



**,UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL**



MATEUS ANTONIO GUMS GOMES

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL EM UMA SUB-BACIA NO
BAIXO ARAGUAIA INTEGRANDO REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS E
MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM**

Ji-Paraná

2023

MATEUS ANTONIO GUMS GOMES

**ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL EM UMA SUB-BACIA NO
BAIXO ARAGUAIA INTEGRANDO REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS E
MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM**

**Monografia apresentado
à disciplina “Trabalho de
Conclusão de Curso”
como parte dos requisitos
avaliativos.**

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Martins Moreira

Ji-Paraná

2023

Catálogo da Publicação na Fonte
Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

G633a Gomes, Mateus Antonio Gums.
Análise da fragmentação florestal em uma sub-bacia no baixo Araguaia integrando redes neurais artificiais e métricas de ecologia de paisagem / Mateus Antonio Gums Gomes. - Ji-Paraná, 2023.

39 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Martins Moreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2023.

1. Mudanças de uso e ocupação do solo. 2. Índices de paisagem. 3. Modelagem de uso do solo. 4. Cadeia Markov. I. Moreira, Rodrigo Martins. II. Título.

Biblioteca Setorial de Ji-Paraná CDU 004.032.26:574



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - JI-
PARANÁ

ATA DE DEFESA DE CONCLUSÃO DE CURSO

As **16:10** horas do dia 24 do mês de maio de 2023, realizou-se de maneira remota pela plataforma meet.google.com/ymt-poag-zap, a Sessão de Apresentação e Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Análise da fragmentação florestal em uma sub-bacia no Baixo Araguaia integrando redes neurais artificiais e métricas de ecologia da paisagem**”, apresentado pelo acadêmico **Mateus AntonioGums Gomes**. O trabalho foi julgado **SATISFATÓRIO** pelos docentes Rodrigo Martins Moreira, Alberto Dresch Webler e Bruno César dos Santos, com nota **76,8** como requisito parcial para obtenção do título de BACHARELADO em Engenharia Ambiental e Sanitária e **APROVADO** em sua forma atual, **COM** ressalvas para correções a serem feitas pelo aluno antes de submeter a versão definitiva para o fechamento da nota na disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso.

Ji-Paraná, 24 de maio de 2023.

APROVADO

_____ pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

ORIENTADOR: Rodrigo Martins

Moreira Aprovado (X) Reprovado ()

AVALIADOR 1: Alberto Dresch

Webler Aprovado (X) Reprovado

()

AVALIADOR 2: Bruno César dos

Santos Aprovado (X) Reprovado ()

Reaberta a sessão pública o orientador proclamou os resultados e encerrou a sessão, da qual foilavrada a presente ata que vai por mim assinada.

Rodrigo Martins
Moreira

Professor orientador



Documento assinado eletronicamente por **RODRIGO MARTINS MOREIRA, Docente**, em 24/05/2023, às 17:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno César dos Santos, Usuário Externo**, em 24/05/2023, às 17:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALBERTO DRESCH WEBLER, Docente**, em 02/06/2023, às 17:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?](http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1354612** e o código CRC **FBF4F122**.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer aos meus pais pela oportunidade da minha formação, foi grande o esforço para que tivesse a possibilidade de almejar um futuro melhor.

Agradeço ao Professor Rodrigo, pela ajuda, conhecimento proporcionado e paciência dentre os três anos que tem estado me orientando, nos projetos de iniciação científica e agora no trabalho de conclusão de curso.

Agradeço amigos e parceiros do quais sempre vou me lembrar com carinho, mesmo que não tenhamos mais contatos,

E agradeço à Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) e ao Departamento de Engenharia Ambiental junto aos profissionais que atuam nos mesmos por fazerem parte da minha formação.

Meus sinceros obrigados.

RESUMO

Desde a década de 1970 o impacto antropogênico sob a região amazônica tem se intensificado pelas mudanças de uso do solo, ressaltando o processo de fragmentação florestal, que tem seguido um padrão de conversão a pastagem. A bacia do Baixo Araguaia tem sofrido grande modificação na sua paisagem, proporcionados a partir dos programas de integração e expansão da agricultura. A fragmentação florestal causa diversos problemas ao meio ambiente, principalmente relacionados ao efeito de borda. Assim este trabalho teve como objetivo analisar e modelar as mudanças de uso do solo, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e rede neurais artificiais dos anos de 1990, 2000, 2010, 2020, e a realização de uma previsão de uso e ocupação do solo para 2050. Deste modo utilizando os dados mapeamento anual da cobertura e uso da terra do projeto Mapa Biomas como principal entrada para a modelagem na qual foi realizada a ferramenta *landi change modeler* do software *IDRISI*. No processo de modelagem foram gerados a partir das imagens de uso do solo dos anos de 1990 e 2020 foram gerados os potenciais de transição de floresta para outros usos, então adicionados variáveis interferem para o desmatamento, como “estradas”, “rodovias”, “núcleos urbanos” e “rios”, para a calibração do modelo, então e realizado a previsão do cenário de uso do solo utilizando a cadeia *Markov*. Para a análise da dinâmica das mudanças do uso do solo, foi realizado o cálculo de métricas da ecologia da paisagem, sendo realizado a partir do software *FRAGSTATS*. Foi possível observar que a área da bacia passou por intensa fragmentação, onde a formação florestal teve redução de 52.65 % para 25.83 % da área da bacia entre 1990 e 2020, além disso, para o cenário de 2050, espera-se que a área de floresta tenha uma redução para cerca de 19 % da área da bacia. de toda a floresta desmatada entre 1990 e 2020, que equivale a cerca de 285,6 mil hectares, um total de 98,7% foi convertida a pastagem. a partir das métrica da paisagem calculadas, houve um decréscimo da qualidade nos fragmentos. As métricas “CA”, “AREA_MN”, “LPI”, “NP” “TCA” e “CPLAND” possível verificar a diminuição das áreas medias dos fragmentos florestais, a diminuição da área de núcleos destes fragmentos e o aumento da quantidade de fragmentos, ocorrendo uma grande diminuição da área do maior fragmento da bacia entre 1990 e 2000. Em relação a forma dos fragmentos, as métricas “PARA_MN” e “SHAPE_MN”, indicam uma maior irregularidade da forma destes fragmentos conforme o avanço da conversão de floresta a pastagem. na métricas de isolamento, os valores de “ENN_MN” e “CONNECT” apresentaram, quer a distancias média entre fragmento teve decréscimo, além do aumento de fragmentos com distância menor que o *buffer* indicado. Portanto, a partir do conhecimento da dinâmica de mudanças de uso e ocupação do solo na área, ressalta o impacto humano sobre as paisagens, sendo necessário a formulação de política públicas para atenuar ou reverter o processo de fragmentação florestal

Palavras-chaves: mudanças de uso e ocupação do solo, índices de paisagem, cadeia Markov, modelagem de uso do solo.

ABSTRACT

Since the 1970s, the anthropogenic impact on the Amazon region has been intensified by changes in land use, highlighting the process of forest fragmentation, which has followed a pattern of conversion to pasture. The lower Araguaia basin has undergone major changes in its landscape, brought about by programs for the integration and expansion of agriculture. Forest fragmentation causes several problems to the environment, mainly related to the edge effect. Thus, this work aimed to analyze and model changes in land use, using remote sensing techniques and artificial neural networks from the years 1990, 2000, 2010, 2020, and to carry out a forecast of land use and occupation for 2050. Thus, using the annual mapping data of the cover and land use of the MapBiomass project as the main input for the modeling in which the land change modeling tool of the *IDRISI software* was carried out. No modeling process was generated from the images of land use from the 1990s and 2020s, the transition potentials from forest to other uses were generated, then added variables that interfere with deforestation, such as “roads”, “highways”, “urban centers” and “rivers”, for the calibration of the model, then and performed the forecast of the land use scenario using the *Markov chain*. For the analysis of the dynamics of changes in land use, the landscape ecology metrics calculator was carried out using the FRAGSTATS software. It was observed that the basin area underwent intense fragmentation, where the forest formation was reduced from 52.65% to 25.83% of the basin area between 1990 and 2020, possible in addition, for the 2050 scenario, it is expected that the forest area has a reduction to about 19% of the basin area. of all the forest deforested between 1990 and 2020, which is equivalent to around 285.6 thousand hectares, a total of 98.7% was generated by pasture. from the landscape metrics sequences, there was a decrease in the quality of the fragments. The metrics "CA", "AREA_MN", "LPI", "NP", "TCA" and "CPLAND" can verify the decrease in the average areas of forest fragments, the decrease in cores of these fragments and the increase in the number of fragments, with a large decrease in the largest fragment of the basin occurring between 1990 and 2000. Regarding the shape of the fragments, the metrics “PARA_MN” and “SHAPE_MN,” indicate a greater irregularity in the shape of these fragments as the forest conversion advances the pasture. in the isolation measurement, the values of “ENN_MN” and “CONNECT” showed that the average distance between fragments had a decrease, in addition to the increase of fragments with a distance smaller than the indicated buffer. Therefore, based on knowledge of the dynamics of land use and occupation in the area, the human impact on the landscapes is highlighted, requiring the formulation of public policy to mitigate or reverse the process of forest fragmentation.

Keywords: land use and occupation changes, landscape indices, Markov chain, land use modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- localização da área de estudo.....	19
Figura 2 - Fluxograma de execução das etapas.....	20
Figura 3 - Uso e ocupação do solo entre 1990 e 2020.....	24
Figura 4 – Áreas que sofreram transição de floresta para outros usos de 1990 a 2020.....	27
Figura 5 - Tendência de mudança de floresta para outras classes de uso do solo.....	28
Figura 6 - Previsão de uso e ocupação do solo para o ano de 2050.....	29
Figura 7 - comparação das áreas dos usos do solo para a previsão da bacia em 2050.....	30
Figura 8 - Resultados das métricas da paisagem CA e AREA_MN.....	30
Figura 9 - Resultados das métricas da paisagem LPI e NP.....	31
Figura 10 -Resultados das métricas da paisagem PARA_MN e SHAPE_MN.....	32
Figura 11. Resultados das métricas da paisagem TCA e CPLAND.....	33
Figura 12. Resultados das métricas da paisagem ENN_MN e CONNECT.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das métricas da paisagem a serem calculadas.....	22
Tabela 2 - área ocupada pelas classes de uso do solo.....	24

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1.	Processo de ocupação da região do baixo Araguaia.....	13
2.2.	Fragmentação florestal.....	14
2.3.	Ecologia da paisagem	15
2.4.	Métricas de paisagem.....	17
2.5.	Modelagem do uso e ocupação da terra.....	17
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1.	Área de estudo.....	21
3.2.	Aquisição de dados.....	22
3.4.	Pré-processamento de imagens.....	22
3.5.	Modelagem da perda de vegetação e uso do solo usando redes neurais artificiais.....	23
3.6.	Métricas da paisagem.....	24
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
	REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

As mudanças do uso do solo, tem sido os fatores mais importantes do impacto ambiental antropogênicos, tornando-se uma das maiores preocupações humanas e relação ao meio ambiente, isso pelo fato de abrangerem impactos relacionados ao clima, a biodiversidade e a qualidade hídrica, do solo e do ar (KUMAR *et al.*, 2015).

A intensa fragmentação e perturbações procedentes das áreas agrícolas e urbanizadas no entorno de áreas com vegetação nativa e florestas secundárias representam uma das grandes ameaças à conservação dos ecossistemas na Amazônia. Neste processo, os fragmentos tornam-se cada vez mais expostos ao chamado efeito de borda, podendo levar à extinção de espécies (SILVA *et al.*, 2020).

No Tocantins, onde a proporção de áreas originalmente constituídas por florestas é reduzida, o desmatamento se concentrou nas florestas localizadas ao norte, deixando poucos e pequenos fragmentos de floresta nativa. Ao centro-oeste e sudoeste do estado há maior quantidade de remanescentes florestais, que geralmente estão preservados no interior de áreas protegidas (MESSIAS *et al.*, 2021).

O sensoriamento remoto, juntamente aos sistemas de informações geográficas(GIS) tem sido amplamente aplicado na detecção das mudanças do uso do solo (PRAKASAM, 2010). O monitoramento das mudanças do uso do solo tem importância fundamental para diversos propósitos científicos, estratégias governamentais, com foco na busca por uma gestão mais eficientes do recurso escassos da terra (NEVES; KÖRTING; FONSECA; ESCADA, 2020).

A ecologia da paisagem torna-se o estudo da estrutura, função e mudança de uma região heterogênea composta de ecossistemas em interação, constituindo-se uma ciência básica para o desenvolvimento, manejo, conservação e planejamento ambiental (DUACATI *et al.*, 2011). Ainda a modelagem do uso do solo pode tornar-se uma ferramenta importante na gestão territorial, auxiliando no desenvolvimento de políticas de proteção dos remanescentes florestais. Os modelos de previsão de uso do solo permitem a predição de diferentes cenários a partir das influências de novos eventos com potencial de alteração na dinâmica de ocupação e uso destas áreas(Luiz, 2014).

Assim, neste trabalho foi desenvolvido uma análise multitemporal da dinâmica da fragmentação florestal em uma sub bacia do rio Araguaia, utilizando ferramentas de ecologia da paisagem e modelos de previsão do uso do solo redes neurais

artificiais, a fim de entender a dinâmica espacial das mudanças do uso do solo sob a bacia estudada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA REGIÃO DO BAIXO ARAGUAIA

O Bioma Amazônico chega ocupar uma área de 4.196.943 Km², que corresponde mais de 40% do território nacional e é constituída principalmente por uma floresta tropical. A região Amazônica compreende os territórios do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Roraima, e parte do território do Maranhão, Mato Grosso, Rondônia e Tocantins. A pecuária tem sido uma atividade pioneira no processo de ocupação do solo da Amazônia Legal nas últimas décadas, ocupando áreas antes de floresta. Além disso novas estradas e a implantação de dezenas de projetos de colonização e assentamentos, propiciaram as condições favoráveis para a ocupação humana na região (TOWNSEND, 2009).

A floresta Amazônica Brasileira permaneceu completamente intacta até início da realização da rodovia transamazônica na década de 1970 que havia sido iniciado em decorrência de projetos de projetos de integração e desenvolvimento, ajudando a fixar a populações no eixo e entornos dos empreendimentos de infraestrutura iniciados (FEARNSIDE, 2005; FRANÇA, 2005). As mudanças do uso do solo do bioma são resultadas de diferentes fases de desenvolvimento nos últimos 50 anos, e processo de conversão de floresta a pastagem advém de vários fatores, que, compreendem desde incentivos fiscais, políticas de colonização no passado, até o recente cenário macroeconômico, envolvendo o avanço da exploração madeireira, da pecuária e do agronegócio (MELLO, 2014; ARTAXO, 2017; SOARES FILHO et al., 2005).

Segundo Fearnside (2005) as fazendas de médio e grande porte eram responsáveis por cerca de 70% das atividades de desmatamento, maior parte para criação de pastagem para atividade de pecuária. Ainda, Sayago et al (2004), ressalta que nas três décadas subsequentes ao início da implantação da transamazônica, a Amazônia experimentou uma transformação sem precedentes, maiores que nas quatro décadas anteriores, e que atualmente torna-se necessário um novo modelo de ocupação para a região, ao contrário do modo predatório do meio ambiente atualmente.

Segundo Miragaya (2013) a área mais vulnerável ao processo de devastação da floresta tem sido exatamente o amplo arco que corta a Região Amazônia no sentido sudoeste-nordeste, conhecida como “Arco do Desmatamento”, compreendendo

algumas das principais frentes de expansão da atividade agropecuária no país. O arco do desmatamento e a região onde a fronteira agrícola avança em direção à floresta, também onde encontram-se os maiores índices de desmatamento da Amazônia, se estendendo-o leste ao sul do Pará, em direção ao Mato Grosso, Rondônia e Acre (SOUZA, 2020). Assim como ocorrido em toda a região Amazonia, a região que compreende a área do baixo Araguaia, teve a ocupação do solo fundamentada a partir de ações públicas de ordenamento territorial, impulsionadas pelo apelo da necessidade de ocupação dos “vazios demográficos” (INOCÊNCIO, 2010).

O baixo Araguaia se constitui depois da localidade de Conceição do Araguaia até sua confluência com o rio Tocantins. Inicia-se depois da planície do Bananal, quando a planície aluvial praticamente desaparece e o rio entra em área de rochas paleozoicas e principalmente, de rochas cristalinas pré-cambrianas, com extensão aproximadamente de 500 km até a confluência com o Tocantins (BANDEIRA, 2010). O clima de savana tropical da bacia comporta duas estações bem definidas: a chuvosa e a seca, que controlam as variações da descarga no rio Araguaia. A estação chuvosa ocorre entre novembro e abril, enquanto a estação seca se estende de maio até outubro (LATRUBESSE, 2006). Nas últimas décadas, essa região passou por intensa modificação da sua paisagem natural e social, em um processo de transformações socioambientais das territorialidades preexistentes, a dos grandes empreendimentos incentivadas pelo Estado, como a imigração causada pelo processo de integração na década de 1970 e a implantação da produção de larga escala da monocultura da soja, na década de 90 (BAMPI, 2017).

2.2. FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL

A fragmentação florestal é um processo em que áreas contínuas de vegetação natural são subdivididas em manchas de tamanhos diversos, tendo origem antrópica ou causas naturais associadas a mudanças no meio ambiente ou outros eventos de elevado grau de magnitude. Outra definição descreve o processo como a contínua divisão de um habitat original em fragmentos com diferentes graus de isolamento proveniente de fatores antrópicos ou naturais, causando prejuízos ao meio ambiente como alterações no microclima, deterioração da qualidade de vida das populações, degradação dos recursos naturais, perda de habitats, biodiversidade e serviços ecossistêmicos (PINTO, 2017; FEANSIDE, 2015).

O processo de fragmentação acarreta diversos danos à biodiversidade, devido ao efeito de borda que causa nos fragmentos florestais, como alteração nas interações bióticas, temperatura, umidade, incidência de luz e exposição ao sol e vento (VOLTOLINI, 2019). O impacto do efeito de borda está relacionado à forma do fragmento, sendo maior a borda quanto mais irregular o formato, estando este diretamente ligado à relação entre o perímetro e a área; quanto menor essa relação, menor também será a borda e vice-versa, fragmentos de formatos mais regulares têm a razão borda/área minimizada e, portanto, o centro da área está mais distante das bordas (GONÇALVES et al., 2019, ESCADA et al., 2020). Segundo Rodrigues (2006), a taxa de fragmentação florestal pode acarretar uma grande extinção em massa em razão da redução dos habitats de floresta, quadro que pode ser revertido caso o processo de desmatamento não avançar sobre os fragmentos florestais remanescentes.

O estudo da fragmentação é de suma importância para entendimento da formação de corredores ecológicos e estudo da dinâmica e alteração de paisagem e uso da terra, uma vez que a perda de habitat devido ao processo, resultam em perda da biodiversidade pelo isolamento de populações de espécies, sejam em meio terrestre ou aquática ou até imediatamente após alterações dos habitats pelos processos de desmatamento, queimada, barragens, entre outros (PINHEIRO, 2019; FISZION et al., 2003; SOUZA et al., 2014).

Embora o Brasil tenha uma política moderna de conservação ambiental e esforços tenham sido feitos para conter as taxas de desmatamento, florestas e outras paisagens naturais continuam ameaçadas (RÊGO, 2017). A criação de políticas públicas, ferramentas de monitoramento, ações de fiscalização e a crise das commodities contribuíram para uma drástica redução do desmatamento que, em 2012, atingiu a menor taxa da série. Contudo, a partir de 2013, iniciou-se uma nova tendência preocupante de aumento das taxas de desflorestamento (MESSIAS et al., 2021).

2.3. ECOLOGIA DA PAISAGEM

Desde os primórdios da civilização, a paisagem é alterada conforme as necessidades da expansão antrópica sobre o espaço, em favor das necessidades humanas (AMARAL et al., 2019). O entendimento da dinâmica das paisagens é obtido a partir dos conhecimentos das transformações de uma paisagem original para uma paisagem modificada (FORMAN; GODRON, 1986). Assim surge a ecologia da

paisagem, permitindo analisar quantitativamente a dinâmica de mudanças ocorridas e a escala temporal da configuração espacial a partir da paisagem observada.

A ecologia da paisagem é um ramo de estudo das configurações geográficas heterogêneas de diferentes configurações espaciais, criada a partir do estudo de questões relacionadas ao uso da terra por meio de fotografias aéreas e interpretação das paisagens. Possuindo principal objetivo quantificar as estruturas para compreensão da dinâmica ecológica (NUCCI, 2007; MOREIRA et al, 2022).

Para a ecologia da paisagem o conceito de paisagem pode ser definido como um mosaico heterogêneo formado por unidades que interagem entre si, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação (METZGER, 2001). As paisagens são compostas por um conjunto de manchas isoladas ou conectas entre elas de que são os elementos ou unidades básicas de uma paisagem, distribuída sobre a matriz da superfície (PEREIRA et al., 2001).

Para identificar uma mudança na paisagem, é preciso definir uma escala de análise e uma temporalidade de observação, seja ela pontual ou frequente, sendo definida de modo a dar um significado as representações da paisagem de forma a compreender os fenômenos que compõem a paisagem (AMARAL et al., 2019; CASTRO, 2015).

A ecologia da paisagem permite analisar quantitativamente os processos de mudanças ocorridas em uma paisagem, em diversas escalas, como a de bacias hidrográficas (MOREIRA et al, 2022). Portanto a ecologia de paisagens tem sua contribuição à medida que propõem representar a dinâmicas dos fenômenos de uma paisagem de mosaicos antropizados, na escala na qual o homem está modificando o seu ambiente, seja em escala espacial ou temporal. Assim, a principal contribuição da ecologia de paisagens é o enfoque nas relações entre padrões espaciais e processos ecológicos e a incorporação da escala nas análises (METZGER, 2001). Como ferramenta para aplicação da ecologia da paisagem, a metodologia mais aplicada é relacionada a cálculo de métricas ou índices de paisagem, a qual utilizam modelos matemáticos para representação da estrutura da paisagem, na qual estão relacionados com processos ecológicos (LANG; BLASCHKE 2009). Uma das ferramentas de operação das métricas de paisagem FRAGSTATS, que permitem calcular métricas da paisagem a partir de dados matriciais ou vetoriais correspondentes aos fragmentos florestais (FRAZIER, 2019).

2.4.MÉTRICAS DE PAISAGEM

A utilização de novas áreas para a agricultura e pastagem, bem como a expansão dos centros urbanos propiciam o aparecimento de paisagens florestais fragmentadas(DUCATTI et al., 2010) . Um grande número de métricas por trabalhos de décadas vem sendo usados de modo progressivo pelos ecólogos para quantificar essas paisagens (VOLOTÃO, 1998).

O *Fragstats* oferece uma escolha abrangente de métricas de paisagem e foi projetado para ser o mais versátil possível (KUPFER, 2012). Assim, o programa oferece uma um processo de utilização semiautomático para cálculo de diversos índices, como métricas de área, métricas de fragmentos, métricas de bordas, métricas de forma, métricas de área central e métricas de diversidade (MCGARIGAL et al., 2002). No software *Fragstats*, é possível calcular essas métricas, por meio de um mapa de fragmentação no formato de arquivo matricial, tomando como base os fragmentos florestais encontrados, a utilização destas métricas para comparações temporais das mudanças de uso e ocupação do solo, é essencial no estudo da dinâmica da fragmentação florestal (MCGARIGAL, 2013; VOLOTÃO, 1998).

2.6 MODELAGEM DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Os modelos de simulação espacial ou modelos de simulação ambiental auxiliam o entendimento dos mecanismos causais e processos de desenvolvimento dos sistemas ambientais (RODRIGUES et al., 2007). Em seu estudo, Ren (2019) traz uma series de modelos de mudanças de uso dos solos baseados em redes neurais artificiais, como os Modelos Baseado em Agente, modelos celulares e modelos econômicos., ressaltando a simplicidade operacional dos modelos celulares, como o da cadeia Markov, assim, como sua eficiência no tratamento e simulação de mudanças de fenômenos emergentes.

Modelos de RNAs – redes neurais artificiais podem ser definidas como uma ferramenta estatística, que, análise diversas variáveis de influência de um fenômeno e a partir dela gera uma saída em resposta ao problema (DEPINÉ, 2014) . As redes neurais artificiais são comumente utilizadas na resolução de problemas complexos, onde a influência das variáveis não tem seus pesos conhecidos (FLECK, 2016).

Na aplicação *Land Change Modeler* é um software integrado desenvolvido pelo IDRISI selva é uma coleção de ferramentas de análise e modelagem do uso e ocupação do solo que permite a aplicação destes modelos baseadas em cadeia Markov. As regras de transição estabelecidas neste modelo específico consideram a atratividade da vizinhança, a adequabilidade de cada célula/região para determinado tipo de uso e a acessibilidade da célula (DE AGUIAR, 2003). Uma Cadeia de Markov assume que a taxa de mudança permanece constante ao longo do tempo (EASTMAN, 2017). Assim a ferramenta *Land Change Modeler* realiza o processo de predição das mudanças de uso do solo baseados na partir mapas de transição, suscetibilidade e nas matrizes da cadeia Markov (ANAND, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado numa sub bacia do baixo Araguaia, com área aproximada de 104.362 km² com seu exultório na confluência com o rio Tocantins, região da Amazonia Legal que se encontra em transição com o bioma de cerrado, As condições climáticas que predominam na bacia Araguaia são de natureza continental tropical, apresenta-se semiúmido com tendência a úmido, caracterizando-se segundo Koppen, no tipo Aw, de savanas tropicais, com 4 a 5 meses secos (SIMEGO, 2002).

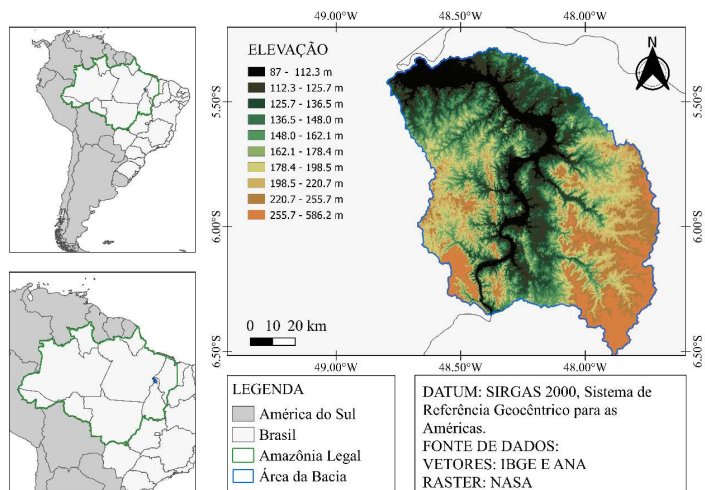


Figura 1- Localização da área de estudo.

3.2. Aquisição de dados

As imagens no formato Raster, contendo a classificação do uso do solo foram obtidas a partir do banco de dados do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil – MapBiomas, que disponibiliza desde 2015, os produtos de classes de uso do solo do Brasil, anualmente desde 1985 até o presente ano (MAPBIOMAS, 2017).

Na plataforma do *Google Earth Engine* foram obtidos os raster contendo os rios, estradas e a elevação, sendo estes, dos bancos de dados do *HydroSHEDS*, *Global Roads Inventory Project global roads* e o satélite Copernicus.

3.3 pré-processamento de imagens

O pré-processamento das imagens foi realizado a partir do *Google Earth Engine*, uma plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, que dispõe de bibliotecas de imagens de diversas fontes, os raster foram carregados na plataforma, e realizados o recorte para área de interesse. Todas as camadas raster utilizadas foram reprojatadas para o Datum WGS 84, no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 20 sul, todas contendo a resolução espacial de 30 metros. Os rasters de entrada na

aplicação IDRISI, contém um buffer de 10 km a partir da extensão da bacia hidrográfica.

Na plataforma foram calculadas as distâncias euclidianas do arquivo de áreas urbanas, estradas e rodovias, e rios que foram inseridos como variáveis na etapa de predição do uso e ocupação do solo utilizando a ferramenta *Land Change Modeler*: os raster de fragmento florestais foram recortados para área da bacia e serviram como entrada de dados na aplicação do *FRAGSTATS*, conforme fluxograma (FIGURA 2) abaixo (FIGURA 2).

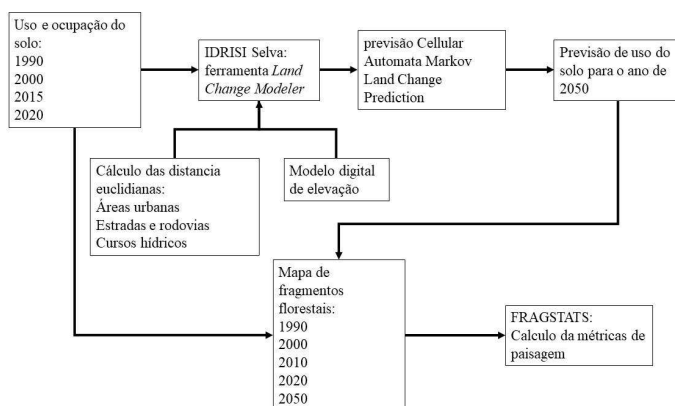


Figura 2 - Fluxograma de execução das etapas

Fonte: autor

3.1. MODELAGEM DA PERDA DE VEGETAÇÃO E USO DO SOLO USANDO REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Foi utilizado a ferramentas do componente Land Change Modeler do IDRISI Selva versão 17.2. Esse componente permite analisar o uso e mudança da terra em diferentes escalas temporais e territoriais. Neste trabalho a ferramenta foi utilizada para quantificar ganhos e perdas para a área de estudo e para implantar uma previsão de uso e mudança da terra para 2050, a partir disso realizar novamente os cálculos de métricas da paisagem para comparação da série temporal. Além das imagens de calibração do

uso do solo, também foram inseridos no IDRISI os raster de modelo digital de elevação, distancias euclidianas das estradas, áreas urbanas e cursos hidricos.

O TerrSet utiliza o algoritmo Multi-Layer Perceptron (MLP), componente esse que se desmembra em duas etapas: a de calibração e a de validação (BRUZZONE; COSSU; VERNAZZA, 2004). Foram submetidos à modelagem de mudanças temporais, no software TerrSet os dados de entrada, no qual gerou os mapas de transição de floresta para pastagem e o mapa de mudanças de classes do solo do período entra 1990 e 2020. Estes dados em formato matricial entram como variáveis que treinam o aprendizado de máquina com redes neurais existente dentro do software, e que se caracteriza como uma etapa anterior ao painel da Cadeia de Markov (BORGES, 2020). Para calibração foram usadas as imagens de uso do solo de 2000, como t1, e outra de 2015 como t2. Assim, obteve uma imagem com a previsão do algoritmo para 2020. O modelo será validado sobrepondo a imagem prevista pelo algoritmo de 2020 com a imagem classificada pelo MapBiomias para o mesmo ano.

Após a calibração e validação, usando a ferramenta de previsão Cellular Automata Markov Land Change Prediction Tool no IDRISI, foi obtida a previsão do uso e ocupação do solo em 2050. O modelo Markov é comumente utilizado em técnicas de modelagem e ferramentas de uso e ocupação do solo, modelando as mudanças espaciais e temporais (REGMI; SAHA; BALLA, 2014), A cadeia de Markov estima a mudança do uso do solo de um ano de interesse até um ano de previsão desejado. Assim, uma matriz de probabilidade de transição é gerada, evidenciando as chances de mudança entre as classes de uso e ocupação do solo(PEREIRA, 2022).

3.2. MÉTRICAS DA PAISAGEM

A análise dos índices de ecologia da paisagem é realizada com base no mapa de fragmentos florestais gerados, sendo os valores obtidos pelo software Fragstats

versão 4.2(MCGARIGAL, 2013). As métricas foram calculadas a partir da imagem gerada, onde foram calculados os seguintes índices(Tabela 1):

Tabela 1. Descrição das métricas da paisagem calculadas.

Nome da métrica	Sigla	descrição
Área total da classe	CA (ha)	CA é igual à soma das áreas (m ²) de todas as manchas do tipo de mancha correspondente, dividida por 10.000 (para converter em hectares)
Área média dos fragmentos	AREA_MN (ha)	AREA_MN igual à área (m ²) do pote dividido pela quantidade de manchas, dividida por 10.000 (para converter em hectares),
Número de fragmentos	NP	Número de fragmentos —NP é igual ao número de patches do tipo de patch (classe) correspondente.
Índice de maior mancha	LPI (%)	LPI é igual à área (m ²) da maior mancha na paisagem dividida pela área total da paisagem (m ²), multiplicada por 100 (para converter em %)
Índice de forma médio	SHAPE_MN	SHAPE_MN é igual ao perímetro do patch (m) dividido pela raiz quadrada da área do patch (m ²), ajustado por uma constante para ajustar um padrão quadrado
Relação perímetro e área	PARA_MN	PARA_MN é igual à razão entre o perímetro do patch (m) e a área (m ²). Soma das áreas centrais de cada mancha (m ²) do tipo de mancha correspondente, dividida por 10,000 (para converter em hectares)
Área de Núcleo Total* ¹	TCA (ha)	TCA (ha) é igual soma das áreas centrais de cada mancha (m ²) do tipo de mancha correspondente, dividida por 10.000 (para converter em hectares).

Porcentagem da área central da paisagem	CPLAND (%)	CPLAND (%) é igual soma das áreas centrais de cada mancha (m ²) do tipo de mancha correspondente, dividida pela área total da paisagem (m ²), multiplicada por 100 (para converter em porcentagem)
Distância euclidiana do vizinho mais próximo	ENN_MN	ENN MN é igual distância (m) até o patch vizinho mais próximo do mesmo tipo, com base na menor distância de ponta a ponta.
Índice de conexão*2	CONNECT	número de junções funcionais entre todos os patches do tipo de patch correspondente, dividido pelo número total de junções possíveis entre todos os patches do tipo de patch correspondente, multiplicado por 100 para converter em uma porcentagem

*1 - foi utilizando um buffer de 100 m borda dos fragmentos

*2 - foi utilizando um raio de busca para conexão de 100 metros

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação do uso do solo para o intervalo dos anos de 1990, 2000, 2010 e 2020 e apresentado abaixo (figura 3). Na imagem e possível identificar dinâmica temporal de ocupação desta sub-bacias do baixo Araguaia, destacando as áreas de formação florestal, formação savânica e pastagem, como as maiores representantes em cobertura na bacia.

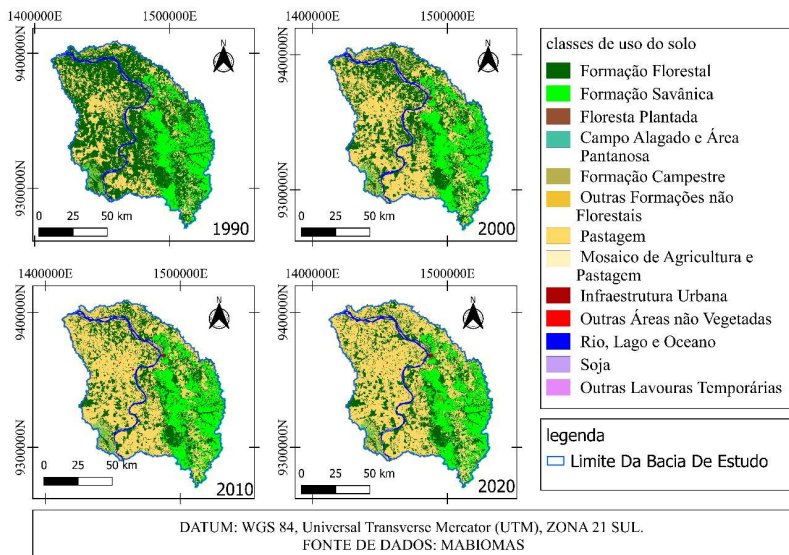


Figura 3. Uso e ocupação do solo entre 1990 a 2020.

Pode ser verificado que meio percentual da formação florestal no ano de 1990 era encontrado na região oeste da bacia, e as margens do rio Araguaia, predominando na região leste vegetação savânica, característica do bioma de cerrado, além disso destaca ainda o uso para pastagem, distribuído em toda a bacia. Nos anos subsequentes nas imagens, pode ser visualizado que a floresta tem dado lugar a pastagem, sendo a classe mais representativa no ano de 2000 em diante. Também pode ser verificado, que tanto as áreas de formação savânica, quanto os fragmentos florestais da região leste da bacia, foram menos afetadas pela conversão para pastagem.

A partir dos cálculos das áreas das classes de uso do solo, apresentadas na tabela 2, é possível verificar as mudanças da dinâmica de ocupação e uso dos recursos naturais da área para os anos de 1990 a 2020.

Tabela 2- área ocupada pelas classes de uso do solo.

classe de uso do solo	1990		2000		2010		2020	
	hectares	%	hectares	%	hectares	%	hectares	%
Formação Florestal	560,626	52.65	377,204	35.42	300,274	28.20	275,037	25.83
Formação Savânica	198,356	18.63	203,170	19.08	203,497	19.11	191,338	17.97
Silvicultura	0	0.00	119	0.01	664	0.06	844	0.08
Campo Alagado e Área Pantanosa	3373	0.32	3535	0.33	3781	0.36	3994	0.38
Formação Campestre	21,178	1.99	16,807	1.58	17,654	1.66	18,610	1.75
Pastagem	243,617	22.88	429,429	40.33	506,315	47.55	538,126	50.54
Mosaico de Usos	9146	0.86	5364	0.50	3757	0.35	7826	0.73
Área Urbanizada	1036	0.10	1515	0.14	1764	0.17	1869	0.18
Outras Áreas não Vegetadas	290	0.03	267	0.03	636	0.06	1289	0.12
Rio, Lago e Oceano	27,211	2.56	27,414	2.57	26,312	2.47	25,531	2.40
Soja	0	0.00	0	0.00	1	0.00	59	0.01
Outras Lavouras Temporárias	22	0.002	33	0.003	200	0.02	332	0.03
total	1,064,8	100	1,064,8	100.00	1,064,8	100	1,064,8	100

Assim como visualizado na figura 3, ao observar a tabela 2, percebe-se que no ano de 1990, as áreas de floresta eram superiores ao restante das classes de uso do solo, que possuía aproximadamente 560,6 mil hectares de área, o que representava pouco mais de 52,6 % da área da bacia, a vegetação savânica ainda possuía cerca de 198,3 mil hectares, equivalente a 18,6 % da área da bacia, a pastagem possuía mais de 243,6 mil hectares da área da bacia, assim representava 22,9 % da área total da bacia.

É possível verificar que entre 1990 e 2020 a formação florestal da bacia teve um decréscimo de mais da metade de sua área, chegando a uma redução de aproximadamente 285,6 mil hectares de floresta, enquanto áreas destinadas a pastagem mais que dobrou no período, com um acréscimo total de 294,5 mil hectares.

Pelicice et al. (2021) ressalta que a bacia Tocantins Araguaia tem sido visada para expansão de atividade agropecuárias. Assim como o uso para estes fins tem sido maior causa para desmatamento na região (PEREIRA, 2021).

Em relação a intensidade do desmatamento, é possível identificar que houve redução das taxas de desmatamento entre os períodos, entre 1990 e 2000, foram desmatados cerca de 18,3 mil hectares por ano de floresta, na década subsequente, entre 2000 e 2010 a taxa passou a ser cerca 7,7 mil hectares por ano, e por fim, de 2010 a 2020 a taxa de desmatamento passou a cerca de 2,5 mil hectares por ano. Assim dentro das três décadas deste estudo a taxa de desmatamento anual teve decréscimo.

Na ferramenta Land Change Modeler, foram geradas as áreas que sofreram alteração de uma classe para outra, neste estudo foi filtrado para discussão as áreas de floresta. Na Figura 4 é possível verificar as áreas de floresta desmatadas dos anos de 1990 a 2020.

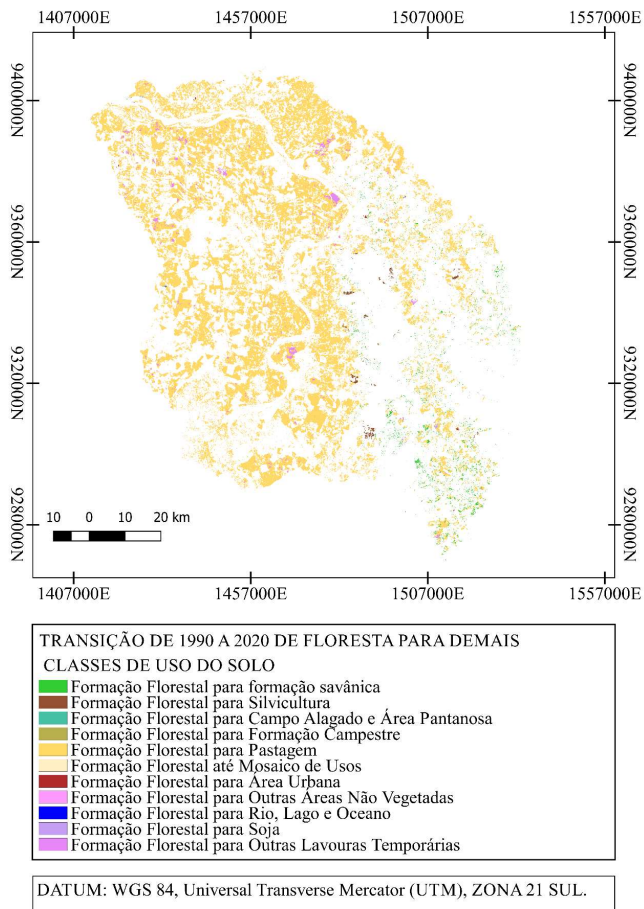


Figura 4. Áreas que sofreram transição de floresta para outros usos de 1990 a 2020.

Coforme a figura 4 e possível averiguar que quase a totalidade da áreas de floresta em 1990 que foi perdida ate o ano de 2020 foi tranformada em pastagem, dos 285,6 mil hectares de floresta desmatados, cerca de 283,8 mil hectares foram destinados a pastagem, equivale a 98,7% de tora área de formação florestal que foi convertida a outros usos.

Na figura 5 é apresentada a tendencia das areas da bacia de floresta a serem convertidas para demais classes a partir da ferramnta Land Change Modeler.

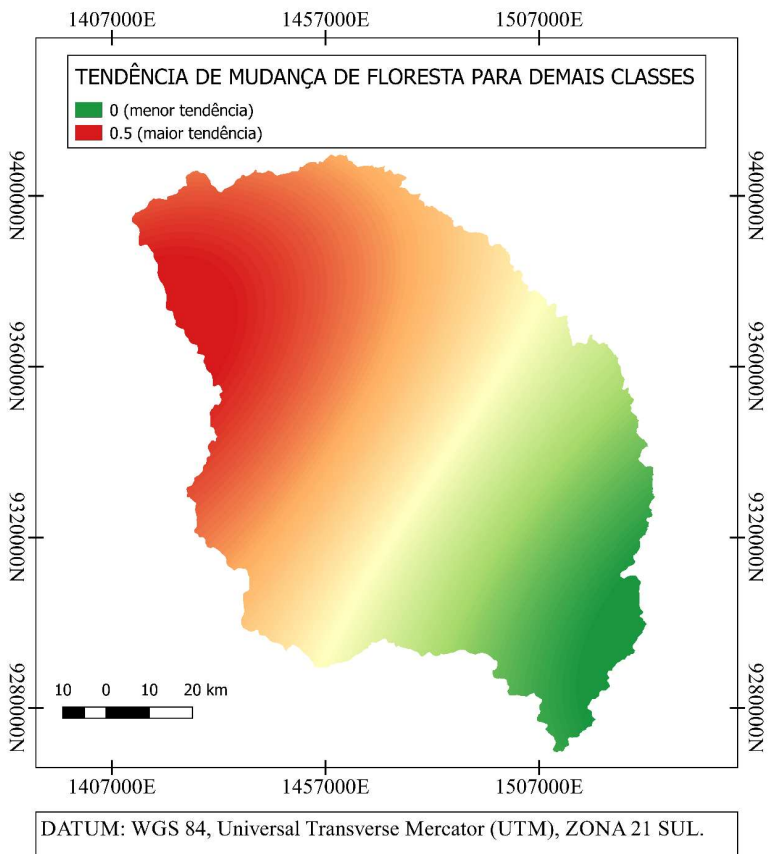


Figura 5. Tendência de mudança de floresta para outras classes de uso do solo.

Conforme a figura 5, pode ser verificar que as menores tendências de conversão são encontrados na região de predominância de vegetação savânica, na região leste da bacia, já as maiores tendência estão na região oeste, próximo ao exultório da bacia.

Os resultados da modelagem a partir modelo Markov apresentou o cenário de uso e ocupação do solo para o ano de 2050, conforme a figura 6.

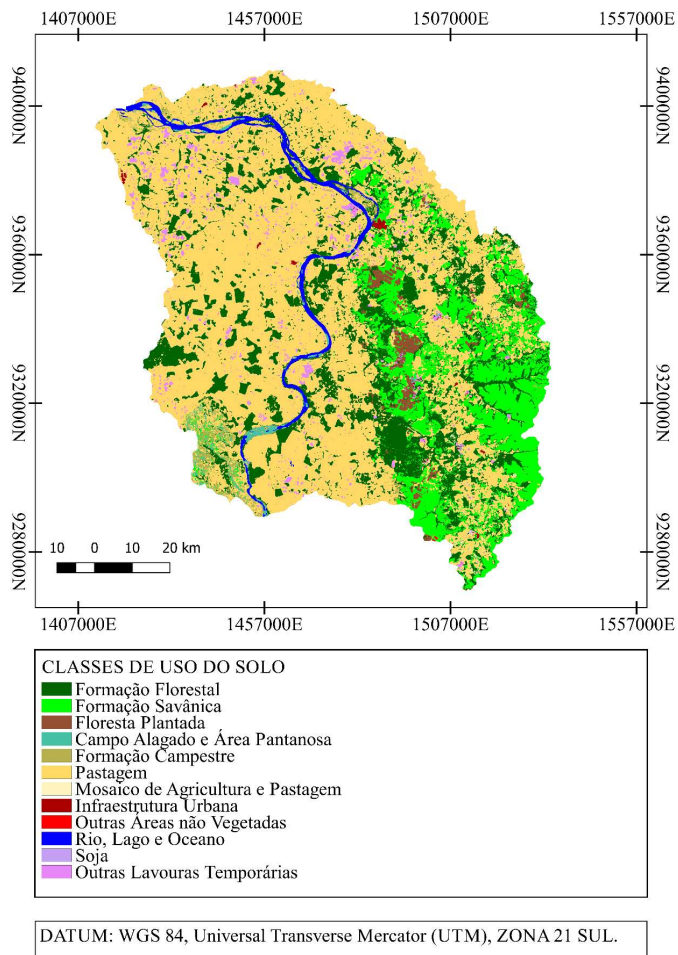


Figura 6 . Previsão de uso e ocupação do solo para o ano de 2050.

Em relação a figura 6, e possível verifica que a previsão do uso do solo para 2050 apresenta aumento expressivo de lavouras temporárias, de cultura da soja e de silvicultura, sendo o aumento de cerca de 22,9, 1,2 e 14,6 mil hectares respectivamente para cada uso. Segundo a descrição das classes do projeto MapBiomias a classe “outras lavouras temporárias” é definida como Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a

colheita necessitam de novo plantio para produzir. Ainda na figura 7 e possível verificar áreas das classes dominantes na bacia.

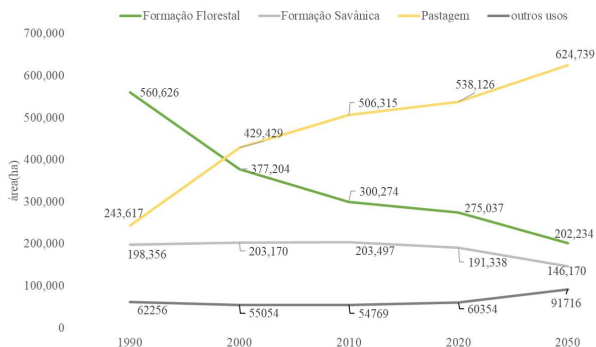


Figura 7 . comparação das áreas dos usos do solo para a previsão da bacia em 2050.

Conforme na figura 7, podemos verificar que a tendência de diminuição das áreas de floresta, que ocorreram entre 1990 e 2020 e mantida no cenário previsto, assim como o aumento das áreas de pastagem, as áreas de formação savânica no entanto tiveram variação nas três décadas, tendo acréscimo da 1990 a 2010, e decréscimo de 2010 a 2020. Para o ano de 2050, há uma previsão que a classe de formação savânica tem uma redução em relação a 2020 de 45,2 mil hectares.

Para a verificação da dinâmica espacial da fragmentação são apresentadas as métricas da paisagem nas figuras 8 a 12.

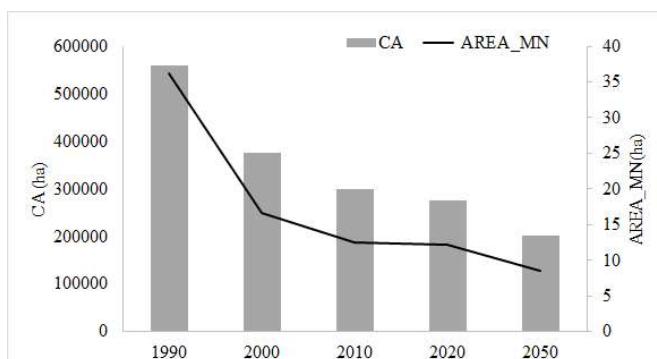


Figura 8 . Resultados das métricas da paisagem CA e AREA_MN

A possível notar a área de floresta, apresentada pela métrica de Área total da classe (CA), apresentou tendência de decréscimo em todos os intervalos, assim como a área média dos fragmentos florestais, apresentado na métrica AREA_MN teve decréscimo no intervalo e no cenário previsto para o ano de 2050. Corroborando com os dados da tabela 2. Essa métricas demonstram que não apenas há uma diminuição da floresta, assim como os remanescentes têm tido suas áreas cada vez menores. A áreas dos fragmentos tem enorme importância, uma vez que o tamanho de um fragmento pode ter grande impactos na sobrevivência das populações das espécies (MASSOLI et al., 2016). Silva (2019) aponta que quanto menor o fragmento maior será a intensidade do efeito de borda. Ainda, o efeito de borda, está intrinsecamente ligado ao tamanho e a forma dos fragmentos (COSTA et al., 2019).

Ainda em relação ao tamanho dos fragmentos a métrica de índice de maior mancha – LPI, que representa neste estudo, a área ocupada pelo maior fragmento florestal, e apresentado na figura 9, juntamente com os números de fragmentos florestais, representado na métrica NP.

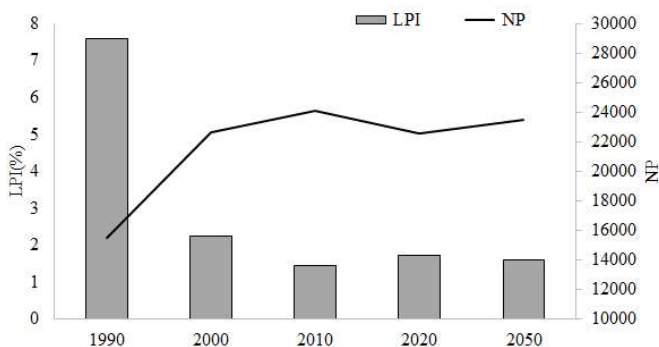


Figura 9. Resultados das métricas da paisagem LPI e NP

Verificar que o índice LPI apresentou decréscimo no período de 1990 e 2020, assim como no cenário previsto para o ano de 2050, onde na primeira serie temporal, o maior fragmento florestal que no ano de 1990 cobria uma área total de 7,6 % da área total da bacia, no ano 2000 já apresentava uma cobertura de pouco mais que 2,2 % da área da bacia. É importante a existência de grandes fragmentos, principalmente em

áreas fragmentadas, isso porque fragmentos florestais com extensa área acabam por atuarem como reserva biológica, possibilitando a manutenção de espécies.

Os números de fragmentos florestais, apresentado na métrica NP tiveram uma tendência a acréscimo para o período. Inicialmente no ano de 1990, a área possuía cerca de 15490 fragmentos de floresta, chegando a 22572 fragmentos no ano de 2020, assim em conjunto com as métricas de área já apresentados, demonstram que a bacia estuda tem intensa fragmentação. A alta fragmentação da bacia torna um fator negativo para a interação entre os ecossistemas e a conservação da biodiversidade presente na paisagem (METZGER, 2001).

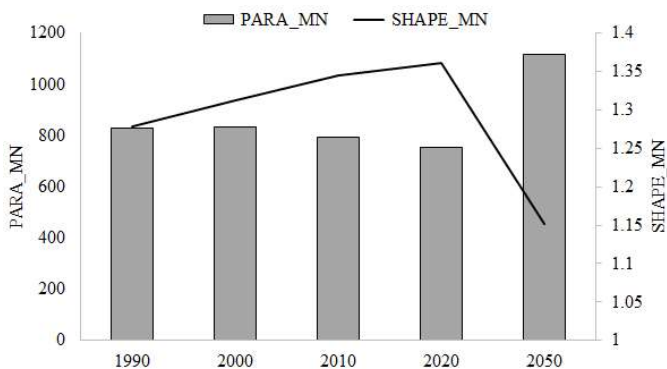


Figura 10. Resultados das métricas da paisagem PARA_MN e SHAPE_MN

No índice de forma médio (SHAPE_MN), o quanto mais próximo de 1, menor o efeito de borda no fragmento. O índice de forma dos fragmentos de floresta apresentou tendência de aumentos de 1990 a 2020, o aumento da métrica pode representar um aumento da suscetibilidade destas áreas a efeitos externos, uma vez que os fragmentos são mais irregulares, porém a variação entres os anos foi pequena. Segundo Silva (2019) Quanto mais circular for um fragmento mais compacto ele é e menor sua vulnerabilidade às atividades de uso do solo do entorno. No cenário previsto para 2050, houve uma diminuição da métrica SHAPE_MN indica maior circularidade.

O índice PARA_MN, também é um indicador relacionado a forma, quanto maior o índice pior e a relação perímetro-área do fragmento, portando pior a forma do fragmento. Entre os anos de 1990 e 2020 houve um pequeno decréscimo na métrica PARA_MN, já para o cenário modelado apresentou um acréscimo de cerca de 67.4 %

em relação a 2020. Alguns ecossistemas naturais, como as matas ciliares, por formarem corredores podem apresentar alta relação perímetro/área, o que não significa que sua forma seja prejudicial para as relações ecológicas (CABACINHA, 2010).

Em relação a circularidade dos fragmentos podemos inferir que os fragmentos florestais da bacia apresentam índice de circularidade satisfatório, porém a relação dos perímetros e a área dos fragmentos pode apresentar sucessividade a efeitos de borda, principalmente se constatado isolamentos destes fragmentos.

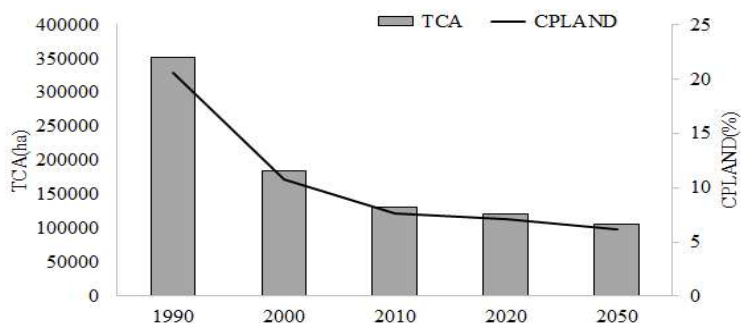


Figura 11. Resultados das métricas da paisagem TCA e CPLAND

Área de Núcleo Total (TCA), representa a área interior dos fragmentos florestais a partir de uma distância definida, assim quanto maior o valor da métrica em relação a área total da bacia e da classe, menor e a relação das áreas de borda da área. Conforme a figura 11, podemos verificar que as reduções da área de núcleo para todo intervalo, sendo a métrica Porcentagem da área central da paisagem (CPLAND) o mesmo que a métrica TCA, so que em porcentagem. No ano de 1990 a bacia tinha uma área central que cobria cerca de 20,6 % da área da bacia, havendo uma redução para 7 %, com previsão para redução a cerca 6% no ano de 2050. A área central tem sua importância na manutenção da biodiversidade, uma vez que a área central dos fragmentos é importante pois as espécies que a ocupam têm menor chance de sofrer os impactos que ocorrem nas áreas de borda dos fragmentos florestais.

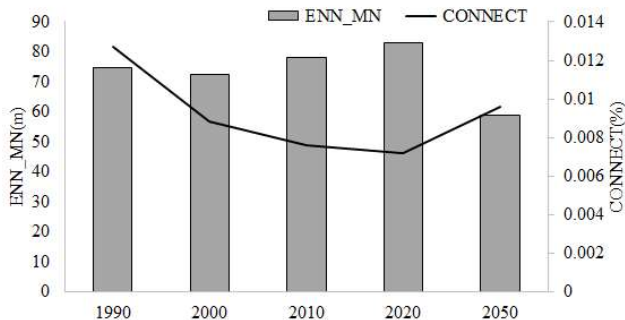


Figura 12. Resultados das métricas da paisagem ENN_MN e CONNECT

A Figura 12 apresenta os resultados das métricas de isolamento dos fragmentos florestais. A distância média entre os fragmentos apresentado na métrica ENN_MN teve aumento de 74,5 metros para cerca de 83 metros de 1990 para 2020, o valor por si só não representa isolamento dos fragmentos, por isso juntamente com esta métrica verificou o índice de conectividade, que apresentou para a distancia de busca definida pelo estudo de 100 metros, uma baixa porcentagem de conexão, isso é, em todos os períodos menos de 0,02 % dos fragmentos da bacia tinha conexão com fragmentos em um raio de 100 metros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação a bacia objeto de estudo, foi possível verificar que a área parou por itens fragmentação florestal entre os anos estudados, que entre 1990 e 2020 teve um decréscimo de cerca de 285,6 mil hectares de floresta, predominantemente estas áreas foram convertidas a pastagem. A modelagem utilizando a cadeia Markov para o ano de 2050, apresenta um cenário com uma área de floresta ainda menor, também seguindo a tendência de conversão a pastagem. a previsão também indica um aumento dos usos de floresta plantada, lavouras temporárias e soja.

A partir das métricas de ecologia da paisagem, foi possível verificar a dinâmica da fragmentação florestal da bacia, que além da diminuição da área total de floresta, é apresentado uma configuração onde os fragmentos restantes são propensos a efeitos de borda, assim como a diminuição da área de manutenção. Também foi possível verificar que os fragmentos têm certo grau de isolamento, assim, e passível de análise

para conservação e implantação de área que atuem como corredores entre áreas isoladas.

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento se mostram grande ferramentas de análises de mudanças de uso do solo, além de permitir o estudo de área extensas, podem ser combinados com outras ferramentas para obtenção de informação mais precisas do fenômeno que se quer observar. Portando, a utilização de modelos de Redes Neurais e da ecologia da paisagem neste estudo, se mostrou eficaz na identificação das características do ecossistema, assim como a tendencia de mudanças destas.

Assim, o conhecimento das mudanças do uso do solo atualmente e das previsões ajudará os formuladores de políticas e decisões a reconsiderar e desenvolver novas políticas para o desenvolvimento sustentável e proteção dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS

AMARAL, F. G., CRUZ, C. B. M., DA CRUZ, C. L. Z., VIEGAS, V. S., DA SILVA, C. B., & BASTOS, R. M. C. ECOLOGIA DA PAISAGEM E O SENSORIAMENTO REMOTO NA INVESTIGAÇÃO DA DINÂMICA DA PAISAGEM. In: **ENANPEGE - Encontro Nacional da ANPEGE, XIII**, São Paulo, 2019

ANAND, Jatin; GOSAIN, Ashvani Kumar; KHOSA, Rakesh. Prediction of land use changes based on Land Change Modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. **Science of the total environment**, v. 644, p. 503-519, 2018.

BAMPI, Aumeri Carlos. et al. Expansão da Fronteira Agrícola Capitalista no Baixo Araguaia Brasileiro (MT): alterações ambientais e conflito sócio territoriais. **Estudios Socioterritoriales**, Buenos Aires. 2017.

BANDEIRA, T. O., & AQUINO, A. R. de. (2010). Infraestrutura e qualidade ambiental urbana: uma avaliação de municípios do estado do tocantins a partir de indicadores socioambientais. **Ciência & Tecnologia**. Rio Claro. 2010.

BORGES, Murilo Pereira et al. Análise da alteração do escoamento superficial pela tendência de evolução do uso e ocupação do solo usando Cadeia de Markov e análise espacial para Bacia do Córrego de São Pedro, Uberlândia/MG. 2020.

BRUZZONE, Lorenzo; COSSU, Roberto; VERNAZZA, Gianni. Detection of land-cover transitions by combining multivariate classifiers. **Pattern Recognition Letters**, v. 25, n. 13, p. 1491-1500, 2004.

CABACINHA, Christian Dias; CASTRO, Selma Simões; GONÇALVES, Demerval Aparecido. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.

CASTRO, A. L. DA S. et al. Mamíferos de médio e grande porte em um fragmento florestal de Cerrado no município de Ipameri-GO. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 1, p. 55–61, 18 mar.2015

COSTA, Adriana; GALVÃO, Amanda; DA SILVA, Lucas Gonçalves. Mata Atlântica Brasileira: Análise do efeito de borda em fragmentos florestais remanescentes de um hotspot para conservação da biodiversidade. **Revista GEOMAE**, v. 10, n. 1, p. 112-123, 2019.

DE AGUIAR, Ana Paula Dutra. Modelagem de mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia: Questões Gerais. 2003.

DEPINÉ, Haline et al. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 19, n. 1 (jan./mar. 2014), p. 51-63, 2014.**

DUCATTI, A.; et al. Análise da paisagem por Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e métricas de paisagem como subsídio para a tomada de decisões em nível ambiental. **Revista Espacios**, Caracas, v. 32, n. 1, p. 36-42, 2011.

EASTMAN, J. R. *et al.* A Short Presentation of the Land Change Modeler (LCM). **Geomatic Approaches For Modeling Land Change Scenarios**, [S.L.], p. 499-505. Springer International Publishing. 2017.

FEARNSIDE, P.M. 2015. Impactos Ambientais da Barragem de Tucuruí: Lições ainda não Aprendidas para o Desenvolvimento Hidrelétrico na Amazônia. pp. 53-74. In: Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões sobre Grandes Obras. Vol. 1. Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas. 296 pp.

FEARNSIDE, P.M. **Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. Megadiversidade** 1(4): 113-123. 2005.

FISZON, J. T. et al. Causas antrópicas. In: RAMBALDI, D. M.; OLIVEIRA, D. A .S. (Orgs.) Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas. Brasília: MMA/SBF, 2003. p.65-99.

FLECK, Leandro et al. Redes neurais artificiais: Princípios básicos. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 13, p. 47-57, 2016.

FORMAN, R.T.T. AND GODRON, M. **LANDSCAPE ECOLOGY**. John Wiley and Sons Ltd., New York. 1986

FRANÇA, Luiz. **Processo de ocupação da Amazônia e suas estratégias de integração, desenvolvimento e segurança. Revista Múltipla**. Brasília. 2005.

FRAZIER, A. E. Emerging trajectories for spatial pattern analysis in landscape ecology. **Landscape Ecology**, v. 34, n. 9, p. 2073–2082, 8 ago. 2019.

GONÇALVES, O. D.; RODRIGUES, J. C.; SOBREIRO FILHO, J. MARÉS DAS REBELDIAS EM ABAETETUBA: DOS RIOS DA EXISTÊNCIA À RESISTÊNCIA DOS TERRITÓRIOS NA AMAZÔNIA PARAENSE, BAIXO TOCANTINS. **Revista Tamoios**, v. 15, n. 1, 1 jul. 2019.

INOCÊNCIO, Maria Erlan; CALAÇA, Manoel. Estado e território no Brasil: reflexões a partir da agricultura no Cerrado. **Revista Ideias**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 271-306, 2010.

Kumar, K. Sundara; Bhaskar, P. Udaya; Padmakumari, K.. Application of land change modeler for prediction of future land use land cover a case study of Vijayawada city. **International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science**. New Dhali. 2015.

KUPFER, J.A. Landscape ecology and biogeography: rethinking landscape metrics in a post-FRAGSTATS landscape. *Progress in Physical Geography*, London, v. 39, n. 3, p. 388-404, 2012.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

LATRUBESSE, E.; STEVAUX, J.C. Características físico-bióticas e problemas ambientais associados à planície aluvial do Rio Araguaia, Brasil central. **Geociências-UNG**, p. 67-75, 2006.

LUIZ, C.H.P. **Modelagem da cobertura da terra e análise da influência do reflorestamento na transformação da paisagem: Bacia do Rio Piracicaba e Região Metropolitana do Vale do Aço**. Dissertação de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 141p., 2014.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomass. Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2017.

MASSOLI, J. V.; STATELLA, T.; SANTOS, V. S. Estimativa da fragmentação florestal na microbacia Sepotubinha, Nova Marilândia-MT, entre os anos de 1990 a 2014. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 60, p. 48-60, 2016.

MCGARIGAL, K. Landscape pattern metrics. In: EL-SHAARAWI, A.H.; PIEGORSCH, W.W. (ed.). *Encyclopedia of environmetrics*. Chichester: John Wiley, 2002, v. 2. p. 1135-1142.

MCGARIGAL, Kevin; CUSHMAN, Samuel A.; STAFFORD, Susan. **Multivariate statistics for wildlife and ecology research**. Springer Science & Business Media, 2013.

MELLO, N. G. R. DE; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108, 1 abr. 2017.

MESSIAS, C. G. et al. ANÁLISE DAS TAXAS DE DESMATAMENTO E SEUS FATORES ASSOCIADOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA NAS ÚLTIMAS TRÊS DÉCADAS. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 52, n. 0, p. 18–41, 2 set. 2021.

MESSIAS, Cassiano Gustavo; SILVA, Daniel e; SILVA, Murilo Brasil da; LIMA, Thiago Carvalho de; ALMEIDA, Claudio Aparecido de. ANÁLISE DAS TAXAS DE DESMATAMENTO E SEUS FATORES ASSOCIADOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA NAS ÚLTIMAS TRÊS DÉCADAS. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.L.], v. 52, p. 18. Universidade Federal do Parana. 2021.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1-2, p. 1–9, 2001.

MIRAGAYA, Júlio Flávio Gameiro. **Transformações no arco do desmatamento: a expansão da pecuária bovina na Amazônia, pressões sobre o ambiente e o papel das políticas públicas na contenção do desmatamento (1990/2010)**. Universidade de Brasília. Brasília. 2013.

MOREIRA, R. O.; CESCINETTO, S. ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JI-PARANÁ, AMAZÔNIA OCIDENTAL. v. 47, n. 1, p. 1–23, 18 jul. 2022.

NEVES, Alana Kasahara; KÖRTING, Thales Sehn; FONSECA, Leila Maria Garcia; ESCADA, Maria Isabel Sobral. Assessment of TerraClass and MapBiomias data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 170-182 . FapUNIFESP (SciELO). 2020.

NUCCI, J. C. ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DA ECOLOGIA E DA ECOLOGIA DA PAISAGEM. **Revista Geografar**, v. 2, n. 1, 30 jul. 2007.

PELICICE, Fernando Mayer et al. Large-scale degradation of the Tocantins-Araguaia River basin. **Environmental Management**, v. 68, p. 445-452, 2021.

PEREIRA, GUSTAVO T. ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JARU, AMAZÔNIA OCIDENTAL, INTEGRANDO MODELAGEM POR REDES NEURAIS ARTIFICIAIS E MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM. Ji-Paraná/RO. 2022.

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

PEREIRA, Maylla Tawanda dos Santos. Dinâmica dos focos de calor, desmatamento e as condições meteorológicas no estado de Rondônia. 2021.

PINHEIRO, Paula Fernanda Viegas. Fragmentação florestal em áreas protegidas na Amazônia maranhense e conservação da biodiversidade. Orientadora: Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo. 2019. 150 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

PINTO, M. et al. Atributos físicos e estoque de carbono do solo em áreas de Terra Preta Arqueológica da Amazônia. v. 12, n. 2, p. 263–263, 22 fev. 2017.

Prakasam, C. (2010) Land Use and Land Cover Change Detection through Remote Sensing Approach: A Case Study of Kodaikanal Taluk, Tamil Nadu. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1, 46-55.

REGMI, R.; SAHA, S.; BALLA, M. Geospatial analysis of land use land cover change predictive modeling at Phewa Lake Watershed of Nepal. **Int. J. Curr. Eng. Tech**, v. 4, p. 2617-2627, 2014.

Rêgo, L. J. S., Marzano, F. L. C., Reis, L. P., Mazzei, L., Reis, P. C. M. R., Silva, M. L., & Souza, A. P. (2017). Avaliação biomecânica das atividades de corte de madeira semimecanizado na Amazônia. *Revista Espacios*, 38(19), 22-34.

REIS, Mariane Souza et al. Métodos de Classificação e Análise de Trajetórias de Uso e Cobertura da Terra na Amazônia: Implicações para Estudos de Regeneração Florestal. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. esp., p. 1087-1113, 2020

REN, Yanjiao et al. Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. **Earth-Science Reviews**, v. 190, p. 398-415, 2019.

RODRIGUES, P. J. F. P.; NASCIMENTO, M. T. FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL: BREVES CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE EFEITOS DE BORDA. **Rodriguésia**, v. 57, p. 67–74, 2006.

SAYAGO, Doris, Tourrand Jean-François, Bursztyn Marcel. 2004. **Amazônia : cenários e cenários**. Brasília : Universidade de Brasília, 382 p. ISBN 85-230-0750-4 Seminário sobre Monitoramento Estratégico das Transformações Ambientais (META). 1, Brasília, Brésil, 3 June 2002/14 June 2002.

Silva, C., Portella, A. C. F., & Giongo, M. . Meta-análise de estudos sobre o efeito do fogo nos biomas florestais em relação aos microrganismos fúngicos. **Advances in Forestry Science**. 2020.

SILVA, Robson Righi et al. Análise da Fragmentação Florestal em Áreas do Bioma Mata Atlântica a Partir de Diferentes Sistemas Sensores. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 390-396, 2019.

SIMEGO – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos do Estado de Goiás. (2002). Bacias Hidrográficas: Bacia do Rio Araguaia.

SOARES FILHO, B. S. et al. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 137–152, ago. 2005.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira et al. Reduction of carbon emissions associated with deforestation in Brazil: the role of the Amazon Region Protected Areas Program (ARPA). **World Wide Fund for Nature (WWF), Brasília, Brazil**, v. 32, 2008.

SOUZA, A. A., Oviedo, A., & dos Santos, T. M. . **Impactos na qualidade do ar e saúde humana relacionados ao desmatamento e queimadas na Amazônia Legal brasileira**. Instituto Socioambiental: São Paulo. 2020.

SOUZA, C. A. et al. Analysis of forest fragmentation of “Coqueiral” environmental protection area, in Coqueiral, Minas Gerais State. v. 24, n. 3, p. 631–644, 1 set. 2014.

TOWNSEND, Cláudio Ramalho. Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no bioma Amazônia. Embrapa Rondônia. Porto velho. 2009.

VOLOTÃO, C. F. S. Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats. São José dos Campos: INPE, p. 03, 1998.

VOLTOLINI, Julio Cesar; MENDONÇA, Angelo Roberto. Efeito de borda sobre o microclima em diferentes estágios de sucessão em Floresta Atlântica. **Revista Biociências**, v. 25, n. 2, 2019.