

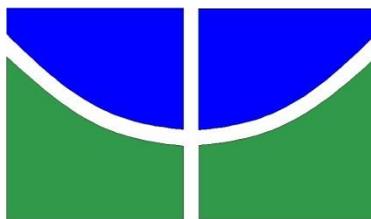


**FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA REGIÃO
DO MATOPIBA**

Carolina Sousa Marcial

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal - EFL

FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA REGIÃO DO MATOPIBA

Estudante: Carolina Sousa Marcial

Matrícula: 14/0134191

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Menção: SS

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Universidade de Brasília – UnB

Departamento de Engenharia Florestal

Orientador (EFL)

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira

Universidade de Brasília – UnB

Membro da Banca

Dra. Fernanda Coelho de Souza.

Ministério do Meio Ambiente - MMA

Membro da Banca

Brasília-DF, 04 de dezembro de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

MARCIAL, CAROLINA SOUSA

FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA REGIÃO DO MATOPIBA [Distrito Federal] 2020. 34 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenharia, Engenharia Florestal, 2020).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal

- | | |
|---------------------|----------------------|
| 1. Geoprocessamento | 2. Cerrado |
| 3. Fragmentação | 4. Expansão agrícola |
| I. EFL/FT/UnB | II. Título (série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MARCIAL, C.S. (2020). FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA REGIÃO DO MATOPIBA. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 34p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Carolina Sousa Marcial 1

TÍTULO: FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM NAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA REGIÃO DO MATOPIBA.

GRAU: Engenharia em Engenharia Florestal ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Carolina Sousa Marcial

Depto. de Engenharia Florestal (EFL)-FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 – Brasília – DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, que sempre me apoiou e esteve presente em todas as etapas da minha vida. Meu pai José que sempre foi cuidadoso comigo, quando eu passava horas no computador estudando ele aparecia com uma vitamina preocupado com minha alimentação. Minha mãe Rejane, uma mulher forte e determinada, me ensinou a sonhar e ser criativa. Meu irmão Ramom, que sempre tem um vídeo engraçado para me fazer rir.

Agradeço ao meu namorado Tiago pela parceria e incentivo durante esses anos, esteve presente nos melhores e piores momentos, sempre calmo e divertido, me mostrou os encantos da vida e me inspira a sempre aprender mais. Amo você.

Ao meu orientador Dr. Eraldo Matricardi, por todos os ensinamentos, pela atenção e dedicação, pela amizade e as piadas, que com certeza tornaram essa etapa mais leve.

Agradeço a todos os meus amigos da florestal, da escalada e da vida, por tornarem esses anos muito melhores, obrigada pelas risadas, lágrimas e aventuras, especialmente minha amiga Marina, que sempre me escuta e apoia, minha amiga Luísa, que está sempre torcendo por mim e pronta para topa qualquer coisa, minha amiga Letícia, por me ensinar a ser forte e confiante, minha amiga Lana, que me inspira a viver o agora da melhor forma que eu posso, minha amiga Juju, que é a doçura em pessoa e sempre está disposta para ajudar, minha amiga Bea, por todos os ensinamentos e desabafos, minha amiga Ana Bibi, por despertar minha feminilidade e ao meu amigo Kiepher, pelas reflexões econômicas da vida.

Agradeço a todos do WWF-Brasil pelos aprendizados e discussões durante o estágio, especialmente à Carolina Siqueira, Carol Bauer, Kolbe Wombral, Thiago Belote, Abílio Vinícius, Bianca Nakamoto e Lais Cunha, que de alguma forma contribuíram para minha formação tanto acadêmica quanto pessoal e me apoiaram muito nessa etapa final de conclusão de curso.

A todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para que eu pudesse ver e viver a Universidade de Brasília.

“Plante árvores e ganhe sombra e água fresca”

Manoel Cláudio

RESUMO

A região do MATOPIBA vem se destacando economicamente nos últimos anos com o aumento da produção de *commodities* como soja, milho e algodão e, em decorrência desta expansão do agronegócio, a região vem passando por várias transformações sociais, econômicas e ambientais. Nos últimos anos, a área de plantios de soja aumentou em mais de 4 vezes nessa região e, conseqüentemente, as taxas de desmatamento também aumentaram. A conversão das paisagens naturais em áreas de agricultura gera uma série de impactos sobre o meio ambiente. Portanto, o monitoramento do processo de fragmentação dos ambientes naturais, especialmente em regiões com intensa expansão agropecuária, é fundamental avaliar os seus efeitos. No presente trabalho, foi conduzido um estudo das mudanças do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2017 e seus efeitos na fragmentação da paisagem, incluindo estudo da fragmentação direcional, que indica o grau de fragmentação em cada direção de interesse. Foram utilizados dados de sensoriamento remoto, técnicas de geoprocessamento e métricas da paisagem. Os resultados desta pesquisa indicam que houve um aumento nas taxas de desmatamento e na fragmentação da paisagem no período analisado, com destaque a partir de 2000, quando houve aumento de 250% das áreas de culturas anuais e perenes. A análise da fragmentação direcional indica que a direção Norte-Sul apresentou o maior grau de fragmentação e, por isso, requer mais atenção das ações do poder público para mitigar os efeitos do desmatamento.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Cerrado, fragmentação, expansão agrícola.

ABSTRACT

The MATOPIBA region has been economically highlighted in recent years with the increase in the production of commodities such as soybeans, corn, and cotton and, due to that agribusiness expansion, the region has experienced several social, economic, and environmental changes. In recent years, the soybean plantations have increased more than 4-times in that region and, consequently, deforestation rates have also increased. The conversion of natural landscapes into agricultural areas causes many environmental impacts. Therefore, monitoring the fragmentation process of natural environments, especially in regions with intensive process of agricultural expansion, it is crucial to accurately assess its effects. In this study, a study of land use and land cover changes between 1985 and 2017 and its effects on landscape fragmentation was conducted, including a study of directional fragmentation, which indicates the degree of fragmentation in each direction of interest. Remote sensing data, geoprocessing techniques, and landscape metrics were used. This research results indicate an increase in deforestation rates and landscape fragmentation in the study period, especially after 2000, when it was observed an increase of 250% of areas of annual and perennial crops. The directional fragmentation analysis indicates that the North-South direction showed the highest degree of fragmentation and, therefore, it requires more attention from public authorities to mitigate those effects of deforestation.

Keywords: Geoprocessing, Cerrado, fragmentation, agricultural expansion.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. OBJETIVO | 11 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 12 |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDO..... | 12 |
| 3.2. BASE DE DADOS | 13 |
| 3.2.1. <i>Projeto MapBiomias</i> | 13 |
| 3.3. ANÁLISE DE ACURÁCIA | 13 |
| 3.4. ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO | 14 |
| 3.5. ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL | 14 |
| 3.5.1. <i>Métricas da paisagem</i> | 16 |
| 3.5.1.1. Métricas de Área e Densidade | 16 |
| 3.5.1.2. Métricas de Forma | 17 |
| 3.5.1.3. Métricas de Área Central | 17 |
| 3.5.1.4. Métricas de Proximidade | 17 |
| 3.6. FRAGMENTAÇÃO DIRECIONAL..... | 18 |
| 3.6.1. <i>Caminho de menor custo</i> | 18 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 20 |
| 4.1. MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA | 20 |
| 4.2. ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM..... | 24 |
| 4.2.1. <i>Métricas de Paisagem</i> | 27 |
| 4.2.1.1. Área e Densidade | 27 |
| 4.2.1.2. Métricas de forma | 27 |
| 4.2.1.3. Métricas de área central | 28 |
| 4.2.1.4. Métricas de proximidade | 29 |
| 4.3. FRAGMENTAÇÃO DIRECIONAL | 29 |
| 5. CONCLUSÃO | 31 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 32 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização da área de estudo | 12 |
| Figura 2 - Direções e pontos de origem/destino utilizados na análise de fragmentação direcional | 19 |
| Figura 3 - Mudança percentual das classes de uso e cobertura do solo na região de estudo | 22 |
| Figura 4 - Dinâmica do Uso e Cobertura do Solo nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2017 | 23 |
| Figura 5 - Número de fragmentos e área ocupada na classe de área natural | 24 |
| Figura 6 - Mudanças na fragmentação da paisagem na área de estudo. | 26 |
| Figura 7 - Spider diagram indicando o sentido direcional da fragmentação no ano de 2017 | 30 |
| Figura 8 - Histograma representando a fragmentação direcional no ano de 2017 | 30 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Métricas de paisagem selecionadas | 16 |
| Tabela 2 - Valores de fricção para as classes de uso e cobertura do solo | 18 |
| Tabela 3 Área das classes de Uso e Cobertura do Solo..... | 21 |
| Tabela 4 - Número de fragmentos da área natural e porcentagem da área ocupada por classe de tamanho | 25 |
| Tabela 5 - Índices de área e densidade | 27 |
| Tabela 6 - Índices de forma | 28 |
| Tabela 7 - Índice de área central..... | 29 |
| Tabela 8 - Índice médio de proximidade | 29 |

1. INTRODUÇÃO

A região do MATOPIBA abrange quatro Estados do Brasil, todo o estado do Tocantins, o oeste da Bahia, o sul do Maranhão e sul do Piauí. A expressão MaToPiBa (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) foi criada a partir das iniciais dos respectivos Estados componentes da região, com o intuito de caracterizar parte do território desses Estados que pertence ao bioma Cerrado onde há uma crescente expansão da fronteira agrícola baseada em tecnologias de alta produtividade (PEREIRA; PORCIONATO; CASTRO, 2018).

A delimitação territorial do MATOPIBA foi decorrente de uma das atividades previstas em um acordo de cooperação técnica celebrado entre o Ministério do Desenvolvimento Agrário, através do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e a EMBRAPA, através do Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). O acordo buscava apoiar o planejamento, monitoramento e avaliação das políticas públicas e privadas naquela região (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2014).

Nos últimos anos o MATOPIBA apresentou um cenário diferente do bioma Cerrado como todo. De acordo com os dados do INPE (2020), enquanto houve uma redução de 38% de perda da vegetação nativa do bioma Cerrado entre 2015 e 2017, as taxas de desmatamento se mantiveram constante no mesmo período na região do MATOPIBA.

A região do MATOPIBA ganhou grande destaque na produção de *commodities* como soja, milho e algodão, com crescimento de 239% entre os anos 2000 e 2014 na quantidade produzida, como consequência da expansão do agronegócio, o território vem passando por notáveis transformações sociais e econômicas (PEREIRA; PORCIONATO; CASTRO, 2018). Segundo o estudo de Rudorff e Risso (2018), nas safras entre 2000/01 e 2016/17, a área de soja aumentou em mais de 4 vezes no MATOPIBA, passando de 970.000 ha para 3.940.000 ha.

A conversão das paisagens naturais por diversos tipos de usos da terra gera uma série de impactos sobre o meio ambiente. Tais impactos contribuem com o aumento da fragmentação florestal e alteração da paisagem natural, sobretudo quando impulsionado pelas atividades desordenadas de uso e ocupação da terra, modelos econômicos

exploratórios dos recursos naturais e crescimento populacional (CERQUEIRA, 2016; PIROVANI, 2010; PEREIRA *et al.*, 2001).

A fragmentação de áreas naturais compreende não apenas a perda de vegetação, mas também, o aumento no número de fragmentos na paisagem. Com o aumento da fragmentação, ocorre a redução do tamanho dos fragmentos de floresta e o aumento da distância entre os fragmentos, com diversos efeitos ecológicos deletérios, incluindo a degradação do solo, erosão e perda de recursos extrativistas, e efeitos globais, incluindo: diminuição da biodiversidade; ruptura do regime hidrológico; e mudanças no balanço de CO₂ e outros gases de efeito estufa, que podem afetar o clima (FROHN *et al.*, 1996; ANDREN, 1994). Assim, é importante planejar e monitorar o processo de fragmentação da paisagem de áreas de interesse, especialmente em regiões que se encontram sob alta pressão antrópica com a expansão agropecuária (MARTINS *et al.*, 2002) .

O uso de técnicas de geoprocessamento e métricas da paisagem possibilita gerar informações para entender as transformações ocorridas em uma paisagem em diferentes escalas temporais e espaciais (CERQUEIRA, 2016). Tais informações são importantes como subsídios para tomada de decisões no tocante ao ambiente natural e políticas agrícolas e rurais (PIROVANI, 2010). Portanto, o estudo da variação do uso e cobertura do solo e da fragmentação na região do MATOPIBA é fundamental para avaliar os efeitos da crescente expansão agrícola na área de Cerrado.

No presente trabalho, foi conduzido um estudo das mudanças do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2017, complementado por análises detalhadas da fragmentação da paisagem na região do MATOPIBA. Foram incluídas análises com uma série de métricas da paisagem e de fragmentação direcional para a área de estudo, buscando entender a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra nos últimos anos na área de estudo, as tendências na fragmentação da paisagem e as diferenças na fragmentação direcional. Os resultados desta pesquisa contribuem para o entendimento dos efeitos do desmatamento e gera dados para dar suporte a definição de políticas e estratégias de conservação na região do MATOPIBA.

2. OBJETIVO

Buscou-se com esta pesquisa analisar as mudanças do uso e cobertura da terra e seus efeitos sobre a fragmentação da paisagem natural na região do MATOPIBA, uma área com forte pressão antrópica e acentuada expansão da fronteira agrícola.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo

A área de estudo inclui a principal região de produção agrícola da região do MATOPIBA (Figura 1), abrangendo parte de quatro Estados brasileiros: parte leste do estado do Tocantins, parte sudoeste do estado do Piauí, parte sul do estado do Maranhão e parte oeste do estado da Bahia, com uma extensão de 21.415.571, 5 hectares e envolve a principal zona de expansão de *commodities* agrícolas da região. A vegetação predominante é do bioma Cerrado em suas diferentes fitofisionomias, segundo dados do Projeto PROBIO (2008) a classe dominante da região é Savana Arborizada, ocupando 62% da área de estudo, sendo composta por cerrados ralo, típico e denso (RIBEIRO; WALTER, 1998). O local de estudo vem sendo destaque nos últimos 10 anos devido ao crescente desmatamento do bioma, motivado principalmente pela intensificação do agronegócio, e como consequência a fragmentação da área.

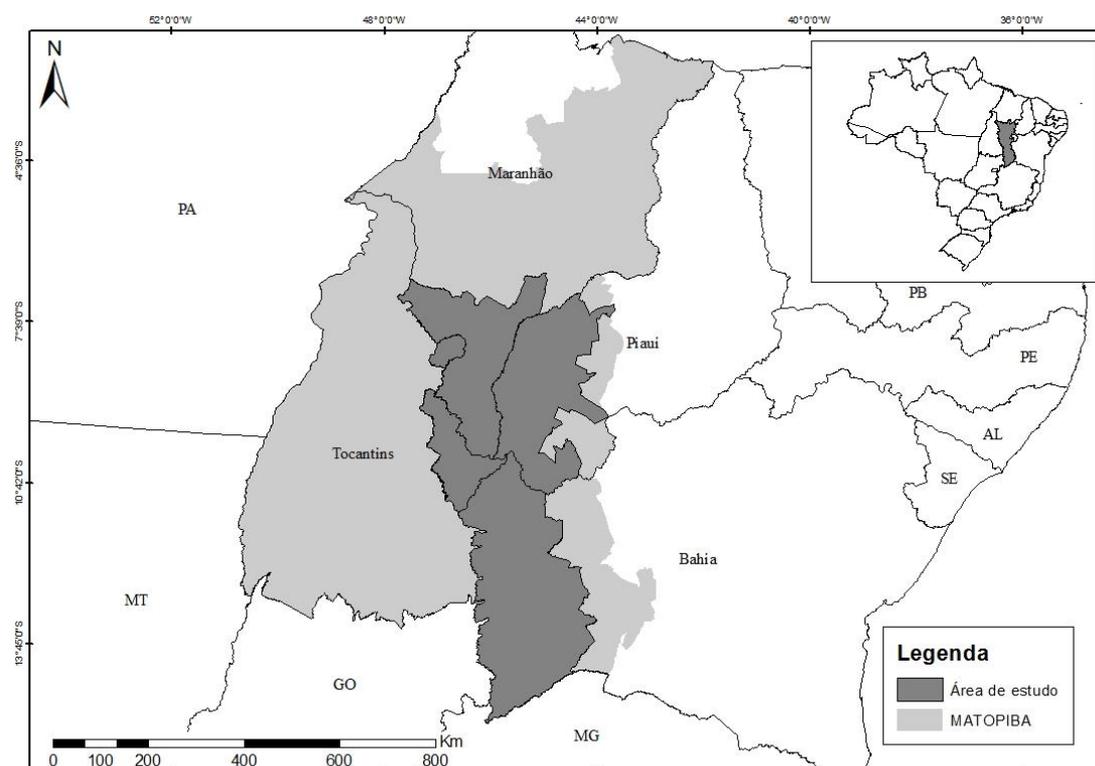


Figura 1 - Localização da área de estudo

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), a bacia hidrográfica mais importante da região é a Bacia do Rio São Francisco. O clima predominante é o tropical semiúmido, com temperaturas altas durante todo o ano, variando de quente úmido a

quente seco, com períodos de seca entre 4 a 5 meses. O solo predominante na região é da classe Latossolo, caracterizado pela alta porosidade e boa permeabilidade, o que favorece o uso para agricultura. (MAGALHÃES & MIRANDA, 2014). De forma geral território apresenta boas condições edafoclimáticas locais para a produção de grãos.

3.2. Base de dados

Utilizou-se a plataforma *Google Earth Engine* para obtenção dos dados de uso e cobertura da terra. Os mapas foram produzidos a partir da classificação de imagens dos satélites da série *Landsat*, com resolução espacial de 30 metros, do Projeto MapBiomias. A série temporal analisada incluiu anos entre 1985 e 2017 dos dados do mapeamento do uso e cobertura do solo produzido pelo projeto MapBiomias, descrito em detalhes a seguir.

3.2.1. Projeto MapBiomias

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias) surgiu no ano de 2015, em um seminário em São Paulo que reuniu especialistas em sensoriamento remoto e mapeamento de vegetação. O projeto tem o objetivo de produzir mapas anuais de cobertura e uso do solo para todo o Brasil de forma significativamente barata, rápida e atualizada, e que possibilite recuperar o histórico das últimas décadas. Para isso, foi necessário alta capacidade de processamento e um alto grau de automatização do processo, além da participação de uma comunidade de especialistas em cada bioma e temas transversais (PROJETO MAPBIOMAS, 2019).

O MapBiomias utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil e envolve uma rede colaborativa com especialistas nos diferentes biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação (PROJETO MAPBIOMAS, 2019).

3.3. Análise de Acurácia

A avaliação de qualidade do mapeamento realizado pelo Projeto MapBiomias é feita principalmente pela análise de acurácia, o que permite estimar a taxa de acerto geral, assim como as taxas de acerto e de erro para cada classe mapeada, ou seja, é a análise quantitativa da exatidão do mapeamento. O MapBiomias avaliou a acurácia global e para cada classe de uso e cobertura para todos os anos entre 1985 e 2018, as estimativas da acurácia foram baseadas na avaliação de uma amostra de *pixels*, pré-determinado por

técnicas de amostragem estatística, composta por aproximadamente 75.000 amostras. A análise de cada ano foi realizada por técnicos treinados em interpretação visual de imagens *Landsat*, usando métricas que comparam a classe mapeada com a classe avaliada na base de dados de referência (PROJETO MAPBIOMAS, 2019).

Para o bioma Cerrado, considerando o maior nível de detalhe da legenda (nível 3), a acurácia geral é de 74,8%, essa é a estimativa da proporção de acerto global dos classificadores, sendo obtido conhecendo a percentagens dos erros de discordância de alocação e de discordância de área. A discordância de alocação mede à proporção de erros de deslocamento, para o bioma no nível de legenda selecionado corresponde a 18,7%. Já a discordância de área mede a fração do erro atribuída à quantidade de área atribuída incorretamente às classes pelo mapeamento e representa 6,5% para o bioma (PROJETO MAPBIOMAS, 2019).

3.4. Análise espaço temporal do uso e cobertura do solo

Foram selecionados os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2017 para a análise temporal, realizada a partir da quantificação do uso e cobertura do solo no *software* ArcGIS®, com base na classificação do MapBiomas. A primeira análise foi feita com todas as classes definidas na classificação da base de dados, sendo: Formação Florestal, Formação Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre, Pastagem, Cultura Anual e Perene, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura Urbana, Afloramento Rochoso, Mineração e Rio/Lago). Subsequentemente, foi gerada uma reclassificação em duas classes, Área nativa (Formação Florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Afloramento Rochoso e Rio/Lago) e Área antropizada (Floresta Plantada, Pastagem, Cultura Anual e Perene, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Infraestrutura Urbana e Mineração).

Estimou-se o desmatamento na área e período de estudo a partir da soma dos percentuais das áreas de floresta plantada, pastagem, cultura anual e perene, mosaico de agricultura e pastagem, infraestrutura urbana e mineração.

3.5. Análise da fragmentação Florestal

As estatísticas para a descrição e análise da fragmentação da paisagem foram geradas utilizando a ferramenta *Patch Analyst 2.0* (Analisador de Manchas), uma extensão gratuita, do *software* ArcGis. Esta extensão foi desenvolvida por Rob Rempel

que utiliza o modelo *Fragstat* para descrever a paisagem. O *Fragstat* calcula diversas estatísticas simples que representam a área, extensão e perímetro (ou borda) nos níveis de fragmento, classe e paisagem (MCGARIGAL, 2015).

O *Patch Analyst* é comumente usado para análise de padrão espacial em suporte de modelagem de habitat, conservação da biodiversidade e manejo florestal, pois facilita a análise espacial das métricas de paisagem e a modelagem dos atributos associados diretamente no ArcGIS, sendo possível caracterizar o padrão de fragmentos e atribuir valores com base em combinações de atributos (REMPEL, 2007). No presente estudo foram analisadas camadas no formato *raster*, sendo necessário utilizar o *Patch Grid*, disponibilizado pelo próprio *Patch Analyst 2.0*.

Por se tratar de uma área extensa, a extensão *Patch Grid* não suportou realizar as análises dos dados com resolução espacial de 30m. Assim, no presente estudo, a fragmentação da paisagem foi analisada usando os dados de uso e cobertura da terra reamostradas de 30 m para 210 m utilizando a ferramenta *Resample* do *software* ArcGis. A partir da reclassificação (Área natural e Área antropizada) dos mapas de uso e cobertura da terra nos anos selecionados (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2017), foi conduzida a avaliação da fragmentação da paisagem por classe de tamanho, com foco nas classes que compunham todos os tipos de vegetação nativa.

Com base na literatura, foram escolhidos oito índices de paisagem e separadas em quatro grupos (Tabela 1), com sentido de evitar a utilização de métricas redundantes e de modo a abranger métricas de Área e Densidade, Forma, Área Central e Proximidade.

Tabela 1- Métricas de paisagem selecionadas

| Grupo | Sigla | Índices (unidade) |
|-------------------------|--------------|---|
| <i>Área e Densidade</i> | NUMP | Número de fragmentos (adimensional) |
| | MPS | Tamanho médio dos fragmentos (hectare) |
| | ZLAND | Porcentagem de fragmentos da mesma classe (%) |
| | PSCoV | Coefficiente de variação do tamanho (%) |
| <i>Forma</i> | MSI | Índice de forma médio (adimensional) |
| | MPFD | Dimensão fractal média (adimensional) |
| <i>Área Central</i> | TCAI | Índice de área central total (%) |
| <i>Proximidade</i> | MPI | Índice médio de proximidade (adimensional) |

A Teoria da Biogeografia de Ilhas de MacArthur e Wilson (1967) foi elaborada para presumir a quantidade de espécies que uma ilha suporta, considerando o tamanho e o balanço entre a extinção e imigração. Para estudos de fragmentação da paisagem a teoria foi adaptada, já que os fragmentos de florestas assemelham-se a ilhas (PÉRICO *et al.*, 2005).

3.5.1. Métricas da paisagem

Métricas da paisagem são algoritmos que quantificam características espaciais específicas de fragmentos, classes de fragmentos, ou inteiro mosaico da paisagem, com referencia a índices desenvolvidos para padrões de mapas categóricos (COUTO, 2004).

3.5.1.1. Métricas de Área e Densidade

Foi calculado o Número de fragmentos (NUMP) em nível de fragmento que mede a quantidade de fragmentos para cada classe de uso do solo. Em nível de classe foram

calculados a Porcentagem de fragmentos de mesma classe (ZLAND), Tamanho médio dos fragmentos (MPS) e o Coeficiente de variação do tamanho da mancha (PSCOV).

3.5.1.2. Métricas de Forma

A complexidade da forma é relacionada com a geometria dos fragmentos, tendem a ser simples e compactas, ou irregulares e convolutas (COUTO, 2004). Para mensurar a forma dos fragmentos foram selecionadas duas métricas em nível de classe: Índice de forma médio dos fragmentos (MSI) e a Dimensão fractal média (MPFD), que mede a complexidade das formas dos fragmentos.

Segundo McGarigal (1995) o Índice de forma médio = 1 quando o fragmento é circular (vetor) ou quadrado (*raster*) e aumenta infinitamente conforme o formato do fragmento se torna mais irregular, já a Dimensão fractal média varia de 1 (manchas com formas mais simples e regulares) a 2 (manchas mais alongadas e complexas).

3.5.1.3. Métricas de Área Central

O índice de área central total (TCAI) estima a área de interior dos fragmentos em porcentagem, onde TCAI = 0 quando a paisagem não contém nenhuma área central para o tipo de fragmento correspondente (MCGARIGAL, 2015).

Segundo McGarigal (1995), o TCAI pode ser um melhor indicativo da qualidade dos fragmentos do que sua área total, pois é afetado diretamente pela forma e a borda dos fragmentos. Ou seja, fragmentos grandes podem ser estreitos a ponto de possuírem pouca área preservada no interior e serem insuficientes para sustentar algumas espécies (TURNER & GARDNER, 1990).

3.5.1.4. Métricas de Proximidade

Índice médio de proximidade (MPI) foi a métrica aplicada na análise de proximidade e isolamento, no presente estudo foi usado o valor padrão do *Patch Grid*, sendo o raio de procura de 1.000.000m. Esse índice quantifica a distância borda a borda entre fragmentos com base no vizinho mais próximo no mesmo tipo de vegetação (MCGARIGAL, 1995).

O MPI varia de zero a infinito, onde MPI = 0 se todos os fragmentos do tipo de classe correspondente não tiverem vizinhos do mesmo tipo dentro do raio de pesquisa

especificado. O MPI aumenta conforme os fragmentos correspondente se tornam menos isolados (MCGARIGAL, 2015).

3.6. Fragmentação Direcional

O estudo da fragmentação direcional foi baseado na metodologia desenvolvida por Leal (2016), onde são atribuídos valores de fricção as classes de uso para cada *pixel* que compõe a imagem de entrada, esses valores de fricção correspondem à dificuldade de percolação ou não da fauna na paisagem. A partir da imagem com os valores de fricção é calculado o caminho de menor custo (*cost path*) por meio da extensão *Spatial Analyst* do ArcGis (LEAL, 2016).

Baseado nos valores de fricção adotados por Pinto e Keitt (2009), os valores definidos no presente estudo variam de 0 a 1, onde quanto mais antropizada a classe de uso do solo, maior os valores de fricção (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de fricção para as classes de uso e cobertura do solo

| Classe de uso/cobertura do solo | Valor de fricção |
|-----------------------------------|------------------|
| Formação Florestal | 0 |
| Formação Savânica | 0 |
| Floresta Plantada | 0,5 |
| Formação Campestre | 0 |
| Pastagem | 0,75 |
| Cultura Anual e Perene | 0,65 |
| Mosaico de Agricultura e Pastagem | 0,75 |
| Infraestrutura Urbana | 1 |
| Afloramento Rochoso | 0,5 |
| Mineração | 1 |
| Rio e Lago | 0,75 |

3.6.1. Caminho de menor custo

Com o objetivo de verificar na paisagem, alguma indicação sobre a direção mais fragmentada no último ano analisado (2017), os pontos de referência (origem e destino) para determinar o caminho de menor custo foram definidos, segundo a metodologia proposta por Leal (2016), com um padrão direcional.

No presente estudo as direções designadas foram nos sentidos norte-sul/sul-norte, nordeste-sudoeste/sudoeste-nordeste, leste-oeste/oeste-leste e sudeste-noroeste/noroeste-sudeste (Figura 2).

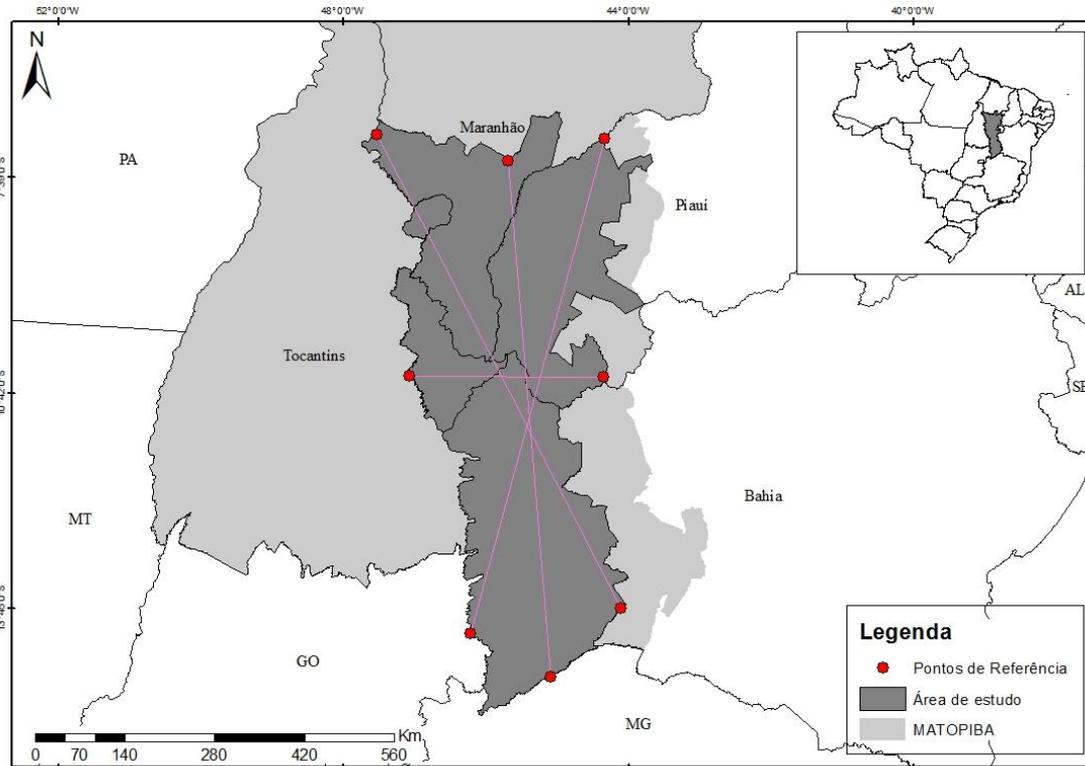


Figura 2 - Direções e pontos de origem/destino utilizados na análise de fragmentação direcional

Foi utilizado os valores de fricção e os pontos de origem e destino para gerar para cada direção adotada as matrizes de custo de distância (*cost distance*) + conexão de retorno (*backlink*) e o caminho de menor custo (*cost path*), utilizando as ferramentas disponíveis na extensão *Spatial Analyst* do ArcGis.

Para gerar o caminho de menor custo foi usado como input as imagens geradas do *cost distance* e *backlink*, além dos pontos de destino para cada direção estudada. Conforme sugerido por Leal (2016), os valores dos caminhos de menor custo foram normalizados (Equação 1) para facilitar a comparação dos resultados entre os caminhos estimados, pois cada direção apresenta comprimento diferente.

$$Cost\ path\ norm = \frac{cost\ path\ calc}{cost\ dist\ max} \quad (\text{Equação 1}).$$

Onde: *cost path calc* = é o valor calculado do caminho de menor custo a partir do ponto de origem; *cost dist max* = é o valor do maior custo acumulado no ponto de destino.

O custo para percolar a paisagem aumenta de acordo com o grau de fragmentação em uma determinada direção, ou seja, caminhos muito fragmentados apresentam altos custos. O resultado dessa normalização forneceu o grau de fragmentação direcional da paisagem, os dados foram plotados em um gráfico do tipo *spider diagram* para facilitar a visualização dos diferentes graus de fragmentação da paisagem, em cada direção estudada (MENDES, 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Mudanças no Uso e Cobertura da Terra

Os resultados do mapeamento da dinâmica do uso e cobertura da terra apontaram uma diminuição de área natural e aumento de área antropizada, principalmente áreas de cultura anual e perene, sendo que a área ocupada pela classe aumentou mais de 28 vezes no período de estudo (Tabela 3). Em 1985 o desmatamento correspondia a 9% da região, um total de 1.955.478,8 hectares desmatados, já em 2017, as taxas aumentaram para 23%, abrangendo um total de 4.826.981 hectares.

As taxas de desmatamento foram mais expressivas a partir de 2000, onde as áreas de Cultura anual e perene aumentaram 250% entre os anos de 2000 e 2017. Já a classe de Formação Savânica teve uma redução de 14% no período de 2000 a 2017 (Tabela 3).

Tabela 3 Área das classes de Uso e Cobertura do Solo

| Uso/Cobertura do Solo | 1985 | | 1990 | | 1995 | | 2000 | | 2005 | | 2010 | | 2015 | | 2017 | |
|--|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|
| | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % | Área (ha) | % |
| Formação Florestal | 2.715.201,0 | 12,7% | 2.649.849,0 | 12,4% | 2.593.537,0 | 12,1% | 2.512.971,0 | 11,7% | 2.460.449,0 | 11,5% | 2.335.804,0 | 10,9% | 2.180.845,0 | 10,2% | 2.245.413,0 | 10,5% |
| Formação Savânica | 10.754.697,9 | 50,2% | 10.608.818,4 | 49,5% | 10.420.251,2 | 48,7% | 10.173.672,1 | 47,5% | 9.499.022,2 | 44,4% | 9.266.930,4 | 43,3% | 8.846.011,6 | 41,3% | 8.754.218,8 | 40,9% |
| Floresta Plantada | 79,6 | 0,0% | 848,3 | 0,0% | 18.817,0 | 0,1% | 16.910,1 | 0,1% | 209,6 | 0,0% | 327,6 | 0,0% | 4.421,2 | 0,0% | 4.857,5 | 0,0% |
| Formação Campestre | 5.944.238,0 | 27,8% | 6.376.495,0 | 29,8% | 6.413.983,0 | 30,0% | 6.264.630,0 | 29,3% | 6.235.488,0 | 29,1% | 6.096.798,0 | 28,5% | 5.608.117,0 | 26,2% | 5.533.614,0 | 25,8% |
| Pastagem | 261.960,0 | 1,2% | 273.748,0 | 1,3% | 337.256,6 | 1,6% | 439.720,7 | 2,1% | 439.284,5 | 2,1% | 493.566,4 | 2,3% | 508.724,0 | 2,4% | 573.329,4 | 2,7% |
| Cultura Anual e Perene | 130.837,1 | 0,6% | 485.468,3 | 2,3% | 689.287,2 | 3,2% | 1.072.370,0 | 5,0% | 1.995.978,0 | 9,3% | 2.500.599,0 | 11,7% | 3.720.956,0 | 17,4% | 3.756.001,0 | 17,5% |
| Mosaico de Agricultura e Pastagem | 1.555.565,0 | 7,3% | 966.427,5 | 4,5% | 891.314,1 | 4,2% | 880.902,8 | 4,1% | 731.182,7 | 3,4% | 666.698,5 | 3,1% | 480.002,3 | 2,2% | 480.211,1 | 2,2% |
| Infraestrutura Urbana | 7.034,9 | 0,0% | 6.749,0 | 0,0% | 6.903,5 | 0,0% | 7.367,6 | 0,0% | 8.320,7 | 0,0% | 10.005,4 | 0,0% | 12.081,6 | 0,1% | 12.579,8 | 0,1% |
| Afloramento Rochoso | 31.565,0 | 0,1% | 31.306,9 | 0,1% | 31.190,0 | 0,1% | 31.249,9 | 0,1% | 30.817,6 | 0,1% | 30.292,8 | 0,1% | 28.758,2 | 0,1% | 28.829,8 | 0,1% |
| Mineração | 2,3 | 0,0% | 2,0 | 0,0% | - | 0,0% | 0,1 | 0,0% | 1,3 | 0,0% | 2,3 | 0,0% | 0,7 | 0,0% | 2,3 | 0,0% |
| Rio e Lago | 14.390,8 | 0,1% | 15.859,2 | 0,1% | 13.031,9 | 0,1% | 15.777,3 | 0,1% | 14.818,0 | 0,1% | 14.547,2 | 0,1% | 25.653,9 | 0,1% | 26.514,9 | 0,1% |

As áreas de vegetação nativa foram significativamente afetadas pelo desmatamento. Enquanto em 1985 as áreas de formação savânica cobriam 50,2% da região (10.754.697,9 ha), em 2017 foram reduzidas para 40,9% (8.754.218,8 ha). As áreas de cultivos anuais e perenes aumentaram de 0,6% para 17,5% da zona de estudo, correspondente a uma expansão de 3.625.163,9 ha. A áreas de pastagens abrangiam 1,2% da área de estudo em 1985 e em 2017 ocupavam 2,7% daquela paisagem (Figura 3).

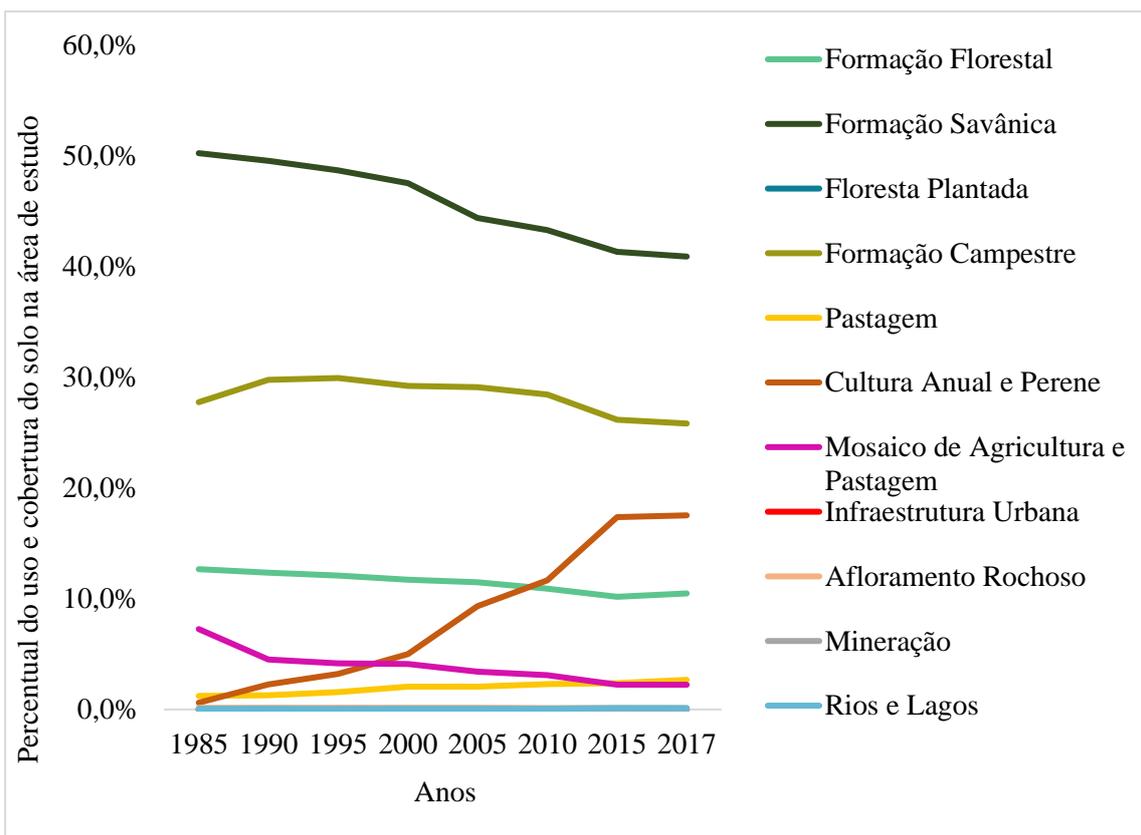


Figura 3 - Mudança percentual das classes de uso e cobertura do solo na região de estudo

As áreas ocupadas por corpos d'água na região de estudo, classificadas como Rios e Lagos, tiveram uma participação inexpressiva na paisagem, assim como Infraestrutura urbana, Afloramento rochoso, Floresta plantada e Mineração. Mais detalhes da distribuição espacial das mudanças de uso e cobertura da terra na área de estudo estão apresentados na Figura 4.

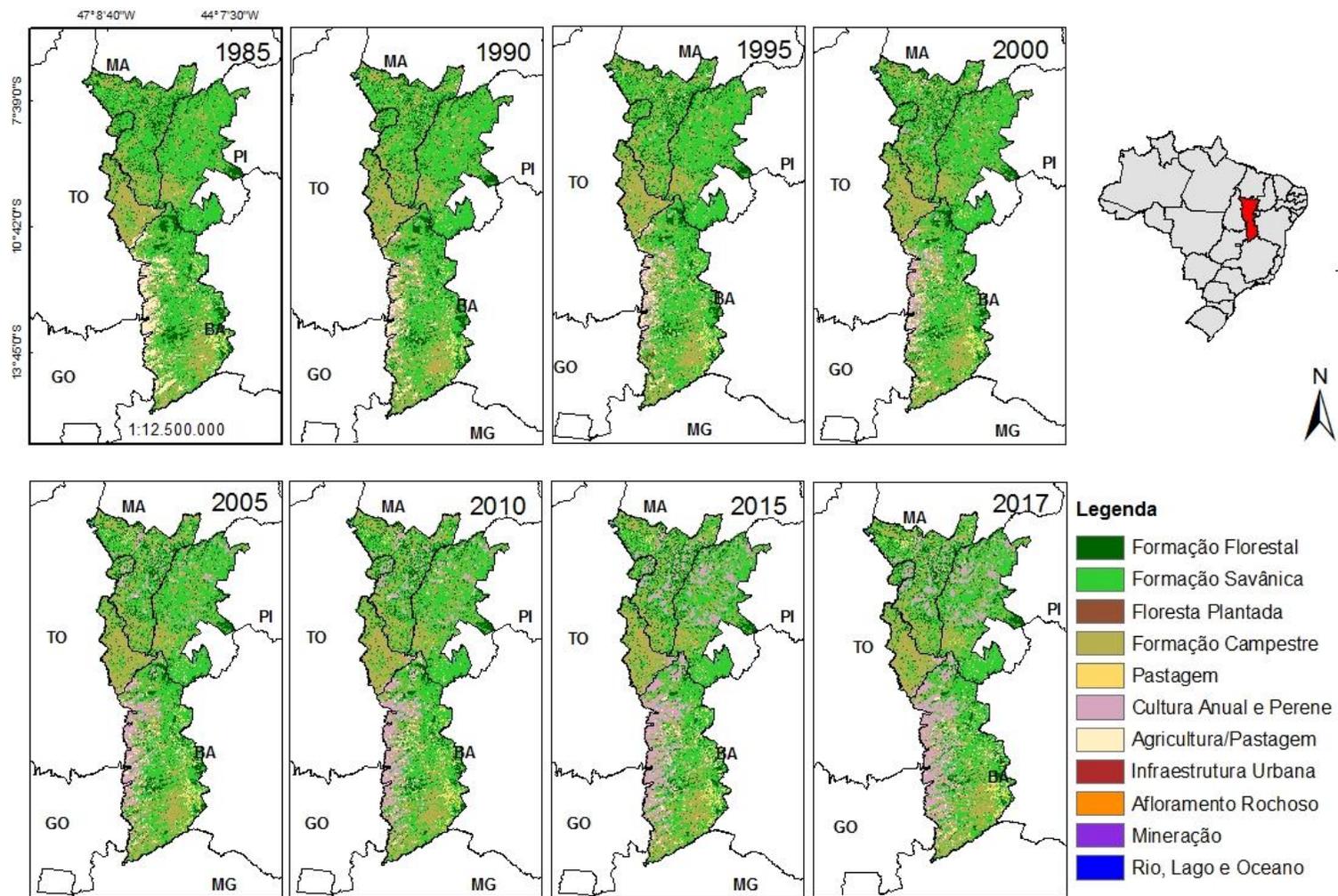


Figura 4 - Dinâmica do Uso e Cobertura do Solo nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2017

4.2. Análise da Fragmentação da Paisagem

O número total de fragmentos de área natural, somando as diferentes classes de tamanho, aumentou em quase 7% ao longo do período de estudo. Como efeito do desmatamento ocorrido, a área total dos fragmentos remanescentes diminuiu no decorrer do período de análise (Figura 5), resultando numa redução de 14,1% entre 1985 e 2017.

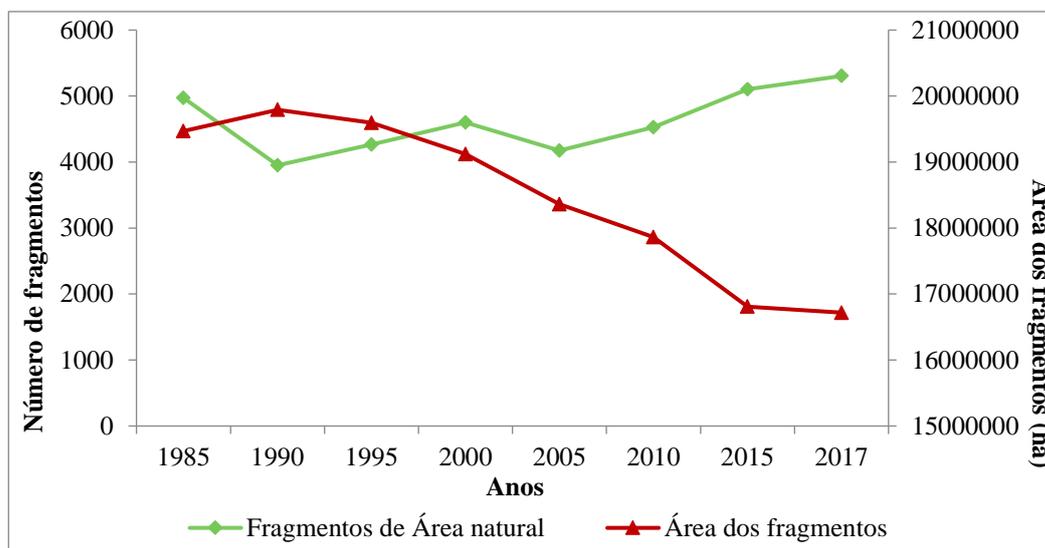


Figura 5 - Número de fragmentos e área ocupada na classe de área natural

Quando organizados em classes de tamanho, nota-se que os fragmentos de área natural aumentaram em todas as classes no decorrer do período na área de estudo. Observou-se que os fragmentos maiores ocuparam a maior parte da região estudada, apesar de serem menos numerosos, e fragmentos de tamanho menor predominaram em quantidade na paisagem e em todo o período de análise. A Tabela 4 apresenta a variação do número de fragmentos de área natural por classe de tamanho e a porcentagem de área ocupada por cada classe de tamanho na área de estudo nos anos de 1985, 2000, 2010 e 2017.

Tabela 4 - Número de fragmentos da área natural e porcentagem da área ocupada por classe de tamanho

| Classes de tamanho | 1985 | | 2000 | | 2010 | | 2017 | |
|--------------------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
| | Nº fragmentos | Área (%) |
| < 10 | 2345 | 0,24 | 2608 | 0,17 | 2459 | 0,17 | 2869 | 0,22 |
| 10- 100 | 2341 | 0,33 | 1729 | 0,27 | 1756 | 0,28 | 2085 | 0,37 |
| 100 - 500 | 240 | 0,24 | 217 | 0,24 | 264 | 0,30 | 292 | 0,37 |
| 500 - 1000 | 28 | 0,10 | 23 | 0,09 | 27 | 0,11 | 33 | 0,15 |
| >1000 | 19 | 99,08 | 25 | 99,24 | 20 | 99,13 | 25 | 98,90 |

Como no estudo de Mendes (2018) e Ribeiro *et al.* (2009), paisagens muito fragmentadas apresentam a distribuição dos fragmentos por classe de tamanho em “J” invertido. Isto significa que muitos fragmentos ocupam as primeiras classes de distribuição, porém, abrangem pequenas áreas da paisagem.

Para gerar a série temporal da fragmentação da paisagem entre 1985 e 2017 na área de estudo (Figura 6), as classes originais de uso e cobertura da terra foram reclassificadas utilizando a ferramenta *Reclassify* do *software* ArcGIS, em novas classes (Área natural e Área antropizada), no qual observou-se um aumento de 146% da classe área antropizada.

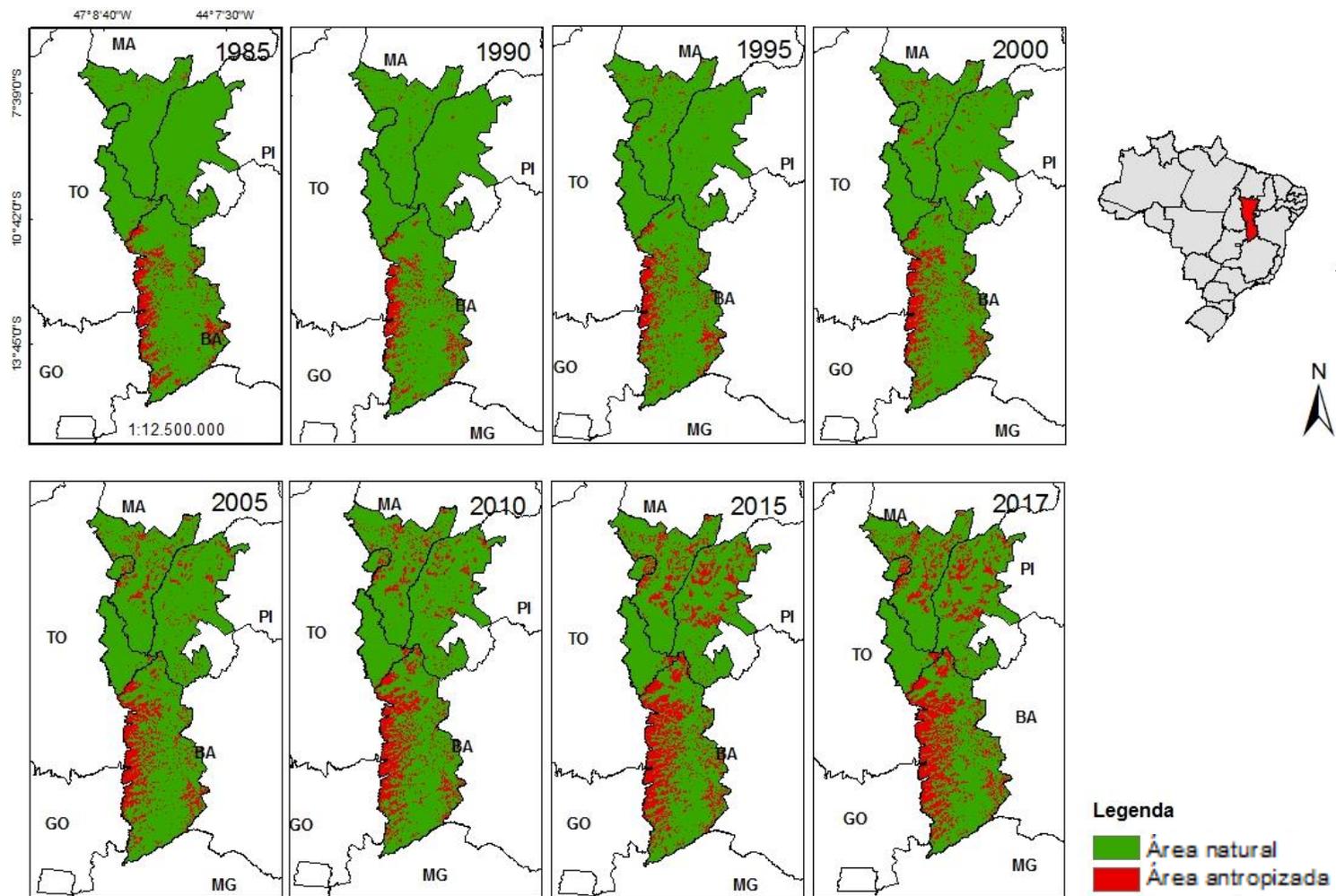


Figura 6 - Mudanças na fragmentação da paisagem na área de estudo.

4.2.1. Métricas de Paisagem

Os resultados para as métricas de paisagem abordam toda a classe de área natural, ou seja, não tem distinção de classe de tamanho.

4.2.1.1. Área e Densidade

Os valores para as métricas de área e densidade mostram que o índice de tamanho médio dos fragmentos (MPS) e a porcentagem de fragmentos da classe (ZLAND) diminuíram enquanto o número de fragmentos (NUMP) aumentou no decorrer dos anos de análise (Tabela 5). Estes resultados sugerem que fragmentos maiores estão sendo convertidos em fragmentos menores.

Tabela 5 - Índices de área e densidade

| Índices | 1985 | 2000 | 2010 | 2017 |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| NUMP | 4973 | 4602 | 4526 | 5304 |
| MPS | 3915,23 | 4130,30 | 3922,88 | 3129,70 |
| ZLAND | 90,87 | 88,71 | 82,87 | 77,47 |
| PSCoV | 6999,16 | 6735,25 | 6677,23 | 7214,84 |

Segundo Pereira *et al* (2001) o tamanho médio dos fragmentos deve ser analisado com atenção para o desvio padrão, pois se o desvio padrão for muito grande, é possível que haja grandes fragmentos preservados, mesmo com um tamanho médio relativamente baixo. No presente estudo, o coeficiente de variação do tamanho da mancha (PSCoV) apresentou altos valores, em média 6700%, indicando a existência de fragmentos com tamanhos de área muito acima e/ou muito abaixo do valor médio.

Os fragmentos grandes são importantes para a manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos em larga escala e fragmentos menores funcionam como elementos de conexão entre grandes áreas, além de serem refúgio para algumas espécies (CERQUEIRA, 2016).

4.2.1.2. Métricas de forma

O índice de forma médio (MSI) não apresentou grandes variações ao longo dos anos e no período estudado, como observado na Tabela 6. Os valores foram entre 1,21 e 1,23, indicando que a paisagem possui fragmentos de forma mais simples e regulares (MCGARIAL, 1995).

Os valores da dimensão fractal média (MPFD) permaneceram iguais entre 1985 e 2017, sendo MPFD = 1,02, o que valida os resultados do índice de forma médio, pois apresentaram valores próximos a 1 (Tabela 6), sugerindo que, conforme as estatísticas calculadas, os fragmentos da área de estudo possuem forma próxima a circular, pois a complexidade da forma está associada com a geometria das manchas (COUTO, 2004).

Esses resultados indicam que os fragmentos são menos afetados pelo efeito de borda. O efeito de borda é um importante aspecto que afeta negativamente a vegetação nativa (NASCIMENTO & LAURANCE, 2006).

Tabela 6 - Índices de forma

| Índices | 1985 | 2000 | 2010 | 2017 |
|-------------|------|------|------|------|
| MSI | 1,23 | 1,22 | 1,21 | 1,21 |
| MPFD | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 |

Apesar dos fragmentos serem menos impactados com os efeitos de borda, não anula as consequências do desmatamento, como: o aumento da fragmentação da paisagem natural, degradação do solo e dos recursos hídricos, a diminuição da biodiversidade e a diminuição dos serviços ambientais (CERQUEIRA, 2016).

4.2.1.3. Métricas de área central

De acordo com McGarigal e Marks (1995), área central de um fragmento de floresta é um melhor indicativo da qualidade dos fragmentos do que sua área total, pois é afetada diretamente pela forma e a borda dos fragmentos. Dessa maneira, um fragmento depende do tamanho da sua área central para manter a integridade de sua estrutura natural, pois mesmo fragmentos grandes podem ser estreitos a ponto de serem insuficientes para sustentar algumas espécies (TURNER E GARDNER, 1990).

No presente estudo, o índice de área central total (TCAI) apresentou altos valores, isso pode ser explicado pelo fato de a maior parte da área de vegetação nativa remanescente na área de estudo estar inserida em grandes fragmentos (>1000 ha) e, conseqüentemente, o efeito borda dos fragmentos têm pouca influência na área central.

Como observado na Tabela 7, os valores obtidos para TCAI apontaram uma diminuição ao longo do período estudado, esta tendência é decorrente do aumento do desmatamento na região, que prejudica diretamente o tamanho da área central dos fragmentos, segundo Turner e Gardner (1990).

Tabela 7 - Índice de área central

| Índice | 1985 | 2000 | 2010 | 2017 |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| TCAI | 94,27 | 93,27 | 92,22 | 90,57 |

4.2.1.4. Métricas de proximidade

Especialmente, quanto mais distante e menos próximos um fragmento natural em relação a outro da mesma classe, menor será o valor de proximidade (MACGARIGAL & MARKS, 1995), indicando maior isolamento dos fragmentos.

O índice médio de proximidade (MPI) não apresentou resultados iguais a zero, indicando que em todos os anos desta análise os fragmentos de área natural possuíam vizinhos da mesma classe, porém nota-se um decréscimo nos valores ao longo dos anos (Tabela 8). Segundo Mendes (2018), a predominância e considerável abundância de vegetação nativa na área de estudo pode estar relacionado com os resultados obtidos, pois os fragmentos maiores ocupam grandes áreas da paisagem.

Tabela 8 - Índice médio de proximidade

| Índice | 1985 | 2000 | 2010 | 2017 |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| MPI | 1.888.196,90 | 2.075.615,29 | 1.878.733,21 | 1.648.269,90 |

4.3. Fragmentação direcional

Os resultados das estimativas da fragmentação direcional para o ano analisado (2017) foram plotados no gráfico *spider diagram* (Figura 7) para facilitar a perspectiva da indicação do sentido da fragmentação e para auxiliar a interpretação dos dados utilizou-se o histograma (Figura 8).

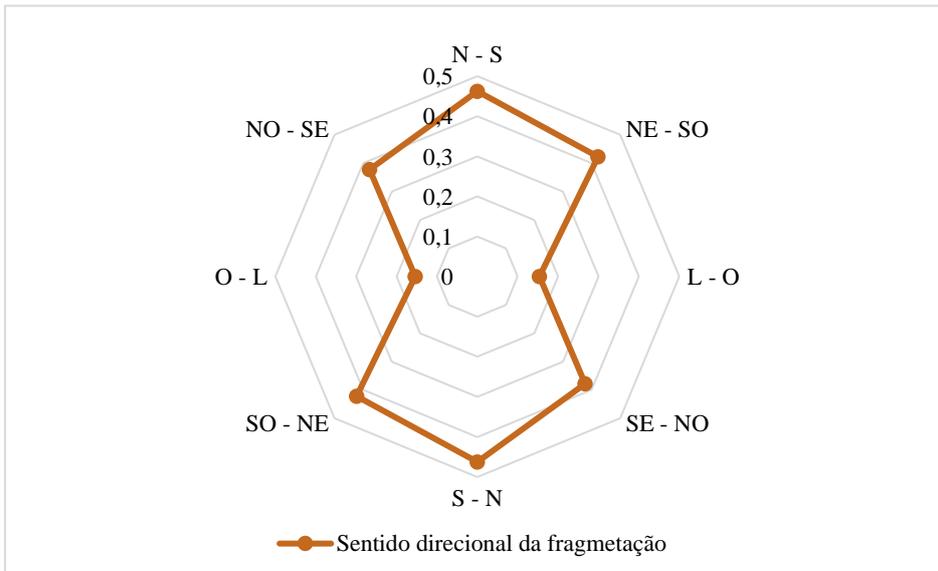


Figura 7 - Spider diagram indicando o sentido direcional da fragmentação no ano de 2017

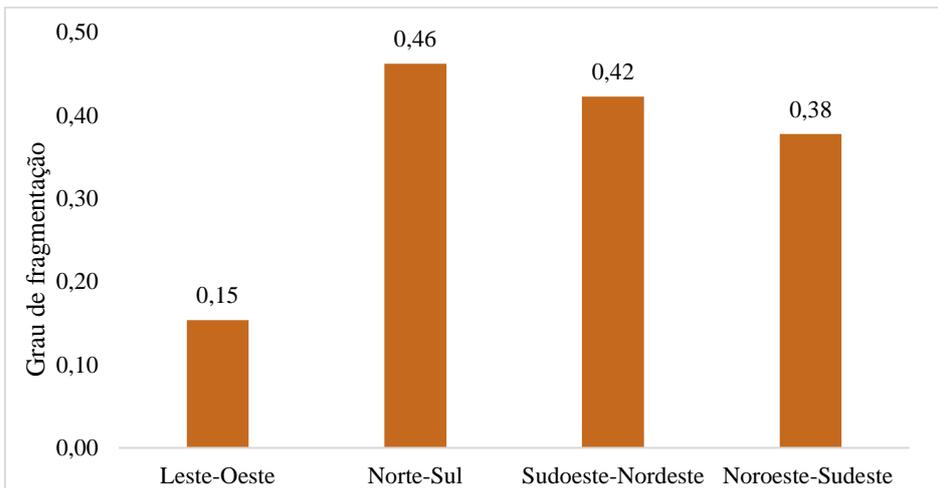


Figura 8 - Histograma representando a fragmentação direcional no ano de 2017

Os resultados obtidos foram próximos ao estudo realizado por Mendes (2018), onde o sentido leste-oeste apresentou menor grau de fragmentação direcional. Isto pode ser explicado pela presença de Unidades de Conservação nesta direção, como o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba e da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.

O sentido norte-sul teve o maior grau de fragmentação e o sentido sudoeste-nordeste também apresentou um grau elevado, que pode estar relacionado com a ausência de unidades de conservação nessas direções, favorecendo a ampliação de áreas desmatadas para implantação de áreas agrícolas ou de pecuária (MENDES, 2018).

5. CONCLUSÃO

A partir dos dados do uso e cobertura da terra e a análise dos índices de ecologia da paisagem, conclui-se que a área natural teve uma grande redução durante o período e área de estudo. As áreas desmatadas foram ocupadas predominantemente por culturas anual e perene, que também teve forte impacto na fragmentação da paisagem estudada. O desmatamento teve um aumento expressivo a partir dos anos 2000, o que coincide com o aumento da produção de *commodities* agrícolas como a soja, milho e algodão da região MATOPIBA.

Apesar das altas taxas de desmatamento, a região é majoritariamente ocupada por fragmentos grandes (>1000ha) espacialmente, embora existam maior quantidade de fragmentos pequenos. De forma geral, o número de fragmentos de área natural está aumentando e a área total ocupada pela classe está reduzindo ao longo do período estudado.

Os fragmentos apresentaram formas simples e regulares e boa proximidade, o que reduz consequências quanto ao efeito de borda, mas não anula aos graves danos aos efeitos ambientais.

O estudo direcional da fragmentação indica que a presença de Unidades de Conservação contribui fortemente para reduzir a fragmentação direcional, favorecendo a formação de corredores ecológicos. A direção mais fragmentada foi aquela com menor quantidade de unidades de Conservação (norte-sul), o que é indicativo para definições de políticas e estratégias de conservação do meio ambiente nestas áreas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Portal de Metadados Geoespaciais**. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home> > Acessado em: 20 de julho de 2020.

ANDREN, H., 1994. **Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review**. *Oikos*, 355-366.

CERQUEIRA, M. C. DE., 2016. **Estudo do uso da terra e fragmentação da vegetação natural na reserva de desenvolvimento sustentável Nascentes Geraizeiras no norte de Minas Gerais, Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, 109p.

COUTO, P., 2004. **Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS**. *Investigação Operacional*, 24(1), pp.109-137..

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Coordenação Geral De Observação Da Terra. TerraBrasilis**. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>> . Acesso em: 18 de setembro de 2020.

FROHN, R. C., MCGWIRE, K. C., DALE, V. H., & ESTES, J. E., 1996. **Using satellite remote sensing analysis to evaluate a socio-economic and ecological model of deforestation in Rondonia, Brazil**. *Remote Sensing*, 17(16), 3233-3255.

LEAL, F.A. (2016). **Simulação e avaliação dos efeitos de padrões do desmatamento na dinâmica da paisagem em São Félix do Xingu/PA**. Tese de doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPGEFL.TD-070/2016. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília (UnB), Brasília/DF, 2016. 159p.

MACARTHUR, R. H. & WILSON, E. O ., 1967. **The theory of island biogeography**. Princeton. University Press, Princeton

MAGALHÃES, L. A.; MIRANDA, E. E. DE. MATOPIBA, 2014: **Quadro Natural - Nota Técnica 5**. Embrapa Territorial-Outras publicações técnicas p. 1–41.

MARTINS, I. C. D. M.; SOARES, V. P.; SILVA, E.; BRITES, R. S., 2002. **Diagnóstico ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais “ipucas” no município de Lagoa da Confusão, Tocantins**. *Revista Árvore*, v. 26, n. 3, p. 299–309.

MCGARIGAL, K., 1995. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure** (Vol. 351). US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

MCGARIGAL, K., 2015. **FRAGSTATS help**. University of Massachusetts: Amherst, MA, USA.

MENDES, T. J., 2018. **Fragmentação e viabilidade de corredores ecológicos na região do MATOPIBA**.

MIRANDA, E. E., MAGALHÃES, L. A., & CARVALHO, C. A., 2014. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. Embrapa Territorial-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E).

NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F., 2006. **Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento**. Acta Amazônica v. 36, n. 2, p. 183-192.

PEREIRA, C. N.; PORCIONATO, G. L.; CASTRO, C. N. de., 2018. **Aspectos socioeconômicos da região do Matopiba**. Boletim Regional, Urbano e Ambiental (IPEA), v. 18, p. 47–59.

PEREIRA, J.L.G.; BATISTA, G.T.; THALÊS, M.C.; ROBERTS, D.A.; VENTURIERI, A., 2001. **Métricas da paisagem na caracterização da evolução da Amazônia**. Geografia, v.26, n.1, p. 59-90.

PÉRICO, E., CEMIN, G., LIMA, D. D., & REMPEL, C., 2005. **Efeitos da fragmentação de habitats sobre comunidades animais: utilização de sistemas de informação geográfica e de métricas de paisagem para seleção de áreas adequadas a testes**. In XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto (Vol. 12, pp. 2339-2346).

PINTO, N.; KEITT, T. H., 2009. **Beyond the least-cost path: Evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach**. Landscape Ecology, v. 24, n. 2, p. 253–266.

PIROVANI, D. B., 2010. **Fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES**. 121 p (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre).

PROJETO MAPBIOMAS, 2019 – **Coleção v.5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>> Acesso em: 06 de setembro de 2020.

PROJETO PROBIO – 2008. Projeto Nacional de Ações Integradas Público-Privadas para a Biodiversidade. Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros – Probio. Disponível em: https://mapbiomas.org/pages/database/reference_maps. Acesso em: 11 de dezembro de 2020.

REMPEL, R., 2007. **Patch Analyst for ArcGIS** Disponível em: <<http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/ecology/papers/patchanalyst.pdf> >. Acesso em: 15 de agosto de 2020.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T., 1998. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.), 1998. Cerrado: ambiente e flora. Brasília: Embrapa Cerrados. p. 89-166

RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J., & HIROTA, M. M., 2009. **The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation**. Biological conservation, 142(6), 1141-1153.

RUDORFF, B.; RISSO, J., 2018. **Análise Geoespacial da Dinâmica da Soja no Bioma Cerrado: 2014 a 2017**. [S.l.]. Disponível em: < https://abiove.org.br/wp-content/uploads/2019/02/12022019-125848-12.02.2019_analise_geoespacial_da_dinamica_da_soja_no_bioma_cerrado_2014_a_2017_v02.pdf>. Acesso em: 7 de outubro de 2020

TURNER, M. G., & GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer-Verlag, 1990.