

Matheus Flesch Soligo

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DE MÉTRICAS DA FRAGMENTAÇÃO DA
PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAROMBAS (SC)**

Curitibanos

2018



Matheus Flesch Soligo

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DE MÉTRICAS DA FRAGMENTAÇÃO DA
PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAROMBAS (SC)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado à Banca Examinadora da Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos,
como requisito para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre ten Caten

Curitibanos

2018

Soligo, Matheus Flesch

AValiação Temporal de Métricas da Fragmentação da Paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Marombas (SC) / Matheus Flesch Soligo ; orientador, Alexandre ten Caten, 2018.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

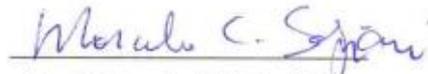
1. Engenharia Florestal. 2. Sistemas de Informações Geográficas. 3. Cobertura da terra . 4. Fragmentação da paisagem. 5. Análises da fragmentação. I. ten Caten, Alexandre . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Matheus Flesch Soligo

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DE MÉTRICAS DA FRAGMENTAÇÃO
DA PAISAGEM NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
MAROMBAS (SC)**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia florestal e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora.

Curitibanos, 29 de junho de 2018.



Prof. Marcelo Scipioni, Dr.

Coordenador do Curso

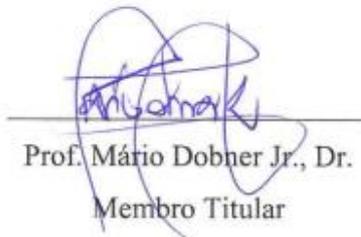
Banca Examinadora:



Prof. Alexandre ten Caten, Dr.

Orientador

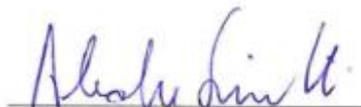
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Mário Dobner Jr., Dr.

Membro Titular

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Alexandre Siminski, Dr.

Membro Titular

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família, que sempre esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os membros da minha família que de alguma forma me auxiliaram na realização deste trabalho, em especial aos meus pais Gilberto e Rose, por serem a principal razão de eu chegar até aqui, por me darem apoio e me incentivarem, aos meus avós que são pessoas exemplares aos quais eu me espelho, ao meu tio Fabio por ser um grande conselheiro e amigo e a minha namorada Gabriela pelo amor e companheirismo.

Aos professores da UFSC que estiveram presentes em minha vida ao longo dos últimos 5 anos, em especial ao meu professor e orientador Alexandre ten Caten por acreditar em mim e sempre estar disposto a ajudar, e a banca examinadora por aceitar o convite e avaliar o meu trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos pela oportunidade de aprendizado e por me proporcionar crescimento pessoal e profissional.

Ao Doutorando José Lucas Safanelli por fazer os mapas de cobertura da terra utilizados no presente trabalho.

A todos os meus amigos, em especial ao Gustavo Mozzer, Gustavo Tomio e Matheus Giovanni por serem companheiros desde o primeiro mês de ingresso na universidade.

A todos os profissionais das áreas administrativas do Campus pelos serviços prestados durante a graduação.

Muito obrigado!!!

RESUMO

A Mata Atlântica, remanescente na bacia hidrográfica do rio Marombas, encontra-se bastante fragmentada. Os conhecimentos sobre a fragmentação florestal e a cobertura da terra são fundamentais para entender os efeitos da substituição de áreas com vegetação natural por áreas antropizadas. A formação de fragmentos aumenta os efeitos de borda, altera o equilíbrio natural e prejudica a biodiversidade. O objetivo deste trabalho foi analisar quantitativamente a fragmentação da cobertura da terra no território pertencente a bacia hidrográfica do rio Marombas (SC) utilizando mapas de cobertura da terra e métricas da paisagem. Os mapas de cobertura da terra foram criados para os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017, a partir de bandas espectrais dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, índices espectrais e bandas de avaliação de qualidade. A execução das métricas foi realizada através do plugin LecoS adaptado a programa QGIS. As métricas foram selecionadas com base em pesquisas na literatura já existente. Foi observado o aumento da incidência de borda e a desagregação das manchas florestais em consequência da crescente fragmentação da paisagem e das manchas obterem formatos irregulares ao longo dos anos. Além disso, notou-se a expansão das classes de agricultura e silvicultura em detrimento (do desmatamento) de florestas nativas no intervalo analisado de 30 anos.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Cobertura da terra. Fragmentação florestal. Análise da fragmentação.

ABSTRACT

The remaining Atlantic Forest in the Marombas river basin is very fragmented. The knowledge about forest fragmentation and land cover are fundamental to understanding the effects of replacing areas with natural vegetation for anthropogenic areas. The development of fragments increases edge effects, alters the natural balance and impairs biodiversity. The objective of this work was to analyze quantitatively the fragmentation of land cover in the territory of Marombas' river basin (SC), using land cover maps and landscape metrics. The land cover maps were created for the years 1987, 1997, 2007 and 2017. From spectral bands of the Landsat-5 and Landsat-8 satellites, spectral indices and quality evaluation bands. The execution of the metrics was performed through the LecoS plugin adapted to the QGIS platform. The metrics were selected based on research in the existing literature. It was observed the rising incidence of border and the disintegration of forest patches as a consequence of the increasing fragmentation of the landscape and the irregular shapes of the spots over the years. In addition, the expansion of the agriculture and forestry classes was observed, in detriment (of the deforestation) of native forests in the analyzed range of 30 years.

Keywords: Remote sensing. Land cover. Forest fragmentation. Fragmentation analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Registro de imagens utilizando Sensoriamento Remoto.....	16
Figura 2 – Ilustração da fragmentação de núcleo de habitat causado por ações antrópicas.....	20
Figura 3 – Número de postagens de documentos utilizando as palavras de busca " <i>Fragmentation AND Land-Cover</i> ".....	21
Figura 4 – Mapa da área de estudo e os remanescentes florestais (2013 - 2014) localizados na bacia hidrográfica do rio Marombas.....	27
Figura 5 – (A) Antes da aplicação do <i>Majority Filter</i> ; (B) Depois da aplicação do <i>Majority Filter</i>	29
Figura 6 – Mapas de cobertura da terra. (A) 2017; (B) 2007; (C) 1997; (D) 1987.	31
Figura 7 – Dinâmica ao longo de 30 anos, em valores absolutos (km ²) e relativos ao total da área (%) da cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Marombas. (A) Floresta Nativa; (B) Silvicultura; (C) Campo; (D) Agricultura; (E) Água.....	33
Figura 8 – Métrica MSI para as classes de cobertura da terra. (A) Floresta Nativa; (B) Silvicultura; (C) agricultura; (D) campo.	38
Figura 9 – (A) Paisagem onde o PLADJ é máximo; (B) Paisagem com manchas desagregadas e menor PLADJ.	39
Figura 10 – Métrica PLANDJ para as classes de cobertura da terra. (A) Floresta Nativa; (B) Silvicultura; (C) agricultura; (D) campo.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informações sobre as métricas utilizadas na análise da fragmentação.	30
Tabela 2 – Dados de número de fragmentos (NUMP) e comprimento de borda (TE) para a classe Floresta Nativa, no período estudado.	35
Tabela 3 – Média do tamanho dos fragmentos de Floresta Nativa e Agricultura.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ADR – Agências de Desenvolvimento Regional
- EROS – *Earth Resource Observation and Science Center*
- ESPA – *Science Processing Architecture*
- EUA – Estados Unidos da América
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- LAND – *Land-cover*
- LecoS – *Landscape Ecology Statistics*
- MJ – *Majority Filter*
- MPS – *Mean patch área*
- MSI – *Mean shape index*
- NASA – *National Aeronautics and Space Administration*
- NUMP – *Number of patches per class*
- PLADJ – *Percentage of like adjacencies*
- PLAND – *Land-cover proportion*
- QGIS – *Quantum Geographic Information System*
- REM – Radiação Eletromagnética
- SIG – Sistemas de Informações Geográficas
- SR – Sensoriamento Remoto
- TE – *Total edge lenght*
- UC – Unidade de Conservação
- USGS – *United States Geological Survey*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	SENSORIAMENTO REMOTO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	15
2.2	COBERTURA E USO DA TERRA	17
2.3	CONCEITO DE FRAGMENTAÇÃO	19
2.4	MÉTRICAS DA FRAGMENTAÇÃO.....	22
2.5	ESTUDOS SOBRE A FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM.....	23
2.6	FERRAMENTAS PARA O ESTUDO DA FRAGMENTAÇÃO	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	ÁREA DE ESTUDO	27
3.2	FONTE DE DADOS	27
3.3	TABULAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS.....	28
3.4	PÓS CLASSIFICAÇÃO	29
3.5	ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	DINÂMICA DA COBERTURA DA TERRA.....	31
4.2	ANÁLISES QUANTITATIVAS DA FRAGMENTAÇÃO NA PAISAGEM.....	35
5	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os danos causados ao meio ambiente se tornaram assuntos recorrentes em diversos grupos de debate e na sociedade como um todo, principalmente no meio acadêmico. Com o avanço da tecnologia ameaças aos recursos naturais são encontradas em todos os ecossistemas e biomas. Essas ameaças podem se manifestar de várias formas: o aumento no processo de fragmentação das florestas e habitats devido a ocupação do solo indevida para o urbanismo, pecuária, agricultura, mineração e exploração madeireira. Portanto, cada vez mais se torna necessário que estudos e pesquisas sejam desenvolvidos com o auxílio de ferramentas de monitoramento, usando essa tecnologia em prol dos recursos naturais.

A criação de mapas de uso e cobertura da terra obtidos por dados dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são extremamente eficientes para a avaliação da distribuição de remanescentes florestais, sendo possível a gestão inteligente desses recursos. Esse processo de mapeamento permite a percepção de tendências em mudanças da paisagem, sendo indispensável para pesquisadores que desejam coletar informações impedindo que a degradação ambiental se torne irreversível e garantindo a sua existência para futuras gerações.

É de conhecimento comum que corredores ecológicos são utilizados como conexão entre dois ou mais fragmentos, o que proporciona, para as espécies que residem em seus habitats, condições ótimas para seu desenvolvimento e proliferação. Sob essa ótica, é imprescindível dar importância a fragmentação, visto que esse processo causa danos ambientais relevantes, como aumento na incidência de bordas, causando a extinção de espécies pouco tolerantes a um ambiente fragmentado. Além disso, por meio dos fragmentos florestais, é possível avaliar o grau de deflorestamento e realizar estudos ecológicos em áreas desmatadas por ações antrópicas.

A bacia hidrográfica do rio Marombas foi alvo de alguns estudos referentes ao uso e cobertura da terra. Os autores ten Caten, Safanelli e Ruiz (2015) realizaram um trabalho intitulado “Mapeamento multitemporal da cobertura de terra, por meio de árvore de decisão, na bacia hidrográfica do rio Marombas-SC” relatando o histórico do uso e cobertura da terra na região. Utilizando imagens de satélite e algoritmos de classificação, os autores fizeram o mapeamento da área gerando dados essenciais para prosseguir com a pesquisa. Esse trabalho fornece informações importantes para a compreensão dos fatores que influenciaram a formação da paisagem atual da área. Entretanto, ainda é necessário complementar o que já se sabe sobre

a bacia hidrográfica do rio Marombas com pesquisas que tenham foco nos processos de fragmentação.

Várias questões precisam ser abordadas durante o monitoramento da cobertura da terra quando deseja-se analisar a composição da paisagem: Onde e como as alterações estão ocorrendo? Quais são as taxas de mudança? Existem padrões ou tendências? Quais os efeitos dos itens acima? Essas são perguntas fundamentais para estabelecer uma linha base para identificar e interpretar as modificações que ocorreram nas décadas passadas até o cenário atual.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar quantitativamente a fragmentação florestal na bacia hidrográfica do rio Marombas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais coberturas da terra na área estudada;
- Observar a dinâmica da cobertura da terra em um período de 30 anos;
- Comparar os resultados das métricas quanto a sua capacidade de demonstrar causas e consequências da fragmentação florestal.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Estão disponíveis várias ferramentas para mapear e detectar mudanças na cobertura do uso da terra. Dentre as mais importantes, estão os elementos do Sensoriamento Remoto (SR) obtidos através de plataformas orbitais e, o banco de dados conhecido como Sistema de Informações Geográficas (SIG). Dessa forma, os SIG's juntamente com o SR se tornaram fontes de dados fundamentais para monitorar os recursos naturais da Terra, e a dinâmica da paisagem no decorrer dos anos, devido à facilidade de se obter dados de grandes extensões territoriais. Os recursos naturais da Terra são definidos como qualquer elemento inerente à vegetação, solos, minerais, rochas, água e infraestrutura urbana terrestres. Essas informações podem ser úteis para pesquisas que envolvem o ciclo global do carbono, da biologia e da bioquímica dos ecossistemas, do ciclo global da água e da energia, da variabilidade e da previsão climática e das características da Terra sólida. Dada sua importância, é necessário conceituar o que é SIG e o que é SR para se ter um melhor entendimento de sua aplicação (JOHANNSEN et al., 2003).

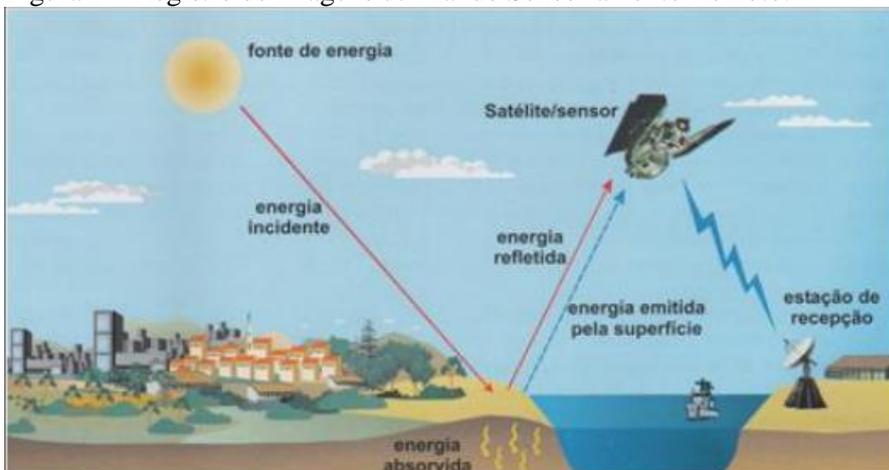
Os autores Câmara e Monteiro (2003) definem o SIG como os sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Segundo Brandão (2012), no SIG, o elemento geográfico é visto como mais importante do que o elemento atributo e esse é o fator que o diferencia de outros sistemas de informações. O autor Câmara (2018) descreve o SIG em três características principais: (I) integra, numa base única de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; (II) gera mapas através da combinação de várias informações com base em algoritmos de manipulação; (III) e por fim, o SIG é capaz de consultar, visualizar e plotar conteúdo da base de dados geocodificados. O SIG e o SR são geotecnologias que estão incluídas no conceito de Geoprocessamento. A intersecção entre SIG e o SR se dá a partir do momento em que o SIG utiliza o SR como uma fonte de dados, através de imagens de satélite.

O SR pode ser definido como a captação a distância de registros, dados e informações das características da superfície terrestre, sem contato físico direto (LOCH, 1989). Já Steffen (1996) define o SR como o conjunto de ações e técnicas relacionadas com a aquisição e a análise

de dados de sensores remotos, os quais são sistemas óptico-eletrônicos capazes de detectar e registrar, através de imagens, o fluxo de radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos terrestres. O autor Mendes (2000) complementa que o SR atua como um sistema de coleta de dados, que se baseia em cinco componentes principais: Fonte de energia eletromagnética, meio de transmissão, alvo da superfície terrestre, sensor e plataforma e, sistema de processamento.

O SR tem o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações (Figura 1). A REM é uma forma de transmissão de energia que provoca perturbações no campo elétrico e magnético utilizando do vácuo para se propagar (NOVO, 1989). Quando a energia proveniente da REM atinge a superfície terrestre a mesma é dividida em três partes: uma parte é absorvida, outra parte é transmitida e a última parte é refletida de volta para o espaço. Com o emprego de sensores que captam diferentes radiações, é possível analisar a REM que os alvos terrestres estão emitindo através de reações físico-químicas que ocorrem ao nível molecular e anatômico de cada alvo (RODRÍGUEZ, 2000).

Figura 1 – Registro de imagens utilizando Sensoriamento Remoto.



Fonte: FLORENZANO (2002)

Além da REM, os tipos de resoluções são outras características importantes do SR. Temos registro da resolução espacial, a qual é a responsável por determinar a menor distância entre dois objetos que o sensor é capaz de identificar como diferentes entre si; a resolução espectral, que é responsável por avaliar as características espectrais dos diferentes alvos da superfície terrestre; a resolução temporal que se refere ao período que um satélite passa na

mesma área; e por fim, a resolução radiométrica, responsável por detectar a variação da REM em tons de cinza (SIMONETT, 1983).

Existem diversas vantagens as quais as aplicações do SR podem trazer, como: cobertura de extensas áreas, visualização completa da paisagem, obtenção de informações em áreas de difícil acesso, custo financeiro reduzido, trabalho menos oneroso e resultados obtidos com maior rapidez (GARCIA, 1982). A importância e a vantagem do SR são vistas em diversos países do mundo, devido a sua praticidade de mapeamento até o monitoramento de recursos naturais, visando a proteção desses ambientes contra a degradação (BRAGANÇA et al., 1987). Os equipamentos de SR são programados para coletar dados sistematicamente, tais como as fotografias aéreas verticais de 23 x 23 cm, ou uma matriz de pontos temáticos do Landsat-5. Essa coleta de dados sistemática pode remover o viés de amostragem *in situ*, não se fazendo necessário o pesquisador se deslocar no campo para obter informações. A ciência do SR pode fornecer a inédita e fundamental informação geográfica, sendo um campo separado da cartografia ou SIG, pois estas ciências se baseiam em dados obtidos através de outras plataformas. O SR, por sua vez, assemelha-se ao levantamento, podendo fornecer informações básicas que podem ser utilizadas em outras ciências ao conduzirem investigações científicas (JENSEN, 2011).

Entretanto, o SR não é perfeito, existem algumas limitações. A maior limitação é que essa ciência geralmente é subestimada. Como já relatado, o SR é uma ferramenta que contém amplos recursos, porém sozinha não fornecerá todas as informações e dados necessários para realizar pesquisas físicas, biológicas ou das ciências sociais. Ela basicamente prevê determinada informação espacial, temporal e espectral de valor, a qual espera-se que seja útil e sua obtenção seja econômica. Conforme Jensen (2011) os instrumentos do SR podem ficar descalibrados, ocasionando resultados equivocados que não condizem com a realidade. Inclusive, os dados gerados por essa ciência podem ser financeiramente inviáveis, se tornando caros para serem coletados e analisados. A etapa onde há mais gastos no SR é a contratação de analistas de imagens bem treinados, e não com os dados em si dos sensores remotos.

2.2 COBERTURA E USO DA TERRA

Um dos princípios básicos para geógrafos e pessoas que estudam a cobertura e uso da terra é analisar a interação entre as ações humanas e a superfície terrestre. Muitos profissionais dessas áreas necessitam de uma forma precisa e confiável para representar essas interações.

Considerando esse contexto, Luchiari (2006) afirma que essa representação pode ser realizada com o auxílio de mapas, imagens realçadas, mapa-imagem, ortofotomapas, estatísticas e gráficos. A interpretação dessas ferramentas requer conhecimentos de SR, cartografia, SIG estatísticas espaciais, assim como da ciência sistemática sob investigação, como por exemplo o uso e cobertura da terra.

O conceito de “uso da terra” e “cobertura da terra” são distintos, uma vez que, como relata Jensen (2011), o uso da terra refere-se ao modo como a terra é usada pelos seres humanos. Enquanto a cobertura da terra define-se conforme os materiais biofísicos que estão presentes na superfície terrestre. Exemplificando, o autor diz que um parque qualquer pode ser utilizado para fins recreativos (uso da terra), porém apresentar uma cobertura florestal (cobertura da terra). Outros autores acrescentam maiores detalhes em suas definições. Segundo Fuchs (1986) o uso da terra pode ser compreendido como a forma pelo qual o espaço está sendo ocupado pelo homem e a cobertura da terra é o ambiente que o envolve. Mapear e avaliar qualitativamente e quantitativamente tudo que existe na superfície terrestre é uma forma de estudar o uso e cobertura da terra. Nesse contexto, Coelho (1971) define que o levantamento do uso da terra é um estudo que objetiva avaliar a qualidade dos recursos do solo quanto a sua localização e capacidade, estimando se os espaços estão adequados ou estão sendo mal aproveitados. Assim, Azevedo (1987) complementa que o uso adequado da terra ocorre quando as ações econômicas e ecológicas se estabilizam, havendo sustentabilidade e desenvolvimento capaz de melhorar a qualidade de vida da população.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) destaca a importância de ser realizado o mapeamento da cobertura e uso da terra para uma confiável tomada de decisão. Sobre isso, Cullingworth (1997) enfatiza as aplicações que as informações de cobertura e uso da terra podem ter, incluindo a escolha de locais para instalações residenciais, indústrias e comércio, inferência tributária, elaboração de elementos para zoneamento, inferência populacional. Segundo o IBGE (2006), o mapeamento do uso e cobertura da terra indicam a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada através de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Esse processo, envolve trabalho em campo e em escritório e atividades voltadas a interpretação, análise e coleta de dados visando a sua classificação.

O Sistema de Classificação de Uso da Terra/Cobertura da Terra do *United States Geological Survey* (USGS) foi desenvolvido para ser exclusivamente utilizado para recursos (cobertura da terra), complementando outros sistemas que são exclusivos a pessoas ou atividades (uso da terra). O USGS enfatiza que há a necessidade de um sistema de classificação orientado a recursos, cuja prioridade seria avaliar as áreas não-urbanas restantes nos Estados

Unidos. Esse sistema se baseia principalmente pela interpretação de dados de sensores remotos obtidos em várias escalas e resoluções, não utilizando dados coletados em campo. Apesar de seu objetivo primordial ser avaliar recursos naturais, por mais de duas décadas inúmeras pesquisas de uso da terra urbana foram desenvolvidas utilizando esse sistema. Isso porque o sistema inclui cinco níveis de classificação que envolvem amplas dimensões (cidades, macrorregiões, estados e países) avaliando desde residências, transportes, serviços de infraestrutura até corpos d'água, biomas e florestas (ANDERSON et al., 1976).

2.3 CONCEITO DE FRAGMENTAÇÃO

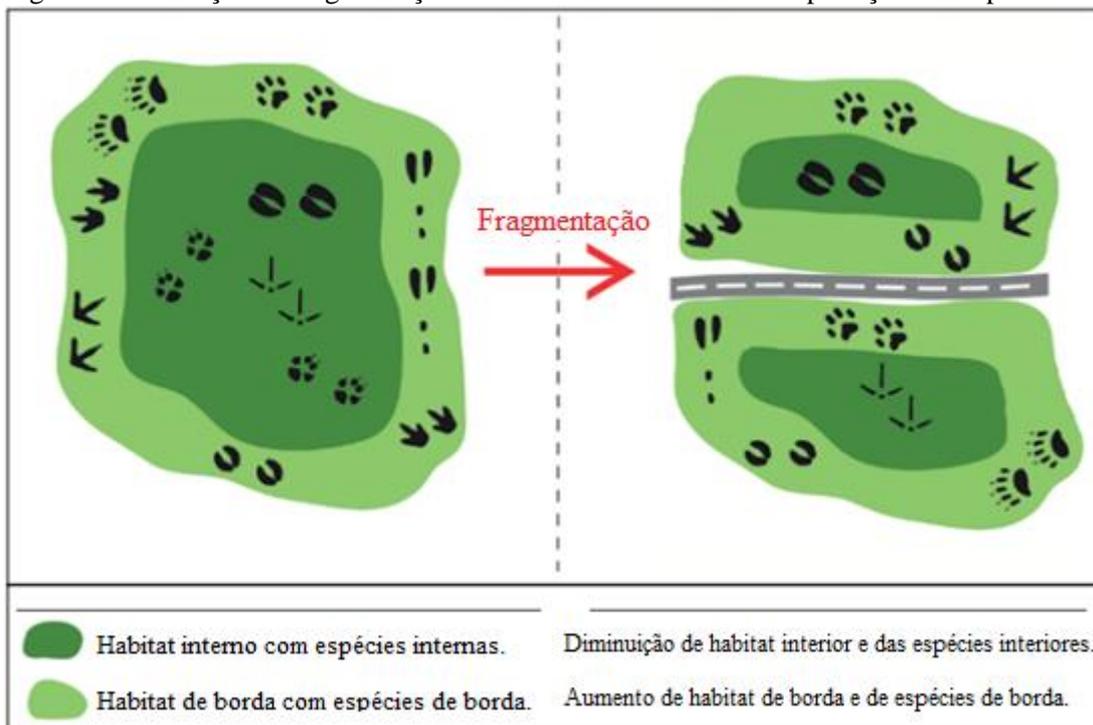
A fragmentação da paisagem é um dos fatores responsáveis pela degradação e efeitos negativos no meio ambiente, que por sua vez, é originada por ações antrópicas, processos naturais devido a fatores ambientais ou uma combinação de ambos (MACHADO, 1995). As ações antrópicas são as que mais afetam os ecossistemas, incluindo construções de rodovias, ferrovias, pastagens, urbanização, exploração e mineração. As classes de cobertura e uso da terra estão diretamente conectadas com a fragmentação da paisagem, pois com o passar dos anos o homem intensificou os processos de desmatamento, modificando a cobertura da terra e adequando o espaço para usos econômicos, como os citados anteriormente (MATTOS et al., 2003). Dessa forma, para um melhor entendimento, se faz necessário definir os conceitos de fragmentação e seus impactos no meio ambiente.

Segundo Laurance et al. (2011) o isolamento de pequenas áreas naturais abrange uma variedade de processos ecológicos que podem dificultar a compreensão de fragmentação. Os autores enfatizam que os estudos da fragmentação devem seguir mecanismos que sejam ecologicamente relevantes, como o microclima, qualidade da matriz, chances de ocorrer eventos que ampliem a fragmentação, efeitos de borda e comportamento das espécies no local. Dessa forma, Forman e Godron (1986) conceituam o termo fragmentação como a subdivisão de um grande habitat em parcelas menores, que modificam extensas áreas de vegetação natural resultando em um mosaico de ambientes fragmentados e isolados. O autor Colinge (2009) complementa que um habitat fragmentado geralmente se refere a uma grande área reduzida para áreas menores e distintas entre si, e a perda de habitats ocorre concomitantemente com o avanço do processo de fragmentação. Segundo Noss e Cooperrider (1994), a fragmentação refere-se ao desmembramento de áreas em unidades menores e mais isoladas. Os autores afirmam que a fragmentação é complexa, porém nosso entendimento sobre esse processo aumentou muito e

que esse efeito é considerado como uma das maiores ameaças a biodiversidade em todo o mundo.

Quanto as consequências da fragmentação, o estudo realizado por Shida e Pivello (2005) afirmam que os efeitos ambientais da fragmentação incluem a eliminação de espécies, redução das populações, redução no tamanho e conectividade dos ambientes e perda da biodiversidade local (Figura 2). Como enunciaram Haddad et al. (2015) a riqueza de espécies é modificada significativamente com a fragmentação. No entanto, outros fatores devem ser analisados em um ecossistema, como: composição da comunidade, organização trófica, espécies residentes e a persistência das espécies em permanecerem no local após as mudanças. Segundo esses autores, esses são alguns elementos que podem informar com maior confiabilidade como a fragmentação afeta os sistemas bióticos.

Figura 2 – Ilustração da fragmentação de núcleo de habitat causado por ações antrópicas.



Fonte: EFMA (2011)

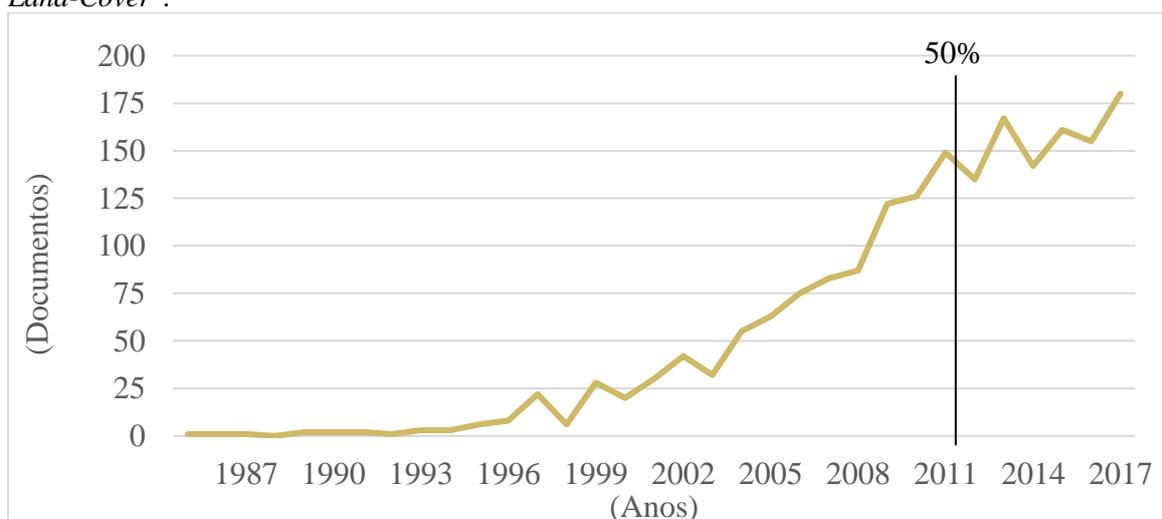
Segundo Hobbs (1993) um ambiente excessivamente fragmentado está mais susceptível a exposição de perturbações externas, tais como invasões de espécies exóticas. O autor ainda afirma que a fragmentação afeta as seguintes condições físicas do ambiente: ciclo hidrológico com o aumento do escoamento superficial e a redução da quantidade de água que infiltra o solo; redução da fixação e reciclagem de nutrientes no solo; aumento da incidência de radiação e aumento do albedo da superfície de refletância devido à redução de vegetação

natural; e alteração no comportamento dos ventos. Em estudo, Kageyama et al. (1998) destacam que a fragmentação também afeta a variação genética devido a redução do número de indivíduos de uma determinada população. Reduzir os habitats pode submeter uma determinada população a uma condição não favorável para a manutenção de sua diversidade genética.

Esses efeitos descritos podem ocasionar a inviabilidade dos ecossistemas. Por outro lado, a viabilidade pode ser conceituada como a capacidade de um ecossistema de preservar sua integridade e hospedar sua biodiversidade original. Em termos gerais, quanto maior o ecossistema e mais conectado forem seus fragmentos e ainda, mais distante esse ecossistema estiver das perturbações humanas, maior é sua viabilidade. Por fim, o impacto da fragmentação pode ser definido como a redução da viabilidade dos ecossistemas (NOSS et al., 1997).

Em plataformas de buscas de periódicos é possível observar a crescente publicação de artigos e estudos realizados ao longo do tempo com a temática de fragmentação associada com a cobertura da terra. Isso mostra que o assunto vem adquirindo importância nos meios científicos e que cada vez mais se busca ampliar o conhecimento e os efeitos desse processo. A plataforma Scopus é o maior banco de dados de resumos e citações literárias, oferecendo uma visão abrangente dos resultados de pesquisa no mundo nas mais diversas áreas de conhecimento (Scopus, 2018). Nesse banco de dados, utilizando as palavras de busca "*Fragmentation AND Land-Cover*", foi possível encontrar 1910 documentos no total entre 1985 e 2017. Desse total, 50% da bibliometria foi publicada nos últimos 6 anos, a partir de 2012 (Figura 3).

Figura 3 – Número de postagens de documentos utilizando as palavras de busca "*Fragmentation AND Land-Cover*".



Fonte: Scopus (2018).

2.4 MÉTRICAS DA FRAGMENTAÇÃO

A análise da fragmentação da paisagem requer uma abordagem espacial, utilizando imagens providas do SR e informações obtidas do SIG. Dessa forma, a classificação de fragmentos da paisagem é realizada por meio de imagens e fotografias aéreas onde é possível identificar padrões espaciais e estruturais. Para interpretar corretamente as imagens providas do SR e SIG, algumas características base devem ser seguidas, como: tamanho da área, forma, número de fragmentos, comprimento de borda, configuração, posição e grau de conectividade. (ANTROP; VAN EETVELDE, 2000). Portanto, métricas que avaliam esses itens são as mais utilizadas, pois possuem potencial para fornecer informações essenciais que auxiliam a compreender a configuração espacial da paisagem, possibilitando tirar conclusões confiáveis quanto aos impactos gerados pelos processos de fragmentação (GENETELLI, 2004).

O tamanho da área é a dimensão que cada mancha tem e a sua influência no nível de energia e nutrientes disponíveis e no número, tipo e fluxo de espécies. Manchas grandes são responsáveis pela manutenção da biodiversidade e de processos ecológicos de larga escala. Enquanto fragmentos pequenos, apesar da redução de sua função, podem funcionar como conectores entre as grandes áreas, atuando como um refúgio de espécies que necessitam de condições específicas que só ocorrem nessas áreas (CASIMIRO, 2002).

O formato dos fragmentos se relaciona diretamente com a borda: um formato irregular terá proporção maior entre área de borda, a qual apresenta características diferentes quanto ao seu interior. Basicamente, as manchas mais regulares tendem a ser naturais, enquanto as manchas irregulares tendem a ser mais antropizadas (CASIMIRO, 2002). Nas manchas regulares há maior biodiversidade de espécies, mais espaço para habitats, mais alimentos e menos barreiras. Já fragmentos irregulares, geralmente, possuem efeitos de borda determinantes na diversidade do local, e esses efeitos provocam modificações nos processos ecológicos (MURCIA, 1995). O grau de conectividade é uma aproximação da distância que as espécies devem percorrer para alternarem entre os fragmentos em busca de outras manchas que tenham características semelhantes à original. Taxas maiores de fragmentação indicam habitats com condições precárias para o desenvolvimento de certas espécies e baixa viabilidade (LANG; BLASCHKE, 2006).

Em estudo realizado por Metzger (2003), o autor destaca a importância de se utilizar índices métricos ou paisagísticos que expressam a relação entre padrões espaciais e processos ecológicos. O autor complementa que os índices métricos associados ao estudo da legislação ambiental podem contribuir para a melhor compreensão dos fragmentos da vegetação, no

sentido de verificar a possibilidade desses fragmentos permanecerem na paisagem ou se tornarem subfragmentos. Na prática, essa associação pode ser utilizada para estabelecer critérios para criação de áreas de conservação, por exemplo.

2.5 ESTUDOS SOBRE A FRAGMENTAÇÃO DA PAISAGEM

Vários estudos foram conduzidos ao redor do mundo para avaliar o desmatamento e a exploração de florestas. A floresta Amazônica recebe destaque nesse quesito, pois é considerada por muitos pesquisadores a região mais estudada do planeta (PEDLOWSKI et al., 1997; LAURANCE, 1999; LAURANCE et al., 2000; SIERRA, 2000). Entretanto, poucos estudos sobre desmatamento e fragmentação foram relatados para as florestas temperadas, particularmente no hemisfério sul (STAUS et al., 2002).

Em estudo realizado por Gibbs (1997) na região de *New Haven County (Connecticut, U.S.A)* cujo objetivo foi examinar como a fragmentação florestal pode alterar os padrões de distribuição local de algumas espécies de anfíbios. Os estudos centraram-se em um período onde havia uma transição de uma condição com baixa vegetação natural, para uma condição com alta taxa de vegetação natural, para que assim fosse possível fazer análises a partir desse gradiente, ou seja, nesse diferente grau de fragmentação. A metodologia desse trabalho usou como base primária a seleção de cinco espécies de anfíbios, dentre eles dois sapos e três salamandras. Os resultados sugerem que o potencial reprodutivo de cada espécie é inversamente proporcional à sua habilidade de se adaptar a ambientes mais fragmentados. Ou seja, a salamandra considerada uma espécie sedentária (baixo grau de dispersão) conhecida como *Redback* foi a espécie que se mostrou mais resistente a fragmentação, enquanto as espécies mais dispersivas, como a salamandra *Newt* foi menos resistente. Esses padrões entram em contraste com a noção amplamente difundida de que as populações dos melhores dispersores são as mais resistentes a fragmentação do habitat.

Em uma pesquisa realizada por Echeverria et al. (2006), os autores abordam as importantes florestas temperadas do Chile, as quais segundo ele, são classificadas como altamente biodiversificadas e possuem alto grau de endemismo. Para esse trabalho, foram utilizados três mapas de cobertura terrestre, providos de imagens de SR e SIG ao longo de 25 anos (1975, 1990 e 2000). Esses mapas auxiliaram na avaliação dos padrões de desmatamento e fragmentação florestal na faixa costeira do centro-sul chileno. A conclusão do trabalho foi que entre 1975 e 2000, houve redução de 67% da área contendo vegetação natural, o que

equivale a uma taxa anual de perda florestal de 4,5%. Os autores indagam que na década de 1970, a perda florestal nativa foi causada pela expansão de plantações agrícolas, o que ocasionou mudanças substanciais na configuração espacial. Em 2000, a maioria dos fragmentos florestais nativos já era cercado por plantações de espécies exóticas com interesse madeireiro e também agrícolas. Por fim, os autores dizem que as estratégias de conservação e planejamento do uso da terra devem considerar o padrão de configuração espacial dos fragmentos florestais nativos e como esse padrão muda ao longo do tempo ao nível da paisagem.

Em trabalho realizado por Jorge e Garcia (1997), os autores estudaram as fragmentações de formações florestais (floresta mesolítica, matas ciliares e Cerrado) em uma área que abrange aproximadamente 16 mil hectares (ha), localizada no município de Botucatu (SP). A dinâmica da fragmentação na paisagem foi analisada através de um mapa de cobertura da terra, cujo os critérios foram os seguintes: razão entre área-perímetro do fragmento, números de *patch* (fragmentos), índice de forma, conectividade e características de borda. Os autores concluíram que houve alta frequência de pequenas manchas na paisagem, enquanto grandes manchas eram raras. Assim, a área de estudo tem uma maior cobertura florestal do que outras áreas do Estado de São Paulo. No entanto, devido à grande quantidade de fragmentos pequenos, há uma alta incidência de efeitos de borda na vegetação natural que carrega consigo diversas consequências negativas para o meio ambiente. Portanto, os autores salientam que uma estratégia para reverter este quadro é necessária, e que utilizar softwares SIG é uma forma de se chegar a uma solução.

Outro estudo envolvendo a fragmentação foi desenvolvido por Ranta et al. (1998) na região da floresta tropical Atlântica. O objetivo dessa pesquisa foi aumentar a compreensão descrevendo o padrão de fragmentação do norte da Mata Atlântica brasileira, uma das áreas tropicais mais ameaçadas do mundo. Com o auxílio de um software SIG foram analisados um total de 1839 fragmentos de floresta tropical, cobrindo uma área de 623 km², quanto ao grau de isolamento, borda e conectividade, a fim de compreender suas diferenças espaciais. A conclusão do estudo é que os fragmentos da floresta tropical, em geral, são pequenos e estão localizados próximos uns dos outros. Aproximadamente 48% dos fragmentos são menores que 10 ha e apenas 7% são maiores que 100 ha. Além disso, devido ao tamanho pequeno e forma irregular dos fragmentos, quando as bordas chegam a 300 m de largura, os efeitos de borda ocupam cerca de 94% do espaço dos fragmentos, restando somente 6% de território para habitats onde as espécies teriam condições ideais de sobrevivência.

Em pesquisa realizada na Amazônia Brasileira, Broadbent et al. (2008) objetivaram quantificar as taxas e a extensão da fragmentação florestal por desmatamento e extração de

madeira, e contextualizar a dinâmica espaço-temporal desta fragmentação florestal. Através do SR e do SIG foram obtidos dados de 1,1 milhões de km² da Floresta Amazônica de 1999 a 2002. Combinando os dados gerados com revisões na bibliografia, Broadbent et al. (2008) concluíram que com o passar dos anos, a quantidade de borda aumentou. O desmatamento gerou um aumento, no período de estudo, de 3000 km² de bordas em florestas que até então eram intactas, enquanto a exploração madeireira gerou 20.000 km² de bordas em florestas. Esses dados, segundo Broadbent et al. (2008), demonstram a grande extensão e rápida expansão das bordas e margens que antigamente não eram estudadas em toda a Amazônia, e os autores destacam também a necessidade de maior pesquisa sobre seus impactos ecológicos.

Um estudo efetuado por Laurance et al. (2011) visa entender os efeitos do deflorestamento nas três últimas décadas da Amazônia Central. Os autores enfatizam em seu trabalho os efeitos de borda. No trabalho é relatado que esses efeitos foram impulsionadores na dinâmica dos fragmentos, afetando diretamente no microclima da região, mortalidade das árvores, armazenamento de carbono, fauna e outros aspectos ecológicos que já foram abordados no presente trabalho. Além disso, Laurance et al. (2011) destacam que o principal motivo de as bordas se expandirem de forma alarmante na Amazônia Central nos últimos anos, foi devido aos efeitos da fragmentação interagirem com ações humanas (exploração madeireira, caça e queimadas), intensificando ainda mais os seus danos.

2.6 FERRAMENTAS PARA O ESTUDO DA FRAGMENTAÇÃO

Softwares e ferramentas de pesquisa ecológica gratuitos tiveram crescente uso nos últimos anos (Baker e Cai, 1992; Boyd e Foody, 2011). O motivo disso, é que softwares gratuitos tem um maior alcance, principalmente em países em desenvolvimento, onde as restrições financeiras muitas vezes impedem o acesso a alternativas (STEINIGER; HAY, 2009).

O projeto *Quantum Geographic Information System* (QGIS) fornece uma plataforma gratuita e um ambiente que contém todas as ferramentas e funcionalidades de um moderno sistema SIG (Equipe de desenvolvimento do QGIS, 2015). Além disso, permite a fácil extensão de suas funções através de plugins selecionados pelo usuário. No presente trabalho, um desses plugins é utilizado: o *Landscape Ecology Statistics* (LecoS). O LecoS utiliza de bibliotecas científicas “python”, “SciPy” e “Numpy” para realizar o cálculo de suas várias funções

envolvendo a análise da paisagem (JUNG, 2015). É possível encontrar mais explicações sobre esse banco de dados em Jones et al. (2011) e em Oliphant (2007).

Até o momento, 16 métricas diferentes estão disponíveis no plugin LecoS. Sua interface está dividida nas seguintes categorias: Preparação da paisagem, modificação da paisagem, sobreposição vetorial e estatísticas da paisagem. O panorama de preparação da paisagem permite ao usuário combinar camadas de entrada. Já as funções de modificação da paisagem permitem ao usuário modelar as camadas conforme sua necessidade. A categoria de estatísticas da paisagem é responsável por conter as métricas utilizadas no presente trabalho (JUNG, 2015).

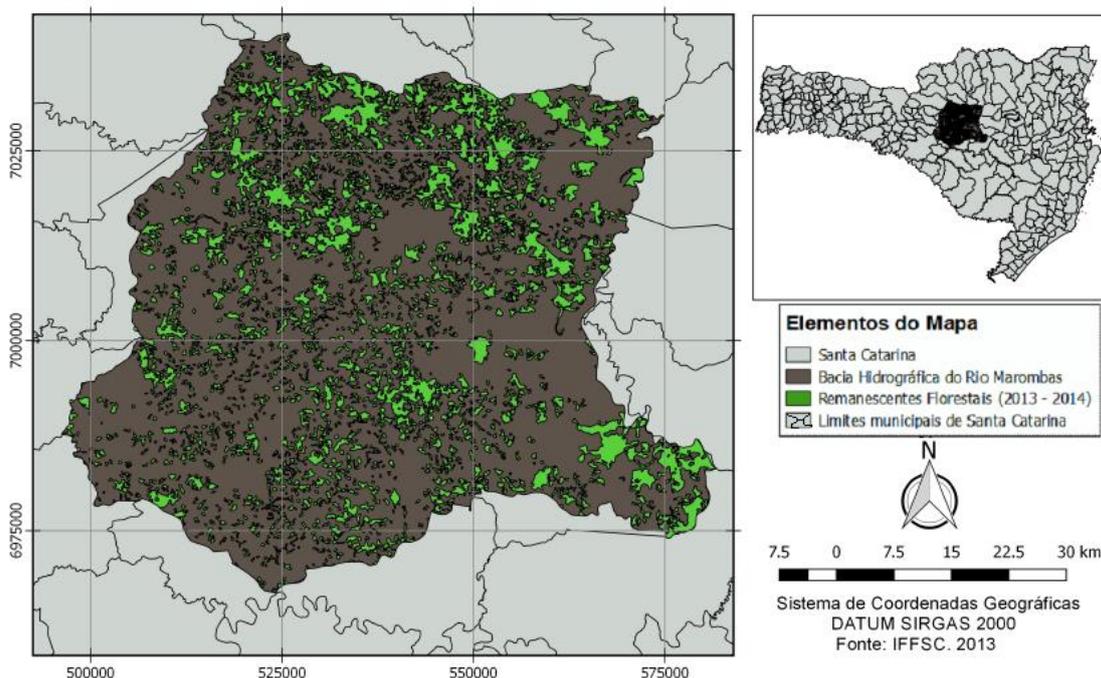
O FRAGSTAT é outro software capaz de calcular as métricas da paisagem. Porém, a análise do FRAGSTAT é separada da visualização de um programa GIS e não é executado em alguns sistemas operacionais, como: Mac-OS ou Linux. Outros pacotes de software gratuitos são as extensões “r.li” para o GRASS GIS (Baker e Cai, 1992) e o SDMTTools para o software “R”, o último sendo um complemento as análises métricas da paisagem (VANDERWAL et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Marombas abrange onze municípios, compreendendo uma área de 4.450 km² e está localizada na mesorregião Serrana do Estado de Santa Catarina. A altitude local varia entre 800 a 1100 m acima do nível do mar. Segundo os critérios da classificação de Koppen, o clima da região é o temperado marítimo (Cfb), possuindo média anual de temperatura de 16,5°C, precipitação média de 1600 mm ao ano e umidade relativa média de 82% (ALVARES et al., 2013). Há predomínio de relevos ondulados, suavemente ondulados e de intermediária a alta declividade, onde são comuns os solos do tipo Latossolo, Cambissolo e Argissolo. A vegetação natural remanescente pertence a Floresta Ombrófila Mista (Figura 4) (EPAGRI, 2003).

Figura 4 – Mapa da área de estudo e os remanescentes florestais (2013 - 2014) localizados na bacia hidrográfica do rio Marombas.



Fonte: Remanescentes florestais do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (2013).

3.2 FONTE DE DADOS

Os mapas de cobertura da terra foram criados a partir de imagens do satélite Landsat-5 (L5) e Landsat-8 (L8). O mapa referente ao ano 2017 foi gerado utilizando imagens do satélite

L8, enquanto os mapas referentes aos anos 2007, 1997 e 1987, foram gerados com imagens do satélite L5. Para a imagem do Landsat-8 foram utilizadas as bandas de reflectância de superfície (bandas de 1 a 7), temperatura de brilho no topo da atmosfera (bandas 10 e 11), índices espectrais (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI, NDMI, NBR e NBR 2) e as bandas de avaliação da qualidade. Para as imagens do Landsat-5 foram utilizadas as bandas de reflectância da superfície (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7), temperatura de brilho no topo da atmosfera (banda 6) e bandas de avaliação da qualidade. Todas as imagens foram obtidas da órbita 221 e ponto 79 referentes as datas de 10 de outubro de 1987 (L5), 06 de janeiro de 1997, 03 de fevereiro de 2007 (L5) e 13 de janeiro de 2017 (L8). O banco de dados é composto por itens *higher-level*, os quais foram obtidos através das interfaces de pedidos *Earth Resource Observation and Science Center* (EROS) e *Science Processing Architecture* (ESPA), do *United States Geological Survey* (USGS). Essas organizações operam o programa de satélite Landsat, juntamente com a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), mantendo a maior coleção de imagens da superfície terrestre existente, incluindo milhões de imagens de satélite que são utilizadas para a formação de dados sobre as mudanças do uso e cobertura da terra. Os itens *higher-level* são constituídos por imagens de satélites Landsat (4-8) processados pelo algoritmo 6S. Esse algoritmo é responsável por efetuar a correção atmosférica e converter valores digitais em reflectância da superfície e temperatura de brilho no topo da atmosfera.

3.3 TABULAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Para os quatro cenários foram criadas composições de cor verdadeira (L8 RGB 432 e L5 RGB 321) e falsa cor (L8 RGB 654 e L5 RGB 543) com realce ajustado para distinção de classes. Foram identificadas sete classes de cobertura da terra: floresta nativa, silvicultura, campo, agricultura, solo exposto, palhada e água. A classe “agricultura” é referente aos cultivos agrícolas fotossinteticamente ativos, a classe “palhada” a áreas com deposição de materiais semi-decompostos, lignificados e celulósicos sobre a superfície do solo, enquanto a classe “solo exposto” se refere as regiões onde as superfícies terrestres estão expostas. Essas três classes representam as atividades agrícolas da região. Para os pontos de calibração dos modelos de classificação foram coletadas 50 amostras independentes para cada classe de uso e cobertura da terra em cada um dos quatro períodos avaliados, totalizando 350 pontos. A classificação foi feita com o algoritmo *Random Forest*. Esse algoritmo gera várias *Decision Trees* (representações gráficas independentes de alternativas, similar a um fluxograma), cada uma

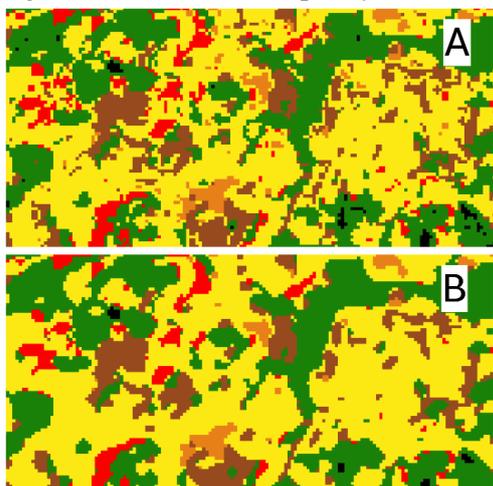
com suas particularidades e combina os resultados das classificações de todos elas. Essa combinação de modelos torna o algoritmo altamente preciso.

3.4 PÓS CLASSIFICAÇÃO

Como explicado anteriormente, a classe “agricultura”, “palhada” e “solo-exposto” representam as atividades agrícolas da região, porém em fases de desenvolvimento diferentes. Dessa forma, para a execução das métricas de análise da paisagem optou-se por agrupar essas três classes em uma classe geral, no caso a classe “agricultura”, para facilitar a interpretação dos resultados.

Outra etapa do processo de pós classificação foi melhorar a qualidade da imagem. Pixels isolados em uma paisagem, geralmente, remetem a erros ocasionados na elaboração das classes de cobertura da terra. Para corrigi-los foi utilizado uma ferramenta chamada *Majority Filter* (MJ) (Figura 5). Essa ferramenta realiza uma análise dos pixels próximos entre si, e a partir de uma determinada porcentagem de pixels semelhantes, o filtro faz a substituição da classe de um determinado pixel isolado pela classe predominante que o envolve. A intensidade da aplicação do MJ é determinada pelo usuário, uma vez que é possível escolher qual a porcentagem de pixels semelhantes é necessária ter em volta de um pixel isolado qualquer, para que ocorra a substituição do pixel. Na figura 5, observa-se a eficácia do filtro em “limpar a paisagem” substituindo pixels isolados. Nota-se que grande parte dos pixels isolados foram substituídos sem modificar grosseiramente a paisagem ou perder o formato original dos fragmentos (SPINOLA, 2010).

Figura 5 – (A) Antes da aplicação do *Majority Filter*; (B) Depois da aplicação do *Majority Filter*.



Fonte: O autor (2018).

3.5 ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO

Os mapas foram analisados usando o programa QGIS (versão 2.16.0: ‘Nødebo’, (2016)) o qual é compatível com o plugin LecoS que contém as métricas espaciais utilizadas para comparar o padrão de cobertura florestal em cada intervalo de tempo. A classe “Floresta Nativa” foi usada para conduzir a análise de desmatamento e fragmentação das florestas nativas. A análise da configuração espacial da paisagem foi conduzida através de um conjunto de métricas selecionadas após a revisão de estudos sobre fragmentação do ambiente: cobertura da terra e proporção de cobertura da terra, comprimento total de borda, número de fragmentos por classe, área de fragmento média, porcentagem de manchas conectadas e índice da forma dos fragmentos (Tabela 1). O LAND foi convertido em quilômetros quadrados (km²), pois facilita a compreensão quando se trata de grandes extensões territoriais. As métricas TE e MPS são dadas em metros (m) e metros quadrados (m²), porém foram convertidas em quilômetros (km) e hectares (ha), respectivamente, para simplificar a forma como os resultados foram expostos. Por fim, as métricas PLAND e PLADJ são exibidas em porcentagens.

Tabela 1 – Informações sobre as métricas utilizadas na análise da fragmentação.

Métricas da Paisagem	Sigla	Grupo (unidade)	Fórmula	Descrição
Cobertura da Terra (<i>Land-cover</i>)	LAND	Área (m ²)	$LAND = \sum_{j=1}^n a_{ij}$	Faz a contagem do número total células por classe e multiplica pelo tamanho da célula.
Proporção de Cobertura da Terra (<i>Land-cover proportion</i>)	PLAND	Área (%)	$Pi = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \cdot (100)$	% da área ocupada por cada classe na paisagem.
Comprimento Total de Borda (<i>Total edge length</i>)	TE	Borda (m)	$TE = \sum p_{ij}$	Soma os comprimentos de todos os seguimentos com borda envolvendo cada classe.
Número de Fragmentos por Classe (<i>Number of patches per class</i>)	NUMP	Densidade (-)	$NUMP = \sum n_i$	Corresponde ao número total de fragmentos de cada tipo de classe.
Área de Fragmento Média (<i>Mean patch area</i>)	MPS	Densidade (m ²)	$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i}$	Corresponde a área média dos fragmentos de cada classe
Porcentagem de Manchas Conectadas (<i>Percentage of like adjacencies</i>)	PLADJ	Proximidade (%)	$PLADJ = \left(\frac{\sum_{k=1}^m g_{ii}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) (100)$	% do grau de conectividade de células da mesma classe.
Índice de Forma Médio (<i>Mean shape index</i>)	MSI	Forma (-)	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \left(\frac{p_{ij}}{\sqrt{2\pi a_{ij}}} \right)$	Corresponde a razão entre o perímetro e a área dos fragmentos de cada classe.

Fonte: Adaptado de McGarigal e Marks (1995).

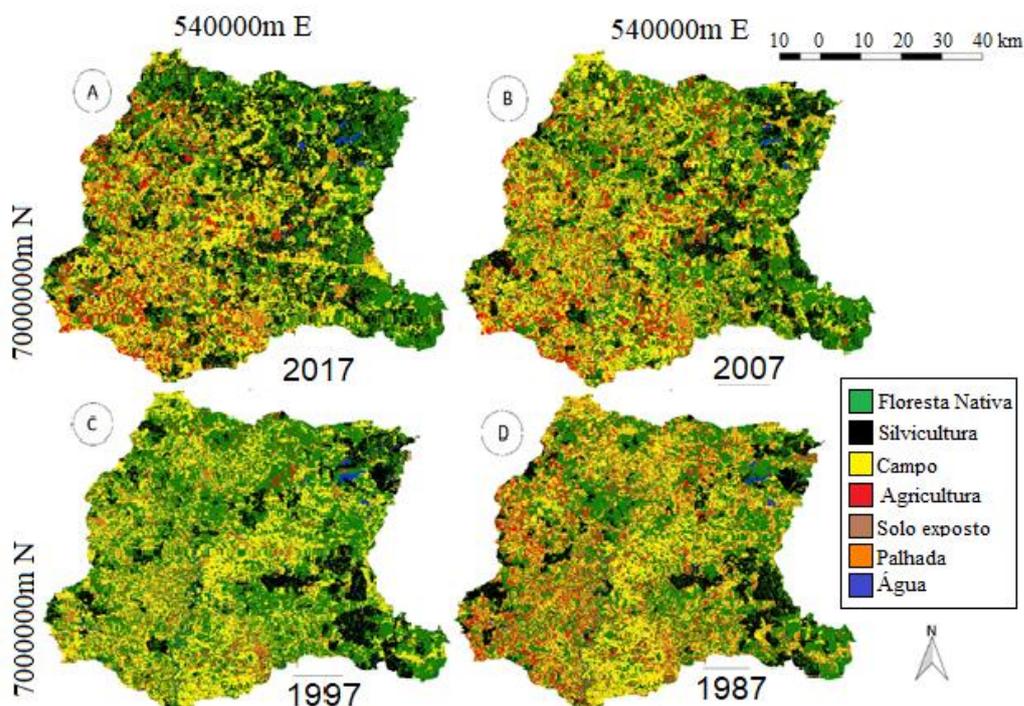
Onde: P_i = proporção ocupada pelas manchas (i) na paisagem; a_{ij} = área da mancha (i) de um determinado tipo de classe (j); A = área total da paisagem onde estão todas as classes (m^2); p_{ij} = comprimento total (m) do perímetro das manchas (i) na paisagem por tipo de classe (j); n_i = número de manchas na paisagem de uma determinada classe (i); g_{ii} = número de pixels conectados entre pixels de uma determinada classe (i); g_{ik} = número de pixels conectados entre pixels de uma determinada classe (i) e (k).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DINÂMICA DA COBERTURA DA TERRA

A partir dos processos descritos anteriormente, gerou-se quatro mapas da cobertura da terra na área de estudo, em um período de 40 anos (Figura 6). Observando a figura 6 é possível verificar visualmente que a maior parte das florestas nativas se encontram na região leste da bacia hidrográfica. Além disso, as coberturas da terra campo, agricultura e silvicultura aparecem com relevante intensidade durante os quatro períodos analisados. É importante visualizar também que a classe água é pouco alterada no decorrer dos anos, pois se estabelece como um impedimento físico que dificulta a modificação dessa cobertura.

Figura 6 – Mapas de cobertura da terra. (A) 2017; (B) 2007; (C) 1997; (D) 1987.



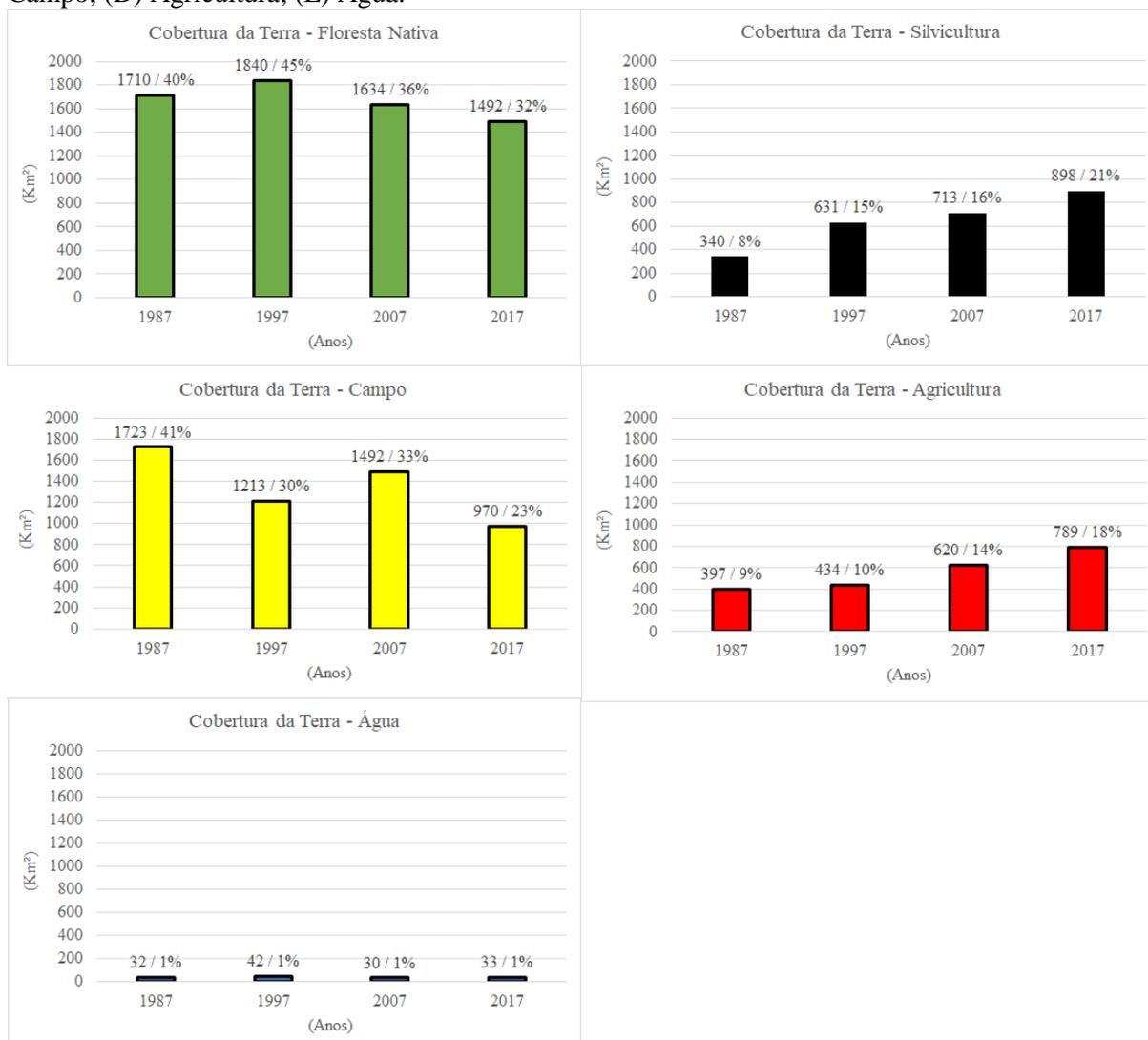
Fonte: O autor (2018)

A análise quantitativa permite avaliar a mudança em área ao longo dos 30 anos (Figura 7). Através das métricas de cobertura da terra (LAND) e porcentagem de cobertura da terra (PLAND), calculadas em valores absolutos (km²) e relativos (%) respectivamente, chegou-se a dados que demonstram as extensões territoriais que cada classe ocupa e como as mesmas estão distribuídas na paisagem.

A figura 7A representa a floresta nativa. Observa-se que durante o período de estudo houve diminuição da área dessa classe de 218 km², equivalente a 8% a menos em comparação ao primeiro período analisado (1987). Em 2017, restaram 1.492 km² de floresta nativa, e apesar da redução, essa cobertura continua tendo a maior extensão territorial. É possível observar na figura 6, que a maior parte de floresta nativa se concentra nas regiões a leste da bacia hidrográfica, devido ao relevo dessas áreas ser declivoso estabelecendo condições desfavoráveis a expansão de atividades econômicas que, por consequência, levariam a substituição dessa cobertura da terra (ten CATEN; SAFANELLI; RUIZ, 2015). Diferentemente das regiões a oeste da bacia hidrográfica, onde a topografia é plana, favorável ao desenvolvimento da silvicultura, e principalmente, da agricultura. Entretanto, observa-se que o território restante de floresta nativa se fragmentou em áreas menores e menos conectadas entre si com o passar dos anos, conforme mostra os resultados das demais métricas que serão explicadas detalhadamente a seguir.

A classe agricultura é o resultado da soma dos territórios de solo exposto, palhada e cultivo agrícola, sendo representada pelas principais culturas desenvolvidas na área (Figura 7D). Observa-se que a maior parte das áreas com essa cobertura da terra se concentram na região a oeste da bacia hidrográfica. Nessa região se encontra o município de Campos Novos, conhecido popularmente como o “Celeiro Catarinense” por ter sua economia baseada na agricultura mecanizada e no agronegócio. Esse município é o maior produtor de grãos do Estado de Santa Catarina, com destaque para as culturas anuais, como a soja (69.630 ha), milho (21.870 ha), fumo (730 ha), feijão (14.480 ha) e cebola (67 ha) (ADR, 2016). Além disso, a bacia hidrográfica do rio Marombas abrange municípios que são grandes produtores de alho. O município de Curitibanos, por exemplo, teve cerca de 1.500 ha de plantações de alho em 2002, e no município de Frei Rogério foram cerca de 400 ha plantados (EPAGRI, 2003). Esses fatores contribuíram para o crescimento da agricultura em 100% entre os anos de 1987 com 397 km² e 2017 com 789 km².

Figura 7 – Dinâmica ao longo de 30 anos, em valores absolutos (km²) e relativos ao total da área (%) da cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Marombas. (A) Floresta Nativa; (B) Silvicultura; (C) Campo; (D) Agricultura; (E) Água.



Fonte: O autor (2018).

A classe silvicultura possui expressiva quantidade de território dentro da bacia do rio Marombas, se mostrando crescente desde o primeiro até o último período analisado (Figura 7B). Em 1987, essa cobertura ocupava 340 km², enquanto em 2017 eram 898 km² de silvicultura. Esse aumento pode ser explicado devido ao alto incentivo dos municípios e empresas do ramo, a cultivar espécies perenes com o objetivo de gerar riquezas através da madeira. Para Raud (1999), as atividades silviculturais desempenharam papel importante no processo de industrialização do planalto catarinense, a partir do momento em que ocorria a substituição da exploração de florestas nativas (destaque para a exploração do Pinheiro-Brasileiro (*Araucaria angustifolia*) pelo manejo de espécies exóticas com ciclo de corte relativamente curto, predominantemente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. O extrativismo de

espécies nativas foi substituído pelo manejo de espécies exóticas ao longo dos anos, práticas que se intensificaram com programas de Fomento Florestal, sejam esses de origem pública ou privada, que dão crédito financeiro a pequenos e médios produtores (PÁDUA, 2006). A empresa KLABIN é um exemplo de unidade privada que incentiva os pequenos produtores a permanecerem no campo por meio de programas de Fomento Florestal. Além disso, esses programas estimulam os proprietários a utilizarem de forma racional os espaços impróprios para o desenvolvimento da agricultura. Esse fator influenciou no aumento do território ocupado por silvicultura na área de estudo entre o período analisado. Essas espécies exóticas citadas anteriormente foram muito utilizadas na produção de madeira serrada, pasta mecânica e celulose, tornando a região uma referência em produtos oriundos da madeira. Por exemplo, em 2001 o município de Ponte Alta do Norte produziu aproximadamente 751.000 m³ de madeira em tora para a produção de papel e celulose, aumentando a demanda de madeira, e consequentemente, a expansão das plantações de *Pinus* e *Eucalyptus* para novas áreas (EPAGRI, 2003).

A classe campo engloba herbáceas, gramíneas e em alguns casos pequenos arbustos, geralmente havendo predomínio de vegetação rasteira, seja ela natural ou manejada para servir de abastecimento para a pecuária ou produção leiteira (Figura 7C). Por exemplo, o município de Curitiba produziu cerca de 35,1 milhões de litros de leite em 2014, justificando as grandes extensões territoriais ainda ocupadas por campo (EPAGRI, 2016). Porém, como não há o impedimento físico de vegetações arbóreas densas, a substituição dessa cobertura se torna fácil a medida que os proprietários das terras desejam expandir as atividades agrícolas e silviculturais, provocando fortes modificações na paisagem. Em outras palavras, alguns territórios anteriormente ocupados por campo, passaram a ser agricultura ou silvicultura, e posteriormente, se tornaram campo outra vez. Isso explica o fato do espaço territorial dessa classe ter oscilado intensamente durante o período estudado, sendo que em 1987 havia 1.723 km² de campo, e em 2017 diminuiu para 970 km², equivalente a aproximadamente 46% de redução.

Há a possibilidade de examinar detalhadamente a coberturas da terra campo diferenciando-a entre nativos e exóticos. Nas regiões campestres, as vegetações rasteiras compõe o bioma Pampa, além de existirem territórios de campos nativos no Bioma Mata Atlântica e por isso, devem ser examinados de forma distinta de campos antropizados (MARCHETT; SCUR; AHLERT, 2011). O campo nativo é extremamente importante para a pecuária sendo responsável por grande parte do abastecimento de pastagens. No estado do Rio Grande do Sul por exemplo, o campo nativo é o principal recurso alimentar que mantém a

bovinocultura local, possuindo uma extensão de aproximadamente 12.000.000 ha (CARVALHO; MARASCHIN; NABINGER, 1998).

4.2 ANÁLISES QUANTITATIVAS DA FRAGMENTAÇÃO NA PAISAGEM

Os valores gerados foram obtidos pela aplicação das métricas descritas anteriormente (Tabela 1). A classe de floresta nativa, mostrou-se intensamente fragmentada ao longo dos anos. Por meio da métrica que calcula o número de fragmentos (NUMP) observou-se como o processo de fragmentação das florestas se acentuou nos períodos analisados (Tabela 2). Como esperado, nas duas primeiras décadas analisadas houve menor fragmentação das florestas. Entretanto, nota-se a impulsão que o processo de fragmentação toma ao analisar os dois últimos períodos. Analisando os dados descritos referentes as coberturas da terra, é possível confirmar a expansão da agricultura e da silvicultura em 2017. Provavelmente, essa expansão foi o principal fator que levou o processo de fragmentação a se agravar.

Tabela 2 – Dados de número de fragmentos (NUMP) e comprimento de borda (TE) para a classe Floresta Nativa, no período estudado.

Ano	Número de fragmentos (NUMP)	% relativa ao primeiro período (NUMP)	Comprimento de borda (TE) (km)	% relativa ao primeiro período (TE)
1987	13.253	-	22.326	-
1997	13.048	-2%	21.235	-5%
2007	14.548	+9%	24.471	+10%
2017	17.072	+28%	29.787	+33%

Fonte: O autor (2018).

Comparando trabalhos realizados por outros autores, Echeverria et al. (2006) associa o NUMP com o aumento no comprimento de borda (TE). Os períodos nos quais os fragmentos são menores e mais numerosos (NUMP maior) são os casos onde as bordas florestais tiveram os maiores comprimentos (TE maior). Com essa análise, é possível notar a semelhança entre os dados encontrados no presente trabalho. Conforme a métrica NUMP, em 2007 o número de fragmentos nas florestas nativas aumentou 9% em relação ao ano de 1987. Isso se agrava ainda mais quando é analisado o ano de 2017, onde o aumento no número de fragmentos foi de 28%. Para a métrica TE, houve redução de 5% do comprimento de borda entre 1987 e 1997. Entretanto entre os anos de 1987 e 2007 houve aumento de 10% e em 2017 chegou a 33% a mais em relação ao primeiro período analisado (Tabela 2). É inegável notar como as bordas aumentam conforme a paisagem se torna mais fragmentada. Isso é explicável pelo fato de que,

quanto maior forem as subdivisões dos fragmentos, maior será o espaço da mancha exposto por fatores externos, e assim, ocorre o intenso aparecimento de bordas. O autor ainda diz que o formato irregular dos fragmentos se impõe como catalisador no processo de formação de bordas.

Em trabalho realizado na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, na região Sul do Espírito Santo, Pirovani, Silva e Santos (2015) também encontraram esse aumento no NUMP entre os anos de 1970 e 2007. Os autores explicam que esse aumento ocorreu, pois se fragmentou áreas de floresta nativa existentes e não houve reposição de novas áreas florestais. Esses autores afirmam que a Mata Atlântica sofre constante pressão pelos efeitos negativos da fragmentação. Por exemplo, Kurasz et al. (2008) afirma em seu trabalho feito no município de Caçador (SC), que mais de 80% dos fragmentos vizinhos à Reserva florestal EMBRAPA/EPAGRI possuem menos que 5 ha e esse intenso processo de fragmentação contribuiu para o aumento nos efeitos de borda. Conforme Laurence e Vasconcelos (2009), paisagens excessivamente fragmentadas alteram as dinâmicas das populações, as interações tróficas e os processos ecossistêmicos, e esses efeitos tendem a se acentuarem em locais fragmentados há mais tempo, como a Mata Atlântica.

Quanto à métrica de média do tamanho dos fragmentos (MPS), o período de 1997 obteve o maior MPS em relação aos outros anos, chegando a 10,54 ha (Tabela 3). Enquanto 2017 atingiu 8,30 ha. De certa forma, observa-se que MPS é inversamente proporcional ao NUMP e ao TE. Isso porque períodos com menores índices de fragmentação tendem a conter fragmentos maiores que aumentam o valor médio das manchas. Assim, diminuem a quantidade de arestas ou bordas que os fragmentos possuem, conseqüentemente, reduzindo o comprimento de borda.

Tabela 3 – Média do tamanho dos fragmentos de Floresta Nativa e Agricultura.

Ano	Média fragmentos Floresta Nativa (ha)	Média fragmentos Agricultura (ha)
1987	8,66	4,37
1997	10,54	4,40
2007	9,30	5,45
2017	8,30	7,16

Fonte: O autor (2018).

Como relatam Santos et al. (2017) em trabalho realizado na Mata Atlântica, mais especificamente no município de Paraíba do Sul – RJ, onde o valor encontrado para o MPS foi de 7,42 ha em 2017 e na área em questão há predomínio de fragmentos com área inferior a 50

ha. Segundo Calegari et al. (2010), manchas florestais maiores contribuem para o aumento da biodiversidade e a viabilidade de espécies que necessitam de determinadas condições para sobreviver, onde essas condições só são encontradas em fragmentos de maior área. Porém, os autores explanam que pequenos fragmentos mostram o que é a realidade da Mata Atlântica, e esse tipo de fragmento abriga a maior parte de populações das mais diferentes espécies.

A métrica MPS se torna importante para a classe agricultura, pois possibilita discorrer sobre a dinâmica de distribuição de território agrícola entre pequenos e grandes produtores. No período de 1987, a média do tamanho dos fragmentos para a agricultura foi de 4,3 ha, em 1997 esse valor se manteve em 4,4 ha, em 2007 a média foi de 5,4 ha, e por fim, em 2017 aumentou para 7,1 ha. Propriedades menores que 10 ha, segundo as Agências de Desenvolvimento Regional (ADR, 2016), são classificadas como estabelecimentos de pequeno porte. Grande parte dos municípios que compõem a bacia hidrográfica possuem prioritariamente áreas de terra que os caracterizam como pequenos produtores (no Estado de Santa Catarina, 36,6% estão nesse grupo). Esses dados justificam as baixas médias de tamanho dos fragmentos relatados na tabela 3.

O índice de forma médio (MSI) demonstra importantes valores para a avaliação do formato dos fragmentos. Dessa forma, os resultados para esse índice variam entre $MSI \geq 1$, sem limite. O resultado desse índice é 1 caso os fragmentos tenham formato perfeitamente circular. Conforme esse formato se torna irregular, o resultado se distancia de 1, uma vez que o índice está diretamente ligado a relação entre o perímetro e a área dos fragmentos (McGARIGAL; MARKS, 1995). Os resultados para a classe floresta nativa demonstram que períodos intensamente fragmentados apresentam valores maiores de MSI. Em 1997 o MSI resultou em 2,89, o qual foi o resultado mais próximo de 1. Entretanto, em 2017 as manchas florestais tomaram formatos mais complexos, atingindo 3,8 de MSI, se distanciando de formas geométricas regulares (Figura 8A). Essa mudança no MSI está associada aos processos de desmatamento, com a modificação da paisagem florestal alterando o tamanho dos fragmentos e o aumento de seus respectivos perímetros, ocasionando o aumento no índice. Em comparação, com a classe silvicultura, observa-se nessa cobertura da terra que os valores foram próximos a 1, apresentando fragmentos regulares (Figura 8B). Esses resultados para a silvicultura relacionam-se com os plantios realizados em forma de talhões regulares, ocupando a paisagem de maneira propositalmente organizada, facilitando a mecanização e as técnicas de manejo. O mesmo pode observado para as demais classes (SAITO et al. 2016).

Figura 8 – Métrica MSI para as classes de cobertura da terra. (A) Floresta Nativa; (B) Silvicultura; (C) agricultura; (D) campo.

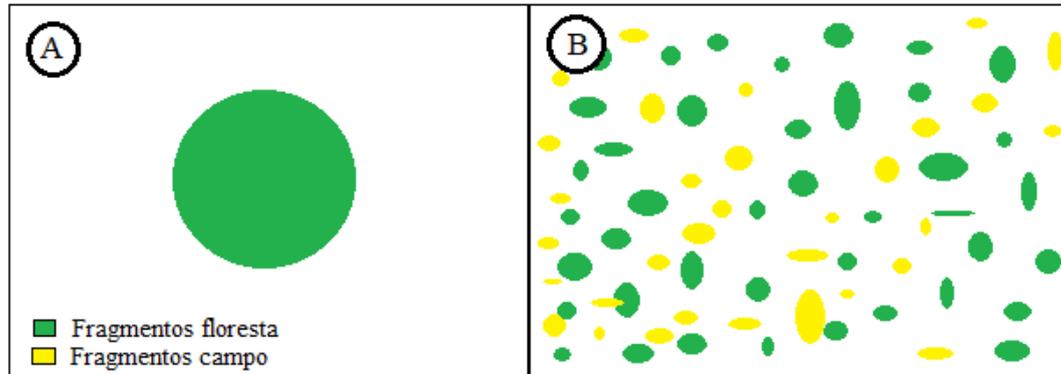


Fonte: O autor (2018).

Em trabalho realizado por Saito et al. (2016) em uma Unidade de Conservação (UC) localizada na Mata Atlântica, os autores encontram valores semelhantes para a métrica MSI nas classes anteriormente analisadas, nos períodos entre 1970 e 2007. Os valores encontrados pelo autor foram mais distantes de 1 na data de 2007 em comparação com 1970. Os autores enfatizam que esses dados estão relacionados com ações antrópicas que acontecem no entorno da reserva, levando a fragmentação das florestas conforme aumenta a incidência de atividades agrícolas, pastagens e silvicultura. Saito et al. (2016) complementa que é extremamente necessário a implementação de políticas públicas voltadas a restauração da área que visem o desenvolvimento sustentável.

O grau de conectividade foi definido pela métrica que calcula a porcentagem de pixels semelhantes que estão agregados (PLADJ). O PLADJ é igual a 0% quando a cobertura da terra analisada está desagregada ao máximo. O PLADJ aumenta à medida em que os pixels na paisagem se tornam mais agregados, chegando a 100% quando a classe de cobertura da terra é concentrada em um único ponto e não há pixels de outras classes de cobertura da terra entre os pixels desse ponto (McGARIGAL; MARKS, 1995). A figura 9 demonstra um exemplo onde é possível visualizar com clareza os parâmetros seguidos pela métrica.

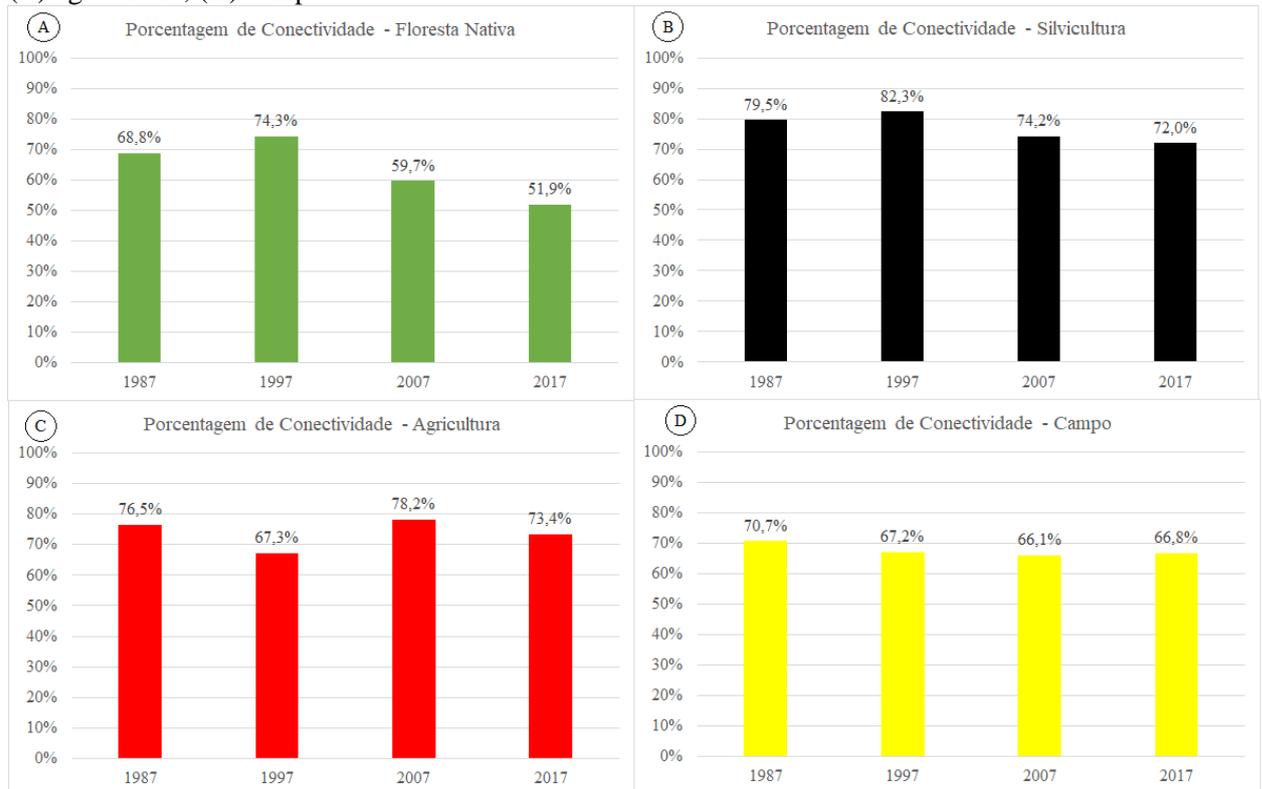
Figura 9 – (A) Paisagem onde o PLADJ é máximo; (B) Paisagem com manchas desagregadas e menor PLADJ.



Fonte: O autor (2018).

Dessa forma, pode-se avaliar quantitativamente a conectividade das determinadas classes de cobertura da terra (Figura 10). Para a classe de floresta nativa, observa-se que o ano de 1997 foi o período onde os fragmentos da classe estão mais conectados, obtendo PLADJ de 74,3%. Nos anos de 2007 o PLADJ regrediu para 59,7%. Em 2017 restaram aproximadamente 1.500 km² de floresta nativa, porém esse ano obteve o menor PLADJ mostrando que esses remanescentes estão desagregados entre si (Figura 10A). Esses dados remetem a períodos onde houve processos de desmatamento e perda de cobertura de floresta, e analisando a métrica LAND (Figura 7A) comprova-se a perda de espaço territorial ocupado por essa classe.

Figura 10 – Métrica PLANDJ para as classes de cobertura da terra. (A) Floresta Nativa; (B) Silvicultura; (C) agricultura; (D) campo.



Fonte: O autor (2018).

As classes silvicultura, agricultura e campo apresentaram valores mais estáveis em comparação com a floresta nativa (Figura 10). A agricultura está intensamente concentrada na região leste da bacia e assim, as manchas se tornam mais agregadas, tendo poucos pontos fora dessa área, o que explica o fato da classe ter obtido altos valores de PLANDJ. A silvicultura obteve resultado maiores de PLANDJ nos anos de 1987 e 1997. Isso se deve ao fato desta atividade, que anteriormente era concentrada em poucas regiões (Figura 6C, 6D), se expandir por toda a bacia hidrográfica entre 1997 e 2007 e entre 2007 e 2017 à medida que pequenos proprietários começaram a cultivar espécies exóticas perenes (EPAGRI, 2016). Os autores Soares, Galvão e Formaggio (2008) utilizaram a métrica PLADJ para avaliar plantações de espécies exóticas na região sudeste do Brasil. Esses autores encontraram valores de PLADJ entre 60% e 95% associando isso com a forma como os cultivos são plantados, manejados de maneira contínua em talhões, sem grandes separações e impedimentos físicos entre eles fazendo com que os resultados obtidos fossem menores.

De forma geral, ações de conservação a longo prazo são necessárias neste tipo de paisagem. Como exposto, o espaço é intensamente utilizado para fins comerciais onde a falta de planejamento visando um sistema sustentável, expôs inadequadamente essa área ocorrendo

considerável redução de vegetação nativa. A produção de alimentos, extração de recursos e pastagens exigem terras aráveis e grandes extensões territoriais, gerando competição por espaço com as demais coberturas da terra. Como consequência da demanda crescente por esses produtos, as áreas de remanescentes florestais ficam expostas a uma enorme pressão antrópica, causando o desmatamento e perda da biodiversidade. Uma avaliação detalhada da biodiversidade e da viabilidade de espécies com risco de extinção devem ser prioridades para futuras pesquisas na área de estudo. Autores como Jeanneret, Schüpbach e Luka (2003) sugerem a utilização de programas de monitoramento para regiões como essa, onde a fragmentação ocasiona modificações nos habitats e afeta negativamente a biodiversidade.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos na avaliação temporal da fragmentação da paisagem na bacia hidrográfica do rio Marombas, conclui-se que:

- O processo de fragmentação aumentou no período entre 1987 e 2017, indicando crescente processo de fragmentação e diminuição do tamanho médio das manchas;

- Apesar da redução, a floresta nativa ainda ocupa expressivo território em 2017 (32%). O campo (23%) e a silvicultura (21%) também estão entre as principais classes de cobertura da terra.

- Houve fortes modificações na estrutura da cobertura da terra na paisagem da área de estudo. Ocorreu redução de floresta nativa (-13%) apontando para um processo de desmatamento, e expansão das áreas de agricultura e silvicultura entre 1987 e 2017. A ocupação pela classe campo oscilou ao longo dos anos.

- Os resultados das métricas demonstram relações diretas ou indiretas entre si. O restante de floresta nativa se apresenta menos conectada, com maior quantidade de borda e possuindo manchas com formatos mais irregulares devido à expansão de atividade agrícolas, silvicultura e pastagens.

REFERÊNCIAS

ADR – AGÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Perfil Socioeconômico ADR: Campos Novos**. Florianópolis: ADR, 2016. 18-24p.

ALVARES, C. A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013.

ANDERSON, J. R. **Um sistema de classificação de uso da terra e cobertura da terra para uso com dados de sensor remoto**. Washington: USGS papel, 1976. 28 p.

ANTROP, M.; van EETVELDE, V. Aspectos holísticos das paisagens suburbanas: interpretação da imagem visual e métricas da paisagem. **Landscape And Urban Planning**, [S.l.], v. 50, n. 1-3, p. 43-58, ago. 2000.

BOGAERT, J.; HECKE, V. P.; van SALVADOR, D. Avaliação da fragmentação da paisagem usando uma única medida. **Wildlife Society Bulletin**, [S.l.], v. 28, n. 4, p. 875-881, 2000.

BRANDÃO, T. F. SIG: uma visão para estudantes, administradores e profissionais de TI. Disponível em: < <http://gfsolucoes.net/sig-uma-visao-para-estudantes-administradorese-profissionais-de-ti/>>. Acesso em 29/04/2018.

BROADBENT, E. N. et al. Fragmentação florestal e efeitos de borda do desmatamento e extração seletiva de madeira na Amazônia brasileira. **Biological Conservation**, [S.l.], v. 141, n. 7, p. 1745-1757, jul. 2008.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2003.

CÂMARA, G. Sistema de informações geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. Disponível em:<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/analise.pdf>. Acesso em: 29/04/2018.

CARVALHO, P.C.F.; MARASCHIN, G.E.; NABINGER, C. Potencial produtivo do campo nativo do Rio Grande do Sul. In: PATIÑO, H.O. (Ed.). SUPLEMENTAÇÃO DE RUMINANTES EM PASTEJO, 1, **Anais...** Porto Alegre - RS. 1998.

CASIMIRO, P. C. Estrutura, composição e configuração da Paisagem, conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da Ecologia da Paisagem. **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, Revista da APDR, Coimbra, n. 20, p. 75-97, 2009.

ten CATEN, A.; SAFANELLI, J. L.; RUIZ, L. F. C. Mapeamento multitemporal da cobertura de terra, por meio de árvore de decisão, na bacia hidrográfica do rio Marombas-SC. **Engenharia Agrícola**, [S.l.], v. 35, n. 6, p.1198-1209, dez. 2015.

COELHO, A. G. S. **Fotografias Aéreas na Classificação de Terras Agricultáveis**. São Paulo. Instituto de Geografia. USP. Revista Aerofotografia. n. 6, 1971, 13 p.

COLLINGE, S. K. **Ecologia de paisagens fragmentadas**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2009. 341 p.

CULLINGWORTH, J. Barry; CAVES, Roger. **Planejamento nos E.U.A: políticas, problemas e processos**. London: Routledge, 1997. 280 p.

DALE, V.H. et al. Avaliação dos impactos do uso da terra nos recursos naturais. **Environmental Science Division**, [S.l.], v. 22, n. 2, p. 203–211, 1998.

ECHEVERRIA, C. et al. Desmatamento e fragmentação rápidos de florestas temperadas chilenas. **Biological Conservation**, [S.l.], v. 130, n. 4, p.481-494, jul. 2006.

EPAGRI; CEPA - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA; CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Caracterização regional**: Curitiba. Florianópolis: Epagri, 2003. 7-22p.

EPAGRI; CEPA - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA; CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Síntese anual da Agricultura de Santa Catarina**: Ano internacional das Leguminosas. Florianópolis: Epagri, 2016. 191p.

ESCRITÓRIO FEDERAL DO MEIO AMBIENTE (EFMA). Agência Europeia do Ambiente. **Fragmentação da paisagem na Europa**. Suíça, 2011. 92p.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos. 2002. 9p.

FORMAN, R.T.T.; GODRON, M. **Ecologia da Paisagem**. Nova Iorque: John Wiley, 1986. 619p.

FRANKLIN, S. **Sensoriamento Remoto para Manejo Florestal Sustentável**. Nova Iorque: Lewis Publishers. 2001. 407 p.

FUCHS, R. B. H. **Avaliação do uso da Terra, por classe de declividade, na sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, RS**. 1986. 59 p. Monografia de Especialização. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1989.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Editora Nobel, 1982. 357 p.

GENELETTI, D. Usando indicadores espaciais e funções de valor para avaliar a fragmentação do ecossistema causada por infraestruturas lineares. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [S.l.], v. 5, n. 1, p.1-15, fev. 2004.

GIBBS, J. P. Distribuição de anfíbios florestais ao longo de um gradiente de fragmentação florestal. **Landscape Ecology**, [S.l.], v. 13, n. 4, p.263-268, out. 1998.

GULINCK, H.; WALPOT, O.; JANSSENS, P. Análise estrutural da paisagem da Bélgica central usando dados SPOT. In: HAINES, Y., R.; GREEN, D.R.; COUSINS, S. (Eds.). **Ecologia da Paisagem e Sistemas de Informação Geográfica**. Londres: Taylor & Francis, 1993. p. 129–139.

HADDAD, N. M. et al. Fragmentação de habitat e seu impacto duradouro nos ecossistemas da Terra. **Science Advances**, [S.l.], v. 1, n. 2, p.8-17, 20 mar. 2015.

HOBBS, Richard J. Efeitos da fragmentação da paisagem nos processos ecossistêmicos no cinturão de trigo da Austrália Ocidental. **Biological Conservation**, [S.l.], v. 64, n. 3, p.193-201, 1993.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Manual Técnico de Uso da Terra. **Manuais Técnicos em Geociências**. no 7, 2º edição. Rio de Janeiro, 2006.

IMBERNON, J.; BRANTHOMME, A. Caracterização de padrões de paisagem de desmatamento em florestas tropicais. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.l.], v. 22, n. 9, p.1753-1765, 15 jun. 2001.

JEANNERET, P.; SCHÜPBACH, B.; LUKA, H. Quantificação do impacto da paisagem e características do habitat na biodiversidade em paisagens cultivadas. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 98, n. 1-3, p.311-320, set. 2003.

JENSEN, J. R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2. ed. [S.l.]: Parêntese, 2011. 601 p.

JOHHANSEN, C. J. et al. Sensoriamento Remoto: Mudando o Gerenciamento de Recursos Naturais. **Journal Of Soil & Water Conservation**. [S.l.], p. 42-45. abr. 2003.

JONES, E.; OLIPHANT, T.; PETERSON, P; SciPy: Ferramentas Científicas de Código Aberto para *Python*. 2011. Disponível em: <[http://www. Scipy. Org/](http://www.Scipy.Org/)>. Acesso em: 23 de março de 2018.

JORGE, L. A. B.; GARCIA, G. J. Um estudo da fragmentação de habitats no sul do Brasil utilizando sistemas de sensoriamento remoto e informações geográficas (SIG). **Forest Ecology & Management**, [S.l.], p. 35–47. 1997.

JUNG, M. LecoS — Um plugin *python* para análise automatizada de ecologia da paisagem. **Ecological Informatics**, [S.l.], v. 31, p.18-21, jan. 2016.

KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.; SOUZA, L.M.I. Consequências genéticas da fragmentação sobre populações e espécies arbóreas. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 65-70, dez. 1998.

KURASZ, G. et al. Caracterização do entorno da reserva florestal EMBRAPA/EPAGRI de Caçador (SC) usando imagem IKONOS. **Floresta**, [S.l.], v. 38, n. 4, p.641-649, 23 dez. 2008.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 424 p.

LAURANCE, W. F. Reflexões sobre a crise do desmatamento tropical. **Biological Conservation**, [S.l.], v. 91, n. 2-3, p.109-117, dez. 1999.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, [S.l.], v. 13, n. 03, p.434-451, set. 2009.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L.; LOVEJOY, T. E. Perda e fragmentação florestal na Amazônia: implicações para a conservação da vida silvestre. **Oryx**, [S.l.], v. 34, n. 1, p.39-45, jan. 2000.

LAURANCE, W. F. et al. O destino dos fragmentos florestais da Amazônia: uma investigação de 32 anos. **Biological Conservation**, [S.l.], v. 144, n. 1, p.56-67, jan. 2011

LEE, J.T., ELTON, M.J., THOMPSON, S. O papel do SIG na avaliação da paisagem: usando critérios baseados no uso da terra para uma área da área de Chiltern Hills, de extraordinária beleza natural. **Land Use Policy**, [S.l.], v. 16, p. 23-32. 1999.

LOCH, C. **A interpretação de Imagens Aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. Florianópolis: UFSC, 2ª ed. Série Didática, 1989. 120 p.

LUCHIARI, A. **Breve Histórico dos Levantamentos de Uso e cobertura da Terra: panorama da geografia Brasileira**. São Paulo: Anna Blume, 2006. 145 p.

LUQUE, S. S. Avaliando mudanças temporais usando os dados do Multi-Spectral Scanner e do Thematic Mapper na paisagem de uma reserva natural: The New Jersey Pine Barrens, um estudo de caso. **International Journal Of Remote Sensing**, [S.l.], v. 21, n. 13-14, p.2589-2610, jan. 2000.

MACHADO, R. B. **Padrão de Fragmentação da Mata Atlântica em três Municípios da Bacia do Rio Doce - Minas Gerais, e suas consequências para a avifauna**. 1995. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1995.

MARCHETT, C. A.; SCUR, L.; AHLERT, S. **Análise multitemporal do uso e cobertura da terra no distrito de Criúva, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** INPE, 2011. p. 6230-6237.

MATTOS, J. C. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. Ecologia da paisagem voltada para o manejo de avifauna. **Espaço e Geografia**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 89-114, 2003.

McGARIGAL, K.; MARKS, B. J. FRAGSTATS: programa de análise de padrões espaciais para quantificar a estrutura da paisagem. 1995. Disponível em: <https://www.fs.fed.us/pnw/pubs/pnw_gtr351.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

METZGER J. P. Efeitos dos períodos de pousio na estrutura da paisagem. **Environmental Conservation**, v. 30, n. 4, p. 325–333. 2003.

MURCIA, C. Efeitos das bordas em florestas fragmentadas: implicações para a conservação. **Elsevier Science**. v. 3, n. 10, p. 58-62, 1995.

NOSS, R. F.; COOPERRIDER, A.Y. **Salvando o Legado da Natureza: Protegendo e Restaurando a Biodiversidade**. Washington: Island Press, 1994. 416 p.

NOSS, R.F., O'CONNELL, M.A., MURPHY, D.D. **A Ciência do Planejamento da Conservação: Conservação Baseada em Habitat Sob a Lei de Espécies Ameaçadas**. Washington: Island Press, 1997. 246 p.

OLIPHANT, T. E. *Python* para computação científica. **Computing in Science & Engineering**, [S.l.], v. 9, n. 3, p. 10-20, 2007.

PÁDUA, C. T. J. **Análise socioeconômica do Programa de Fomento Florestal IEF/ASIFLOR em Minas Gerais**. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEDLOWSKI, M. A. et al. Padrões e impactos do desmatamento em Rondônia, Brasil. **Landscape And Urban Planning**, [S.l.], v. 38, n. 3-4, p.149-157, nov. 1997.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.. Análise da paisagem e mudanças no uso da terra no entorno da rppn cafundó, es. **Cerne**, [S.l.], v. 21, n. 1, p.27-35, mar. 2015.

RANTA, P. et al. A Mata Atlântica fragmentada do Brasil: tamanho, forma e distribuição dos fragmentos florestais. **Biodiversity And Conservation**, [S.l.], v. 7, n. 3, p.385-403, mar. 1998.

RAUD, C. **Indústria, território e meio ambiente no Brasil: perspectivas da industrialização descentralizada a partir da análise da experiência catarinense**. Florianópolis - SC: Editora da UFSC. 1999. 276p.

SAITO, N. S. et al. Geotecnologia e Ecologia da Paisagem no Monitoramento da Fragmentação Florestal. **Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 23, n. 2, p.201-210, 23 fev. 2016.

SANTOS, J. F. C. et al. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p.151-158, 24 set. 2017. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/3758>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

SCOPUS PREVIEW. **What is Scopus Preview?**. 2018. Disponível em: https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/15534/supporthub/scopus/#tips. Acesso em: 04 de junho de 2018.

SHIDA C. N.; PIVELLO V.R. O contexto do Cerrado Pé-de-Gigante como fragmento: consequências. o desafio da conservação dos recursos naturais do Cerrado Pé-de-Gigante. In: PIVELLO V.R.; VARANDA E. M. **O cerrado Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga)**. São Paulo: SMA, 2005. p. 30-38.

SIERRA, R. Dinâmica e padrões de desmatamento na Amazônia Ocidental: a frente do desmatamento de Napo, 1986–1996. **Applied Geography**, [S.l.], v. 20, n. 1, p.1-16, jan. 2000.

SIMONETT, D. S. O desenvolvimento e princípios de sensoriamento remoto. **Manual of remote sensing**, [S.l.], v. 1, n. 2, p.1-34, jun. 1983.

SPINOLA, D. N. **Generalização Cartográfica em SIG Aplicada a um Mapa De Uso e Cobertura do Solo em Formato Vetorial e Matricial**. 100 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SOARES, D. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R. Crop area estimate from original and simulated spatial resolution data and landscape metrics. **Scientia Agricola**, [S.l.], v. 65, n. 5, p.459-467, 2008.

STAUS, N. L. et al. Taxa e padrão de perturbação florestal na ecorregião Klamath-Siskiyou, E.U.A, entre 1972 e 1992. **Landscape Ecology**, [S.l.], v. 17, n. 5, p.455-470, 2002.

STEFFEN, C. A. **Radiometria Óptica Espectral**. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - TUTORIAL – Abril 72 de 1996, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) São José dos Campos - SP.

VAN DERWAL, J. et al. SDMTools: Ferramentas de Modelagem de Distribuição de Espécies: Ferramentas para Processar Dados Associados a Exercícios de Modelagem de Distribuição de Espécies. 2012. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=SDMTools>. Acesso em: 23 de março de 2018.

WEBER, M. M. et al. Existe uma correlação entre abundância e adequação ambiental derivada da modelagem de nicho ecológico? Uma meta-análise. **Ecography**, [S.l.], v. 40, n. 7, p.817-828, 5 ago. 2016.

ZURLINI, G. Assessing multi-scale fragility of landscapes: concepts, methods and recent results of the map of Italian nature. In: BELWARD A. et al. (Eds.) **Proceedings of the International Workshop on Geo-Spatial Knowledge Processing for Natural Resource Management**, Varese: [s.n.], 2001. p. 153-159.