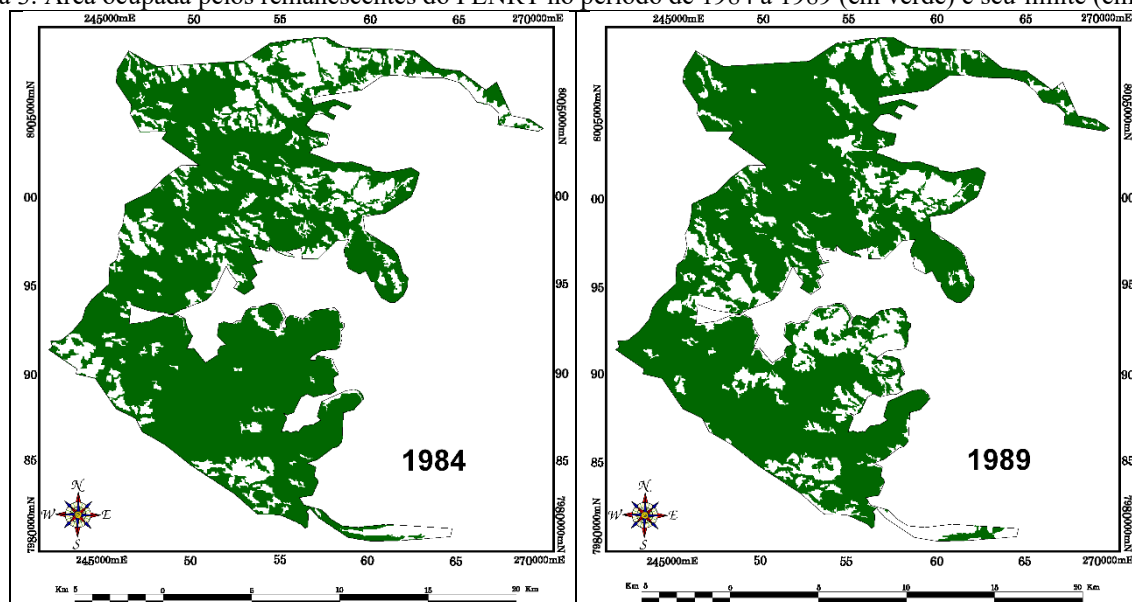
Aqui foram analisadas primeiramente a perda de habitat (Figura 2) e a fragmentação da paisagem será abordada posteriormente (Figura 11). Uma questão-chave para a conservação é a importância relativa da perda de habitat versus a fragmentação de habitat (Fahrig, 2003; Laranjeira, 2012). Ou seja, qual é a importância relativa do quanto de habitat permanece na paisagem versus o quanto fragmentada ela é? Alguns estudos sugerem que tanto a perda de habitat como a sua fragmentação são influências significativas, embora a perda de habitat seja geralmente uma influência mais forte para uma maior proporção de espécies (Bennett e Saunders, 2010).

Figura 2. Área (ha) ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT no período analisado.



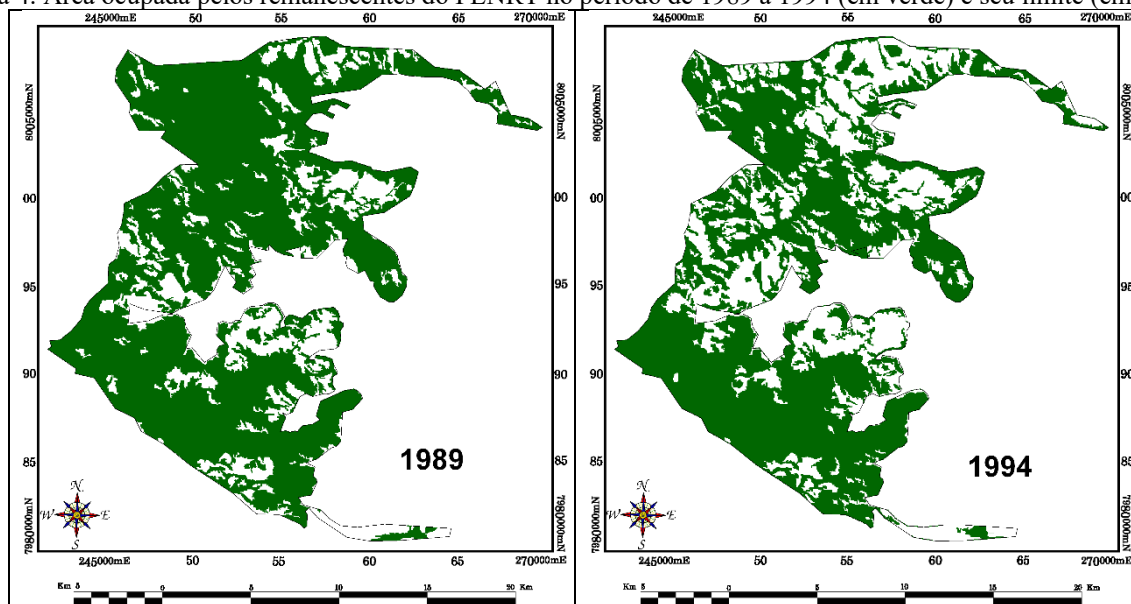
A área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT (somatório das áreas dos fragmentos maiores que 1 ha) aumentou 1,47% no período de 1984 a 1989 (Figura 3).

Figura 3. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1984 a 1989 (em verde) e seu limite (em preto).



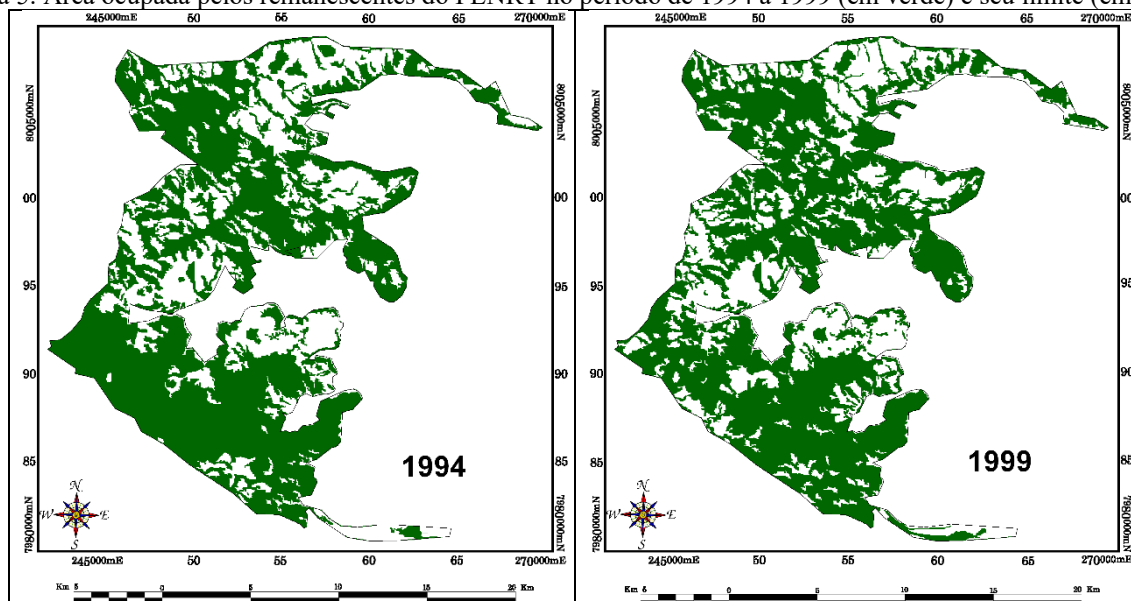
De 1989 a 1994 houve redução de 14,93% na área dos remanescentes (Figura 4).

Figura 4. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1989 a 1994 (em verde) e seu limite (em preto).



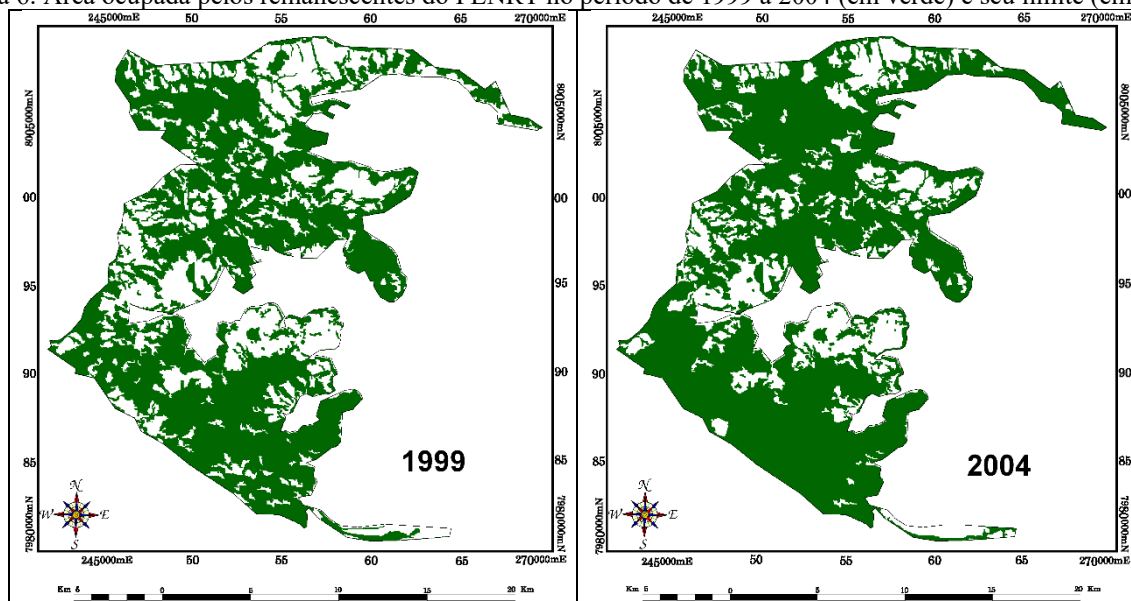
No período de 1994 a 1999 houve redução de 1,42% na área dos remanescentes (Figura 5).

Figura 5. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1994 a 1999 (em verde) e seu limite (em preto).



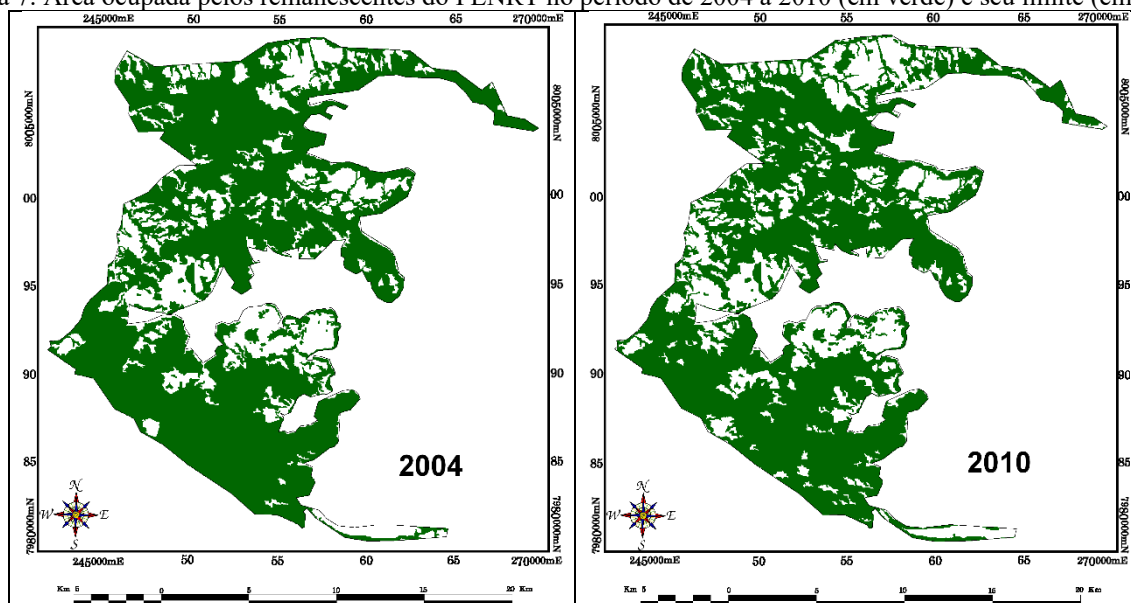
De 1999 a 2004 houve aumento de 14,5% nessa área (Figura 6).

Figura 6. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1999 a 2004 (em verde) e seu limite (em preto).



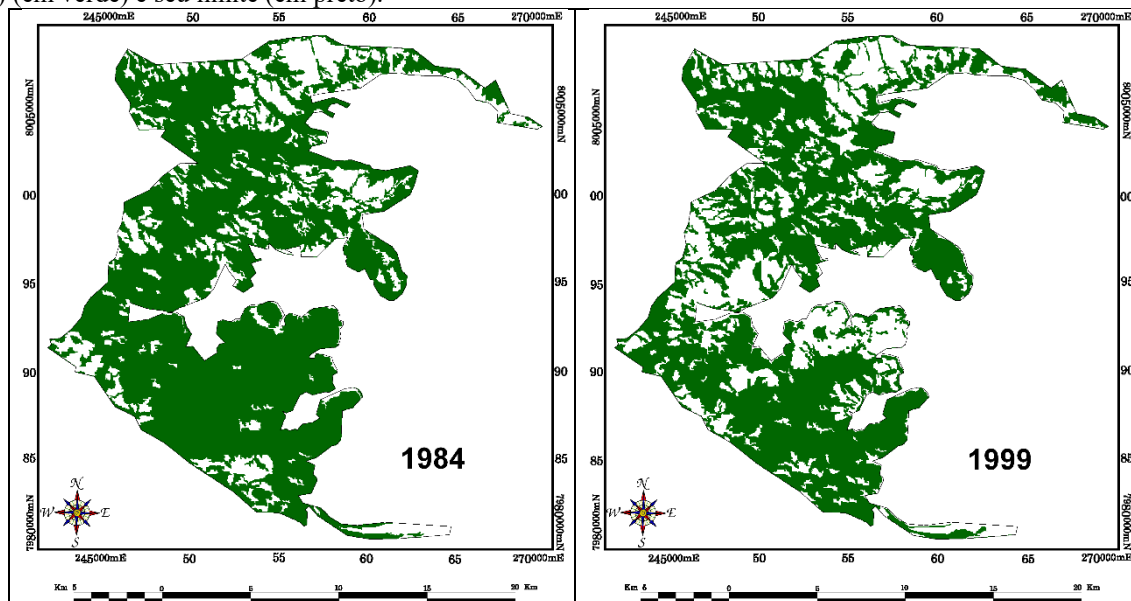
Já no período de 2004 a 2010 houve redução de 5,98% na área dos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT (Figura 7).

Figura 7. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 2004 a 2010 (em verde) e seu limite (em preto).



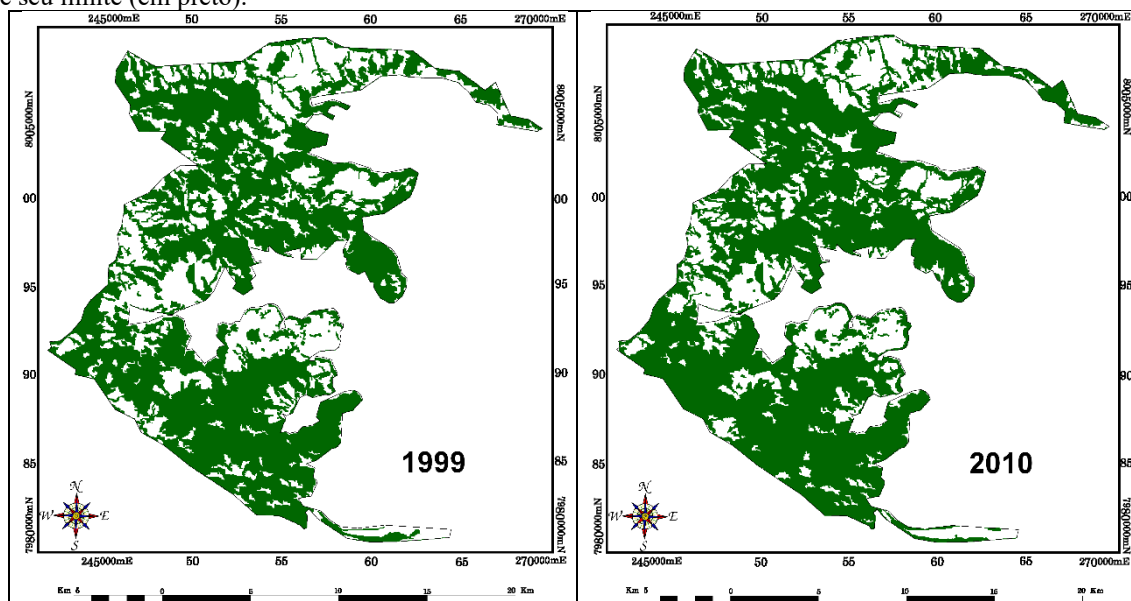
Vale ressaltar que o PENRT foi criado no ano de 1999, assim de 1984 a 1999 (período anterior à criação da unidade de conservação) houve redução de 14,9% na área dos remanescentes de vegetação arbórea (Figura 8).

Figura 8. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1984 a 1999 (período anterior à criação do parque) (em verde) e seu limite (em preto).



Já no período de 1999 a 2010 (posterior à criação da unidade de conservação) houve aumento de 7,65% na área dos remanescentes (Figura 9). Estes resultados demonstram que a criação do parque ajudou na regeneração da vegetação arbórea da região.

Figura 9. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1999 a 2010 (posterior à criação do parque) (em verde) e seu limite (em preto).

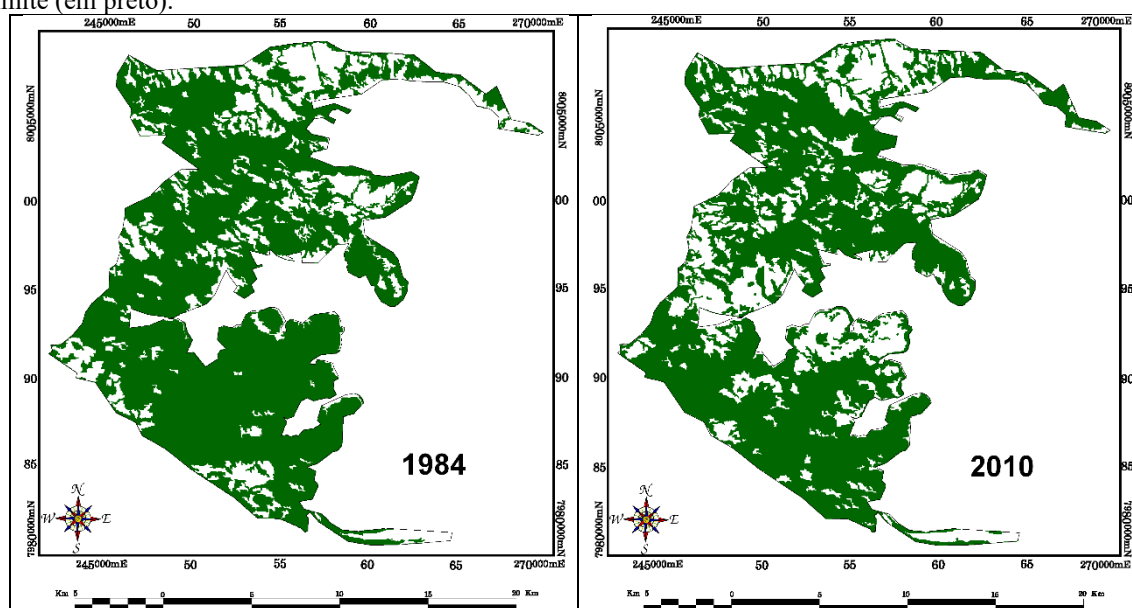


Mesmo após a criação do PENRT, no período de 2004 a 2010 houve uma pequena redução na área dos remanescentes. Um dos fatores que pode ter contribuído com isso é o fogo. A região do PENRT sofre frequentemente com incêndios, característica do bioma Cerrado. E como o PENRT

apresenta relevo acidentado e muitas vezes de difícil acesso, grandes áreas do parque são consumidas pelo fogo.

Quando analisado todo o período estudado, de 1984 a 2010, percebe-se que houve redução de 9,15% na área dos remanescentes de vegetação arbórea. Reflexo principalmente do período anterior à criação do PENRT (Figura 10).

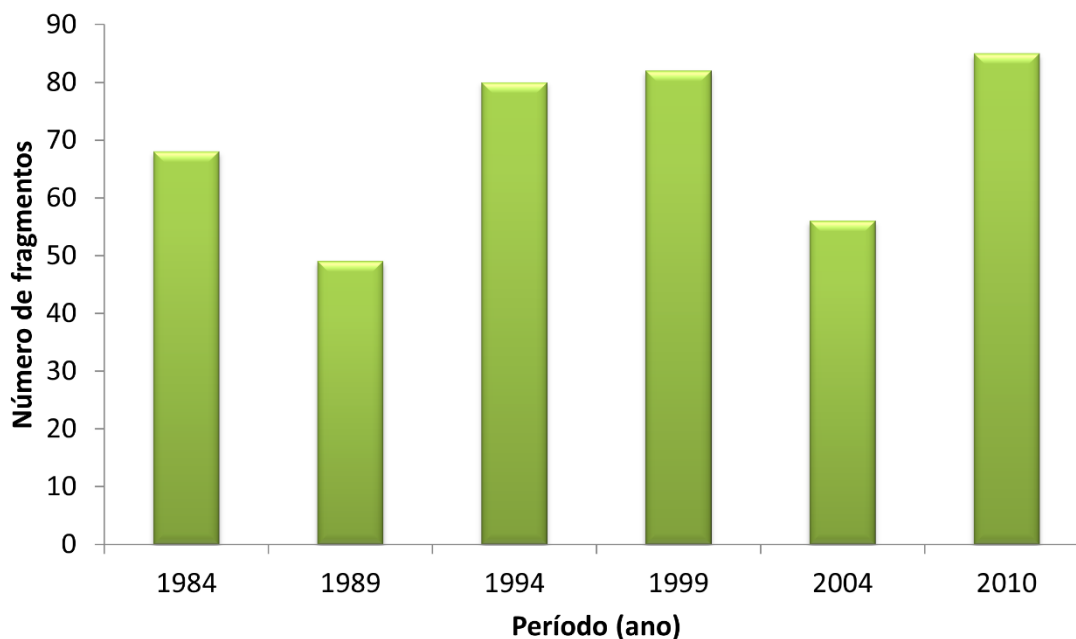
Figura 10. Área ocupada pelos remanescentes do PENRT no período de 1984 a 2010 (todo período estudado) (em verde) e seu limite (em preto).



3.2 GRAU DE FRAGMENTAÇÃO

Em relação ao grau de fragmentação da vegetação arbórea (número de fragmentos) do PENRT, observa-se resposta semelhante à variação na área ocupada pelos remanescentes em cada ano (Figura 11). Nos períodos onde a área dos remanescentes aumentou, houve redução no número de fragmentos. Já nos períodos em que houve redução na área dos remanescentes, houve aumento no número de fragmentos.

Figura 11. Grau de fragmentação (número de fragmentos) em cada ano analisado.

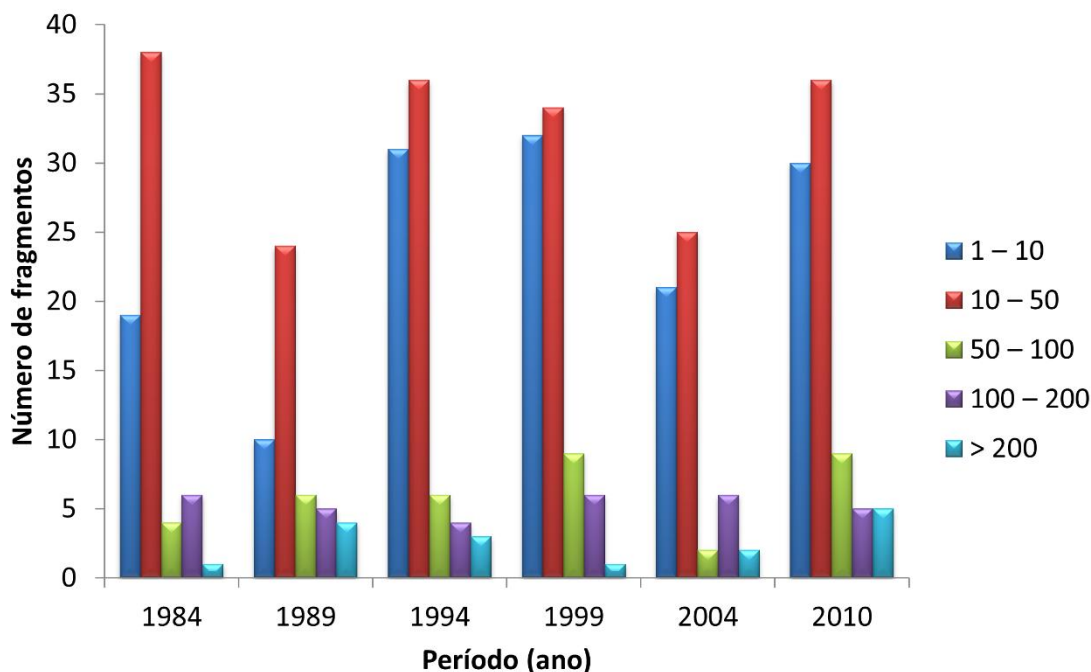


De acordo com Bennett e Saunders (2010) a alteração da paisagem é um processo dinâmico, uma série de mapas de cobertura do solo em intervalos ao longo do tempo é um importante método, pois ilustra o padrão de mudança da vegetação original, como apresentado no presente trabalho. Alterações características ao longo dessa trajetória de tempo incluem a diminuição na área total dos fragmentos, decréscimo no tamanho de muitos fragmentos (grandes manchas se tornam escassas e pequenos fragmentos predominam), o aumento do isolamento dos fragmentos de habitat semelhantes e as formas dos fragmentos dominadas por bordas retas quando comparadas com os limites curvilíneos de feições naturais, como os rios.

3.3 TAMANHO DOS FRAGMENTOS

Foi analisada a variação no tamanho dos fragmentos ao longo dos anos (Figura 12) sendo possível relacionar o tamanho dos fragmentos com a distribuição de matéria, energia e espécies (relação espécie-área).

Figura 12. Número de fragmentos em cada classe de tamanho (ha) nos diferentes anos analisados.



A relação espécie-área mostra que com o aumento do tamanho do habitat, ocorre um aumento na riqueza de espécies (Arrhenius, 1921; Preston, 1962a; Preston, 1962b). Pequenas áreas têm menor diversidade de habitats, suportam populações menores, portanto, menos espécies podem manter populações viáveis, e representam uma pequena amostra do habitat original, podendo ter menos espécies que uma amostra maior, ou seja, quando habitats são fragmentados em partes menores, espécies são perdidas (Connor e McCoy, 1979; Miranda et al., 2019).

Mais tarde, a relação espécie-área foi utilizada como elemento central na criação da Teoria de Biogeografia de Ilhas por MacArthur & Wilson (1963). Nesta teoria, foi descrito um modelo de equilíbrio insular que determina que o número de espécies presentes em uma ilha é o resultado de equilíbrio dinâmico entre a taxa de imigração de espécies novas para a ilha e a taxa de extinção das espécies presentes na ilha. Assim, foi feita uma comparação desse modelo de ilhas com os fragmentos de vegetação. Além da maior heterogeneidade de habitats, grandes áreas podem abrigar mais espécies por serem maiores alvos de colonização e ainda por terem mais recursos e sustentarem populações maiores, reduzindo o risco de extinções locais.

Verificou-se em todos os anos analisados a presença de um ou dois fragmentos que representam aproximadamente 90% dos remanescentes de vegetação arbórea do PENRT. São grandes fragmentos extremamente “recortados”, mas totalmente conectados em suas partes. Em 1984 esse grande fragmento possuía mais de 21.000 ha. Em 1989 seu tamanho praticamente continuou o mesmo. Em 1994 o fragmento diminuiu para aproximadamente 17.000 ha. Em 1999 ele aumentou para

aproximadamente 17.500 ha. Em 2004 esse grande fragmento se dividiu em duas partes, uma com quase 12.000 ha e outra com aproximadamente 9.000 ha. Em 2010 estas duas partes diminuíram um pouco e ficaram com aproximadamente 9.500 e 8.400 ha, no entanto, o número de fragmentos maiores que 200 ha aumentou.

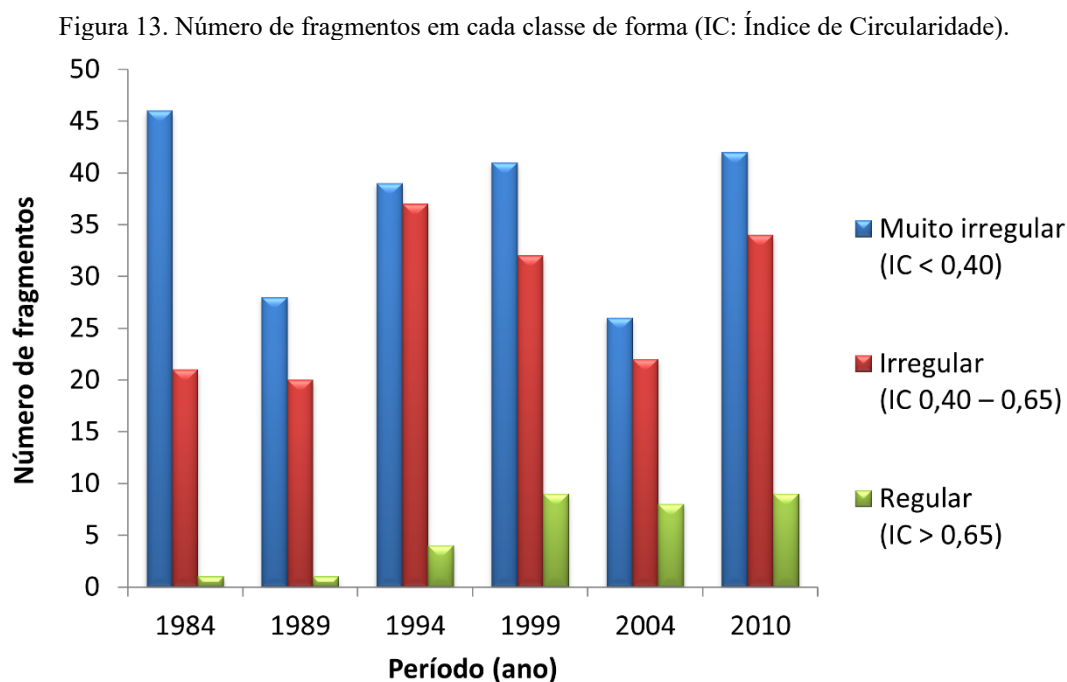
Estes fragmentos praticamente conectam todos os outros fragmentos menores que existem no PENRT permitindo que toda a unidade de conservação funcione como um só grande fragmento, pois os fragmentos menores se encontram no seu entorno. A grande quantidade de cursos d'água dentro do PENRT também pode promover a conectividade desses fragmentos, funcionando como corredores de biodiversidade.

Um conjunto de pequenos fragmentos isolados, porém próximos, pode efetivamente proporcionar vias de acesso, funcionando como trampolins ecológicos. Enquanto os grandes fragmentos são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala, os pequenos remanescentes cumprem funções extremamente relevantes ao longo da paisagem, funcionando como elementos de ligação entre grandes áreas, promovendo um aumento no nível de heterogeneidade da matriz e atuando como refúgio para espécies que requerem ambientes particulares que só ocorrem nessas áreas (Forman e Godron, 1986).

3.4 FORMA DOS FRAGMENTOS

Como a ecologia da paisagem lida com a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos, torna-se necessário quantificar com precisão os padrões espaciais. Uma das formas de quantificação é a utilização das chamadas “métricas da paisagem”. Existem mais de uma centena de métricas, porém muitas delas medem a mesma coisa de forma diferente. Calcular as métricas é simples e muitas vezes automático (quando se usa um programa). Muito mais difícil é interpretar e analisar os resultados, em relação aos dados biológicos/ecológicos coletados, ou seja, mais importante que o valor das métricas é a interpretação do seu significado biológico. O cálculo das métricas pode ser automático, mas o uso adequado, não (Metzger, 2006; Silva et al., 2019).

Aqui utilizamos o índice de circularidade (IC) para avaliar a forma dos fragmentos. Verificamos que a grande maioria dos fragmentos possui forma irregular e muito irregular, ou seja, apresentam valores de índice de circularidade (IC) baixos, em todos os anos analisados (Figura 13).



Fragmentos de habitats mais próximos ao formato circular têm a razão borda-área minimizada e, portanto, o centro da área está mais distante das bordas e consequentemente, mais protegido dos fatores externos.

Todos os efeitos relacionados às bordas são particularmente mais intensos em fragmentos pequenos, porém a forma dos fragmentos, e especialmente aqueles muito estreitos e alongados ou com formas muito irregulares, com muitas invaginações, podem permitir que as alterações penetrem em grande parte da área ou mesmo em toda a área do fragmento. Isto faz com que espécies sensíveis a estas alterações sejam excluídas de toda a área do fragmento (Kapos, 1989; Laurance *et al.*, 1998; Cerqueira *et al.*, 2021).

O predomínio de formas irregulares dos fragmentos pode ser explicado por vários fatores, um deles é o relevo do PENRT que é bastante acidentado, formando dessa maneira fragmentos de forma bastante irregular.

Outro fator que deve ser considerado é a situação fundiária do PENRT, que é formado por muitas fazendas que ainda não foram desapropriadas, nessas fazendas a principal atividade é a criação de gado, dessa maneira parte da vegetação foi suprimida para formação de pastagem.

Assim, esses remanescentes de vegetação arbórea acabam sendo “recortados” de diversas maneiras, fazendo com que existam fragmentos de diversos formatos e muitas vezes esses formatos apresentam um perímetro muito grande em relação a sua área.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise multitemporal de diferentes elementos espaciais como a área ocupada pelos remanescentes de vegetação arbórea, indicando a perda/ganho de habitat, do grau de fragmentação, do tamanho e da forma dos fragmentos, ou seja, dos parâmetros que determinam os processos ecológicos existentes e sua importância na conservação biológica, foi possível avaliar a efetividade da proteção dessa unidade de conservação. E também permitiu relacionar parâmetros simples como quantidade, tamanho e perímetro dos fragmentos com quantidade de matéria, energia e espécies. A comparação dos valores desses parâmetros ao longo do tempo indica o comportamento e a variação de matéria, energia e espécies (fluxo) em cada fragmento e na paisagem como um todo.

A técnica e as ferramentas utilizadas se mostraram eficientes, minimizando custos e tempo para obtenção dessas informações.

Verificamos que de 1999 a 2010 (período posterior à criação do PENRT) houve aumento na área dos remanescentes de vegetação arbórea e no número de grandes fragmentos, ou seja, a vegetação do parque vem se recuperando ao longo do período analisado.

Vale ressaltar que grande parte da área do PENRT ainda não foi desapropriada, assim ainda ocorrem atividades agropecuárias dentro do parque. Outra preocupação é sua zona de amortecimento, seu limite leste é totalmente tomado por extensas plantações de soja e algodão. Algumas nascentes (Ribeirão do Engano) encontram-se próximas ao parque, em seu entorno, mas fora da área de proteção, cercadas de plantações. Seria de grande importância que a região do entorno do parque também recebesse maior atenção, para que na medida em que as desapropriações forem sendo feitas, a vegetação do parque e de seu entorno possa se regenerar.

Assim, o presente trabalho visa contribuir para o melhor manejo desta unidade de conservação, ajudando-a na sua sustentabilidade e na manutenção da biodiversidade local.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de Antonio Conceição Paranhos Filho (PQ-1D - CNPq Processo 304644/2022-6). À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS – FUNDECT pelos projetos de pesquisa nº 0081/08 e nº 0241/08 e bolsa de doutorado nº 057/10. O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – Brasil (UFMS) – Código de Financiamento 001. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ARRHENIUS, O. Species and Area. *Journal of Ecology*, 9: 95-99. 1921.
- BENNETT, A.F. & SAUNDERS, D.A. Habitat fragmentation and landscape change. In: SODHI, N.S. and EHRLICH, P.R. *Conservation Biology for All*. Oxford University Press. New York. 88-106 p. 2010.
- BRCARBON. Corredor de Biodiversidade Emas-Taquari. (<https://brcarbon.com.br/emas-taquari/>). Último acesso em 29 de maio de 2025.
- CAIN, Michael L.; BOWMAN, William D.; HACKER, Sally D. *Ecologia*. Artmed Editora, 2017.
- CARVALHO, F.M.V., MARCO JÚNIOR, P. & FERREIRA, L.G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*. 142. 1392–1403. 2009.
- CERQUEIRA, M. C. Fragmentação da paisagem no entorno e na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Nascentes das Geraizeiras, Minas Gerais. *Ciência Florestal*, pp. 608-633, 2021.
- CONNOR, E.F. and MCCOY, E.D. The statistics and biology of the species-area relationship. *American Naturalist*, 113, 791–833. 1979.
- COUTINHO, L.M. *Biomass brasileiros*. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- DEFINIENS IMAGING. *Ecognition version 2.0*. Munchen, Alemanha. 1 CD-ROM. 2002.
- FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 34, 487–515. 2003.
- FORMAN, R.T., GODRON, M. *Landscape Ecology*. John Wiley. Nova Iorque. 619 p. 1986.
- GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA-GAMARRA, M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS FILHO, A. C. Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. *Ra'e Ga Espaço Geográfico em Análise*, vol. 37, p. 307-332, 2016.
- GAMARRA, R.M. *Geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem do Parque Estadual das Nascentes do rio Taquari-MS*. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde (CCBS), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande-MS.
- GAMARRA, R.M.; HIGA, L.T.; GAMARRA, M.C.T.; CARRIJO, M.G.G.; MOTA, J.S.; NOTARI, F.; RODRIGUES, A.G.S.; DALMAS, F.B.; PARANHOS FILHO, A.C. Fragmentação da vegetação em região de área protegida no Cerrado. *Research, Society and Development*, 10(7): e27310716230. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16230>.
- GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor AVNIR-2. Bandas 1, 2, 3 e 4. ID ALAV2A236673960. Órbita/Ponto 405/3960 de 04 de julho de 2010. 2010 a.

GLOBALGEO. Globalgeo Geotecnologias LTDA. Imagem do satélite ALOS, sensor PRISM. Banda Pan. ID ALPSMN243383960. Órbita/Ponto 405/3960 de 19 de agosto de 2010. 2010 b.

HENTZ, Â.M.K.; CORTE, A.P.D.; DOUBRAWA, B.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da fragmentação dos remanescentes florestais da bacia hidrográfica do rio Iguaçu – PR, Brasil. Enciclopédia Biosfera, 11(21): p. 2842, 2015.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 18 de julho de 1984. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1984.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 16 de julho de 1989. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1989.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 30 de julho de 1994. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1994.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 28 de julho de 1999. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 1999.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 25 de julho de 2004. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2004.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagem do satélite LANDSAT 5, sensor TM. Bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Órbita/Ponto 224/073 de 26 de julho de 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Último acesso em 12 de novembro de 2012. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Território. Brasil em Síntese, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Último acesso em 2 de junho de 2025.

KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. J. Trop. Ecol., 5: 173-185. 1989.

KLINK, C.A.; MACHADO, R. A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade. Volume 1. Número 1. 147-155. 2005.

LANG, S., BLASCHKE, T. Análise da paisagem com SIG. Tradução Hermann Kux. São Paulo. Oficina de Textos. 424 p. 2009.

LARANJEIRA, Maria. Estrutura espacial e processos ecológicos: o estudo da fragmentação dos habitats. Revista de Geografia e Ordenamento do Território, v. 1, n. 1, p. 59 a 83, 2012.

LAURANCE, W.F., FERREIRA, L.V., RANKIN-DE-MERONA, J.M. & LAURANCE, S.G. Rain Forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology*, 79: 2032-2040. 1998.

MACARTHUR, R.H. & WILSON, E.O. An Equilibrium Theory of Insular Zoogeography. *Evolution*, 17:373-387. 1963.

MACHADO, R.B., RAMOS NETO, M.B., PEREIRA, P.G.P., CALDAS, E.F., GONÇALVES, D.A., SANTOS, N.S., TABOR, K. & STEININGER, M. Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto nº 9.662, de 9 de outubro de 1999. Cria o Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial de Mato Grosso do Sul de 14 de outubro de 1999.

METZGER, J.P. Estrutura da Paisagem e Fragmentação: Análise Bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71 (3-I): 445 - 463. 1999.

METZGER, J.P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN Jr., L., RUDRAN, R., & VALLADARES-PÁDUA, C. (organizadores). *Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre*. 2. ed. Curitiba – PR. Editora da UFPR. 423 - 453p. 2006.

METZGER, J.P. O que é ecologia de paisagens? *Biota Neotropica* 1(1/2): 1 – 9. 2001.

MIRANDA, M. R.; NEVES, S. M. A.S. DINÂMICA DA ESTRUTURA DA PAISAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAURU/MATO GROSSO. *Caminhos de Geografia*, pp. 63-77.2019.

MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4. ed. Viçosa: Editora UFV, 422 p. 2012.

NASCIMENTO, M.C., SOARES, V.P., RIBEIRO, C.A.A.S. & SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.389-398, 2006.

PAGOTTO, T.C.S.; CAMILOTTI, D.C.; LONGO, J.M. & SOUZA, P.R. Bioma Cerrado e Área Estudada. In: PAGOTTO, T.C.S. & SOUZA, P.R. (org.). *Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú: subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado*. Editora UFMS. Campo Grande, MS. 18 – 30 p. 2006.

PARANHOS FILHO, A.C.; LASTORIA, G.; OLIVEIRA, A.P.G.; BOLGONEZ, A.K.A.C. Classificação de Imagens. In: *Geotecnologias para Aplicações Ambientais*. Campo Grande, 1: 105-134. 2021.

PCI Geomatics. *Geomatica Versão 2018 for Windows*. Ontário, Canadá. 2018.

POTT, A. & POTT, V.J. Espécies de fragmentos florestais em Mato Grosso do Sul. In: R.B. Costa (org.). *Fragmentação florestal e alternativas de desenvolvimento rural na região Centro-Oeste*. UCDB. Campo Grande. 26 – 52 p. 2003.

PRESTON, F.W. The canonical distribution of commonness and rarity of species: Part I. Ecology 43:185-215. 1962 a.

PRESTON, F.W. The canonical distribution of commonness and rarity of species: Part II. Ecology 43:410-432. 1962 b.

RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In. SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, xii + 556p. 1998.

SAUNDERS, D.A.; HOOBS, R.J. & MARGULES, C.R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conservation Biology 5: 18-32. 1991.

SCARIOT, A., FREITAS, S.R., NETO, E.M., NASCIMENTO, M.T., OLIVEIRA, L.C., SANAIOTTI, T., SEVILHA, A.C. & VILELA, D.M. Vegetação e Flora. 104 – 123 p. In: Ministério do Meio Ambiente – MMA. Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas / Denise Marçal Rambaldi, Daniela América Suárez de Oliveira (orgs.). Brasília: 2ª ed., MMA/SBF, 510 p. 2005.

SILVA, A.L.; LONGO, R.M.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M.F.H. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. Ciência Florestal, 29(3): 1254–1269, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509830201>.

SISLA. Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. (http://sisla.imasul.ms.gov.br/Downloads/dados_complementares/). Último acesso em 29 de maio de 2025. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL). 2025.

TURNER, M.G. Spatial simulation of landscape changes in Georgia: a comparison of 3 transition models. Landscape Ecology. 1: 27-39. 1987.