

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LUIS HENRIQUE DA SILVA FILHO
VINÍCIUS CASANOVA TURATTI

Análise das mudanças na paisagem do Corredor Ecológico do Jalapão no
período entre 1990 e 2020

São Carlos
2022

LUIS HENRIQUE DA SILVA FILHO
VINÍCIUS CASANOVA TURATTI

Análise das mudanças na paisagem do Corredor Ecológico do Jalapão no
período entre 1990 e 2020

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Ambiental, da Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Victor Eduardo Lima
Ranieri

São Carlos
2022

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues
Fontes da EESC/USP

S586a Silva Filho, Luis Henrique da
Análise das mudanças na paisagem do corredor ecológico do Jalapão no período entre 1990 e 2020 / Luis Henrique da Silva Filho, Vinícius Casanova Turatti; orientador Victor Eduardo Lima Ranieri. -- São Carlos, 2022.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2022.

1. Mudanças na paisagem. 2. Corredor ecológico do Jalapão. 3. Conservação do cerrado. 4. Unidades de conservação. 5. Fragmentação. 6. Métricas de paisagem. 7. Matopiba. I. Turatti, Vinícius Casanova. II. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Luis Henrique da Silva Filho e Vinicius Casanova Turatti**

Data da Defesa: 22/11/2022

Comissão Julgadora:

Resultado:

Victor Eduardo Lima Ranieri (Orientador(a))

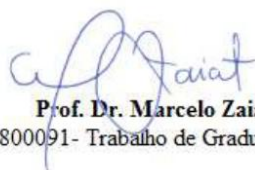
Aprovado

Bartira Rodrigues Guerra

Aprovado

Caroline Picharillo

Aprovado



Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

DEDICATÓRIA

*Aos nossos queridos amigos e
familiares que sempre nos
acompanharam nessa linda
caminhada da vida.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Victor Ranieri, que muito nos ensinou contribuindo para o nosso crescimento científico durante a graduação e orientação deste trabalho.

A todos nossos amigos e familiares, que sempre nos apoiaram e dedicaram parte de seu tempo para a leitura deste trabalho.

À Universidade de São Paulo, que nos proporcionou conhecimentos e aprendizados que levaremos para além de nossas carreiras profissionais.

À República Feudo, onde vivenciamos as melhores experiências durante a graduação e ganhamos uma segunda família para o resto de nossas vidas.

EPÍGRAFE

“No contexto do planejamento do uso e ocupação do território, as áreas protegidas são importantes elementos dentro das estratégias destinadas a compatibilizar os interesses e ganhos individuais privados com o direito da sociedade em geral (presentes e futuras gerações) de viver em um ambiente saudável”

Evandro M. Moretto e Victor E. L. Ranieri
(2019)

RESUMO

FILHO, L. H. S.; TURATTI, V. C. **Análise das mudanças na paisagem do Corredor Ecológico do Jalapão no período entre 1990 e 2020**. 2022. 152 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

A perda e fragmentação dos habitats naturais ocasionadas pelo contínuo avanço da agropecuária estão alterando as paisagens rapidamente ao redor do planeta, afetando os processos biológicos em grande escala. Considerando a importância das unidades de conservação (UCs) para a proteção do meio ambiente e o histórico de perturbação do Cerrado na região da fronteira agrícola dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, conhecida como MATOPIBA, este estudo analisou, por meio das métricas de paisagem, as mudanças na paisagem do Corredor Ecológico do Jalapão no período entre 1990 e 2020. Assim, buscou-se analisar a contribuição das unidades de conservação nessa região para a manutenção de composição e estrutura de paisagens mais favoráveis à conservação da biodiversidade. Para isso, foram utilizados os dados de uso e ocupação do solo das áreas protegidas e não protegidas, obtidos da coleção 6 do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas). Os *shapefiles* da área de estudo foram retirados do site do Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão (PCERJ), os quais foram trabalhados no *software* de licença livre *Quantum GIS* (QGIS), com o auxílio da extensão *Landscape Ecology Statistics* (LecoS) para cálculo das métricas. De maneira geral, as áreas de proteção integral apresentaram resultados melhores para a manutenção de paisagens mais favoráveis à conservação da biodiversidade do que as unidades de uso sustentável. A média de variação das métricas das UCs de uso sustentável foi afetada negativamente por resultados pontuais, principalmente, da Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Tabatinga, que perdeu 73% de cobertura da subclasse “Formação Savânica” e 63% da subclasse “Formação Campestre”, e da APA do Rio Preto, que apresentou uma perda de 42% na área do seu maior fragmento, mostrando a necessidade de aprimoramento no manejo dessas UCs.

Palavras-chave: Mudanças na paisagem. Corredor Ecológico do Jalapão. Conservação do cerrado. Unidades de conservação. Fragmentação. Métricas de paisagem. MATOPIBA.

ABSTRACT

FILHO, L. H. S; TURATTI, V. C. **Analysis of the Jalapão Ecological Corridor landscape changes between 1990 and 2020**. 2022. 152 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

The loss and fragmentation of natural habitats caused by the continuous advance of farming activities are rapidly altering landscapes around the planet, affecting biological processes on a large scale. Considering the importance of protected areas (PA) for environmental protection and the history of Cerrado disturbance in the agricultural frontier region of the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia named as MATOPIBA, this study analyzed, through landscape metrics, landscape changes of the Jalapão Ecological Corridor between 1990 and 2020. Thus, we sought to examine the contribution of protected areas in this region to maintaining the composition and structure of more favorable landscapes for biodiversity conservation. For this purpose, land use and land cover data of protected and unprotected areas were obtained from collection 6 of the Annual Mapping Project for Land Use and Land Cover in Brazil (MapBiomas). The study area shapefiles were taken from the Jalapão Region Ecological Corridor Project (JRECP) website, which were worked on the free software Quantum GIS (QGIS), with the aid of the Landscape Ecology Statistics (LecoS) extension to calculate the metrics. In general, the strict protection areas showed better results for the maintenance of more favorable landscapes for biodiversity conservation than sustainable use ones. The average variation of the metric of sustainable use PA was negatively affected by one-off results, mainly from the Serra da Tabatinga Environmental Protection Area (EPA), which lost 73% of coverage in the “Savanna Formation” subclass and 63% in the “Campestre Formation” subclass, and in the Rio Preto EPA, which showed a loss of 42% in the area of its largest fragment, indicating the need for improvement in these PAs management.

Keywords: Landscape changes. Jalapão Ecological Corridor. Cerrado conservation. Conservation units. Fragmentation. Landscape metrics. MATOPIBA.

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Área de estudo.....	55
Mapa 2 - Classes de cobertura do solo na APA do Rio Preto entre 1990 e 2020.....	61
Mapa 3 - Classes de cobertura do solo na APA do Jalapão entre 1990 e 2020.....	66
Mapa 4 - Classes de cobertura do solo na APA Serra da Tabatinga entre 1990 e 2020.....	71
Mapa 5 - Classes de cobertura do solo na RPPN Catedral do Jalapão entre 1990 e 2020.....	76
Mapa 6 - Classes de cobertura do solo na RPPN Fazenda Calixto entre 1990 e 2020.....	81
Mapa 7 - Classes de cobertura do solo na RPPN Fazenda Minnehaha entre 1990 e 2020.....	86
Mapa 8 - Classes de cobertura do solo no PN das Nascentes do Rio Parnaíba entre 1990 e 2020.....	91
Mapa 9 - Classes de cobertura do solo no PE do Jalapão entre 1990 e 2020.....	96
Mapa 10 - Classes de cobertura do solo na ESEC Serra Geral do Tocantins entre 1990 e 2020.....	102
Mapa 11 - Classes de cobertura do solo na Área externa 1 entre 1990 e 2020.....	107
Mapa 12 - Classes de cobertura do solo na Área externa 2 entre 1990 e 2020.....	112
Mapa 13 - Classes de cobertura do solo na Área externa 3 entre 1990 e 2020.....	117
Mapa 14 - Classes de cobertura do solo na Área externa 4 entre 1990 e 2020.....	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Unidades de conservação presentes na área de estudo.....	53
Quadro 2 - Métricas utilizadas no estudo.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.....	52
Figura 2 - Legenda da coleção 6 do Map Biomas.....	57
Gráfico 1 - Porcentagem das classes na APA do Rio Preto por ano estudado.....	60
Gráfico 2 - Porcentagem da cobertura do solo na APA do Rio Preto por ano estudado.....	62
Gráfico 3 - Área do maior fragmento na APA do Rio Preto (km ²) por ano estudado.....	63
Gráfico 4 - Tamanho médio dos fragmentos na APA do Rio Preto (km ²) por ano estudado.....	63
Gráfico 5 - Densidade de fragmento na APA do Rio Preto (Frag./km ²) por ano estudado.....	64
Gráfico 6 - Porcentagem das classes na APA do Jalapão por ano estudado.....	65
Gráfico 7 - Porcentagem da cobertura do solo na APA do Jalapão por ano estudado.....	67
Gráfico 8 - Área do maior fragmento na APA do Jalapão (km ²) por ano estudado.....	68
Gráfico 9 - Tamanho médio dos fragmentos na APA do Jalapão (km ²) por ano estudado.....	69
Gráfico 10 - Densidade de fragmentos na APA do Jalapão (Frag./km ²) por ano estudado.....	69
Gráfico 11 - Porcentagem das classes na APA Serra da Tabatinga por ano estudado.....	70
Gráfico 12 - Porcentagem da cobertura do solo na APA Serra da Tabatinga por ano estudado.....	72
Gráfico 13 - Área do maior fragmento na APA Serra da Tabatinga (km ²) por ano estudado.....	72
Gráfico 14 - Tamanho médio dos fragmentos na APA Serra da Tabatinga (km ²) por ano estudado.....	73
Gráfico 15 - Densidade de fragmento na APA Serra da Tabatinga (Frag./km ²) por ano estudado.....	74
Gráfico 16 - Porcentagem das classes na RPPN Catedral do Jalapão por ano estudado.....	75
Gráfico 17 - Porcentagem da cobertura do solo na RPPN Catedral do Jalapão por ano estudado.....	77
Gráfico 18 - Área do maior fragmento na RPPN Catedral do Jalapão (km ²) por ano estudado.....	78
Gráfico 19 - Tamanho médio dos fragmentos na RPPN Catedral do Jalapão (km ²) por ano estudado.....	78
Gráfico 20 - Densidade de fragmentos na RPPN Catedral do Jalapão (Frag./km ²) por ano estudado.....	79
Gráfico 21 - Porcentagem das classes na RPPN Fazenda Calixto por ano estudado.....	80

Gráfico 22 - Porcentagem da cobertura do solo na RPPN Fazenda Calixto por ano estudado.....	82
Gráfico 23 - Área do maior fragmento na RPPN Fazenda Calixto (km ²) por ano estudado....	83
Gráfico 24 - Tamanho médio dos fragmentos na RPPN Fazenda Calixto (km ²) por ano estudado.....	83
Gráfico 25 - Densidade de fragmentos na RPPN Fazenda Calixto (Frag./km ²) por ano estudado.....	84
Gráfico 26 - Porcentagem das classes na RPPN Fazenda Minnehaha por ano estudado.....	85
Gráfico 27 - Porcentagem da cobertura do solo na RPPN Fazenda Minnehaha por ano estudado.....	87
Gráfico 28 - Área do maior fragmento na RPPN Fazenda Minnehaha (km ²) por ano estudado.....	87
Gráfico 29 - Tamanho médio dos fragmentos na RPPN Fazenda Minnehaha (km ²) por ano estudado.....	88
Gráfico 30 - Densidade de fragmentos na RPPN Fazenda Minnehaha (Frag./km ²) por ano estudado.....	89
Gráfico 31 - Porcentagem das classes no PN das Nascentes do Rio Parnaíba por ano estudado.....	90
Gráfico 32 - Porcentagem da cobertura do solo no PN Nascentes do Rio Parnaíba por ano estudado.....	92
Gráfico 33 - Área do maior fragmento no PN Nascentes do Rio Parnaíba (km ²) por ano estudado.....	93
Gráfico 34 - Tamanho médio dos fragmentos no PN Nascentes do Rio Parnaíba (km ²) por ano estudado.....	93
Gráfico 35 - Densidade de fragmento no PN Nascentes do Rio Parnaíba (Frag./km ²) por ano estudado.....	94
Gráfico 36 - Porcentagem das classes no PE do Jalapão por ano estudado.....	95
Gráfico 37 - Porcentagem da cobertura do solo no PE do Jalapão por ano estudado.....	97
Gráfico 38 - Área do maior fragmento no PE do Jalapão (km ²) por ano estudado.....	98
Gráfico 39 - Tamanho médio dos fragmentos no PE do Jalapão (km ²) por ano estudado.....	99
Gráfico 40 - Densidade de fragmento no PE do Jalapão (Frag./km ²) por ano estudado.....	99
Gráfico 41 - Porcentagem das classes na ESEC Serra Geral do Tocantins por ano estudado	101
Gráfico 42 - Porcentagem da cobertura do solo na ESEC Serra Geral do Tocantins por ano estudado.....	103

Gráfico 43 - Área do maior fragmento na ESEC Serra Geral do Tocantins (km ²) por ano estudado.....	104
Gráfico 44 - Tamanho médio dos fragmentos na ESEC Serra Geral do Tocantins (km ²) por ano estudado.....	104
Gráfico 45 - Densidade de fragmento na ESEC Serra Geral do Tocantins (Frag./km ²) por ano estudado.....	105
Gráfico 46 - Porcentagem das classes na Área externa 1 por ano estudado.....	106
Gráfico 47 - Porcentagem da cobertura do solo na Área externa 1 por ano estudado.....	108
Gráfico 48 - Área do maior fragmento na Área externa 1 (km ²) por ano estudado.....	109
Gráfico 49 - Tamanho médio dos fragmentos na Área externa 1 (km ²) por ano estudado.....	109
Gráfico 50 - Densidade de fragmento na Área externa 1 (Frag./km ²) por ano estudado.....	110
Gráfico 51 - Porcentagem das classes na Área externa 2 por ano estudado.....	110
Gráfico 52 - Porcentagem da cobertura do solo na Área externa 2 por ano estudado.....	113
Gráfico 53 - Área do maior fragmento na Área externa 2 (km ²) por ano estudado.....	113
Gráfico 54 - Tamanho médio dos fragmentos na Área externa 2 (km ²) por ano estudado.....	114
Gráfico 55 - Densidade de fragmento na Área externa 2 (Frag./km ²) por ano estudado.....	114
Gráfico 56 - Porcentagem das classes na Área externa 3 por ano estudado.....	116
Gráfico 57 - Porcentagem da cobertura do solo na Área externa 3 por ano estudado.....	118
Gráfico 58 - Área do maior fragmento na Área externa 3 (km ²) por ano estudado.....	118
Gráfico 59 - Tamanho médio dos fragmentos na Área externa 3 (km ²) por ano estudado.....	119
Gráfico 60 - Densidade de fragmentos na Área externa 3 (Frag./km ²) por ano estudado.....	120
Gráfico 61 - Porcentagem das classes na Área externa 4 por ano estudado.....	121
Gráfico 62 - Porcentagem da cobertura do solo na Área externa 4 por ano estudado.....	123
Gráfico 63 - Área do maior fragmento na Área externa 4 por ano estudado (km ²).....	123
Gráfico 64 - Tamanho médio dos fragmentos na Área externa 4 por ano estudado (km ²).....	124
Gráfico 65 - Densidade de fragmento na Área externa 4 por ano estudado (Frag./km ²).....	125
Gráfico 66 - Variação de uso e cobertura do solo solo por ano estudado.....	126
Gráfico 67 - Variação de cobertura do solo da subclasse Formação Savânica por ano estudado.....	127
Gráfico 68 - Variação de cobertura do solo da subclasse Formação Florestal por ano estudado.....	128

Gráfico 69 - Variação de cobertura do solo da subclasse Formação Campestre por ano estudado.....	128
Gráfico 70 - Variação de cobertura do solo da subclasse Campo Alagado por ano estudado.....	129
Gráfico 71 - Variação da área do maior fragmento por ano estudado.....	130
Gráfico 72 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Formação Savânica por ano estudado.....	131
Gráfico 73 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Formação Florestal por ano estudado.....	131
Gráfico 74 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Formação Campestre por ano estudado.....	132
Gráfico 75 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Campo Alagado por ano estudado.....	132
Gráfico 76 - Variação do tamanho médio dos fragmentos por ano estudado.....	134
Gráfico 77 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Formação Savânica por ano estudado.....	135
Gráfico 78 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Formação Florestal por ano estudado.....	135
Gráfico 79 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Formação Campestre por por ano estudado.....	136
Gráfico 80 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Campo Alagado por ano estudado.....	136
Gráfico 81 - Variação da densidade de fragmento por ano estudado.....	137
Gráfico 82 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Formação Savânica por ano estudado.....	138
Gráfico 83 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Formação Florestal por ano estudado.....	139
Gráfico 84 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Formação Campestre por ano estudado.....	139
Gráfico 85 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Campo Alagado por ano estudado.....	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	– Área de Proteção Ambiental
ARIE	– Área de Relevante Interesse Ecológico
CONAB	– Companhia Nacional de Abastecimento
BA	– Bahia
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESEC	– Estação Ecológica
FLONA	– Floresta Nacional
FRAGSTATS	– Programa de Análise de Padrões Espaciais para Mapas Categóricos
GEE	– Google Earth Engine
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBIO	– Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAM	– Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia
MA	– Maranhão
MAPBIOMAS	– Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MATOPIBA	– Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MMA	– Ministério do Meio Ambiente
MONAT	– Monumento Natural
NATURATINS	– Instituto Natureza do Tocantins
LECOS	– Landscape Ecology Statistics
PARNA	– Parque Nacional
PCERJ	– Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão
PDA-MATOPIBA	– Plano de Desenvolvimento Agropecuário em MATOPIBA
PI	– Piauí
QGIS	– Quantum GIS
REBIO	– Reserva Biológica
RDS	– Reserva de Desenvolvimento Sustentável
REFAU	– Reserva de Fauna
RESEX	– Reserva Extrativista
REVIS	– Refúgio de Vida Silvestre
RPPN	– Reserva Particular do Patrimônio Natural
SNUC	– Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SIMRAN	– Sistema Informatizado de Monitoramento de RPPN
TO	– Tocantins
UC	– Unidade de Conservação

LISTA DE SÍMBOLOS

km ²	Quilômetro(s) Quadrado(s)
ha	Hectare(s)
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	37
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	41
2.1 Estudo da paisagem: origem, conceitos e aplicação.....	41
2.2 O Cerrado e a fronteira agrícola do MATOPIBA.....	43
2.3 Unidades de conservação no Brasil e no Cerrado.....	46
3 OBJETIVO.....	49
4 METODOLOGIA.....	51
4.1 Área de estudo.....	51
4.2 Conjunto de dados.....	54
4.3 Análise dos dados.....	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
5.1 Unidades de conservação de uso sustentável.....	59
5.1.1 Área de Proteção Ambiental do Rio Preto.....	59
5.1.2 Área de Proteção Ambiental do Jalapão.....	64
5.1.3 Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga.....	70
5.1.4 Reserva Particular do Patrimônio Natural Catedral do Jalapão.....	74
5.1.5 Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Calixto.....	79
5.1.6 Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Minnehaha.....	84
5.2 Unidades de conservação de proteção integral.....	89
5.2.1 Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.....	89
5.2.2 Parque Estadual do Jalapão.....	94
5.2.3 Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.....	100
5.2.4 Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio do Sono	105
5.3 Áreas externas.....	106
5.3.1 Área externa 1.....	106
5.3.2 Área externa 2.....	110
5.3.3 Área externa 3.....	115
5.3.4 Área externa 4.....	120
5.4 Análises conjuntas.....	125
5.4.1 Variação da cobertura de solo.....	126
5.4.2 Variação da área do maior fragmento.....	129

5.4.3 Variação do tamanho médio dos fragmentos.....	133
5.4.4 Variação da densidade de fragmentos.....	137
6 CONCLUSÃO.....	140
7 REFERÊNCIAS.....	142

1 INTRODUÇÃO

As mudanças no uso e cobertura do solo estão alterando as paisagens em toda a superfície terrestre a uma velocidade notável, afetando os processos ambientais em múltiplas escalas (ELLIS; PONTIUS, 2007). A demanda cada vez maior por recursos como água doce, alimentos e combustível, juntamente com práticas insustentáveis de gestão da terra resultaram em um grande aumento da degradação ambiental ao longo do tempo (NELLEMANN et al., 2009). Por esse motivo, procurar entender as alterações na paisagem induzidas pelo homem e fornecer aos tomadores de decisão informações confiáveis sobre o estado do meio ambiente tornou-se crucial.

Uma das principais consequências ocasionadas pelas mudanças no uso e cobertura do solo é a fragmentação dos habitats, pois gera diversos problemas como isolamento das formações e populações remanescentes, intensificação das competições, alterações nos fluxos gênicos, modificação da estrutura e qualidade de habitats, além de extinções de espécies (MUCHAILH et al., 2010). Dessa forma, a perda e fragmentação de habitats são os principais impulsionadores do declínio da biodiversidade global (NEWBOLD et al., 2015). Existem muitos métodos para analisar a fragmentação da paisagem e um deles é o estudo da paisagem, que leva em consideração o uso de métricas da paisagem.

Segundo Turner (1989) e Forman (1995), essas métricas, também conhecidas por índices da paisagem, são dados obtidos através de sensoriamento remoto e geoprocessamento que permitem descrever, comparar e quantificar modelos espaciais de fragmentos de vegetação nativa. A aplicação correta desses índices fornece informações importantes relacionadas às manchas de vegetação, sejam elas individuais ou coletivas. Tais informações, formam uma base de dados para gerar definições da paisagem e das manchas de vegetação, e para estudar a conectividade e a configuração da paisagem. Assim, o estudo da paisagem é um método científico para representar de maneira resumida as características de uma área de vegetação fragmentada, fornecendo conhecimentos relevantes que possam ser utilizados na gestão de biomas afetados pelo desmatamento, este muitas vezes ocasionado pelo avanço da agricultura e pecuária (TURNER, 1989; FORMAN, 1995; McGARIGAL; MARKS, 1995)

No Brasil, o Cerrado é um dos biomas que mais sofre com a remoção de vegetação nativa devido às atividades agropecuárias (BELCHIOR; ALCANTARA; BARBOSA, 2017). Aproximadamente metade do bioma já foi convertido em pastagens e lavouras, o que transformou a região do Cerrado em um dos principais produtores de grandes culturas de

exportação, como soja, milho e algodão (BEUCHLE et al., 2015; NOOJIPADY et al., 2017; SANO et al., 2010).

Por causa da alta diversidade de espécies endêmicas e da forte ameaça sofrida pelas ações antrópicas, o Cerrado é considerado um dos hotspots mundiais de biodiversidade, muito importante para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006). Além de sua importância ambiental, o bioma possui grande relevância social e cultural, abrigando aproximadamente 46 milhões de habitantes. Muitos desses, utilizam de recursos naturais do Cerrado para sobreviver (BOLFE, et al. 2016).

A região brasileira onde o Cerrado mais sofre com o desmatamento ocasionado pelo avanço do agronegócio é na porção dos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA). É uma recente fronteira de produção agrícola conhecida por seu acrônimo, MATOPIBA. Do total de vegetação suprimida no bioma entre agosto de 2020 e julho de 2021, 61,3% (5.227,32 km²) esteve concentrado na região, a qual abriga 44% de todo o Cerrado. Foi um recorde da região em concentração do desmatamento do bioma desde quando o estudo começou a ser realizado, em 2002 (INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA, 2021).

Ao longo dos anos a legislação ambiental brasileira instituiu alguns instrumentos para a preservação e conservação de biomas como o Cerrado. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), por exemplo, estabeleceu parâmetros legais para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação (UCs), por meio da Lei Federal nº 9.985 de 2000. As UCs estão separadas em unidades de proteção integral e unidades de uso sustentável, de acordo com diferentes níveis de restrição de uso dessas áreas.

No entanto, apesar do reconhecimento de sua importância ambiental e social, o Cerrado é o bioma que possui a menor porcentagem de área sob proteção ambiental, sendo menos de 10% de sua área natural (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2022). Somando-se a isso, Klink e Machado (2005) estimam que 20% das espécies ameaçadas ou endêmicas do bioma não estão dentro de unidades de conservação.

Dessa forma, a região do MATOPIBA, por abrigar uma extensa área do Cerrado sem proteção e ser a mais recente fronteira agrícola brasileira, tornou-se alvo de estudos voltados à análise da dinâmica espacial e temporal da sua paisagem. Esse aumento de interesse na área, está estritamente relacionado com fatores como o desmatamento de vegetação nativa, e a perda e fragmentação de habitats (FRANÇA et al., 2020; POLIZEL et al., 2021).

Portanto, ao analisar as mudanças da paisagem na região do MATOPIBA denominada Corredor Ecológico do Jalapão, onde as unidades de conservação se fazem presentes, busca-se colaborar com o debate acerca da contribuição dessas áreas legalmente protegidas para a conservação da paisagem e seus recursos naturais, principalmente em regiões que sofrem com intensa pressão do agronegócio. Podendo assim, contribuir para um embasamento técnico visando a expansão e a criação de novas áreas de proteção tanto no Cerrado quanto em outros biomas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estudo da paisagem: origem, conceitos e aplicação

Em 1939, o geógrafo alemão Carl Troll apresentou o termo Ecologia da Paisagem para denominar o campo de estudo que examina as relações espaciais e temporais entre os elementos bióticos e abióticos sob o ponto de vista da paisagem (FORMAN; GODRON, 1986). A partir disso, a dinâmica de muitos distúrbios naturais e seus efeitos no mosaico espacial começaram a ser estudados em uma variedade de sistemas aquáticos e terrestres (PICKETT; WHITE, 1985).

Sob esta perspectiva, o estudo da paisagem concentra-se nos padrões e na heterogeneidade espacial, identificando sua origem, como descrevê-la e como se desenvolve ao longo do espaço e do tempo. (FARINA, 1998; MARTINS et al., 2004). Porém, é necessário introduzir alguns conceitos relacionados ao estudo da paisagem para entender melhor seu funcionamento e importância.

É possível encontrar diversas definições para o termo paisagem na literatura (TURNER, 1989; FORMAN; GODRON, 1986; HOBBS, 1995). Metzger (2001, p.4) formulou uma definição de paisagem, adotada para este estudo, que une as abordagens “geográfica” (da escola europeia da ecologia da paisagem) e “ecológica” (da escola norte-americana). Segundo o autor, a paisagem é “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação”(METZGER, 2001).

De acordo com Hobbs (1995) e Metzger (2001), este conjunto interativo da paisagem pode ser dividido de acordo com os objetivos de análise do observador. Dessa forma, as unidades da paisagem podem representar ecossistemas (como corpos d’água, florestas, entre outros), unidades de cobertura (estágios sucessionais de um bioma, por exemplo) e unidades de ocupação (áreas urbanas, agrícolas e de vegetação natural), sendo este último de maior interesse para o presente estudo.

Assim, o conjunto das diferentes unidades da paisagem cria um mosaico no espaço que é formado a partir de interações complexas entre diversos fatores físicos, biológicos e antrópicos. A estrutura da paisagem refere-se à maneira como esse mosaico está disposto no espaço (FORMAN; GODRON, 1981; KRUMMEL, 1987; TURNER, 1989).

O mosaico das paisagens ocupadas pelo ser humano é resultado do processo de fragmentação dos seus habitats, o qual ocorre quando há quebra da continuidade de uma certa

unidade da paisagem que possui melhores condições de recursos naturais para a biodiversidade, gerando um mosaico com padrões de cobertura vegetal fragmentados e habitats isolados (METZGER, 1999; BALDI et al., 2006; VILLARD; METZGER, 2014).

As consequências negativas que a fragmentação de ambientes naturais pode gerar em questão de perda de recursos e biodiversidade incentivou muitas pesquisas nessa área, especialmente no que diz respeito ao entendimento dos efeitos nocivos da criação de habitat isolados e cercados por terras agrícolas (WILCOX; MURPHY, 1985; SAUNDERS et al., 1991; HARRIS; SILVA-LOPEZ, 1992; COLLINGE, 1996; LIU et al., 2018).

Saunders, Hobbs e Margules (1991) apontam que a fragmentação dos ecossistemas causa mudanças físicas e biogeográficas significativas no ambiente. Os autores afirmam que a alteração dos fluxos de radiação, vento, água e nutrientes ao longo da paisagem desmatada gera forte influência sobre a biota presente nas áreas remanescentes de vegetação, especialmente aquelas que estão dentro ou próximas à borda entre o fragmento e a área alterada. O isolamento dos fragmentos, segundo os mesmos autores, também gera consequências que variam com o tempo de isolamento, a distância e o grau de conectividade entre eles. Além disso, afirmam que o nível das influências muda de acordo com tamanho, formato e posição dos fragmentos na paisagem, sendo que os maiores fragmentos são menos afetados (SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1991).

Em um contexto mais recente, Liu et al. (2018) revisaram a literatura sobre o tema e analisaram, por meio da perspectiva da paisagem, como a fragmentação dos *habitats* pode afetar a relação entre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema. Segundo os autores, a fragmentação dos *habitats* causa a perda não-aleatória de espécies que contribuem para o funcionamento do ecossistema e reduz interações mutualísticas, alterando a composição das comunidades. Somando-se a isso, as condições ambientais dentro dos fragmentos e os fluxos ecológicos entre eles variam significativamente com o grau de fragmentação (LIU et al., 2018).

Para melhorar a compreensão desses processos, Forman (1995) desenvolveu o modelo mancha-corredor-matriz para caracterizar os elementos espaciais de um mosaico, sendo até hoje um dos métodos mais utilizados na Ecologia da Paisagem para quantificar os padrões de paisagem. O conceito sugere que esses três elementos (mancha, corredor e matriz) são combinados e repetidos no espaço para formar a paisagem (FORMAN, 1995).

A matriz é a unidade dominante em termos de recobrimento espacial e que controla a dinâmica da paisagem. Nos estudos de paisagem, a matriz é considerada como as unidades de não-*habitat* que foram modificadas pelo uso antrópico (FORMAN, 1995; METZGER, 2001).

Manchas são áreas homogêneas, com extensões espaciais reduzidas e não lineares, que se distinguem das unidades vizinhas e apresentam diferentes formas, tamanhos e limites, sendo geralmente remanescentes de vegetação nativa, portanto, fragmentos de *habitat* (FORMAN; GODRON, 1986; METZGER, 2001). Os corredores são áreas homogêneas lineares de determinada unidade da paisagem, que se diferem da matriz à sua volta, e que ligam duas ou mais manchas, possibilitando a mobilidade e conectividade genética entre plantas e animais (FORMAN, 1995; METZGER, 2001; SOARES, 1998; LINDENMAYER; FISCHER, 2006).

Nesse sentido, pode-se dizer que a fragmentação dos *habitats* geralmente resulta em um mosaico da paisagem composto por manchas (neste caso, fragmentos) de áreas remanescentes de vegetação nativa, ligadas por corredores e cercadas por uma matriz onde predominam outros tipos de uso do solo, por exemplo, pastagens, campos agrícolas ou áreas urbanas, causando efeitos negativos para o meio ambiente e sua biodiversidade (SAUNDERS; HOBBS; MARGULES, 1991).

Ao identificar e quantificar esses três elementos (mancha, corredor, matriz) é possível obter os padrões de paisagem (FORMAN; GODRON, 1986; NAVEH; LIEBERMAN, 1993; FARINA, 1998) e, assim, diversos estudos relacionados aos padrões de paisagem voltaram-se para a análise da fragmentação e o levantamento e quantificação do uso e cobertura da terra (ECHEVERRÍA et al., 2012; SU et al., 2012; SUN et al., 2014; OLIVEIRA, S. N., 2015).

Portanto, fica evidente que a fragmentação afeta a estrutura da paisagem e, conseqüentemente, os processos biológicos nela presentes. A partir de métodos quantitativos é possível obter métricas que representam os parâmetros estruturais da paisagem. Isso permite a comparação de diferentes áreas, detectando alterações significativas ao longo do tempo (TURNER, 1989; BENNETT; SAUNDERS, 2010; McGARIGAL et al., 2012).

Identificar e comparar as alterações nas paisagens através das métricas de paisagem é muito importante para uma análise eficaz da dinâmica espacial e temporal de áreas de intensa ocupação urbana e expansão agrícola, como a região do Cerrado.

2.2 O Cerrado e a fronteira agrícola do MATOPIBA

Ocupando uma área com pouco mais de 2 milhões de km², cerca de 23,3% do território nacional, o Cerrado é o segundo bioma mais extenso do Brasil e da América do Sul, ficando atrás apenas da Amazônia (que abrange 49,5% do território brasileiro) (IBGE, 2019).

Devido à sua posição geográfica e às suas características ecológicas, o Cerrado possui fundamental relevância para a sociedade brasileira, tanto em termos de biodiversidade,

manutenção dos ciclos biogeoquímicos e dos recursos naturais (principalmente recursos hídricos), quanto em relação à produção agrícola desenvolvida em seu território. Tais fatores são favorecidos pelo grande potencial aquífero da região do Cerrado que abrange as nascentes e os principais afluentes das três maiores bacias hidrográficas do continente: Amazônica, Araguaia/Tocantins e São Francisco (BRANNSTROM, 2005; FERREIRA et al., 2013).

Além dos aspectos ambientais e econômicos, o Cerrado também possui grande valor social, já que muitas populações tradicionais de diferentes etnias vivem de seus recursos naturais e fazem parte do patrimônio histórico e cultural brasileiro. O bioma é o lar de milhares de quilombolas, indígenas, agricultores familiares e comunidades que conservam um estilo de vida tradicional, como geraizeiros, vazanteiros, quebradeiras de coco, entre outras (SILVA; BATES, 2002; BELCHIOR; ALCANTARA; BARBOSA, 2017).

Apesar de sua enorme importância, muitas pesquisas e estudos voltados ao levantamento do uso e cobertura do Cerrado brasileiro ao longo do tempo comprovam, por meio de diferentes técnicas de sensoriamento remoto, as elevadas taxas de supressão de vegetação natural devido ao avanço contínuo do agronegócio em seu território, onde estão localizadas algumas das principais e mais recentes fronteiras agrícolas do país (FONSECA et al., 2021).

De acordo com Sano et al. (2010), a vegetação natural remanescente do Cerrado ainda cobria cerca de 61% do bioma em 2002, porém, de forma altamente assimétrica. Scaramuzza (2017), por meio de análises de imagens do satélite Landsat-8, estima que, até 2013, 50% da savana brasileira havia sido convertida em áreas de plantio, pastagens e em outros tipos de uso da terra. De acordo com os dados do TerraClass Cerrado de 2018, projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) para mapeamento do uso e cobertura vegetal do bioma, detectou-se que apenas 49,4% da vegetação natural primária do Cerrado estava conservada e aproximadamente 29% de seu território estava coberto por pastagens (INPE, 2018).

Esses números estão diretamente relacionados com o progresso tecnológico da agricultura brasileira e o estabelecimento de programas governamentais de desenvolvimento do Cerrado a partir da década de 1970, que transformaram o setor agrícola e incentivaram um forte processo de ocupação do bioma (SANTANA, 2008). Outro aspecto que favoreceu o avanço da agropecuária no Cerrado é o fato da maioria do seu relevo ser relativamente plano, o que favorece a utilização da máquina como substituto do trabalho humano. E apesar dos solos serem ácidos e de baixa fertilidade, eles podem ser facilmente corrigidos a partir de técnicas agrônomicas adequadas (MANZATTO et al., 2002; KLINK; MACHADO, 2005).

Assim, o Cerrado brasileiro se transformou em uma área de intensa produção de grãos e formação de pastagens ao longo dos anos e, nesse contexto, a região do MATOPIBA se tornou uma das principais fronteiras agrícolas do bioma no Brasil (MIRANDA et al., 2014).

Delimitado em 2015 por meio de decreto da Presidência da República, o MATOPIBA compreende todo o estado do Tocantins e parcialmente os estados do Maranhão, Piauí e Bahia (BRASIL, 2015). Segundo Belchior, Alcântara e Barbosa (2017), a região possui 73 milhões de hectares (ha), dos quais 91% são cobertos por Cerrado, divididos em 337 municípios. De acordo com os autores, na ocasião do levantamento, havia em seu território 324 mil propriedades agrícolas, 781 assentamentos rurais, 46 unidades de conservação em funcionamento (e algumas em processo de regularização), 35 terras indígenas e 34 áreas quilombolas (BELCHIOR et al., 2017).

Além dos já citados, um grande fator que impulsionou a ocupação do bioma nessa região foi o lançamento do Plano de Desenvolvimento Agropecuário em MATOPIBA (PDA-MATOPIBA), em 2015, que apesar de ter como objetivo promover e coordenar políticas públicas para a melhoria da qualidade de vida da população por meio do crescimento econômico e sustentável da agropecuária, tornou-se uma ameaça ao meio ambiente e às comunidades tradicionais que vivem da exploração do Cerrado naquela região (BELCHIOR; ALCANTARA; BARBOSA, 2017). O Plano foi revogado 5 anos depois pelo Decreto nº 10.473, de 24 de agosto de 2020 (BRASIL, 2020).

O contínuo avanço das fronteiras agrícolas no Cerrado e a consequente supressão de sua vegetação natural está resultando no aumento da fragmentação das paisagens e no isolamento dos seus habitats, afetando fauna e flora silvestres, gerando inclusive a extinção de espécies (RATTER et al., 1997; CARVALHO et al., 2009; GRECCHI et al., 2014).

Dessa maneira, somando a importância ambiental, social e econômica do Cerrado ao desmatamento significativo que o bioma vem sofrendo até hoje, diversas áreas dentro da região do MATOPIBA tornaram-se alvos de estudos relacionados às mudanças no uso e cobertura da terra (PINHEIRO, 2012; LIMA et al., 2020).

Os resultados desse e de muitos outros estudos relacionados à dinâmica da paisagem dentro do MATOPIBA são de suma importância para o embasamento técnico e científico de gestores públicos no processo de criação e manejo de unidades de conservação, instrumentos fundamentais para a proteção dos recursos naturais do Cerrado nessa região.

2.3 Unidades de conservação no Brasil e no Cerrado

Até a década de 1990, houve numerosas iniciativas por parte das diferentes esferas do setor público e privado para implementar UCs no território nacional, motivadas por contextos históricos e políticos distintos. Embora ainda apresentassem aspectos vagos na sua elaboração, esse esforço inicial foi fundamental para evitar a transformação de muitos ambientes naturais em áreas agrícolas ou urbanas (RANIERI; MORETTO, 2019).

Entretanto, somente na década seguinte entrou em vigor a Lei nº 9.985 de 18 de Julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), estabelecendo diretrizes e regras para criação, implantação e manejo das UCs no Brasil. De acordo com a Lei do SNUC, como também ficou reconhecida, uma unidade de conservação é descrita, em seu Artigo 2º, inciso I, como:

Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituída pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000).

Dessa forma, a Lei do SNUC cumpriu um papel fundamental na consolidação e padronização das normas relacionadas ao tema de áreas protegidas, dando maior flexibilidade ao poder público (em âmbito federal, estadual e municipal) para a criação de UCs de acordo com as características específicas de cada local e levando em conta os interesses dos diversos setores da sociedade (RANIERI; MORETTO, 2019).

Considerando a necessidade de atingir os 13 objetivos previstos em seu Artigo 4º, a Lei do SNUC, em seu Artigo 7º, determina que as UCs criadas no país devem ser enquadradas em dois grupos: as unidades de proteção integral e as unidades de uso sustentável. De acordo com a referida Lei, as primeiras têm a finalidade de “preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais”, porém existem alguns casos excepcionais abordados que permitem o uso direto. O segundo grupo de UCs, as unidades de uso sustentável, visa “compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais” (BRASIL, 2000).

Assim, foram definidas 12 categorias de UCs previstas pelo SNUC com objetivos de manejo distintos em alguns casos e semelhantes em outros. As unidades de proteção integral

são: Estação Ecológica (ESEC); Reserva Biológica (REBIO); Parque Nacional (PARNA); Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) e Monumento Natural (MONAT). Enquanto as intituladas como de uso sustentável são: Área de Proteção Ambiental (APA); Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE); Floresta Nacional (FLONA); Reserva Extrativista (RESEX); Reserva de Fauna (REFAU); Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) (BRASIL, 2000).

De acordo com os dados do 2º semestre de 2022 do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação do Ministério do Meio Ambiente existem 2.659 UCs federais, estaduais e municipais no Brasil. Desse total, 481 unidades (18,09%) protegem o bioma Cerrado, abrangendo 178.456,62 km² de área protegida. No entanto, este valor representa apenas 8,99% de toda a extensão territorial do Cerrado brasileiro. Do total de UCs no Cerrado, 32,02% ou 58.524,29 km² compõem as 154 unidades de proteção integral, enquanto 67,98% ou 119.862,33 km² equivalem às 327 unidades de uso sustentável (MMA, 2022).

Chama a atenção o fato de 388 UCs de proteção do Cerrado (80,67% do total) não possuírem um Plano de Manejo, documento obrigatório que visa proporcionar as condições para que todos os objetivos da unidade sejam alcançados de forma eficaz. As UCs que não possuem este documento técnico, além de estarem descumprindo a Lei do SNUC, tornam-se vulneráveis ao uso inadequado de suas terras, estando portanto, em desacordo com seus objetivos de conservação. Além disso, 361 unidades (75,05%) não definiram um Conselho Gestor, outro instrumento obrigatório responsável por promover maior participação da sociedade na administração das UCs (BRASIL, 2000; RANIERI; MORETTO, 2019; MMA, 2022).

Entre as UCs que protegem o Cerrado, aquelas que fazem parte do Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão (PCERJ) merecem destaque maior neste estudo. O projeto é uma iniciativa do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) com apoio de outras importantes instituições que atuam na região do Jalapão. Esse espaço territorial está localizado dentro do MATOPIBA e abriga o maior conjunto de UCs no Cerrado, conservando grandes riquezas naturais e culturais do bioma (ICMBio, 2013). De acordo com o ICMBio, o projeto tem como objetivo geral:

[...] reforçar a conservação dos ecossistemas da região do Jalapão por meio da gestão integrada entre as unidades de conservação (UCs) federais, estaduais, municipais e privadas existentes no território, com vista ao estabelecimento de diretrizes e ações conjuntas para

compatibilizar, integrar e otimizar as atividades de conservação, manter ou restabelecer a conectividade ecológica entre as áreas protegidas e preservar os serviços ecossistêmicos prestados pela natureza à população do Jalapão (ICMBio, 2013).

Logo, o projeto, também conhecido por Corredor Ecológico do Jalapão, envolve a gestão integrada de 11 UCs, públicas e particulares, localizadas dentro da região do Jalapão (sendo cinco de proteção integral e seis de uso sustentável), buscando dessa forma atingir o seu objetivo principal de promover a conservação e manter a conectividade ecológica entre as mesmas (ICMBio, 2013).

Alguns anos depois da criação do projeto, em 29 de setembro de 2016, o Ministério do Meio Ambiente reconheceu, através da Portaria nº 434, o Mosaico do Jalapão, nome dado ao conjunto de nove UCs presentes na região do Jalapão localizadas nos estados do Tocantins e da Bahia, definindo também suas entidades gestoras. Somente duas RPPNs que fazem parte do Corredor Ecológico do Jalapão, e que possuem áreas muito reduzidas com relação às outras UCs, não foram incluídas no Mosaico do Jalapão (BRASIL, 2016).

Através do sensoriamento remoto, Santos et al. (2022) analisaram as mudanças no uso e cobertura do solo do Mosaico do Jalapão entre os anos de 1970 e 2018, ou seja, antes e depois da criação das áreas protegidas na região. Os autores observaram que 70% da perda de vegetação devido à antropização ocorreu fora das UCs, evidenciando a importância da criação desses instrumentos ambientais (SANTOS et al., 2022).

Cachoeira et al. 2020, por sua vez, optaram por analisar individualmente a dinâmica espacial da paisagem do Parque Estadual do Jalapão (TO) de 2000 a 2015. Ao atualizarem o mapa de uso e cobertura do solo desta UC, os autores constataram que houve mudanças na sua paisagem e que a UC encontra-se fragmentada (CACHOEIRA et al., 2020)

Portanto, considerando a relevância da região do Jalapão para a sociedade e o fato dela estar localizada dentro da principal fronteira agrícola do Cerrado brasileiro, confirma-se a necessidade do monitoramento contínuo da paisagem do Corredor Ecológico do Jalapão e seu entorno, contribuindo assim para um diagnóstico mais preciso a respeito da contribuição das UCs para a conservação da paisagem e seus processos ecológicos, auxiliando o setor público e privado no processo de gestão das unidades existentes e de criação de novas áreas de proteção (SANTOS et al., 2022).

3 OBJETIVO

O objetivo deste estudo consiste em analisar a contribuição das unidades de conservação presentes na região conhecida como Corredor Ecológico do Jalapão para a manutenção de composição e estrutura de paisagens mais favoráveis à conservação da biodiversidade no período entre 1990 e 2020.

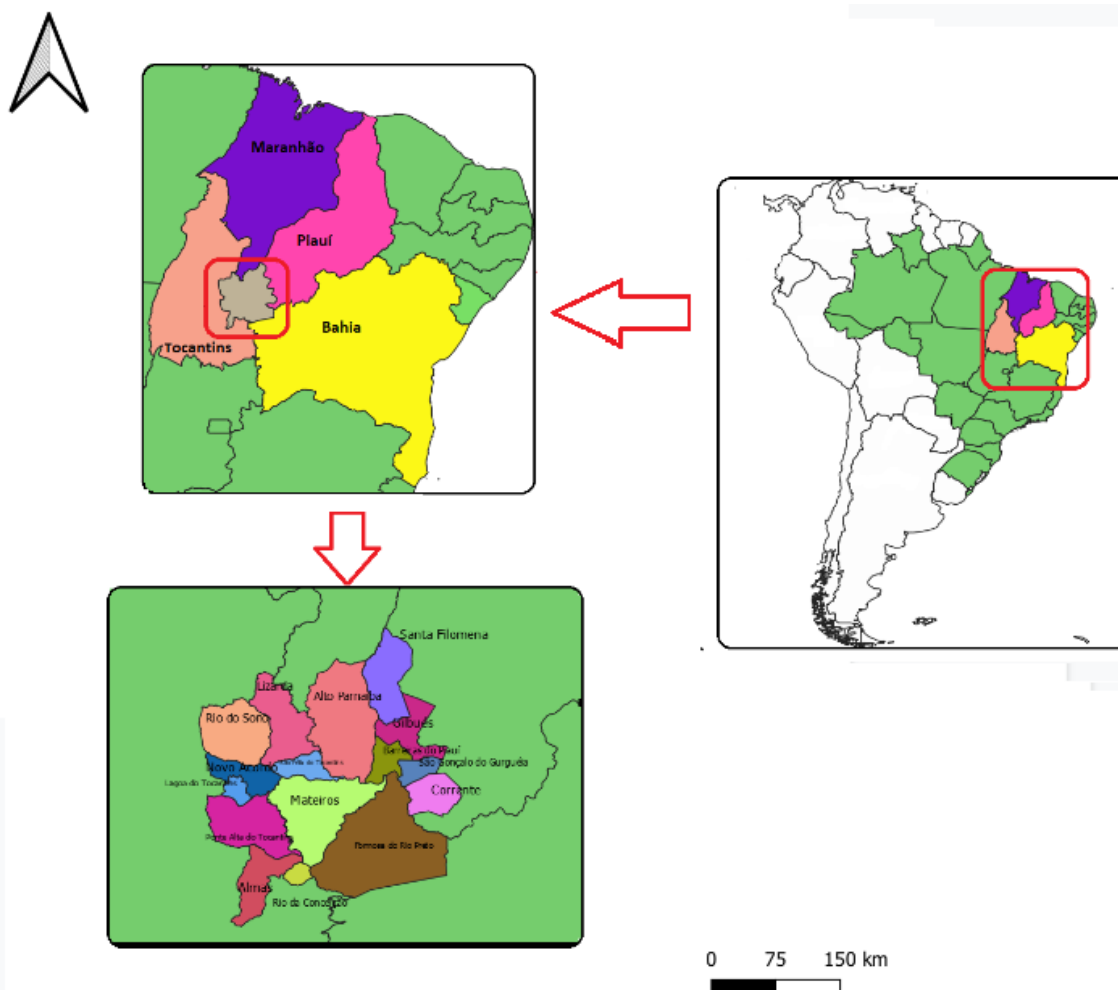
4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

Este trabalho concentra sua análise na área onde estão localizadas as unidades de conservação do Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão, assim como em quatro amostras de áreas externas e não protegidas que ficam próximas a essas UCs e dentro da área do projeto.

O PCERJ situa-se entre os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e possui uma área total de 81.546,93 km², contemplando 18 municípios, sendo um município no estado do Maranhão (Alto Parnaíba), dez municípios no estado do Tocantins (Almas, Lagoa do Tocantins, Lizarda, Mateiros, Novo Acordo, Ponte Alta do Tocantins, Rio da Conceição, Rio do Sono, Santa Tereza do Tocantins e São Félix do Tocantins), cinco municípios no estado do Piauí (Barreiras do Piauí, Corrente, Gilbués, Santa Filomena e São Gonçalo da Gurguéia) e três municípios na Bahia (Formosa do Rio Preto, Santa Rita de Cássia e Mansidão).

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria.

O projeto contempla áreas de interesse para proteção ambiental, incluindo em sua extensão 10 UCs sob diferentes níveis de restrição de uso. Aquelas que permitem o uso sustentável são as APAs do Jalapão, da Serra da Tabatinga e do Rio Preto, e as RPPNs Fazenda Calixto, Catedral do Jalapão e Fazenda Minnehaha. As unidades com maior restrição de uso, onde busca-se a proteção integral do bioma Cerrado, são o PARNA Nascentes do Rio Parnaíba, a ESEC Serra Geral do Tocantins, o PE do Jalapão e o MONAT Canyons e Corredeiras do Rio do Sono. O Quadro 1 mostra as especificidades de cada unidade de conservação contida na área de estudo.

Quadro 1 - Unidades de conservação presentes na área de estudo

Nome	Categoria	Instância Responsável	Área (ha)	Plano de Manejo	Data de criação
Área de Proteção Ambiental do Jalapão	Uso sustentável	Estadual (Tocantins)	461.730,0	Sim	31/06/2000
Parque Estadual do Jalapão	Proteção Integral	Estadual (Tocantins)	158.875,0	Sim	12/01/2001
Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio do Sono	Proteção Integral	Municipal (São Félix do Tocantins)	1.286,0	Não	02/06/2012
Reserva Particular do Patrimônio Natural Catedral do Jalapão	Uso Sustentável	Federal	325,6	Não	28/07/2010
Reserva particular do Patrimônio Natural Fazenda Calixto	Uso Sustentável	Federal	364,7	Não	05/07/2009
Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Minnehaha	Uso Sustentável	Federal	745,0	Não	26/11/1996
Área de Proteção Ambiental Rio Preto	Uso Sustentável	Estadual (Tocantins)	1.590.174,0	Não	06/06/2006
Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins	Proteção Integral	Federal	716.306,0	Sim	27/09/2001
Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga	Uso Sustentável	Federal	35.328,0	Não	07/06/1990
Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba	Proteção Integral	Federal	729.813,5	Não	16/07/2002

Fonte: MMA (2022).

4.2 Conjunto de dados

Os dados utilizados para a realização deste trabalho vieram do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas). Criado em 2015, o MapBiomas abrange dados de uso e ocupação do solo de 1985 até 2020, recebendo atualizações frequentemente (MapBiomas, 2020). Utilizou-se para a análise as informações recolhidas da coleção 6, cuja classificação dos dados foi feita de forma automática por meio de mosaicos Landsat que geraram mapas anuais no formato *Geotiff* com resolução de 30 metros por pixel.

O sistema de coordenadas utilizado foi o EPSG 3857, o qual foi convertido para EPSG 4674 SIRGAS 200. As bases de dados foram recolhidas na plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, Google Earth Engine (GEE), para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020. A análise foi feita a partir de 1990, pois é o ano de criação da UC mais antiga analisada, a APA Serra da Tabatinga.

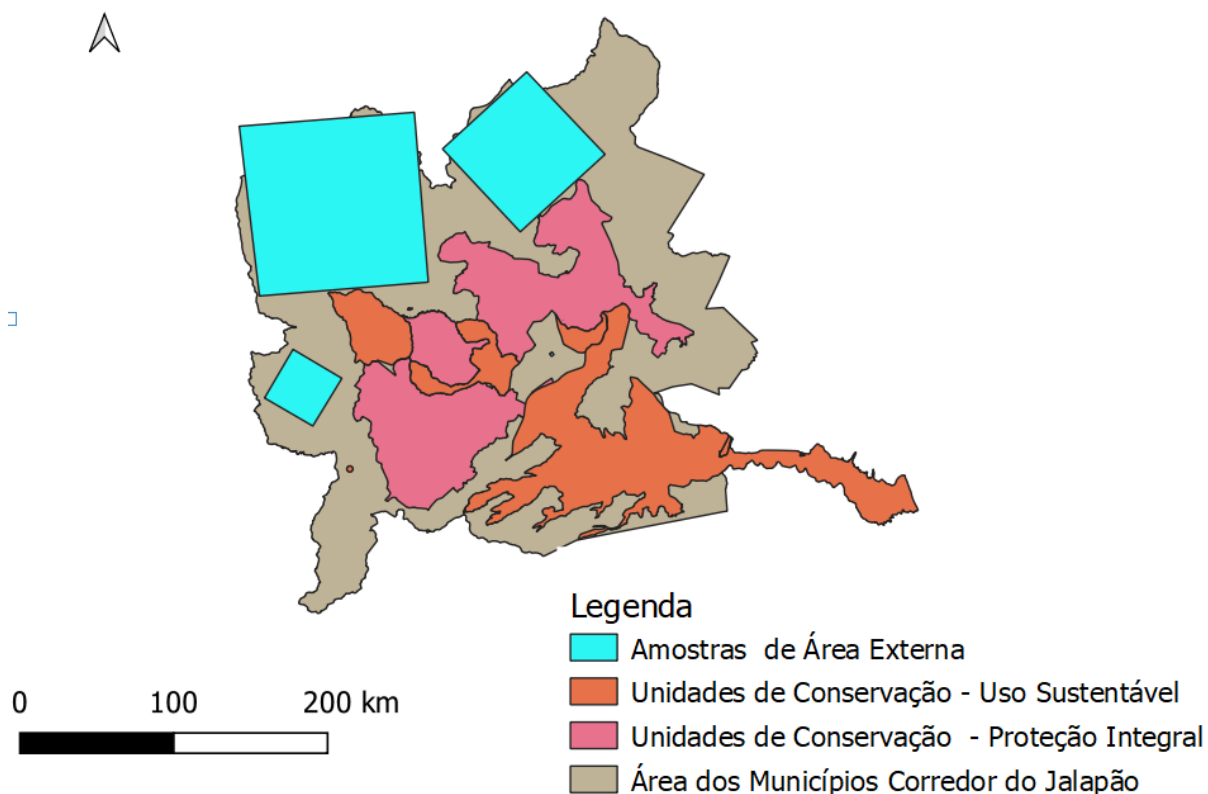
Os *shapefiles* da área de estudo foram retirados do site do PCERJ e foram posteriormente trabalhados no *software* de licença livre QGIS, com o auxílio da extensão LecoS (JUNG, 2016). Esse último, simula o cálculo de métricas do Programa de Análise de Padrões Espaciais para Mapas Categóricos, *software* conhecido por FRAGSTATS (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

4.3 Análise dos dados

Com o *software* QGis, inicialmente, foi feita a extração dos dados presentes nos rasters obtidos da iniciativa MapBiomas por meio do GEE. Isso se deu, primeiramente, adicionando as camadas *shapefile* das unidades de conservação e das quatro amostras da área externa em conjunto com arquivos rasters que continham as informações do uso e ocupação do solo para os anos 1990, 2000, 2010 e 2020. Na sequência, foi executado o comando “extrair por camada de máscara”. Assim, obtivemos os dados de forma localizada, tornando possível o processamento das métricas pelo *plugin* LecoS.

Foram estabelecidas quatro amostras de áreas externas com dimensões que vão da menor a maior unidade de conservação (i.e, RPPN Catedral do Jalapão e APA do Rio Preto, respectivamente). Além de duas áreas externas do tamanho dessas UCs, também foram consideradas mais duas áreas externas com dimensões proporcionalmente inseridas entre ambas. O formato das amostras foi definido em forma quadrangular. O Mapa 1 apresenta a distribuição das amostras na área de estudo.

Mapa 1 - Área de estudo



Fonte: Autoria própria.

As métricas escolhidas foram cobertura da paisagem, proporção da cobertura da paisagem, área do maior fragmento, área média do fragmento e densidade de fragmento. É possível verificar as características desses indicadores no Quadro 2.

Quadro 2 - Métricas utilizadas no estudo

Nome da Métrica	Unidade adotada	Descrição
Cobertura da paisagem (<i>Landcover</i>)	Quilômetro Quadrado (km ²)	Apresenta a área total de cada classe da paisagem
Proporção de paisagem (<i>Landscape Proportion</i>)	Porcentagem (%)	Apresenta a porcentagem de cada classe da paisagem
Área do maior fragmento (<i>Greatest Patch Area</i>)	Quilômetro Quadrado (km ²)	Apresenta a área do maior fragmento de cada classe da paisagem

Nome da Métrica	Unidade adotada	Descrição
Densidade de fragmentos (<i>Patch Density</i>)	Fragmentos/km ²	Apresenta o número de fragmentos de cada classe em uma determinada área
Área média do fragmento (<i>Mean Patch Area</i>)	Quilômetro Quadrado (km ²)	Apresenta a área média dos fragmentos de cada classe da paisagem

Fonte: Adaptado de McGarigal e Marks (1995).

A classificação dos usos e coberturas do solo utilizadas no presente estudo foram as mesmas da coleção 6 do MapBiomas. Para a métrica de cobertura das classes, foram utilizadas as classes de número 1, 2, 3, 4 e 5. Já para as demais métricas (i.e, área do maior fragmento, tamanho médio dos fragmentos e densidade de fragmentos) foram utilizadas as subclasses de número 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2, pois são as vegetações mais relevantes na área de estudo. A Figura 2 apresenta a legenda para as classes e subclasses adotadas.

Figura 2 - Legenda da coleção 6 do MapBiomas

COLEÇÃO 6	
1. Floresta	
1.1. Formação Florestal	
1.2. Formação Savânica	
1.3. Mangue	
1.4. Restinga Arborizada (beta)	
2. Formação Natural não Florestal	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	
2.2. Formação Campestre	
2.3. Apicum	
2.4. Afloramento Rochoso	
2.5. Outras Formações não Florestais	
3. Agropecuária	
3.1. Pastagem	
3.2. Agricultura	
3.2.1. Lavoura Temporária	
3.2.1.1. Soja	
3.2.1.2. Cana	
3.2.1.3. Arroz (beta)	
3.2.1.4. Outras Lavouras Temporárias	
3.2.2. Lavoura Perene	
3.2.2.1. Café (beta)	
3.2.2.2. Citrus (beta)	
3.2.2.3. Outras Lavouras Perenes	
3.3. Silvicultura	
3.4. Mosaico de Agricultura e Pastagem	
4. Área não Vegetada	
4.1. Praia, Duna e Areal	
4.2. Área Urbanizada	
4.3. Mineração	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	
5. Corpo D'água	
5.1. Rio, Lago e Oceano	
5.2. Aquicultura	
6. Não Observado	

Fonte: MapBiomas (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Unidades de conservação de uso sustentável

As unidades de conservação de uso sustentável analisadas foram as APAs do Rio Preto, do Jalapão e Serra da Tabatinga, além das RPPNs Fazenda Calixto, Catedral do Jalapão e Fazenda Minnehaha.

É importante salientar que as RPPNs são unidades de conservação particulares de criação de iniciativa privada por parte do proprietário da terra, o qual recebe isenção do imposto territorial rural. Contudo, o uso da propriedade é mais restritivo do que nas APAs, permitindo-se somente a utilização para pesquisas e atividades que fomentam a conscientização ambiental, como o ecoturismo, e proibindo-se a exploração direta da terra.

Outra característica das RPPNs é que a sua criação tem caráter perpétuo, ou seja, os donos mantêm a posse da propriedade. No entanto, o seu uso é restrito e a responsabilidade legal de fiscalizar e garantir a conservação da área é do proprietário.

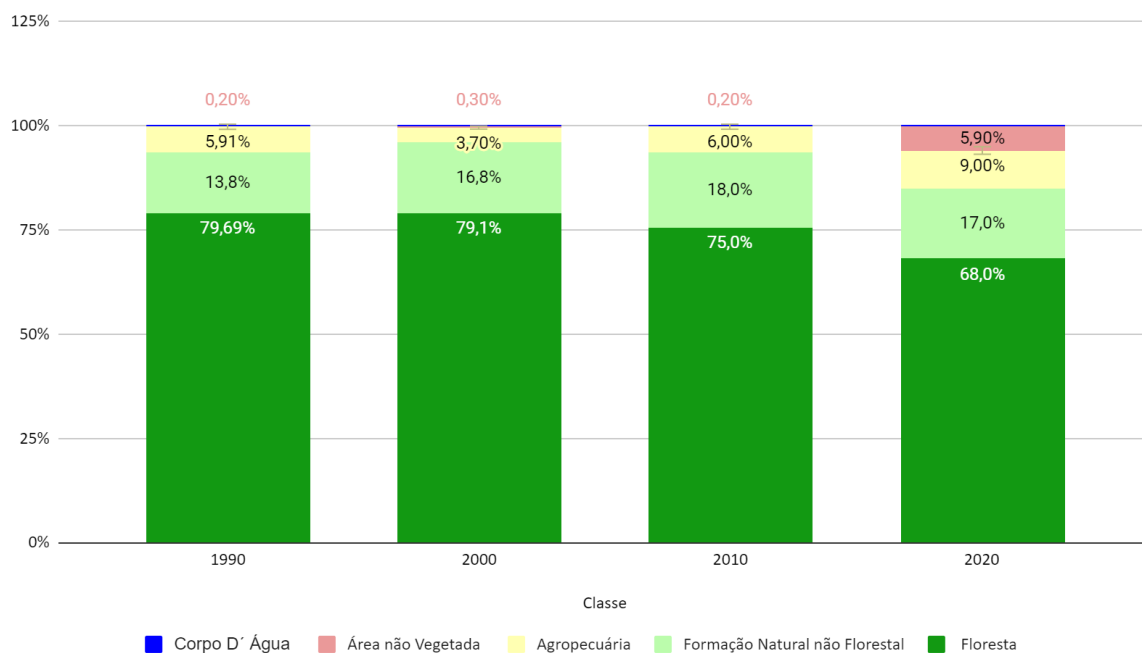
5.1.1 Área de Proteção Ambiental do Rio Preto

Esta UC foi criada pelo decreto nº 10.019 de 05 de junho de 2006, que regulamentou sua extensão total em 1.590.174,5 ha, abrangendo três municípios: Formosa do Rio Preto, com 80,46% do seu território dentro da APA, Mansidão, com 10,49% do seu território dentro da APA, e Santa Rita de Cássia, com 9,05% do seu território dentro da APA.

A administração é estadual e de responsabilidade do NATURATINS (Instituto Natureza do Tocantins), entidade responsável pela gestão de unidades de conservação do estado do Tocantins. A APA do Rio Preto está totalmente incluída na bacia hidrográfica do São Francisco Médio, sendo a maior unidade de conservação analisada neste trabalho.

As classes de uso do solo e suas respectivas porcentagens estão representadas no Gráfico 1, no qual é possível perceber que a participação da classe “Floresta” na cobertura da APA caiu 7%, ao passo que a classe “Formação Natural não Florestal” diminuiu 3%. A classe “Agropecuária”, que representava no início menos de 5% da cobertura do solo da APA, chegou a 9% em 2020. Para a classe de “Área não Vegetada” houve uma expansão de cerca de cinco vezes, pois no ano de 1990 ela somava menos de 1% e ao final do período analisado, em 2020, essa classe representa 5% da cobertura da unidade de conservação.

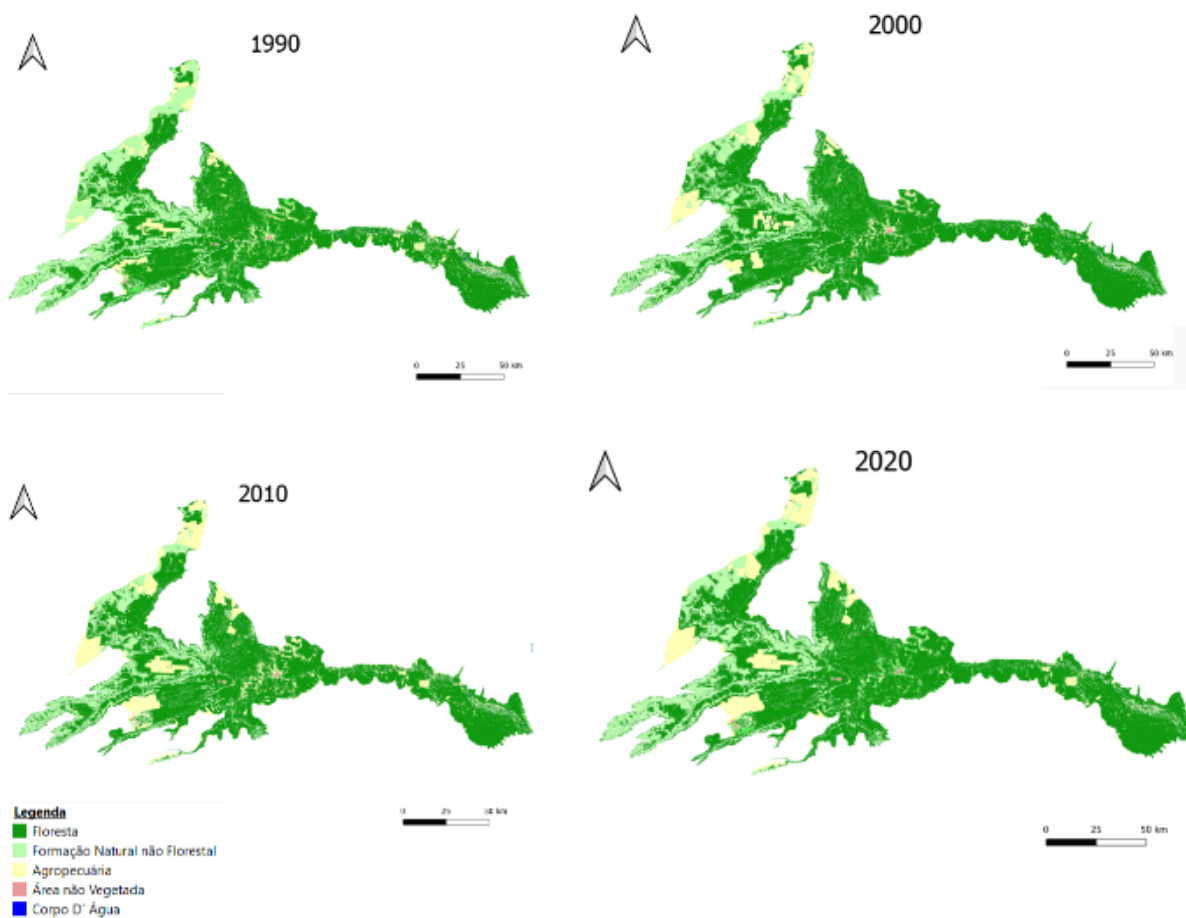
Gráfico 1 - Porcentagem das classes na APA do Rio Preto por ano estudado.



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 2 mostra as classes de cobertura do solo na APA do Rio Preto entre 1990 e 2020. As alterações são visíveis, já que a classe amarela que representa a “Agropecuária” vai crescendo na paisagem ao longo das décadas.

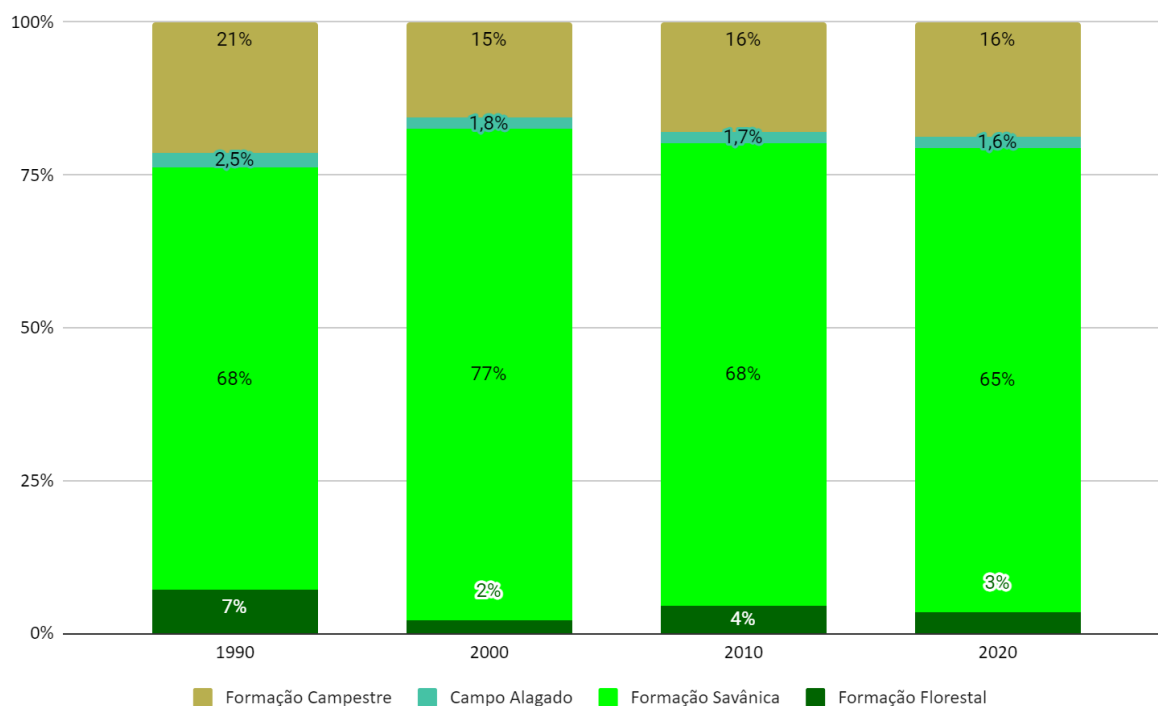
Mapa 2 - Classes de cobertura do solo na APA do Rio Preto entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

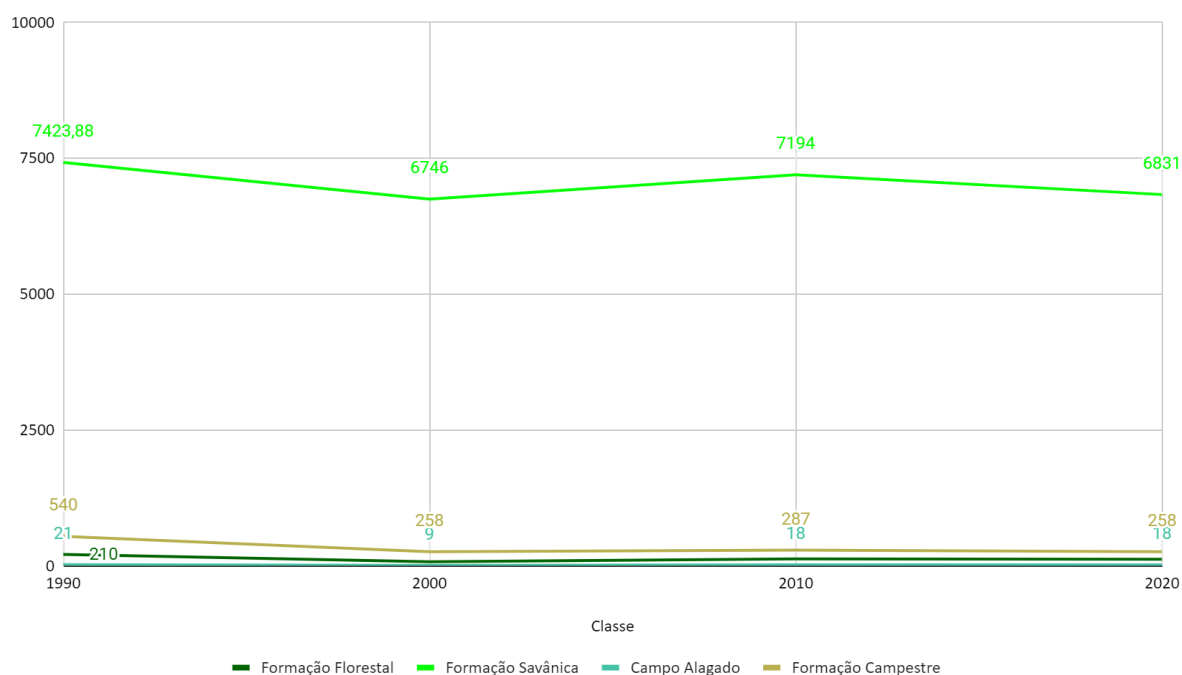
O Gráfico 2 mostra as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem da APA do Rio Preto ao longo de três décadas.

Gráfico 2 - Porcentagem da cobertura do solo na APA do Rio Preto por ano estudado



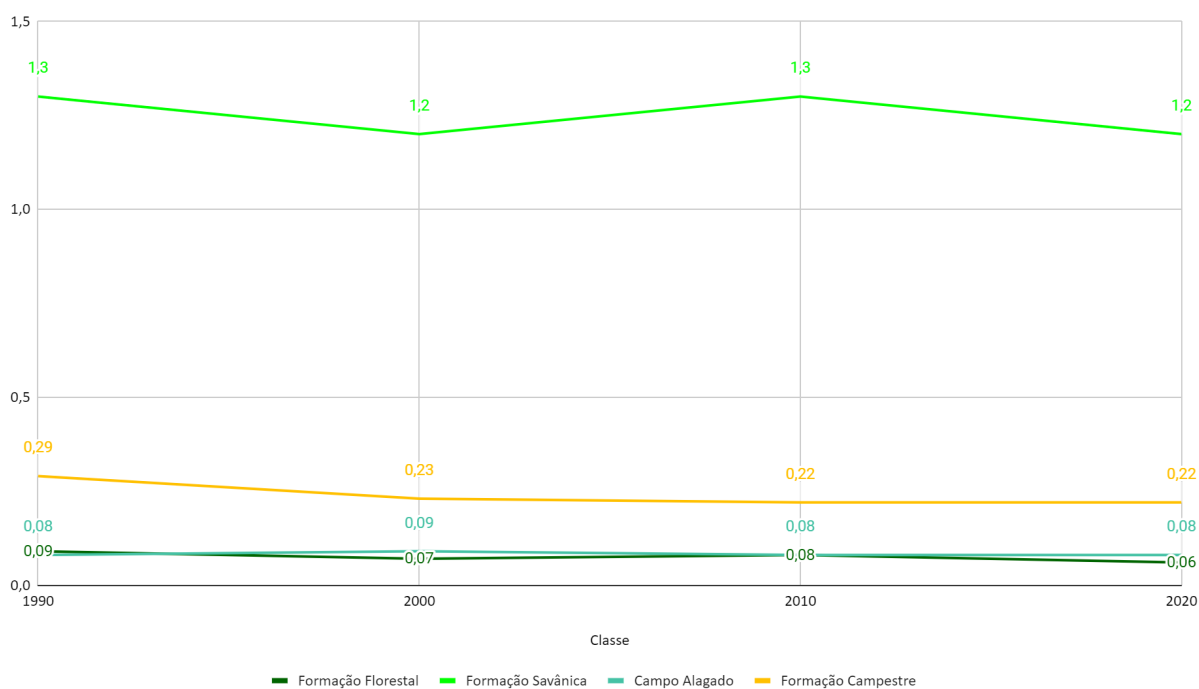
Fonte: Autoria própria.

Com base na análise do Gráfico 3 é possível aferir que a área do maior fragmento de “Formação Savânica”, subclasse de maior relevância na APA do Rio Preto, teve diminuição de 592 km², cerca de 8% da área do fragmento. Destaca-se a subclasse “Formação Campestre” que teve a área do seu maior fragmento reduzida em 281 km², ou seja, o fragmento perdeu mais de 50% de sua área original. As subclasses “Formação Florestal” e “Campo Alagado” permaneceram constantes ao longo do período analisado.

Gráfico 3 - Área do maior fragmento na APA do Rio Preto (km²) por ano estudado

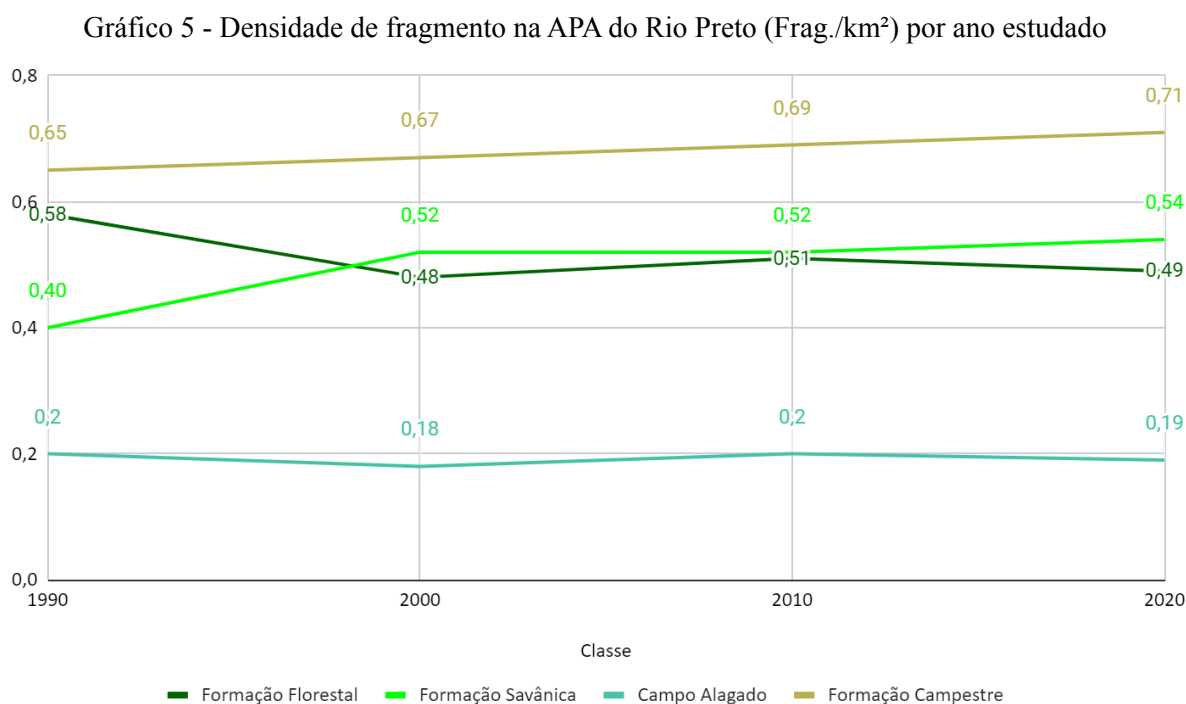
Fonte: Autoria própria.

A partir do Gráfico 4, é possível perceber que a métrica tamanho médio dos fragmentos se manteve estável em todas as subclasses observadas, com pequenas variações ao longo do tempo avaliado

Gráfico 4 - Tamanho médio dos fragmentos na APA do Rio Preto (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

No que se refere ao índice de densidade de fragmentos (Gráfico 5), a subclasse “Formação Savânica” teve uma elevação de 0,14 Frag./km² entre 1990 e 2020. No mesmo período, a “Formação Campestre” também aumentou, ainda que em menor intensidade, em 0,06 Frag./km². A classe “Formação Florestal” teve sua densidade diminuída em 0,09 Frag./km² e o “Campo Alagado” não apresentou variação significativa no período estudado.



Fonte: Autoria própria.

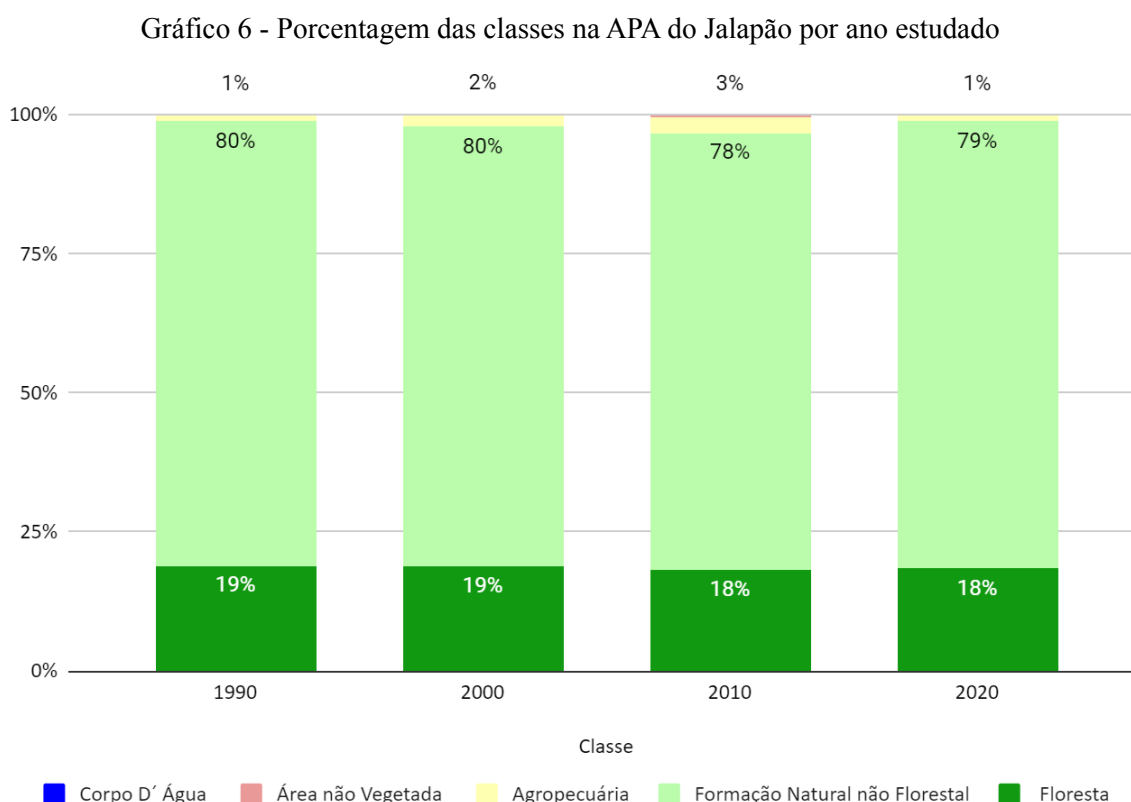
Os resultados aqui encontrados confirmam a tendência apresentada por Castro (2015), que constatou a perda de vegetação na região da borda na APA do Rio Preto de 15% entre os anos de 1990 e 2010.

5.1.2 Área de Proteção Ambiental do Jalapão

Instituída pela Lei nº 1.172 de 31 de julho de 2000, a APA do Jalapão possui uma área total de 461.730 ha e está contida nos municípios de Mateiros (abrangendo 74,02% de sua área), de Novo Acordo (abrangendo 24,02% de sua área) e uma pequena parcela de Ponte Alta do Tocantins (abrangendo 1,42% de sua área). A administração é estadual e de responsabilidade do NATURATINS. A bacia hidrográfica do Tocantins contempla toda a extensão da APA.

As classes de uso do solo na APA e suas respectivas porcentagens estão ilustradas no Gráfico 6, no qual é possível perceber que houve preservação efetiva nas classes “Floresta” e “Formação Natural não Florestal”, quando comparados aos anos de 1990 a 2020, com variação de 1% em ambas as classes.

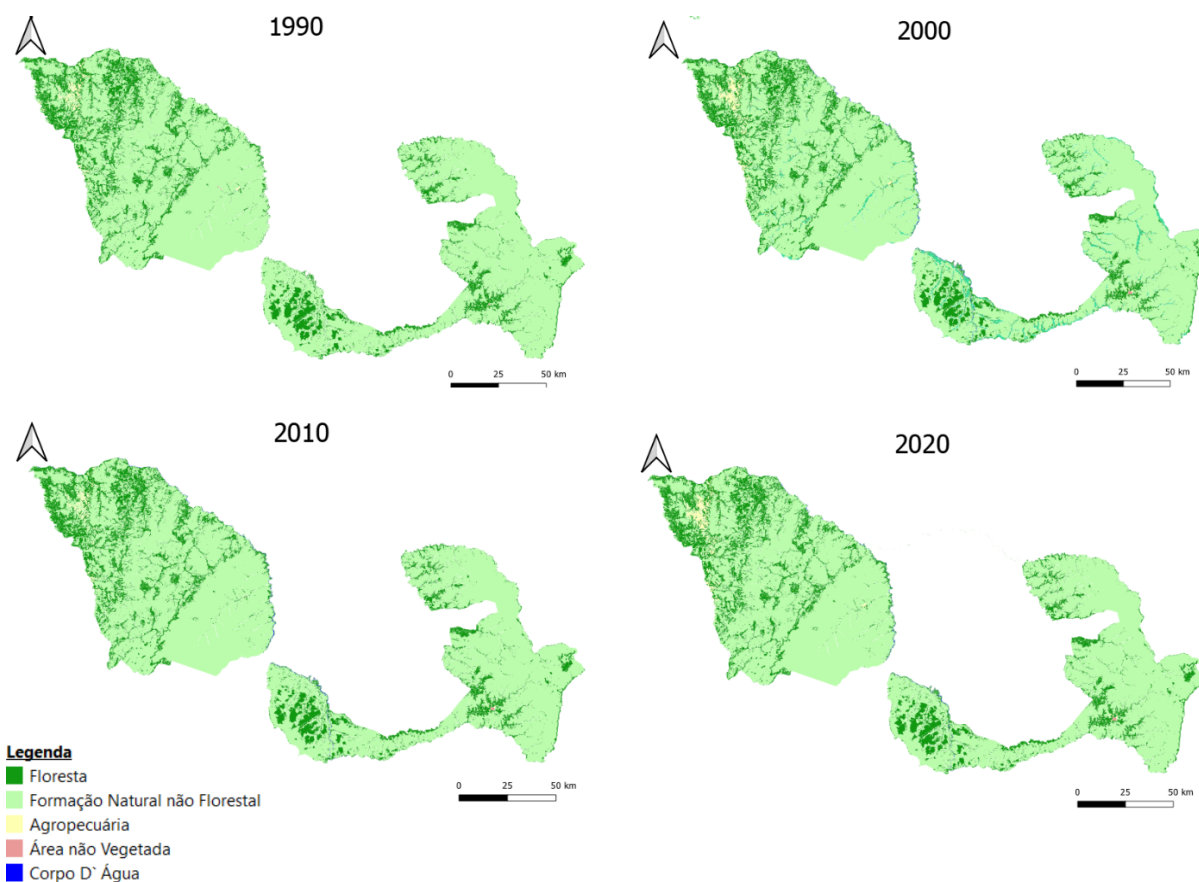
Para a classe de “Área não Vegetada” não houve valores relevantes na análise, pois no ano de 1990 ela somava menos que 1% e ao final do período de análise, em 2020, essa classe permaneceu irrelevante na porcentagem de cobertura da unidade de conservação. Além disso, a classe “Agropecuária” não apresentou grandes porcentagens, pois ao longo do tempo analisado ela oscilou entre 1% e 3%.



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 3 mostra as classes de cobertura na APA do Jalapão entre 1990 e 2020. Ao contrário do que foi visto nos mapas da APA do Rio Preto, não foi possível visualizar grandes alterações nas classes na APA do Jalapão durante o período de estudo.

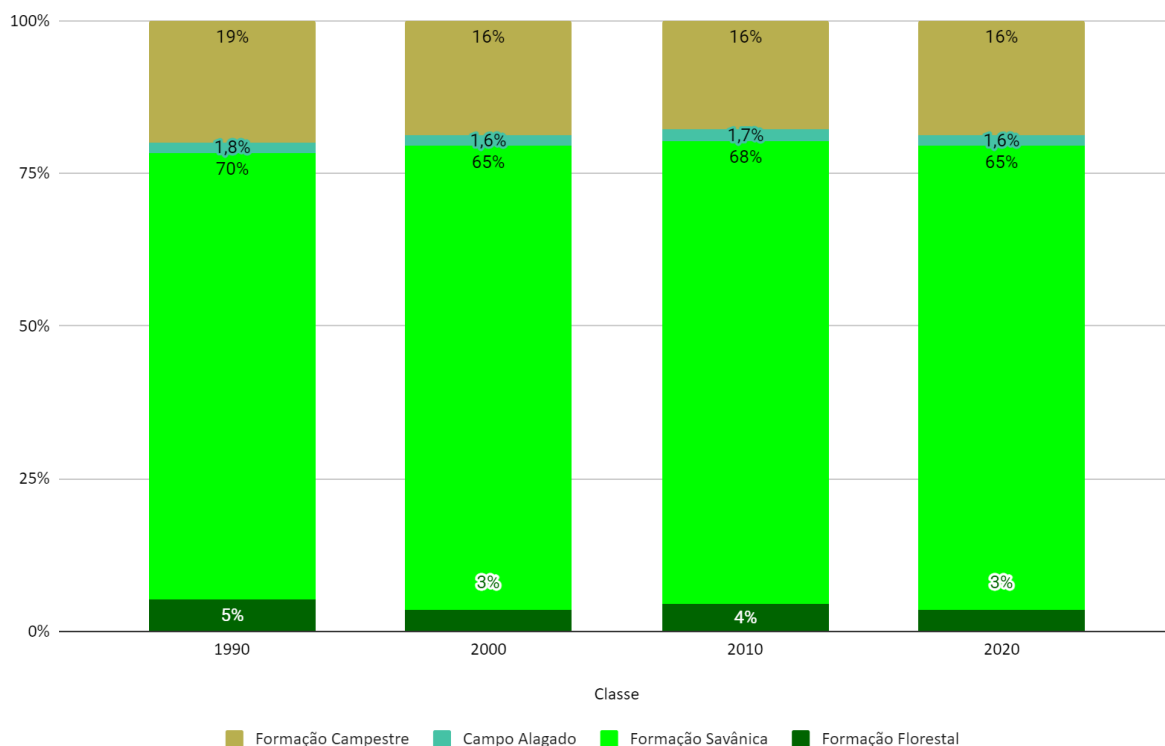
Mapa 3 - Classes de cobertura do solo na APA do Jalapão entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 7 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem, ao longo de três décadas, na APA do Jalapão.

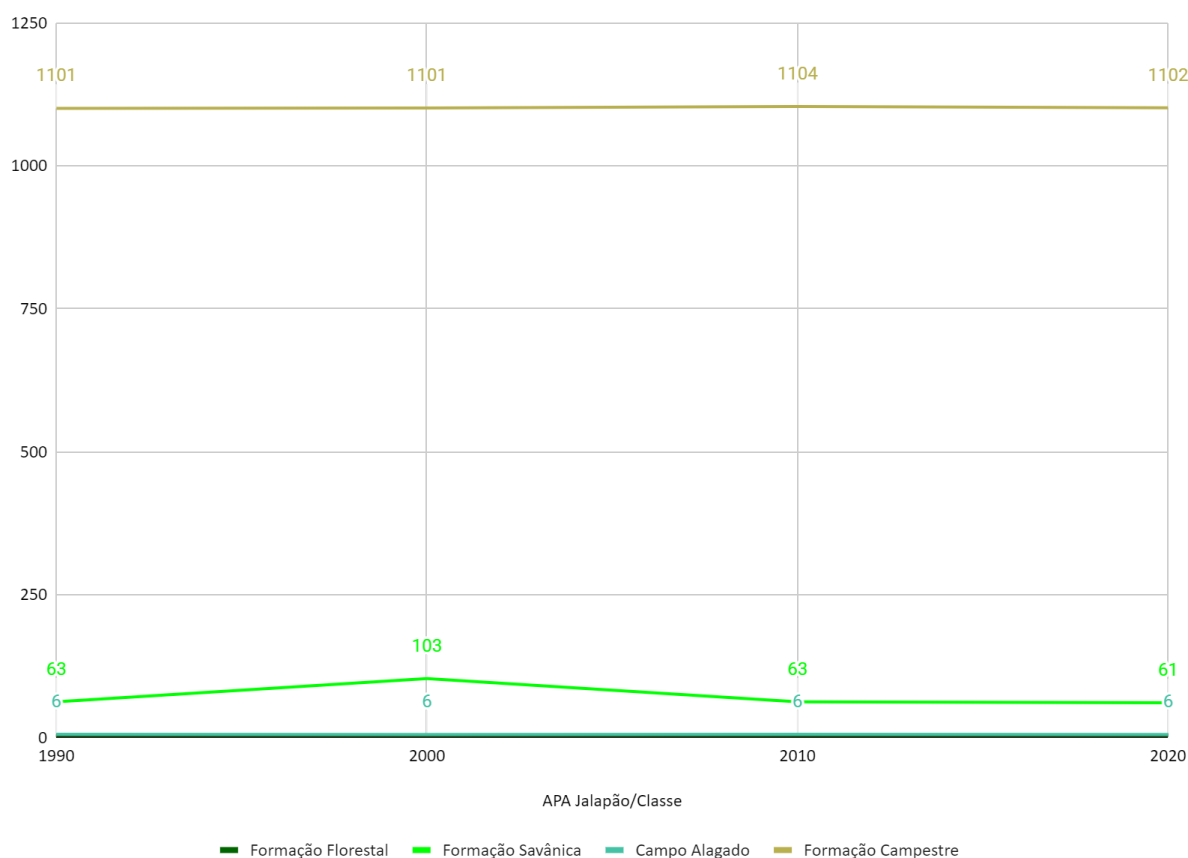
Gráfico 7 - Porcentagem da cobertura do solo na APA do Jalapão por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

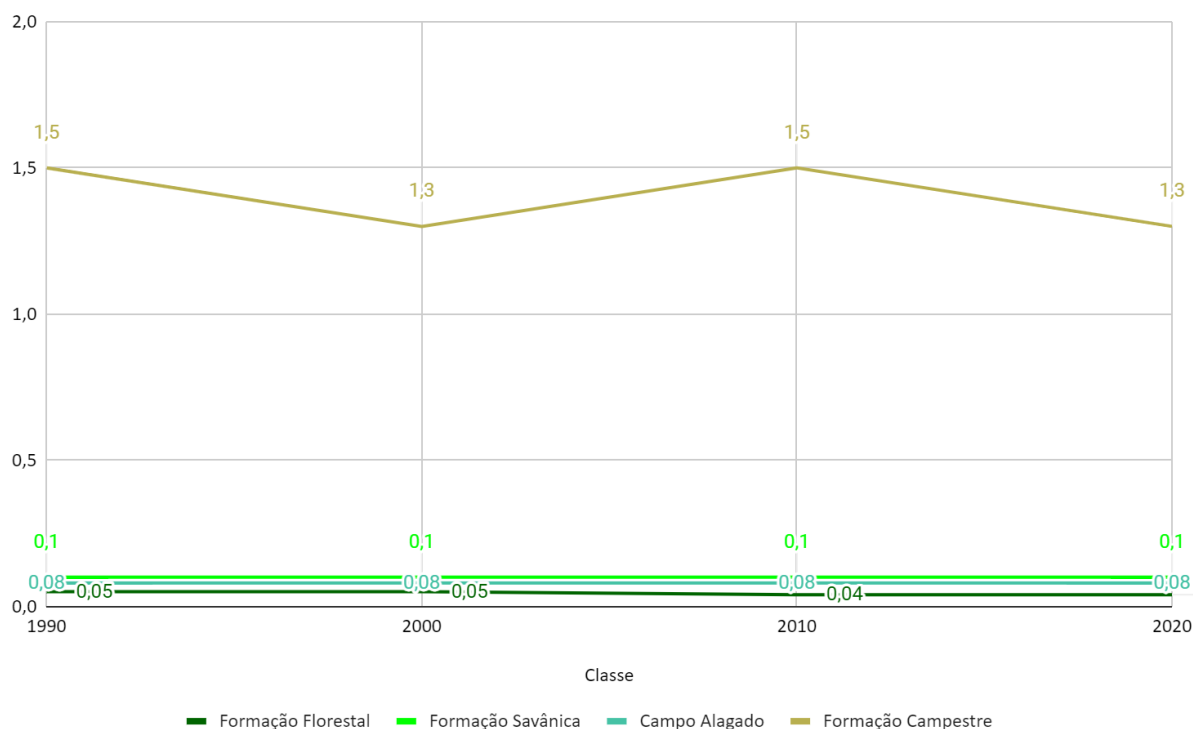
Com base na análise do Gráfico 8, foi possível verificar que a área de maior fragmento na APA do Jalapão manteve-se constante em todas as subclasses estudadas.

Gráfico 8 - Área do maior fragmento na APA do Jalapão (km²) por ano estudado

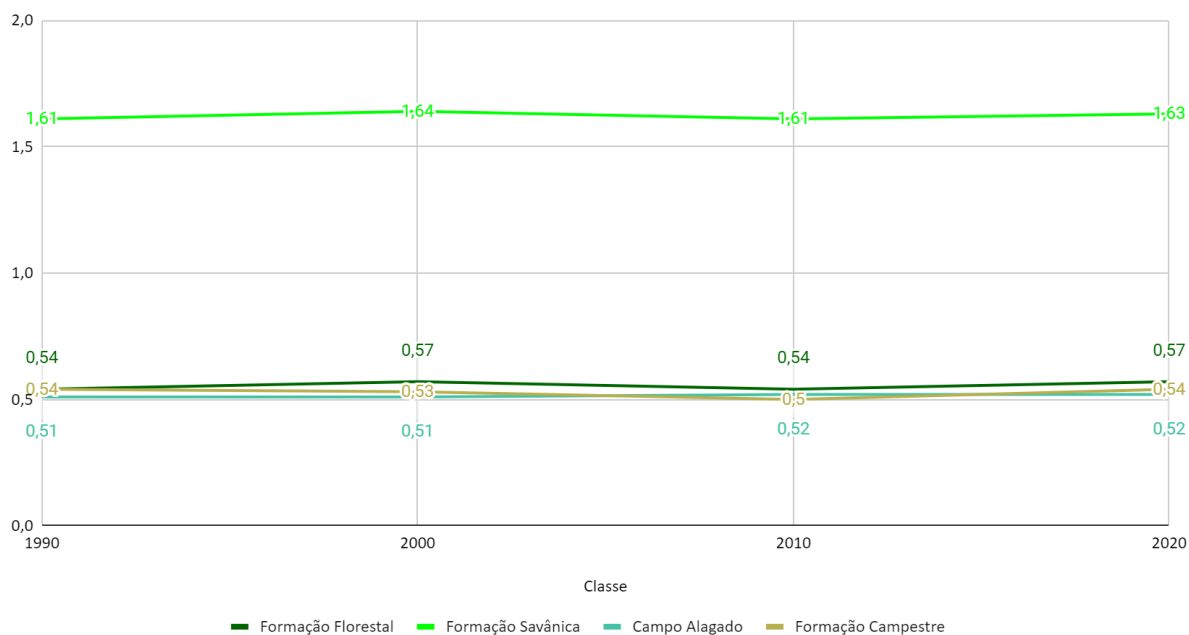


Fonte: Autoria própria.

No caso das métricas tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 9) e densidade de fragmentos (Gráfico 10), todas as subclasses observadas também se mantiveram estáveis, com pequenas variações ao longo do tempo considerado, mostrando que a UC conservou a paisagem de forma satisfatória nas últimas três décadas.

Gráfico 9 - Tamanho médio dos fragmentos na APA do Jalapão (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 10 - Densidade de fragmentos na APA do Jalapão (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

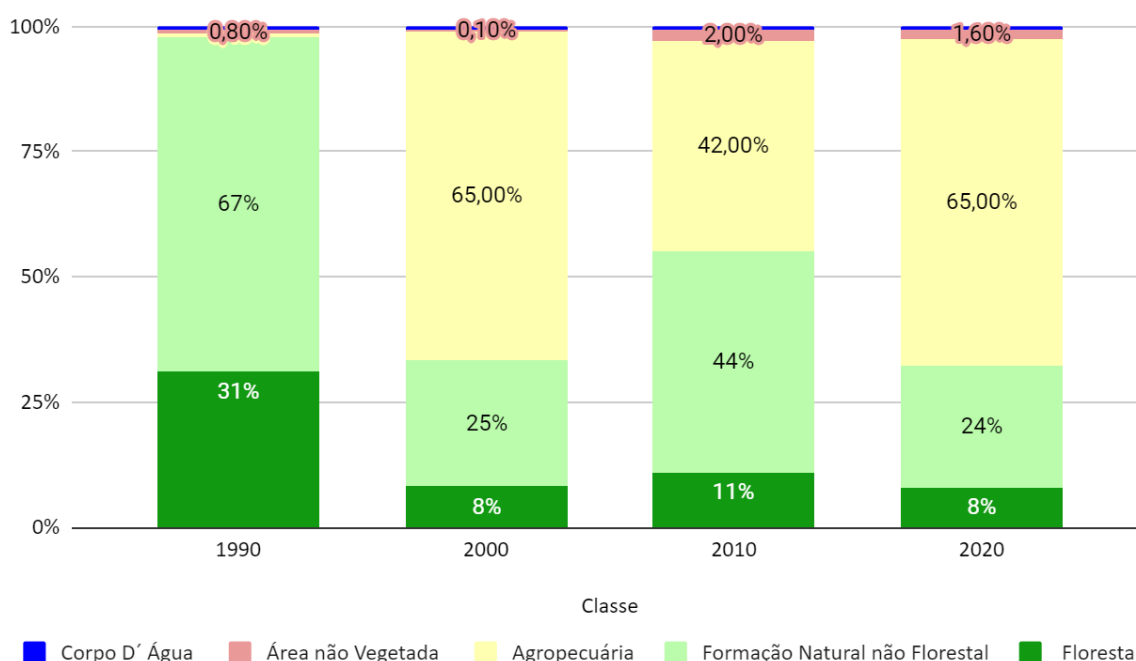
Assim, a proteção ambiental na APA do Jalapão, entre 1990 e 2020, demonstrou-se eficaz, corroborando com o constatado por Silva Pinto et al. (2022).

5.1.3 Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga

A APA Serra da Tabatinga foi criada em 1990 via Decreto 99.278 de 6 de junho de 1990 e apresenta uma área total de 35.328 ha. A APA está contida integralmente no município de Mateiros e sua administração é federal, sendo realizada pelo ICMBio, órgão responsável pela gestão de unidades de conservação da União. Sua extensão abriga a bacia hidrográfica do Tocantins (abrangendo 92,65% de sua área) e a sub-bacia do Parnaíba Alto (abrangendo 7,35% de sua área).

As classes de uso do solo da APA e suas respectivas porcentagens estão representadas no Gráfico 11, e é possível perceber que a classe “Floresta” perdeu 73% de sua área, já que em 1990 ela representou 31% da cobertura da APA e, em 2020, essa porcentagem caiu para 8%. Além disso, a classe “Formação Natural não Florestal” diminuiu 63% no mesmo período, passando de 67% para 24% da cobertura da APA.

Gráfico 11 - Porcentagem das classes na APA Serra da Tabatinga por ano estudado

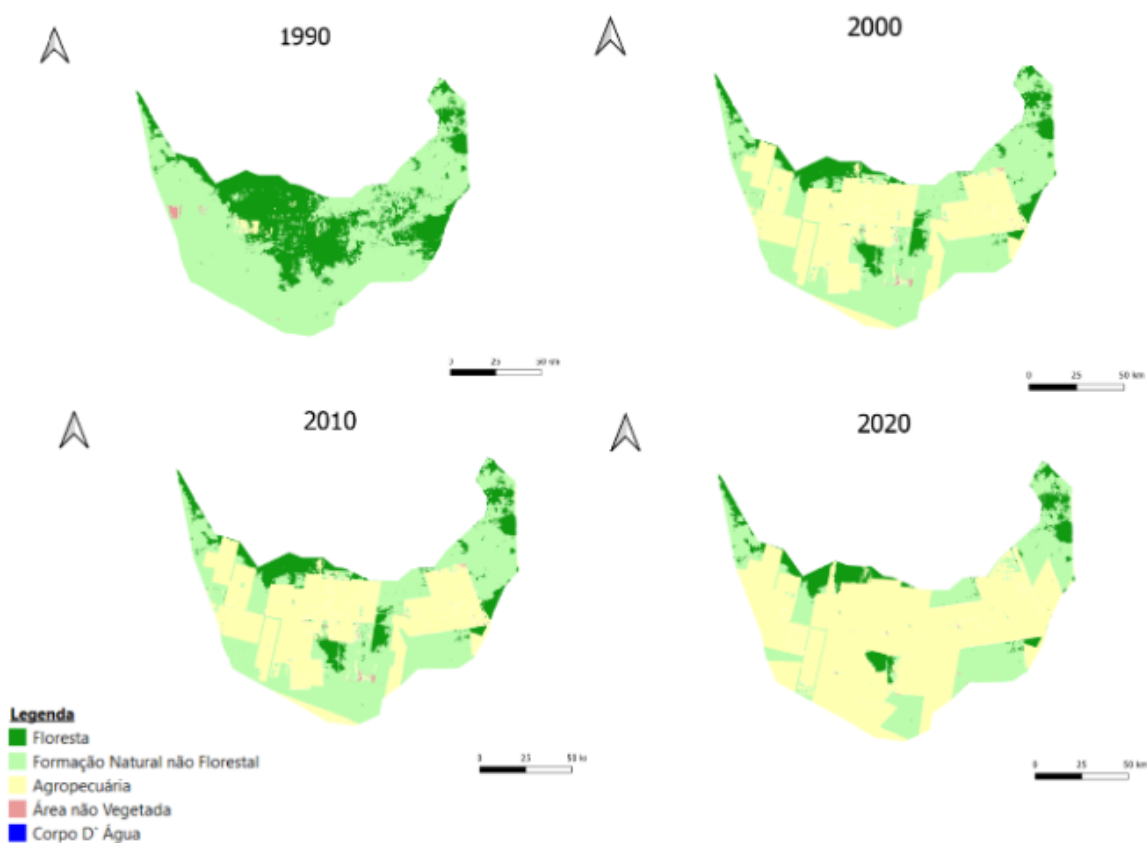


Fonte: Autoria própria.

O destaque está na transição entre as décadas de 1990 e 2000, quando houve uma diminuição das classes “Floresta” e “Formação Natural não Florestal” ao mesmo tempo em que a “Agropecuária” teve uma expansão de 0,4% para 65,0%. A classe de “Área não Vegetada” manteve-se com baixa relevância na UC, já que no ano de 1990 somava menos de 1% e ao final do período analisado, 2020, permaneceu igual.

O Mapa 3 ilustra as classes de cobertura na APA Serra da Tabatinga entre 1990 e 2020. Observando-os, percebe-se nitidamente que a classe “Agropecuária” dominou quase completamente a paisagem da UC a partir da segunda década.

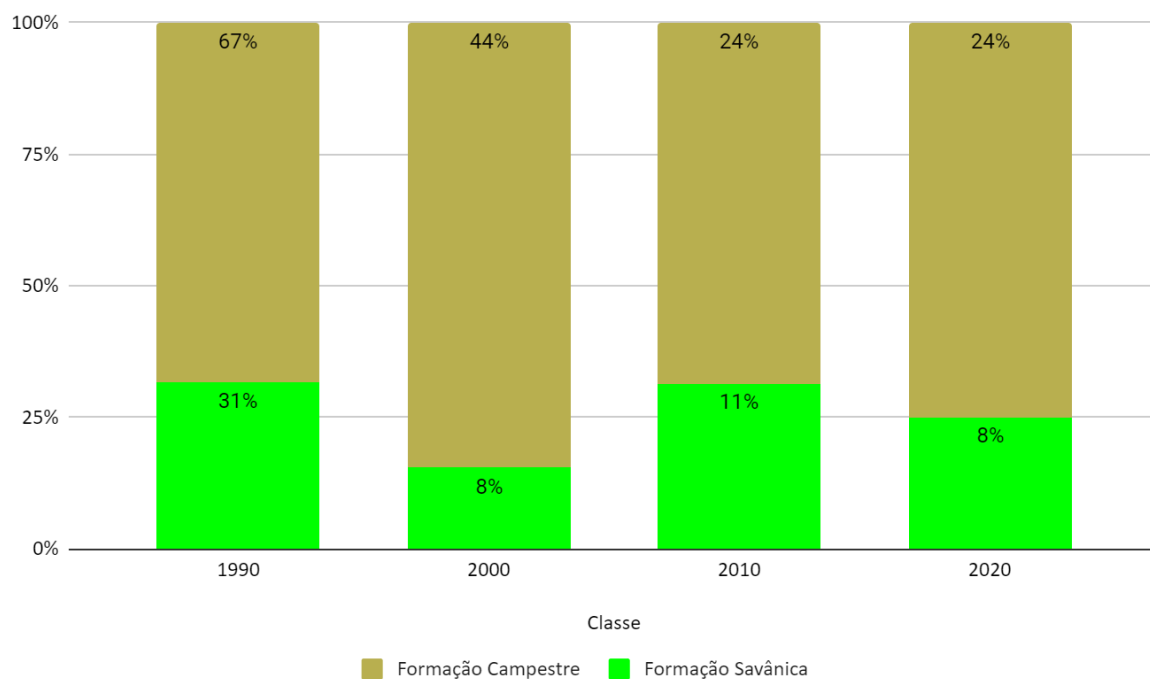
Mapa 4 - Classes de cobertura do solo na APA Serra da Tabatinga entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

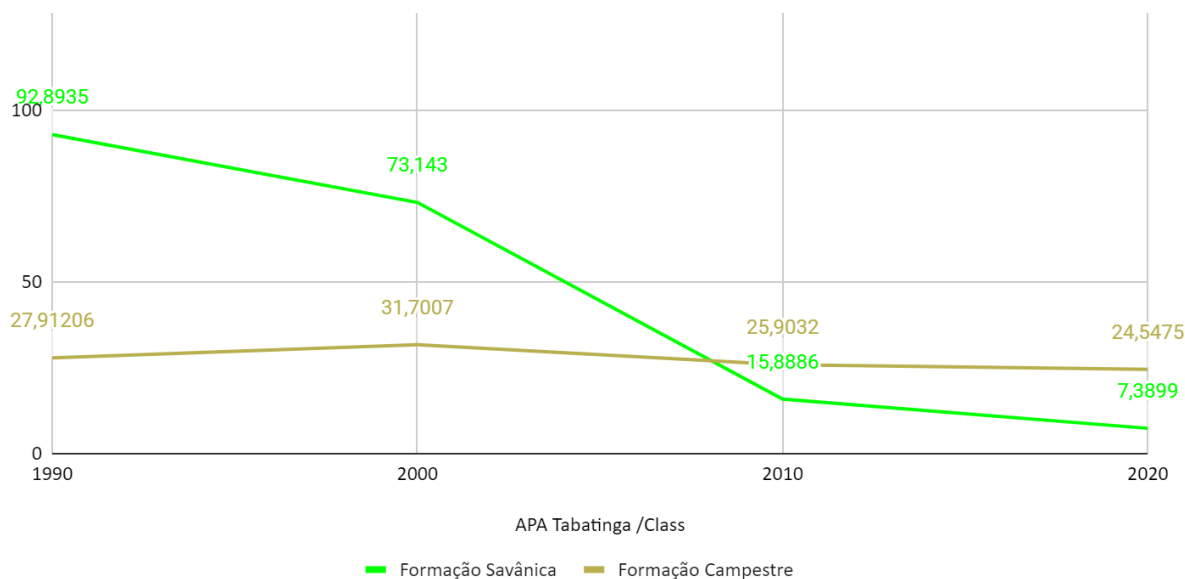
O Gráfico 12 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica” e “Formação Campestre”, as quais representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas em conjunto com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na APA Serra da Tabatinga ao longo de três décadas.

Gráfico 12 - Porcentagem das classes na APA Serra da Tabatinga por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

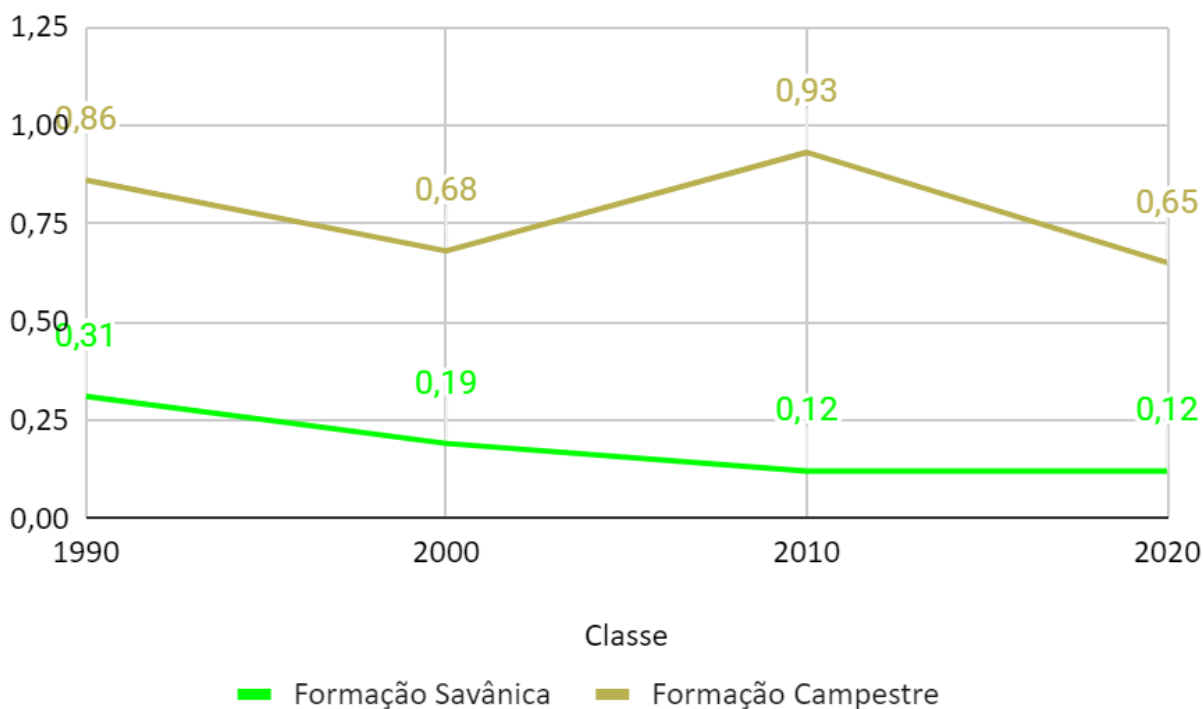
Com base na análise do Gráfico 13, observou-se que a área de maior fragmento da “Formação Savânica”, que é a subclasse com maior relevância na UC, teve uma diminuição de 85 km², ou seja, uma perda de 92% de área. A subclasse “Formação Campestre”, por outro lado, não sofreu grandes mudanças.

Gráfico 13 - Área do maior fragmento na APA Serra da Tabatinga (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

No caso da métrica tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 14), houve quedas expressivas nas duas subclasses, sendo na “Formação Savânica” de 0,21 km² (24,4%) e na “Formação Campestre” de 0,19 km² (61,3%).

Gráfico 14 - Tamanho médio dos fragmentos na APA Serra da Tabatinga (km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, o índice de densidade de fragmentos (Gráfico 15) da subclasse “Formação Savânica” teve uma diminuição de 0,40 Frag./km². A subclasse “Formação Campestre” apresentou a mesma tendência de queda, entretanto, com maior intensidade (0,58 Frag./km²).

Gráfico 15 - Densidade de fragmentos na APA Serra da Tabatinga (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

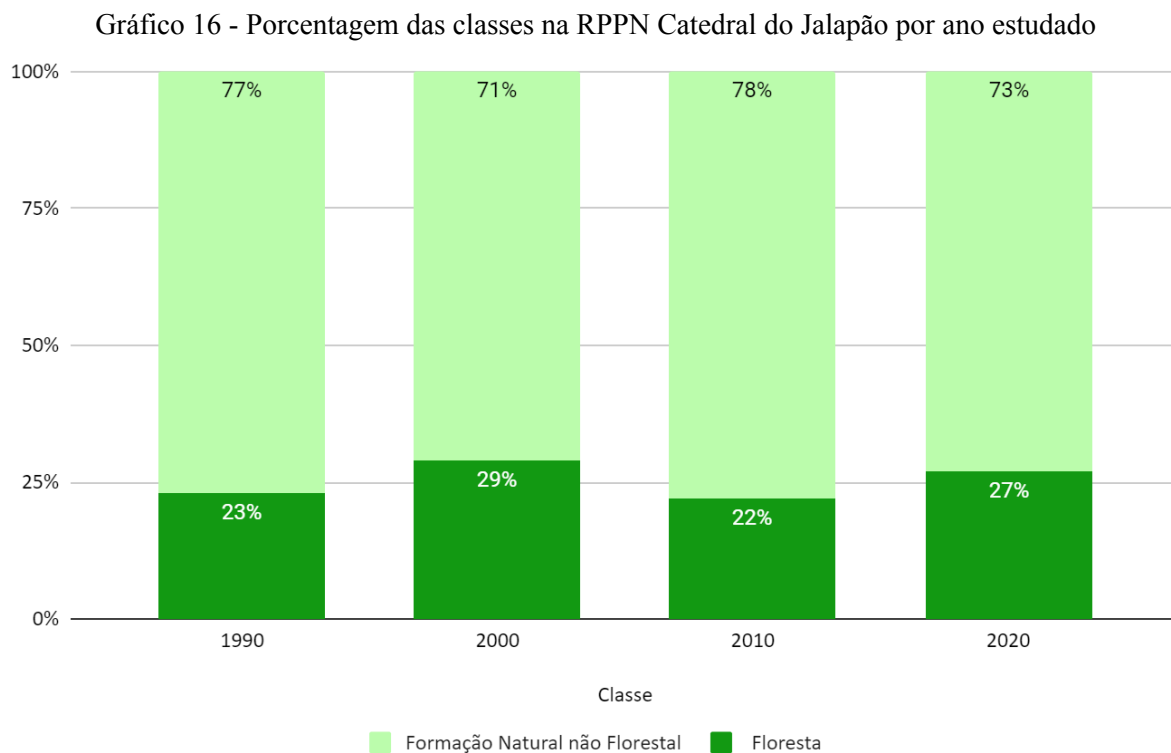
Segundo o livro “Áreas de proteção ambiental, Desafios para o desenvolvimento sustentável”, publicado em 2018, a APA tem apenas 15% de sua vegetação original, sendo a unidade de conservação mais degradada na região de estudo.

5.1.4 Reserva Particular do Patrimônio Natural Catedral do Jalapão

No Sistema Informatizado de Monitoramento de RPPN (SIMRPPN), ferramenta do ICMBio, é possível acessar informações de área, instrumento legal de criação e nome dos proprietários que são responsáveis pela administração da unidade de conservação. A propriedade Fazenda Ecológica Catedral foi regularizada como RPPN em 2010, por meio da portaria nº 143, publicada no Diário Oficial da União em 28 de junho. Sua área tem 325,6 ha e está contida integralmente no município de São Félix do Tocantins e na bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins.

As classes de uso do solo da RPPN e suas respectivas porcentagens estão apresentadas no Gráfico 16, sendo possível perceber que as classes “Formação Natural não Florestal” e “Floresta” permaneceram conservadas, se comparado o ano de 1990 com 2020, considerando que a RPPN foi criada em 2010 e a propriedade já mantinha um índice de conservação

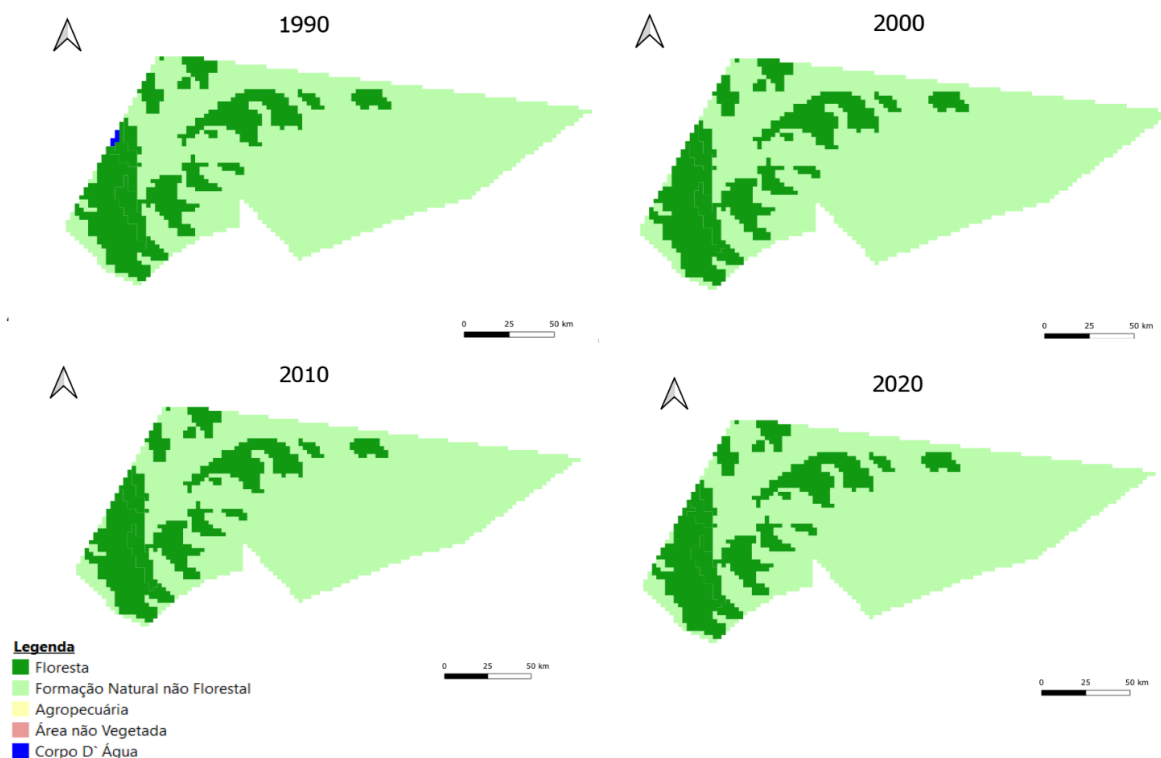
elevado na preservação dos biomas presentes. Este tipo de unidade de conservação, embora seja de uso sustentável, não permite a exploração direta da terra (BRASIL, 2000)



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 4 mostra as classes de cobertura na RPPN Catedral do Jalapão entre 1990 e 2020, as quais não demonstraram significativas variações ao longo das décadas.

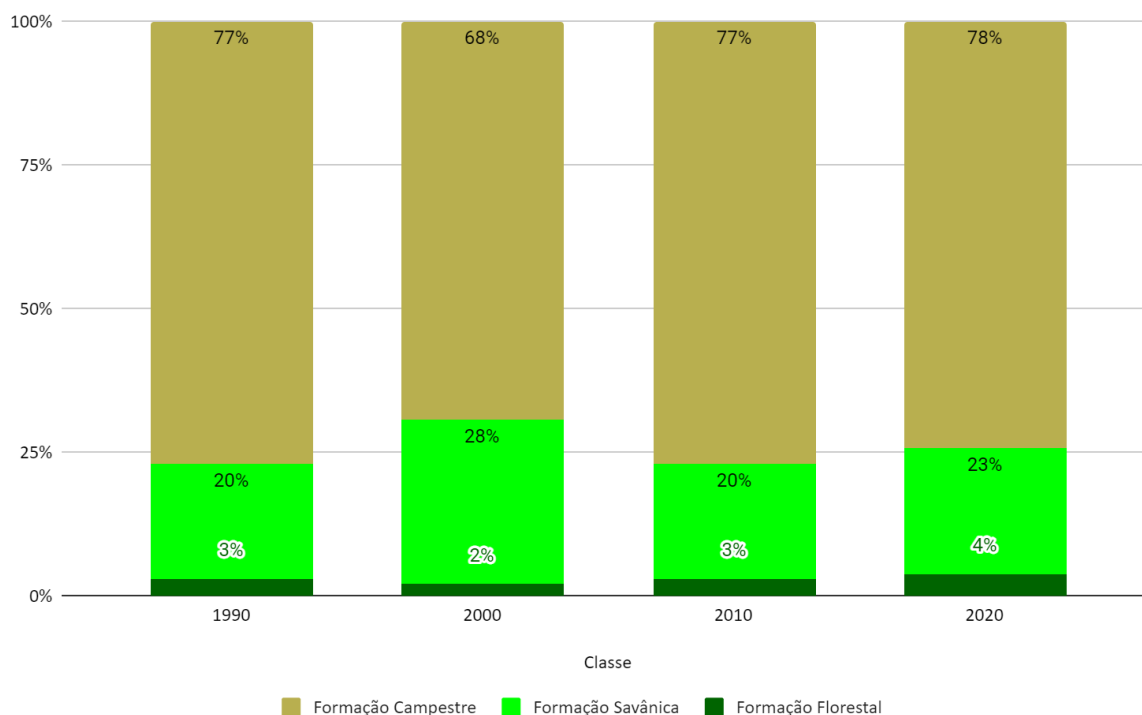
Mapa 4 - Classes de cobertura do solo na RPPN Catedral do Jalapão entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

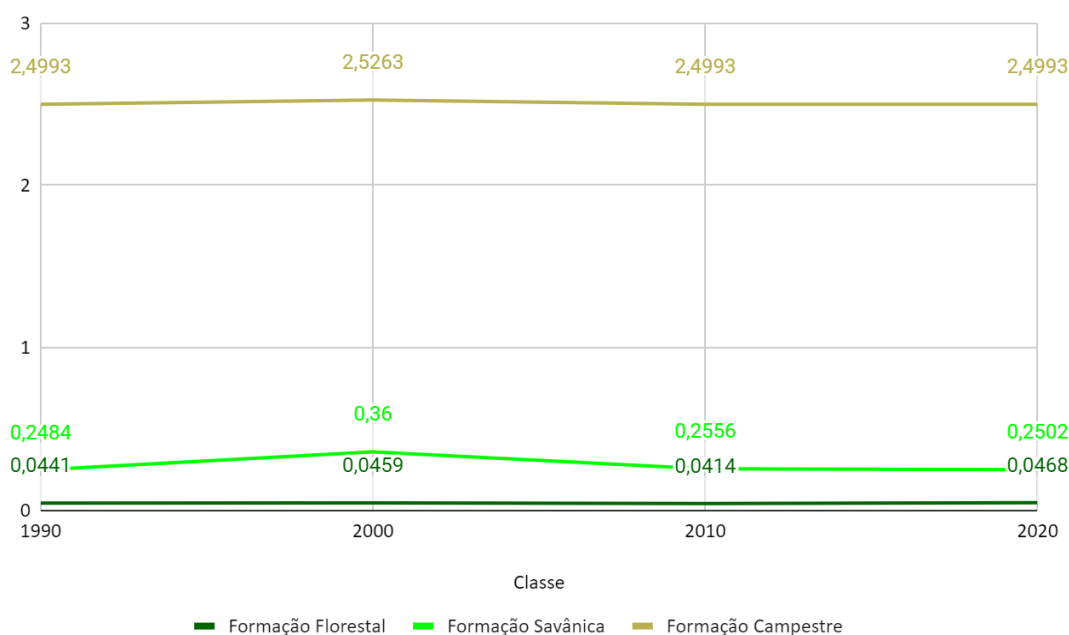
O Gráfico 17 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal” e “Formação Campestre”, que representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na RPPN Catedral do Jalapão ao longo de três décadas.

Gráfico 17 - Porcentagem da cobertura do solo na RPPN Catedral do Jalapão por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

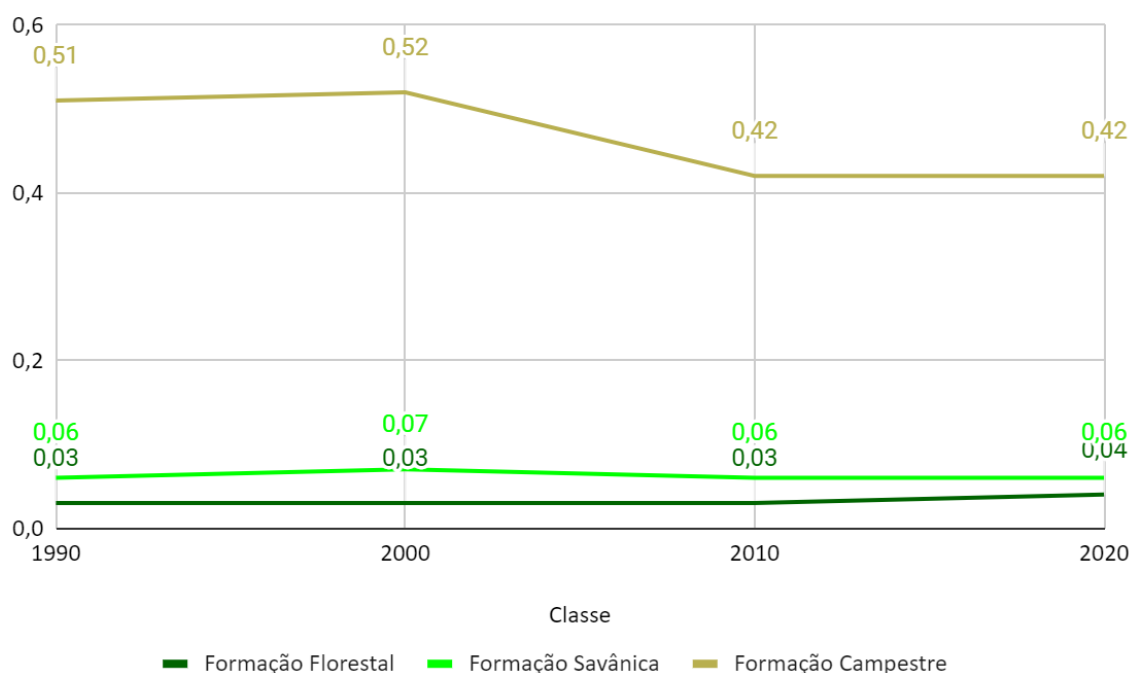
A partir do Gráfico 18 foi possível aferir que, na RPPN Catedral do Jalapão, a área do maior fragmento manteve-se constante em todas as subclasses estudadas, evidenciando que a unidade de conservação está mantendo a conservação de forma satisfatória no últimos anos.

Gráfico 18 - Área do maior fragmento na RPPN Catedral do Jalapão (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

Para a análise da métrica de tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 19), as subclasses “Formação Savânica” e “Formação Florestal” se mantiveram relativamente estáveis, com pequenas variações ao longo do tempo considerado. O destaque vai para o maior fragmento de “Formação Campestre” que, entre 2000 e 2010, perdeu pouco mais de 17% de sua área (0,09 km²) e permaneceu assim em 2020.

Gráfico 19 - Tamanho médio dos fragmentos na RPPN Catedral do Jalapão (km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

O índice de densidade de fragmentos (Gráfico 20) de todas as subclasses manteve a tendência das outras métricas analisadas, mostrando-se estável ao longo do tempo considerado.

Gráfico 20 - Densidade de fragmentos na RPPN Catedral do Jalapão (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

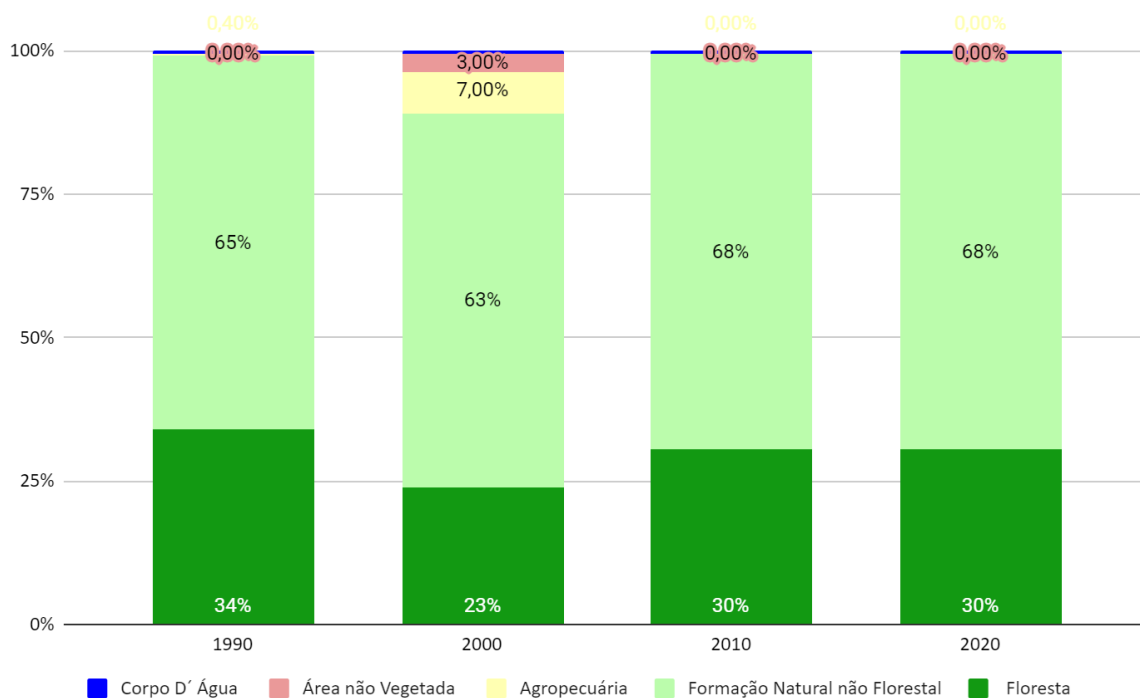
A RPPN apresentou bons índices de conservação ambiental e confirma a tendência apresentada por Zanchetta (2021), em que a autora analisou como positiva a conservação das RPPNs no estado de Rondônia.

5.1.5 Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Calixto

De acordo com o SIMRPPN, a propriedade Fazenda Calixto foi regularizada como RPPN em 2009, por meio da portaria nº 43 publicada no Diário Oficial da União em 05 de junho. Com área total de 364,75 ha, ela está localizada integralmente no município de Dianópolis, no estado do Tocantins, e a propriedade está na bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins.

As porcentagens de cobertura das classes na RPPN entre 1990 e 2020 estão representadas no Gráfico 21, no qual é possível observar que a porcentagem das classes se mantiveram relativamente constantes ao longo do período analisado. Apesar das classes “Agropecuária” e “Área não Vegetada”, somadas, terem apresentado um valor próximo a 10% da cobertura da RPPN no ano de 2000, essa condição não foi observada nas duas décadas seguintes.

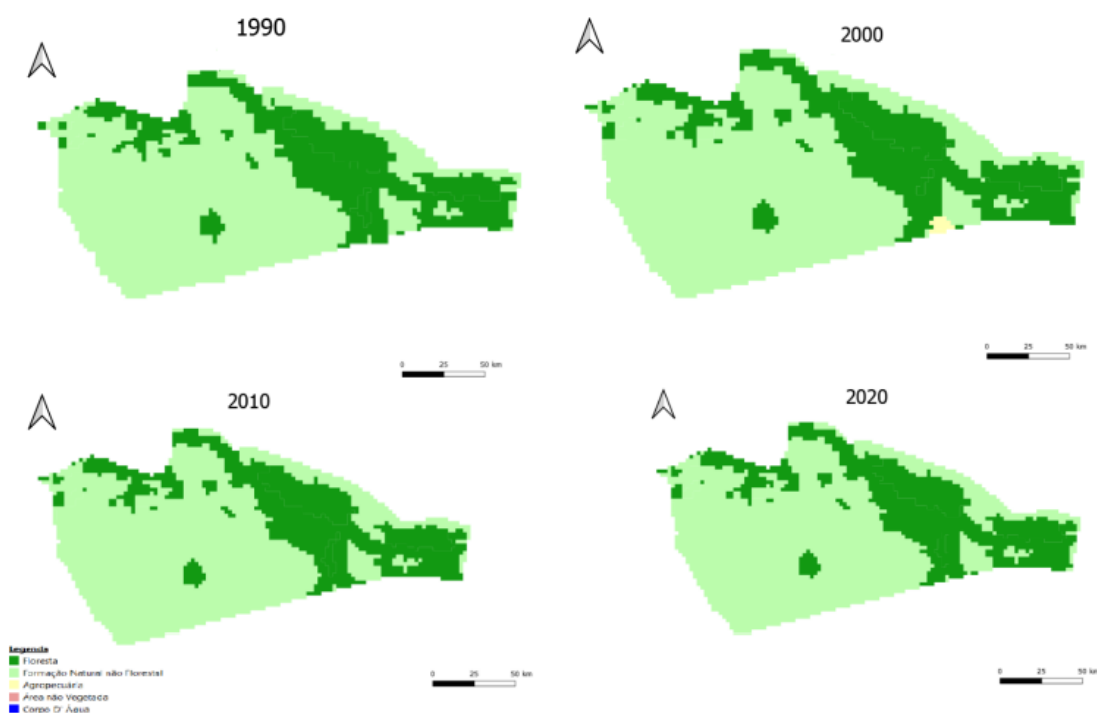
Gráfico 21 - Porcentagem das classes na RPPN Fazenda Calixto por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 5 mostra as classes de cobertura na RPPN Fazenda Calixto entre 1990 e 2020, as quais não demonstraram significativas variações ao longo das décadas.

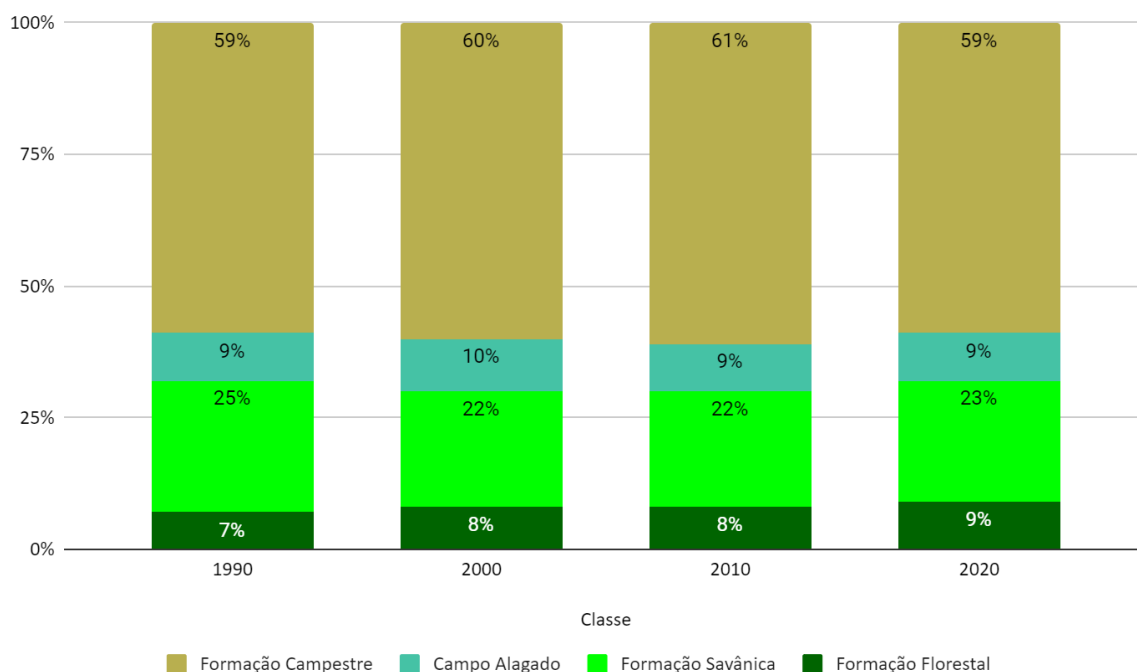
Mapa 5 - Classes de cobertura do solo na RPPN Fazenda Calixto entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

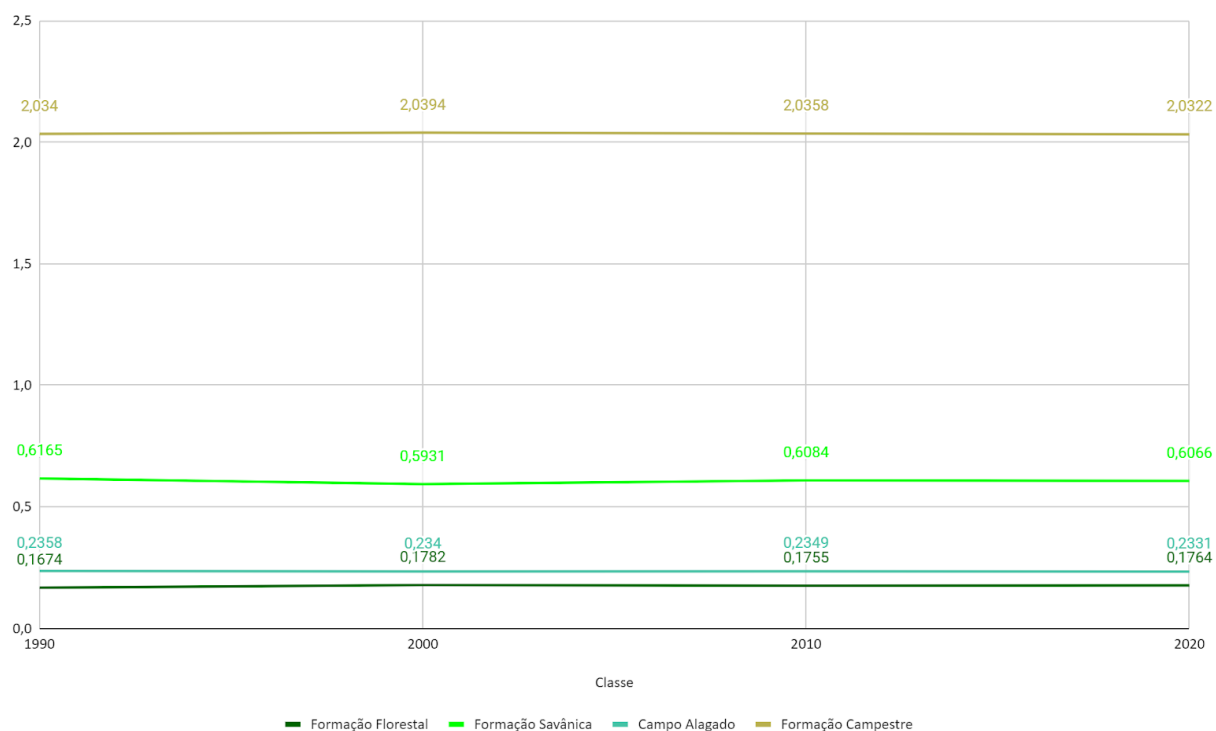
O Gráfico 22 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem da RPPN Fazenda Calixto ao longo de três décadas.

Gráfico 22 - Porcentagem da cobertura do solo na RPPN Fazenda Calixto por ano estudado



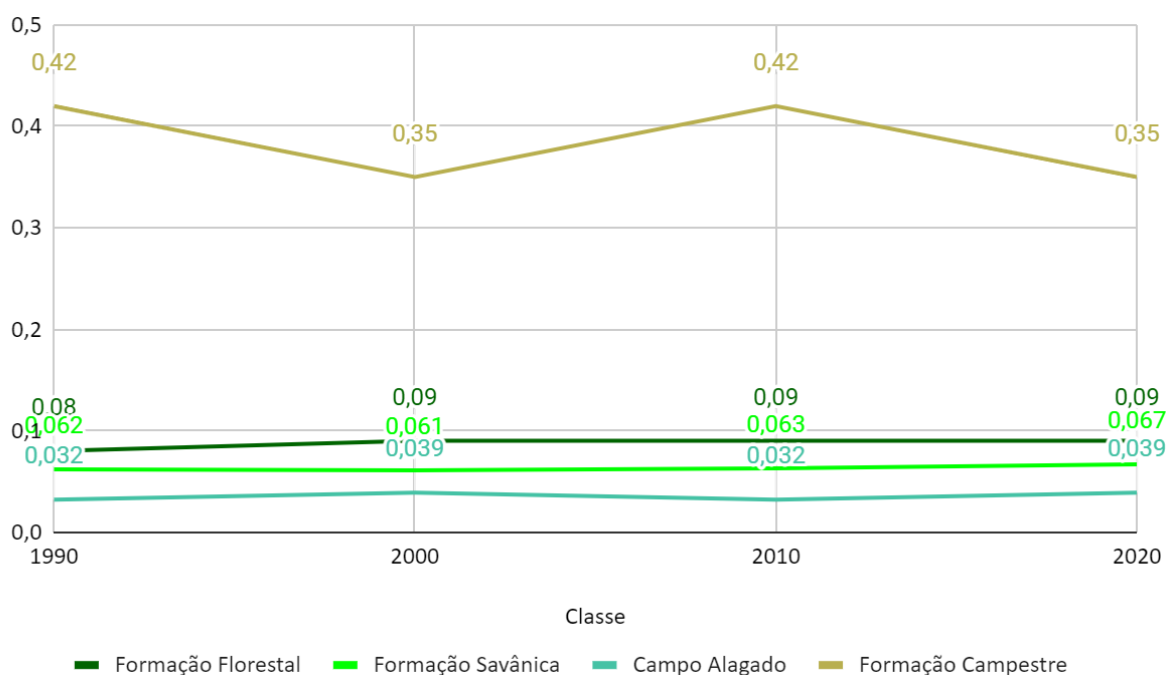
Fonte: Autoria própria.

Com base na análise do Gráfico 23 foi possível aferir que, para a métrica de área de maior fragmento na RPPN Fazenda Calixto, houve constância em todas as subclasses estudadas, mostrando que a unidade está conservando a paisagem de forma satisfatória.

Gráfico 23 - Área do maior fragmento na RPPN Fazenda Calixto (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

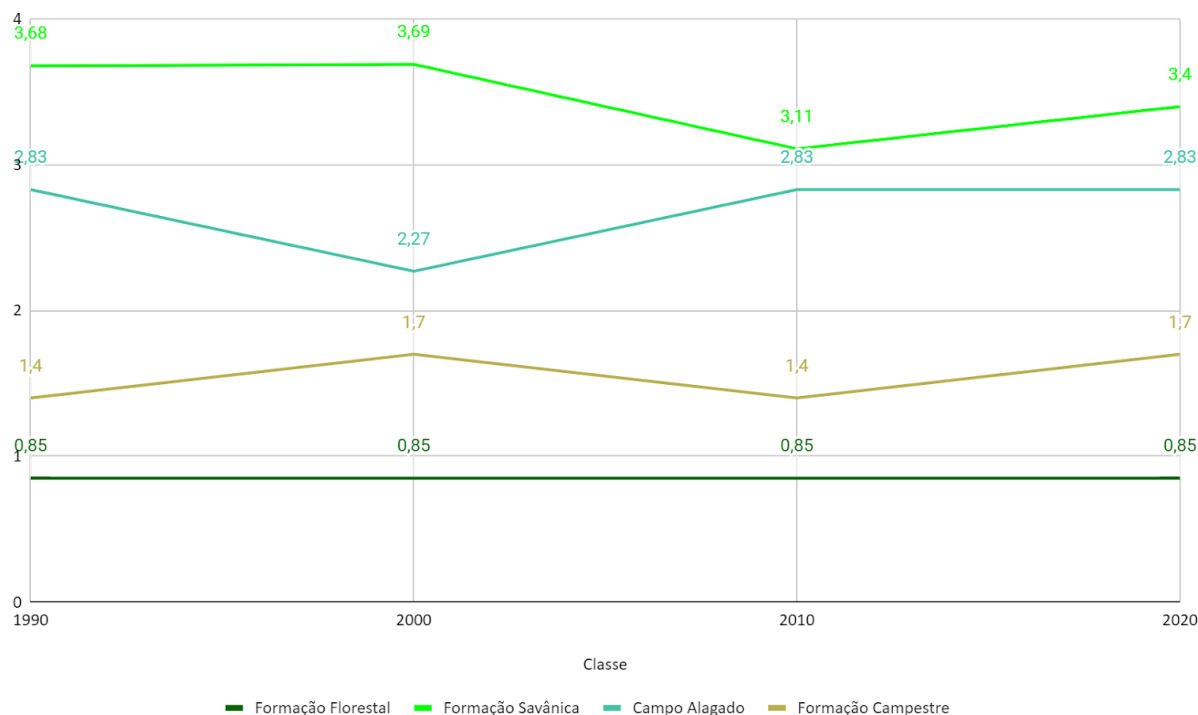
No caso da métrica tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 24), todas as subclasses observadas se mantiveram estáveis, com pequenas variações ao longo do tempo considerado.

Gráfico 24 - Tamanho médio dos fragmentos na RPPN Fazenda Calixto (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

O índice de densidade de fragmentos (Gráfico 25) de todas as subclasses manteve a tendência das outras métricas analisadas, permanecendo estável ao longo do tempo examinado.

Gráfico 25 - Densidade de fragmentos na RPPN Fazenda Calixto (Frag./km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

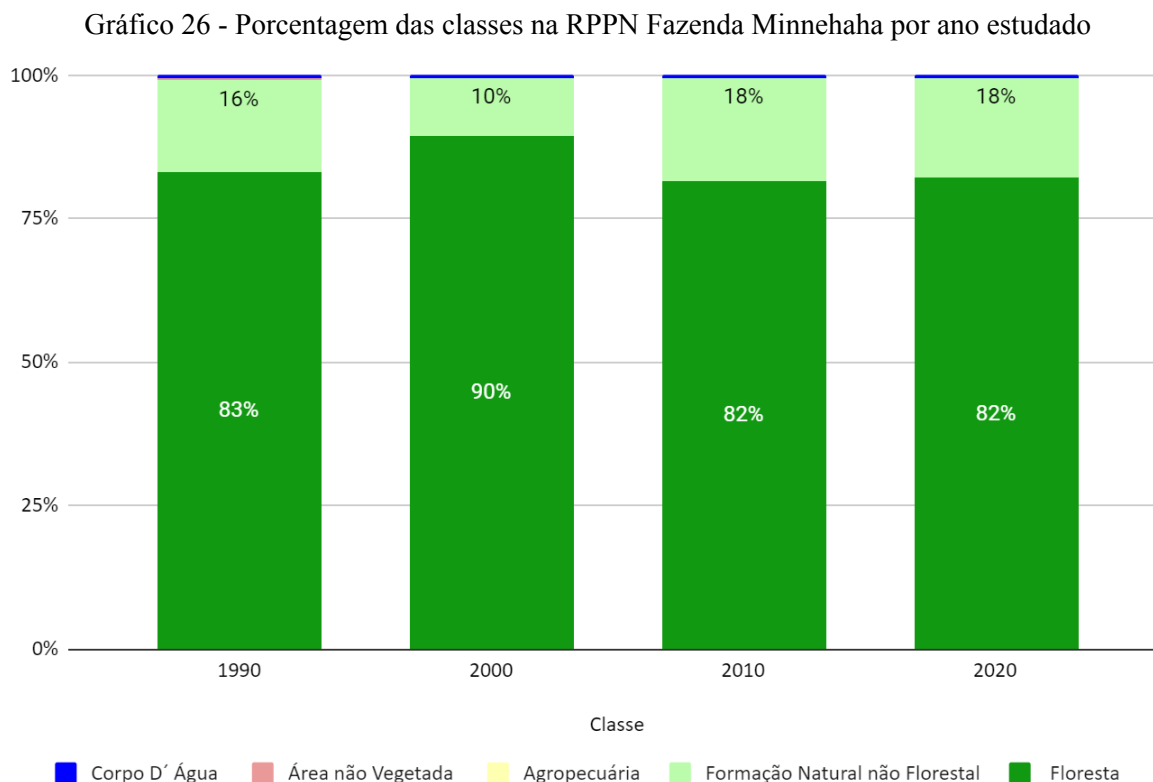
A RPPN apresentou bons índices de conservação ambiental e confirma a tendência apresentada por Zanchetta (2021), em que a autora analisou como positiva a conservação das RPPNs no estado de Rondônia.

5.1.6 Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Minnehaha

De acordo com o SIMRPPN, a propriedade Fazenda Minnehaha tem 1.065,27 ha e teve a RPPN regularizada em 1996, por meio da portaria nº 105 publicada no Diário Oficial da União em 11 de novembro. A área transformada em unidade de conservação tem 745,0 ha e está localizada integralmente no município de Almas, no estado do Tocantins. A propriedade está inserida na bacia hidrográfica Araguaia-Tocantins.

As porcentagens de cobertura das classes na RPPN entre 1990 e 2020 estão representadas no Gráfico 26, no qual é possível perceber que as classes “Formação Natural

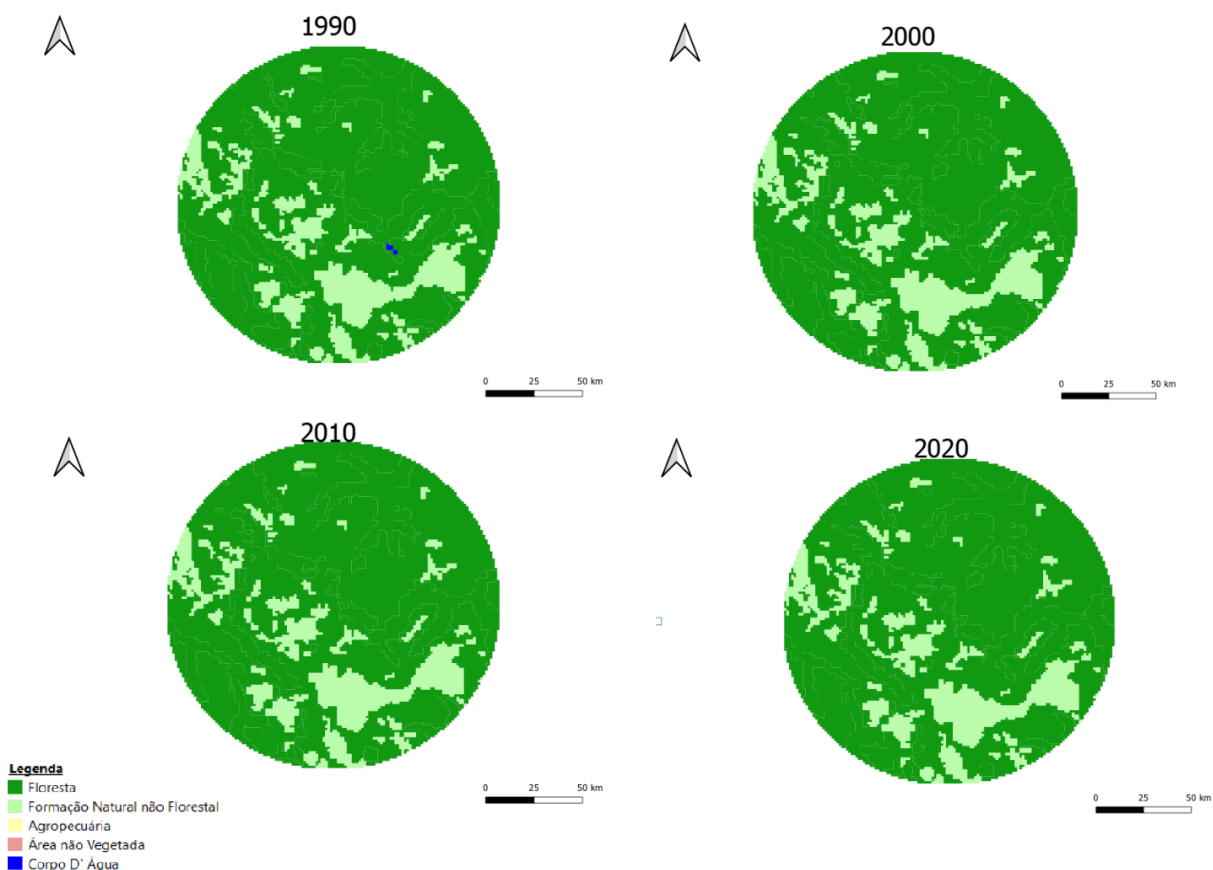
não Florestal” e “Floresta” permaneceram conservadas entre as décadas de 1990 e 2020, considerando que a RPPN foi criada em 1996 e a propriedade já mantinha um padrão satisfatório na preservação da sua vegetação. Embora esse tipo de unidade de conservação seja de uso sustentável, ela não permite a exploração direta da terra (BRASIL, 200).



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 7 mostra as classes de cobertura na RPPN Fazenda Minnehaha entre 1990 e 2020, as quais não demonstraram significativas variações ao longo das décadas.

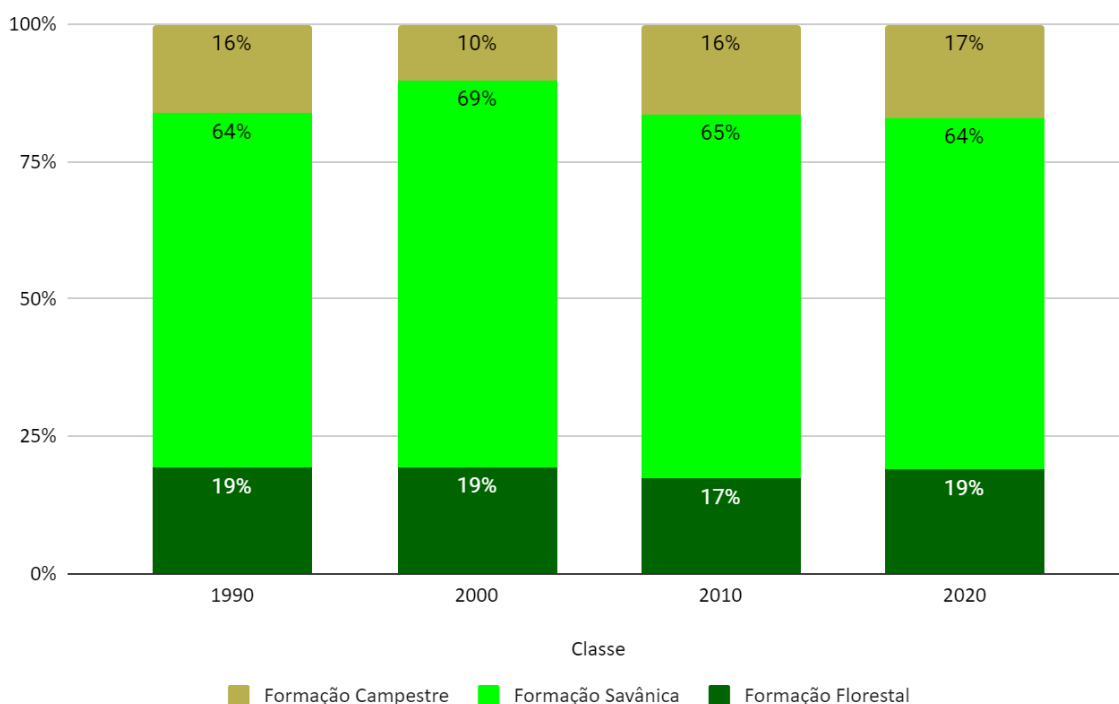
Mapa 7 - Classes de cobertura do solo na RPPN Fazenda Minnehaha entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 27 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal” e “Formação Campestre” que representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na RPPN Fazenda Minnehaha ao longo de três décadas.

Gráfico 27 - Porcentagem da cobertura do solo na RPPN Fazenda Minnehaha por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

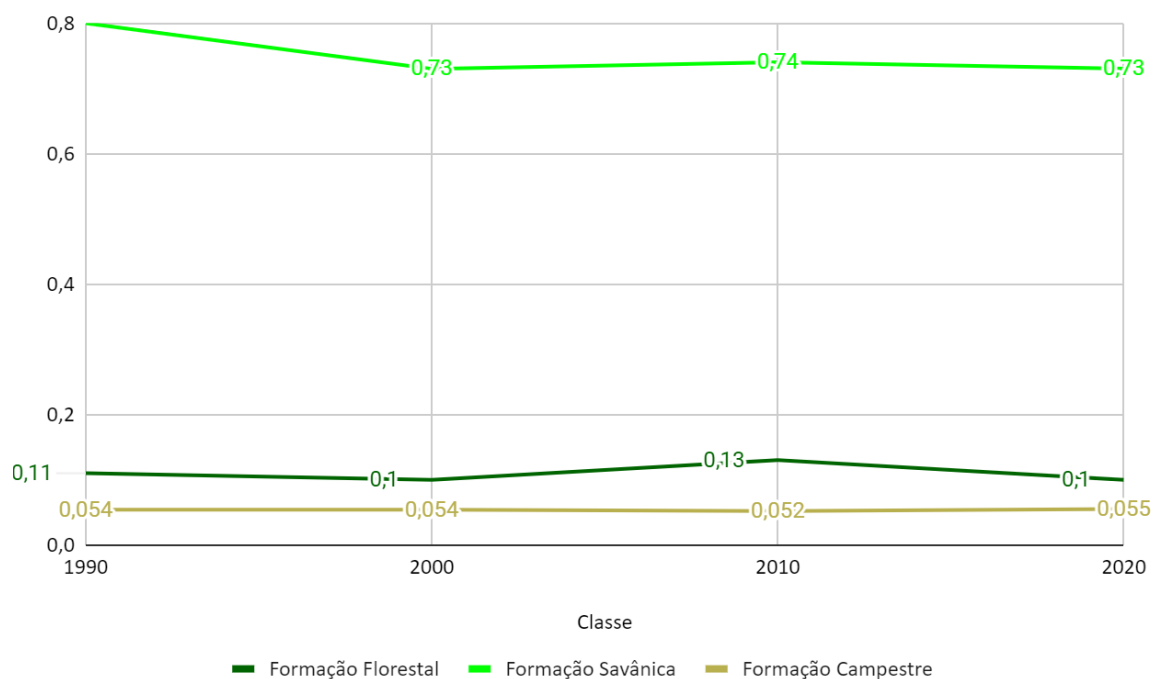
A partir do Gráfico 28 foi possível aferir que, na RPPN Fazenda Minnehaha, a métrica de área do maior fragmento manteve-se constante em todas as subclasses estudadas, mostrando que a unidade de conservação está mantendo a conservação de forma satisfatória.

Gráfico 28 - Área do maior fragmento na RPPN Fazenda Minnehaha (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

No caso da métrica de tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 29), houve uma perda próxima à 10% (0,07 km²) na subclasse “Formação Savânica” entre os anos de 1990 e 2000. Porém, de forma geral, todas as subclasses observadas se mantiveram relativamente estáveis, com pequenas variações ao longo do tempo considerado.

Gráfico 29 - Tamanho médio dos fragmentos na RPPN Fazenda Minnehaha (km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

Observa-se um leve aumento no índice de densidade de fragmentos das subclasses de “Formação Florestal” e “Formação Savânica” (Gráfico 30). No entanto, analisando de maneira geral, esse índice manteve a tendência das outras métricas analisadas, permanecendo estável ao longo do tempo examinado.

Gráfico 30 - Densidade de fragmentos na RPPN Fazenda Minnehaha (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

As três RPPNs analisadas apresentaram bons índices de conservação ambiental e confirmam a tendência apresentada por Zanchetta (2021), em que a autora analisou como positiva a eficácia de conservação das RPPNs no estado de Rondônia.

5.2 Unidades de conservação de proteção integral

As quatro unidades de conservação de proteção integral presentes na área de estudo são: o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, o Parque Estadual do Jalapão, a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e o Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio do Sono.

5.2.1 Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba

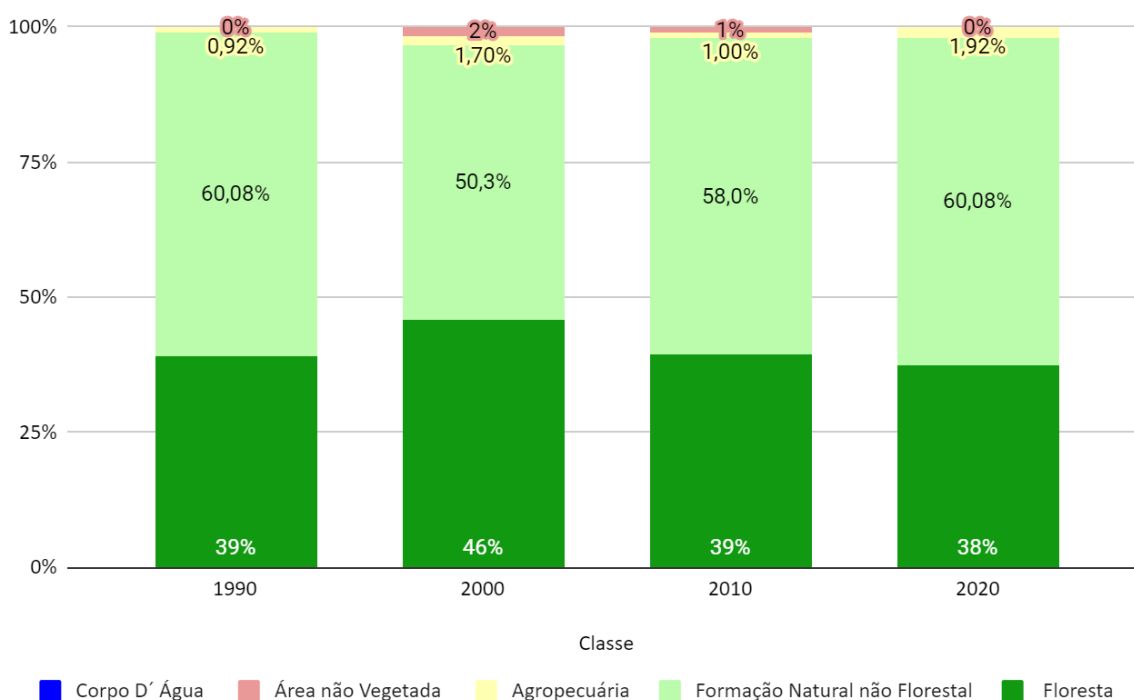
O Parque Nacional (PN) das Nascentes do Rio Parnaíba foi criado em 2002, pelo Decreto nº 136 de 16 de julho, com uma área inicial de 729.813,5 ha que, posteriormente teve seus limites expandidos para 749.848,0 ha por meio da Lei 12.090 de 12 de janeiro de 2015.

O parque está localizado em quatro estados (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e abrange nove municípios, sendo eles, Alto Parnaíba-MA (abrangendo 48,13% de sua área), Mateiros-TO (abrangendo 7,76% de sua área), São Félix do Tocantins (abrangendo 6,39% de sua área), Lizarda-TO (abrangendo 3,22% de sua área), Corrente-PI (abrangendo 4,59% de sua área), Gilbués (abrangendo 4,49% de sua área), São Gonçalo do Gurguéia (abrangendo 4,77% de sua áreas), e Formosa do Rio Preto-BA (abrangendo apenas 0,14% de sua área).

A administração do PN é federal e realizada pelo órgão ICMBio, responsável pela gestão de unidades de conservação da União. As bacias hidrográficas que contemplam sua extensão são as do Tocantins (com 82,62% de sua área) e do Parnaíba Alto (17,38%). A criação do PN teve como objetivo ampliar a proteção das nascentes do Rio Parnaíba, pois esta é a segunda maior bacia hidrográfica da Região Nordeste.

As classes de uso do solo e suas respectivas porcentagens estão representadas no Gráfico 31, no qual é possível perceber que houve a preservação integral das classes denominadas “Floresta” e “Formação Natural não Florestal”, uma vez que, as porcentagens das classes permaneceram relativamente estáveis. As classes de “Corpo d’Água”, “Agropecuária” e “Área não Vegetada”, quando somadas, equivalem a 3% da área do Parque Nacional.

Gráfico 31 - Porcentagem das classes no PN das Nascentes do Rio Parnaíba por ano estudado

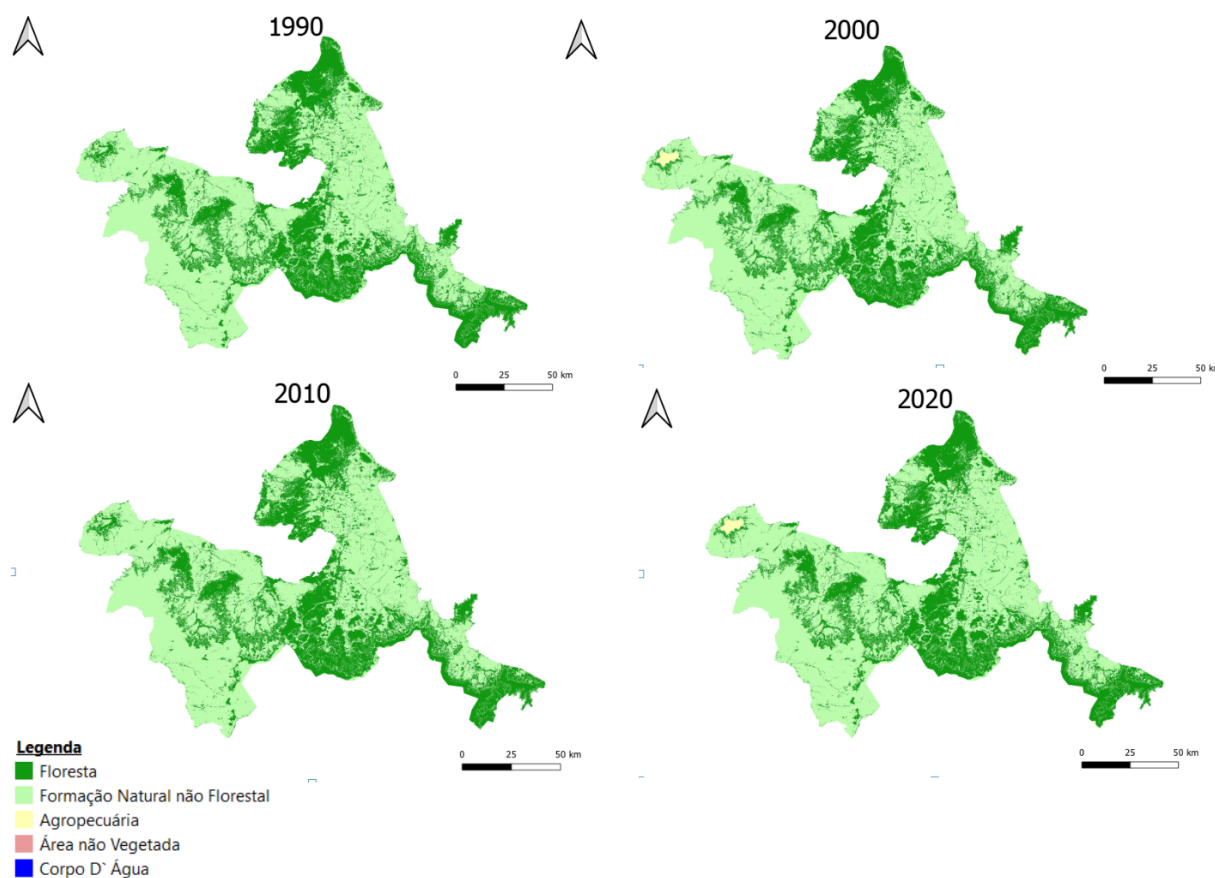


Fonte: Autoria própria.

De acordo com o SNUC, o Parque Nacional é um tipo de unidade de conservação de proteção integral e, considerando as implicações legais desse instrumento de preservação, não é permitida a exploração direta no interior dessa categoria de UC.

O Mapa 7 mostra as classes de cobertura no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba entre os anos de 1990 e 2020, os quais não apresentaram significativas variações ao longo das décadas.

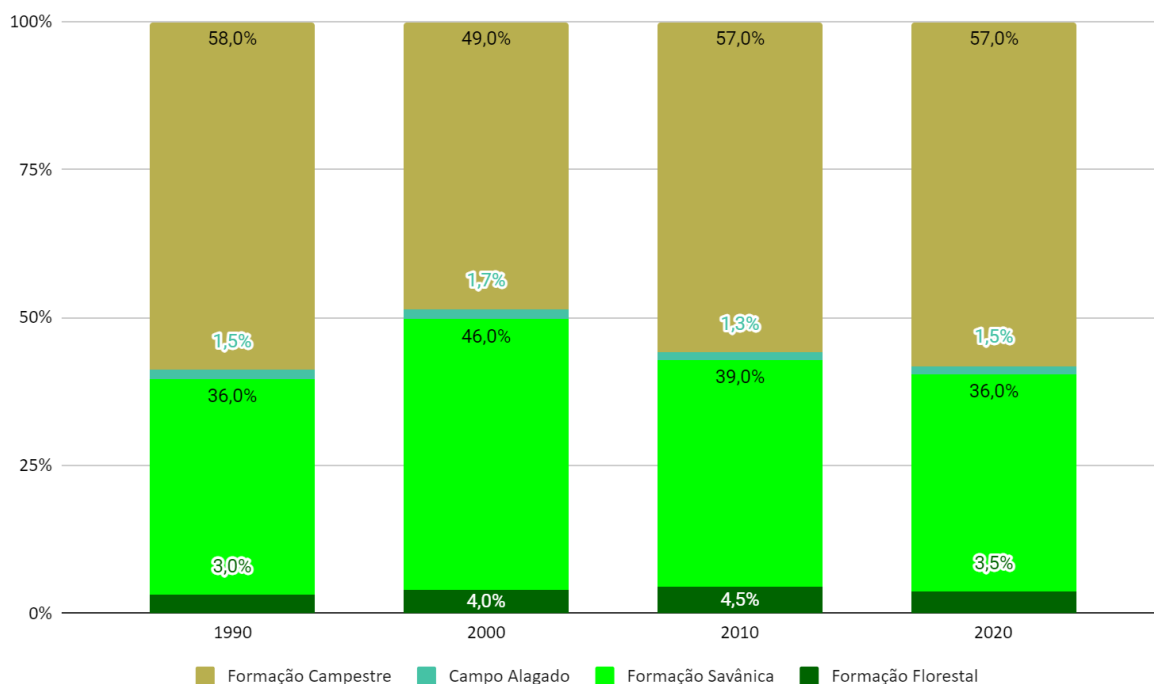
Mapa 8 - Classes de cobertura do solo no PN das Nascentes do Rio Parnaíba entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

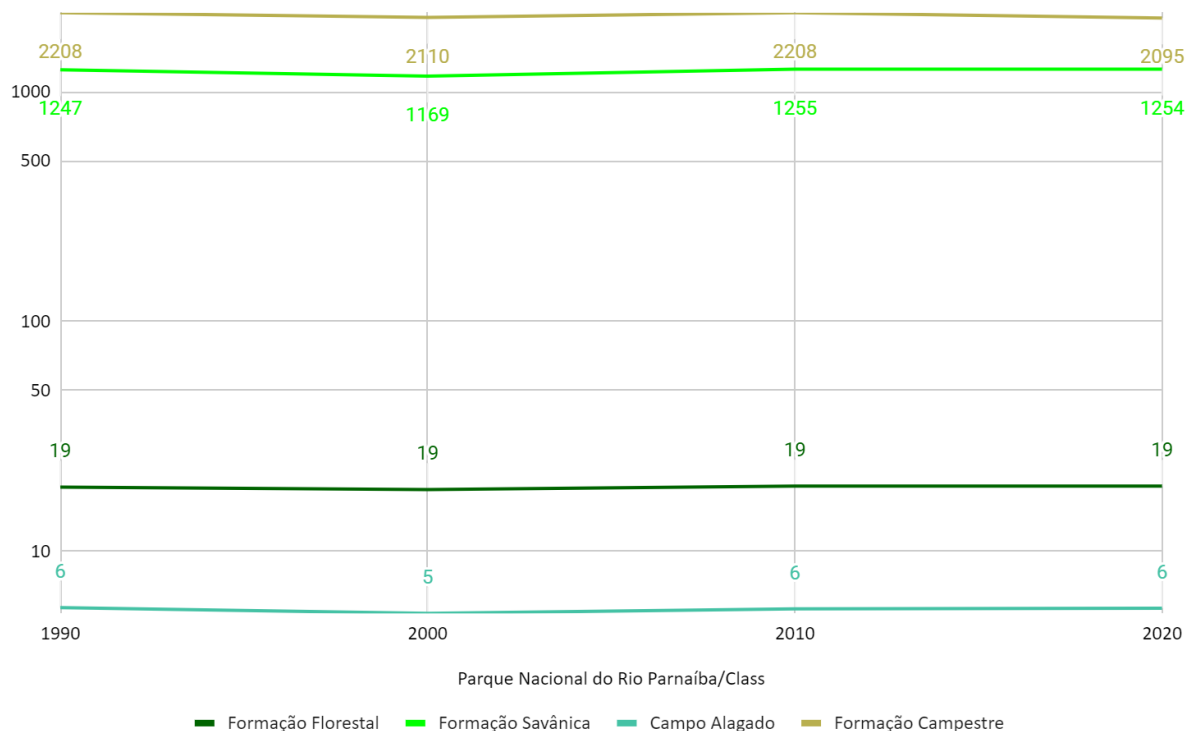
O Gráfico 32 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior área na unidade de conservação e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba ao longo de três décadas.

Gráfico 32 - Porcentagem da cobertura do solo no PN das Nascentes do Rio Parnaíba por ano estudado

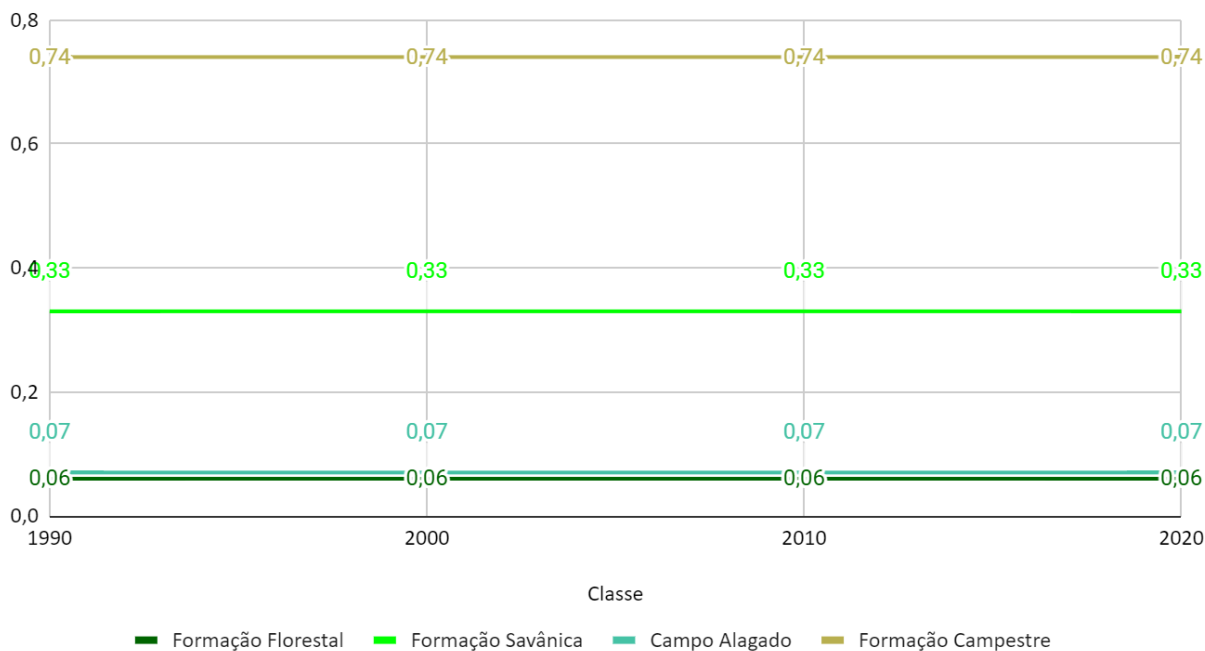


Fonte: Autoria própria.

Com base na análise dos gráficos é possível constatar que, no PN das Nascentes do Rio Parnaíba, as métricas de área de maior fragmento (Gráfico 33), tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 34) e densidade de fragmentos (Gráfico 35), mantiveram-se relativamente constantes em todas as subclasses estudadas, mostrando que a UC conservou a paisagem de forma satisfatória nas últimas três décadas.

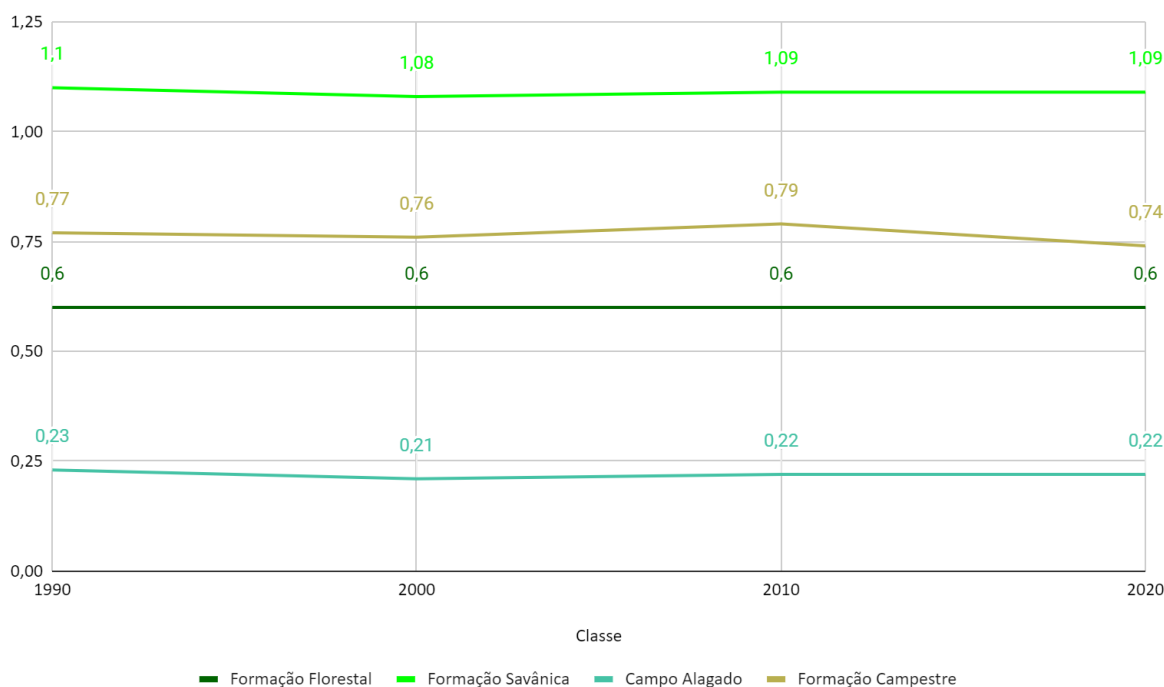
Gráfico 33 - Área do maior fragmento no PN das Nascentes do Rio Parnaíba (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 34 - Tamanho médio dos fragmentos no PN das Nascentes do Rio Parnaíba (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 35 - Densidade de fragmentos no PN das Nascentes do Rio Parnaíba (Frag./km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

As análises confirmam que a proteção ambiental no PN das Nascentes do Rio Parnaíba, entre 1990 e 2020, demonstrou-se eficaz. Contudo, as áreas adjacentes ao parque fazem parte de uma fronteira agrícola que vem aumentando a sua produção nos últimos 30 anos. Apesar da proibição legal, são constatadas áreas de plantio no território do PN de aproximadamente 3.149,39 ha de soja e 112,22 ha de outras lavouras temporárias, apresentando riscos à vegetação nativa, à biodiversidade e às populações locais como evidenciado por Lira (2021),.

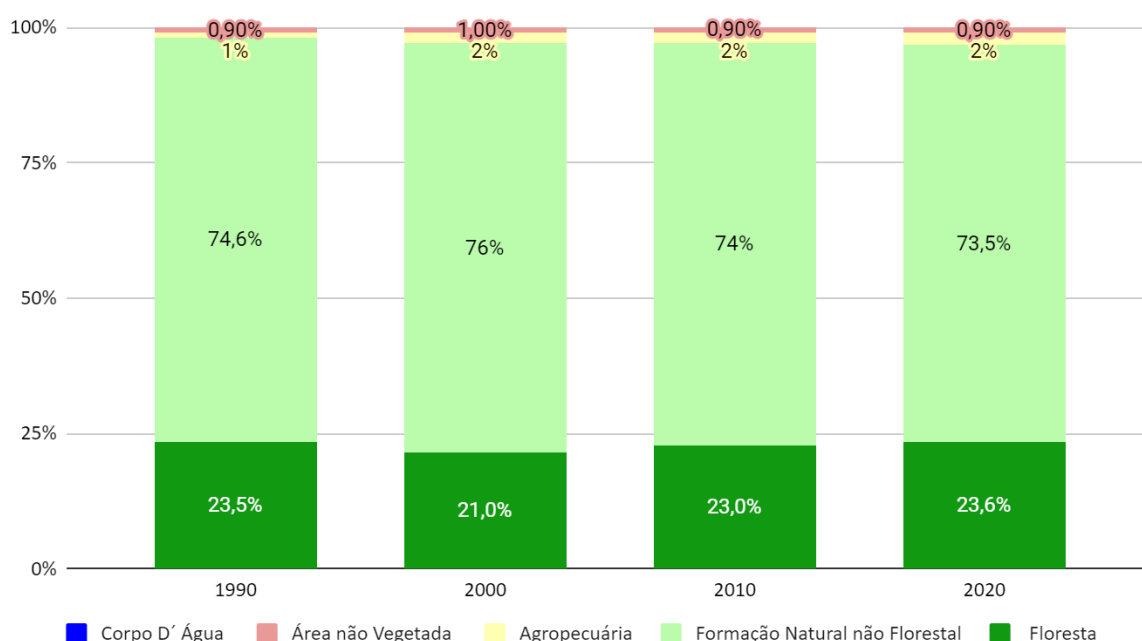
Por isso, faz-se necessário que medidas de controle e fiscalização sejam tomadas o mais breve possível, a fim de evitar que os danos ambientais tenham sua magnitude ampliada.

5.2.2 Parque Estadual do Jalapão

O PE do Jalapão foi criado pela Lei nº 1.203 em 11 de janeiro de 2001 e apresenta uma área total de 158.885 ha, que está contida integralmente no município de Mateiros-TO. Sua administração é estadual e realizada pelo NATURATINS, instituto responsável pela gestão das unidades de conservação do estado do Tocantins. A bacia hidrográfica que contempla sua extensão é a bacia do Tocantins.

As classes de uso do solo no PE do Jalapão e suas respectivas porcentagens estão representadas no Gráfico 36, no qual é possível perceber que houve a preservação efetiva nas classes “Floresta” e “Formação Natural não Florestal”, pois as porcentagens das classes permaneceram estáveis. No mesmo período, as classes de “Agropecuária” e “Área não Vegetada”, somadas, representaram 2% da área do parque estadual.

Gráfico 36 - Porcentagem das classes no PE do Jalapão por ano estudado

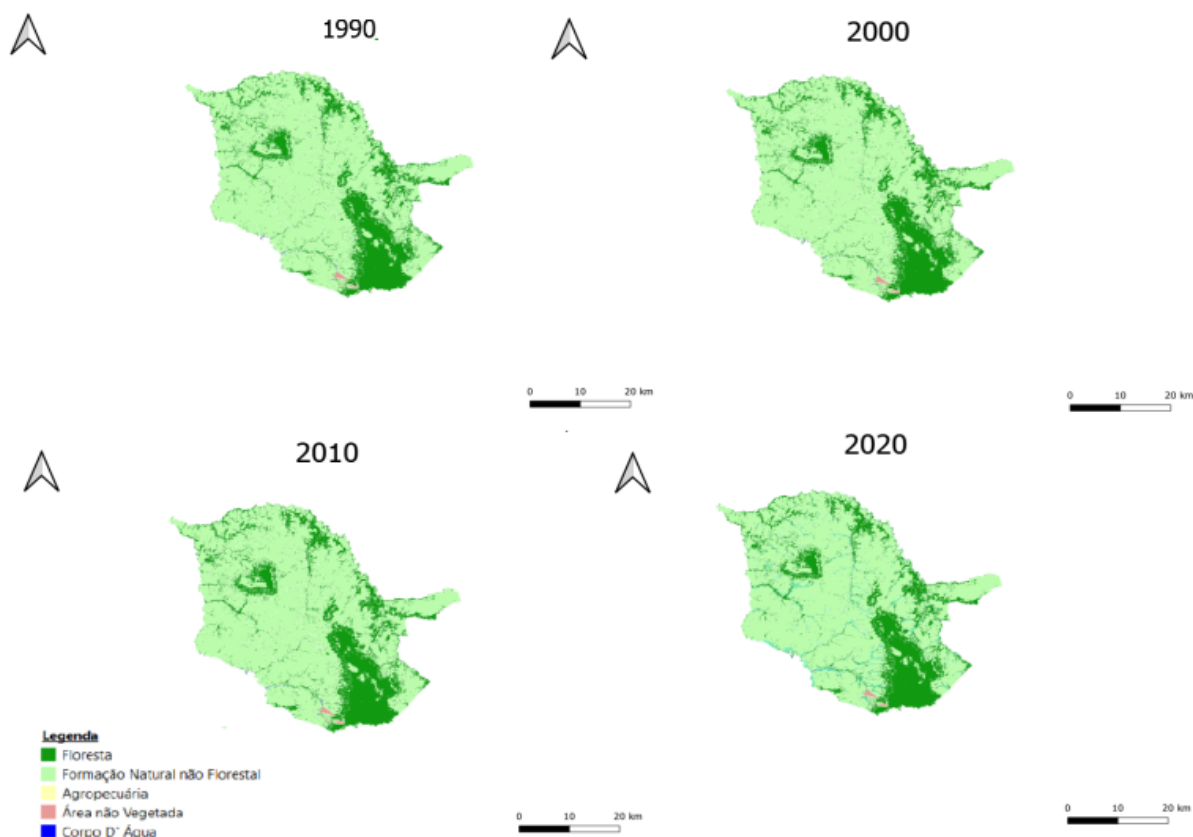


Fonte: Autoria própria.

De acordo com o SNUC, o PE é um tipo de unidade de conservação de proteção integral e, considerando as implicações legais desse instrumento de preservação, a exploração direta não é permitida no interior dessa UC. Também é importante pontuar que o PN do Jalapão está envolto pela APA do Jalapão e a associação dessas duas unidades de conservação pode ter contribuído sinergicamente para a preservação da paisagem de ambas as unidades.

O Mapa 8 mostra as classes de cobertura no Parque Estadual do Jalapão entre 1990 e 2020, os quais não apresentaram significativas variações ao longo das décadas.

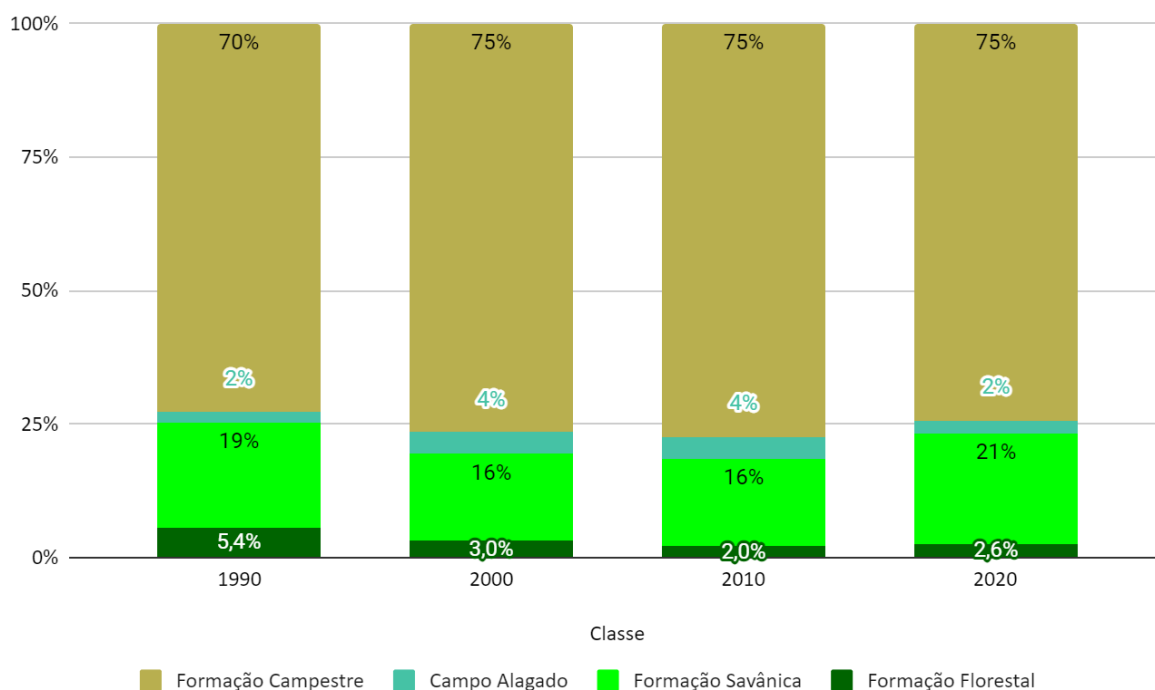
Mapa 9 - Classes de cobertura do solo no PE do Jalapão entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 37 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior área na estação ecológica e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem no PE do Jalapão ao longo de três décadas.

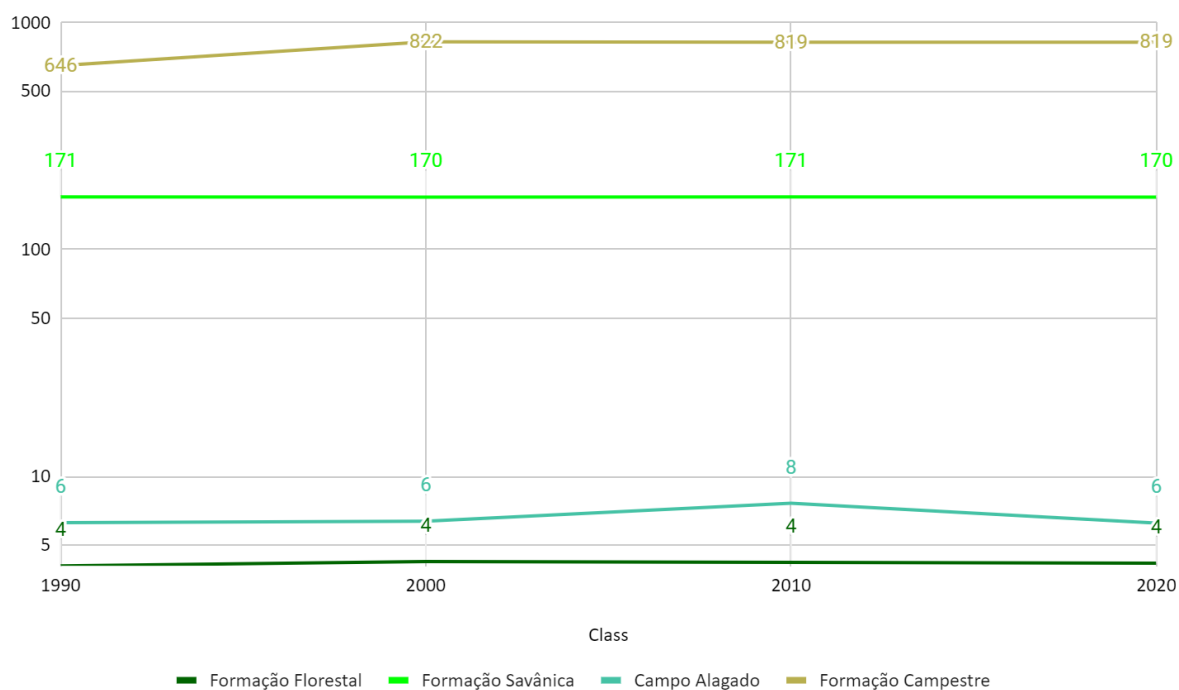
Gráfico 37 - Porcentagem da cobertura do solo no PE do Jalapão por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

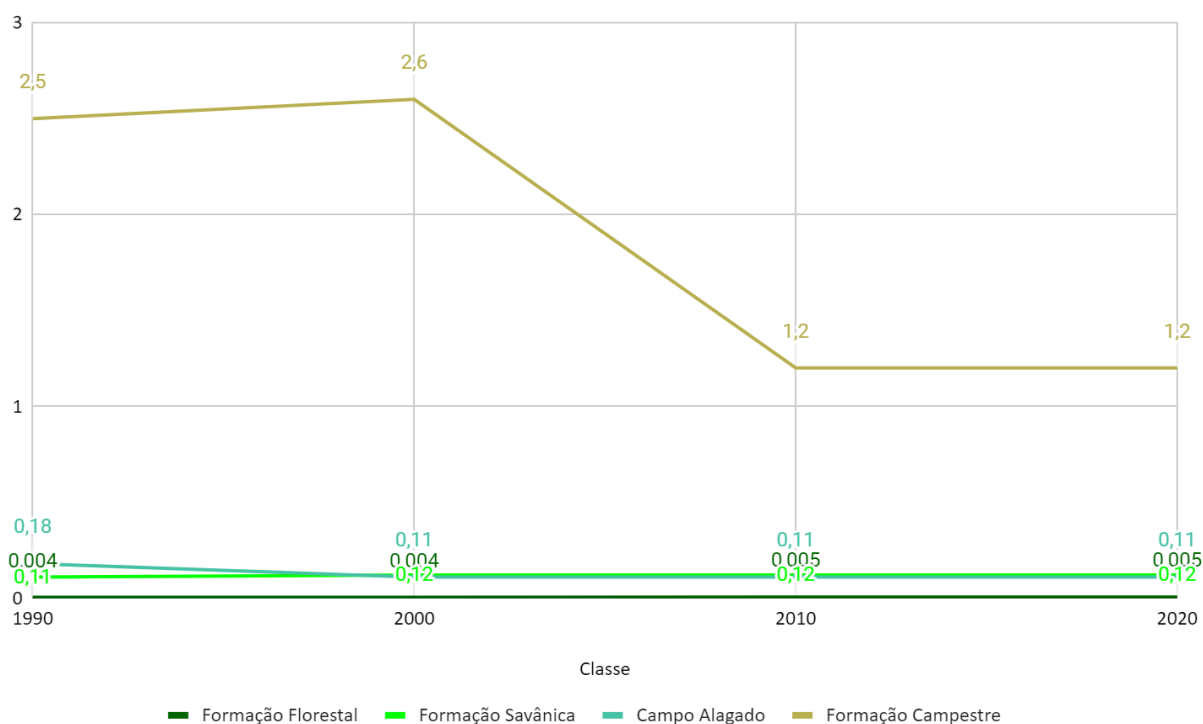
Observando o Gráfico 38, foi possível aferir que, ao longo das três décadas, a área do maior fragmento de “Formação Campestre”, subclasse de maior relevância na UC, teve um aumento de 173 km² (26%). Para o restante das subclasses, a área do maior fragmento se manteve constante.

Gráfico 38 - Área do maior fragmento no PE do Jalapão (km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

No caso da métrica de tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 39), houve uma queda expressiva de 1,4 km² (mais de 50%) na principal subclasse de “Formação Campestre”. As demais subclasses apresentaram valores estáveis para essa métrica ao longo do tempo analisado.

Gráfico 39 - Tamanho médio dos fragmentos no PE do Jalapão (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

O índice de densidade de fragmentos (Gráfico 40), por sua vez, permaneceu estável em todas as subclasses no período estudado.

Gráfico 40 - Densidade de fragmento no PE do Jalapão (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

Apesar dos bons resultados com relação à cobertura do solo e aos índices de fragmentação, o Parque Estadual do Jalapão apresentou alterações na sua paisagem e, de acordo com os dados coletados neste trabalho, possui cerca de 2% de sua extensão ocupada pelas classes “Agropecuária” e “Área não Vegetada”. Essa tendência também foi constatada por Cachoeira et al. (2020), entretanto, em menor intensidade (0,37%).

Esse dado é preocupante pois o PE do Jalapão é uma área de proteção integral, com elevado valor estratégico para a preservação do Cerrado.

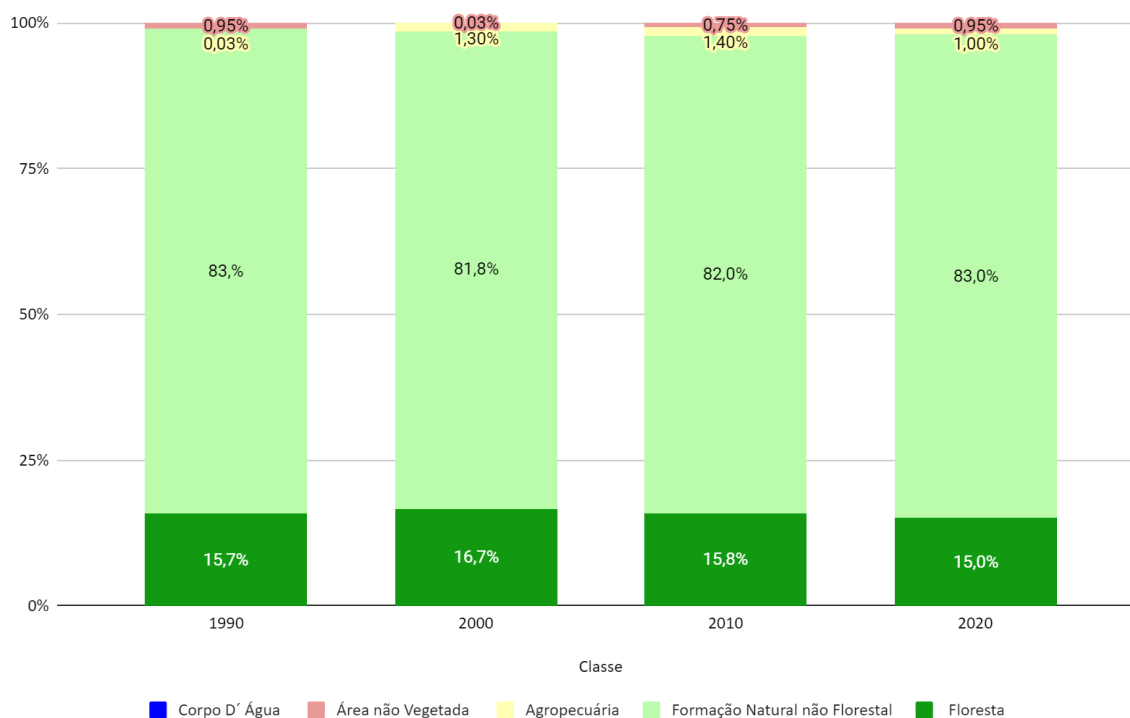
5.2.3 Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins

A ESEC Serra Geral do Tocantins foi criada em 27 de setembro de 2001, via decreto, e apresenta uma área total de 716.306 ha. No estado do Tocantins, a UC está contida nos municípios de Mateiros (abrangendo 50,19% de sua área), Ponte Alta do Tocantins (abrangendo 27,8% de sua área), Almas (abrangendo 7,42% de sua área) e Rio da Conceição (abrangendo 3,27% de sua área). Já no estado da Bahia, ela compreende apenas um município, Formosa do Rio Preto (abrangendo 11,32% de sua área).

A sua administração é federal, sendo realizada pelo ICMBio, órgão responsável pela gestão das unidades de conservação da União. As bacias hidrográficas que contemplam sua extensão são as bacias do Tocantins (abrangendo 88,3% de sua área) e a do São Francisco Médio (abrangendo 11,7% de sua área).

As classes de uso do solo na ESEC Serra Geral do Tocantins e suas respectivas porcentagens estão representadas no Gráfico 41, onde é possível perceber que houve uma preservação eficaz nas classes “Floresta” e “Formação Natural não Florestal”, se comparado o ano de 1990 a 2020, pois as porcentagem das classes permaneceram relativamente iguais.

Gráfico 41 - Porcentagem das classes na ESEC Serra Geral do Tocantins por ano estudado

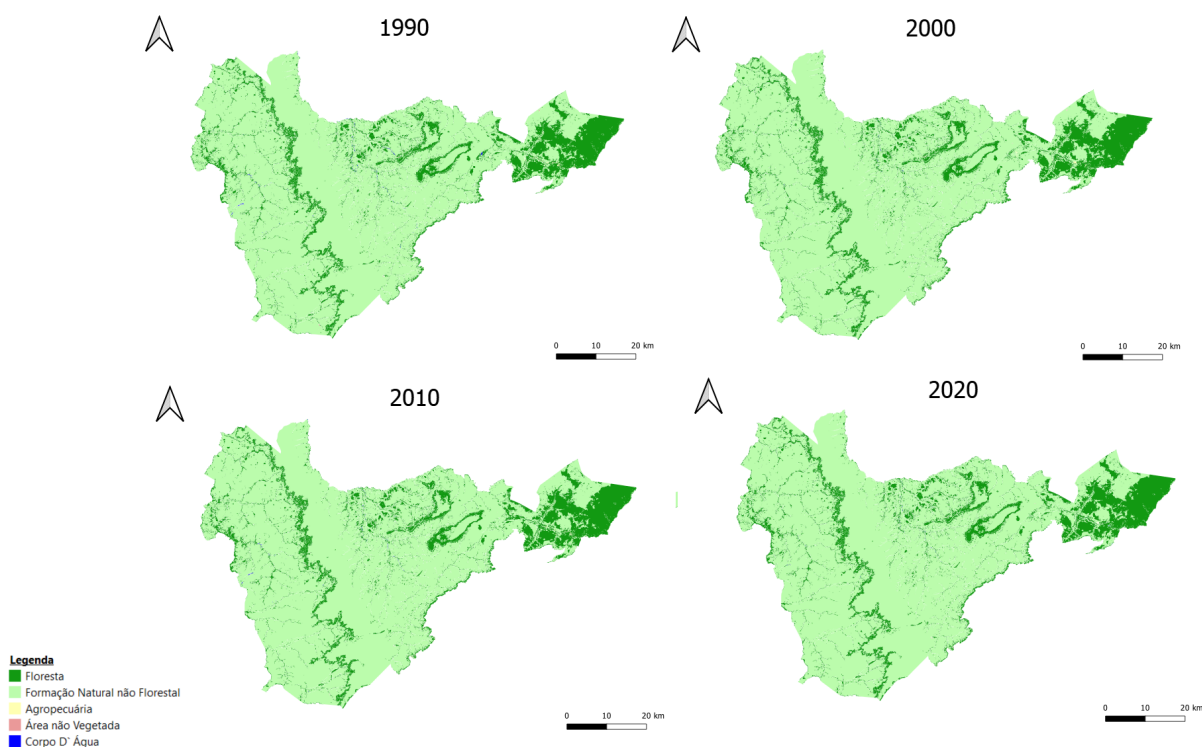


Fonte: Autoria própria.

Vale destacar que, segundo o SNUC, a Estação Ecológica é a classe de unidade de conservação de proteção integral mais restritiva em níveis de visitação, pesquisa e alteração dos ecossistemas.

O Mapa 9 mostra as classes de cobertura na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins entre os anos de 1990 e 2020, onde não foi possível observar significativas variações ao longo das décadas.

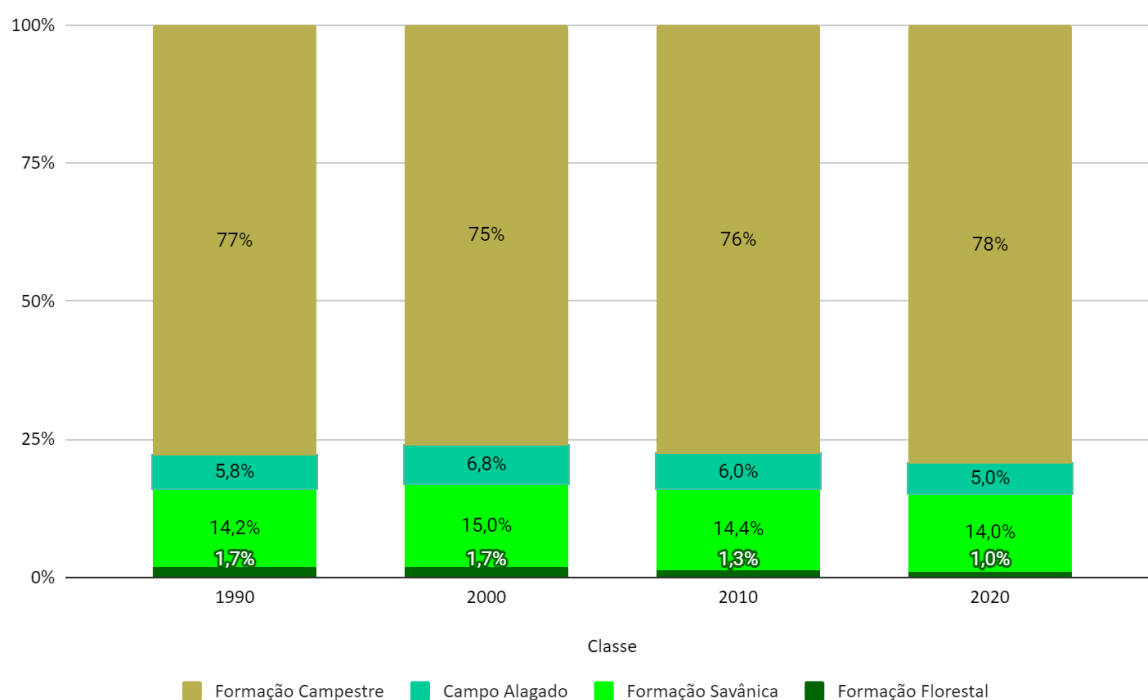
Mapa 10 - Classes de cobertura do solo na ESEC Serra Geral do Tocantins entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

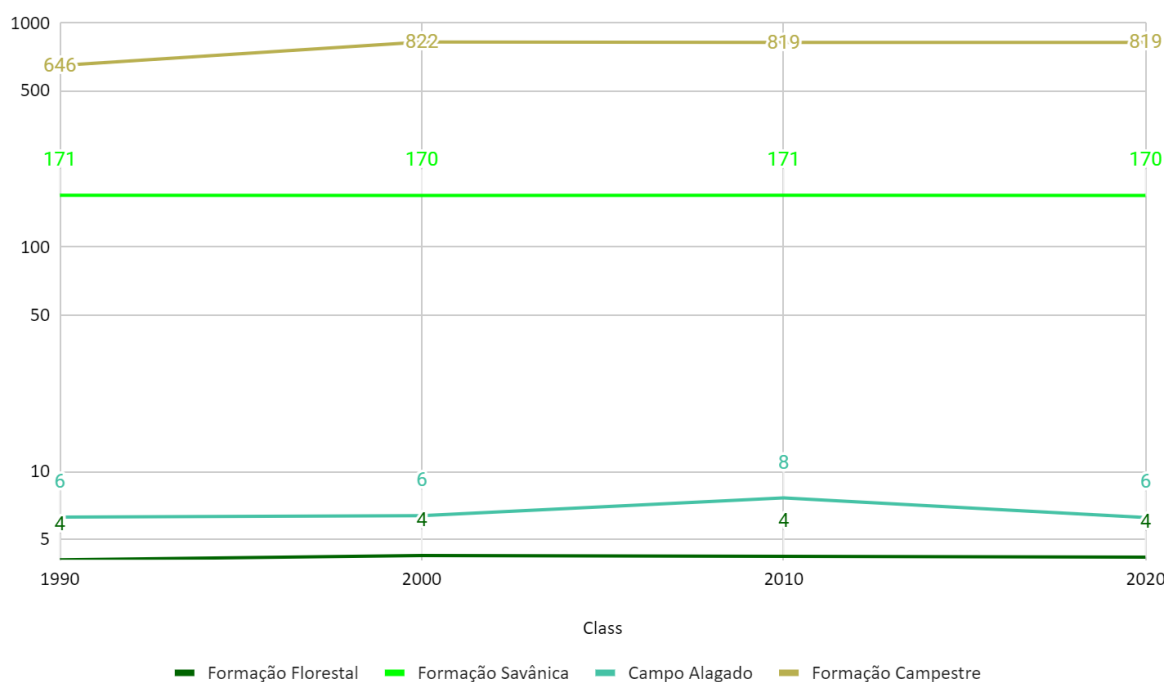
O Gráfico 42 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior área na estação ecológica e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na ESEC Serra Geral do Tocantins ao longo de três décadas.

Gráfico 42 - Porcentagem da cobertura do solo na ESEC Serra Geral do Tocantins por ano estudado



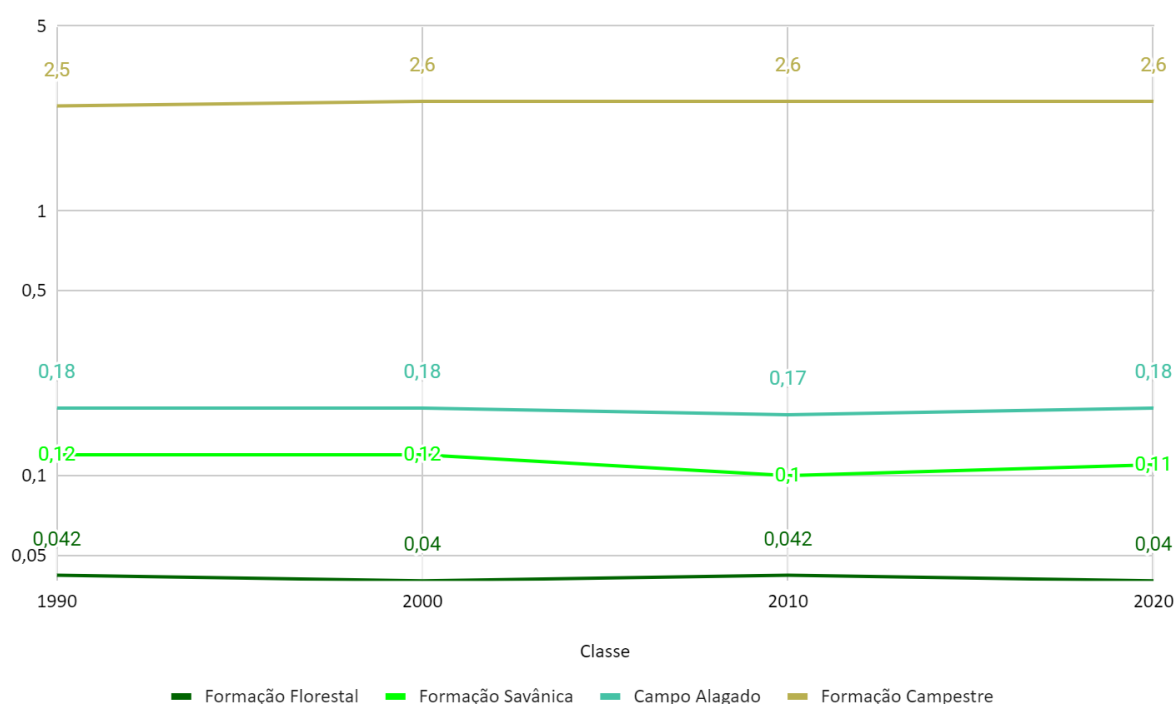
Fonte: Autoria própria.

A partir do Gráfico 43 foi possível aferir que a ESEC Serra Geral do Tocantins, em análise de área do maior fragmento, manteve-se constante em todas as classes estudadas, mostrando que a unidade de conservação está mantendo a área preservada.

Gráfico 43 - Área do maior fragmento na ESEC Serra Geral do Tocantins (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

No caso da métrica tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 44), todas as classes observadas se mantiveram estáveis, com pequenas variações ao longo do tempo considerado.

Gráfico 44 - Tamanho médio dos fragmentos na ESEC Serra Geral do Tocantins (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

O índice de densidade de fragmentos (Gráfico 45) de todas as classes manteve a tendência das outras métricas analisadas, permanecendo estável ao longo do tempo examinado.

Gráfico 45 - Densidade de fragmento na ESEC Serra Geral do Tocantins (Frag./km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

Os resultados confirmam a boa eficácia da ESEC Serra Geral do Tocantins na proteção ambiental desde a sua criação, em 2001. Entretanto, Santos e Nunes (2015) constataram um avanço na ocupação das zonas de amortecimento em torno da ESEC e foi apontado que cerca de 7.1% da zona de amortecimento estava sendo utilizada para agricultura.

5.2.4 Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio do Sono

O MONAT Canyons e Corredeiras do Rio do Sono foi criado em 2 de setembro de 2012 por meio do Decreto Municipal nº 34. A UC apresenta uma área total de 1.286 ha e está localizada no estado do Tocantins, na cidade de São Félix do Tocantins, sendo administrada pela prefeitura municipal. Ela está inserida na bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins e é a única unidade de conservação de nível municipal presente no estudo.

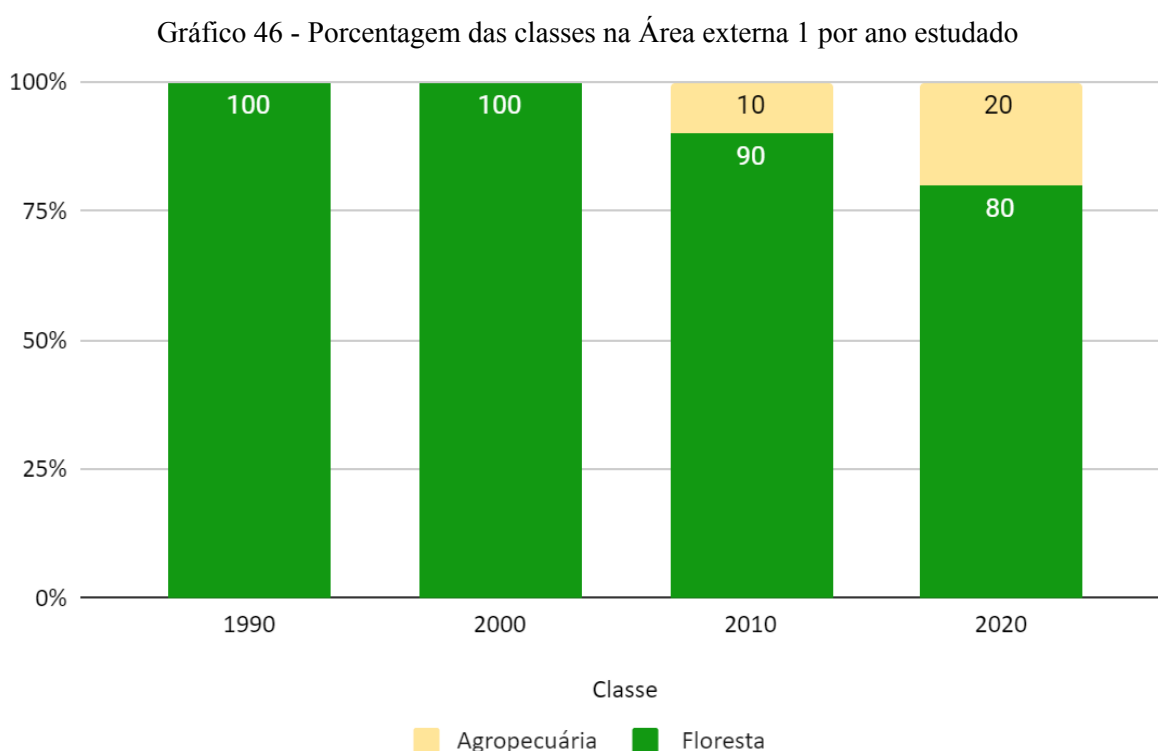
Devido ao formato da unidade de conservação, não foram calculadas as métricas individuais e, portanto, ela não foi considerada nas análises gerais.

5.3 Áreas externas

As amostras de áreas externas foram nomeadas de 1 a 4, em ordem crescente de área. Portanto, a Área externa 1 possui a menor extensão e a Área externa 4, a maior. As regiões escolhidas como amostras de área externa nunca fizeram parte de unidades de conservação. As áreas externas foram analisadas conforme as métricas usadas no estudo das UCs.

5.3.1 Área externa 1

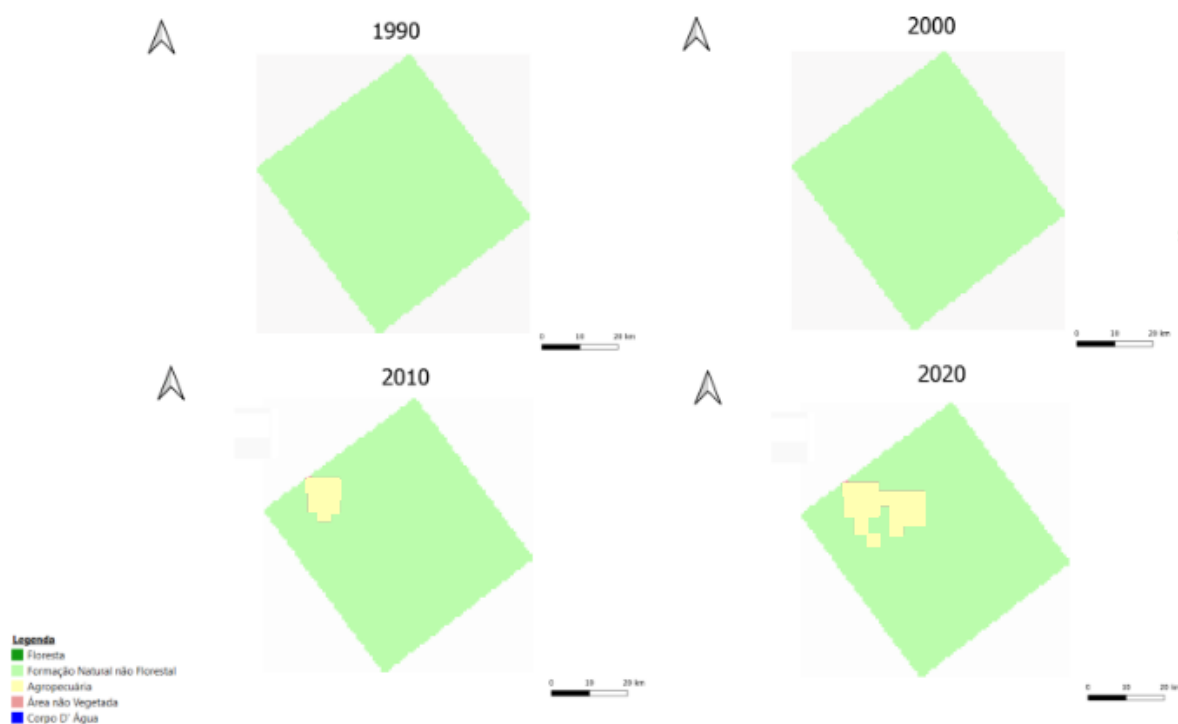
A amostra de Área externa 1 está localizada no município de Mateiros, no Tocantins, com uma área total de 400 ha. O Gráfico 46 apresenta os dados de cobertura de solo e porcentagem de cada classe dessa área externa, no qual é possível aferir que a Área externa 1 teve um aumento de 20% na classe “Agropecuária”, quando comparado o ano de 1990 com 2020. Essa classe começou a se expandir dentro da área entre 2000 e 2010, sendo que ela dobrou de tamanho no período entre os anos de 2010 e 2020.



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 10 mostra as classes de cobertura na amostra de Área externa 1 entre os anos de 1990 e 2020. É possível observar que o surgimento da classe “Agropecuária” ocorreu entre as décadas de 2000 e 2010, expandindo-se rapidamente até 2020.

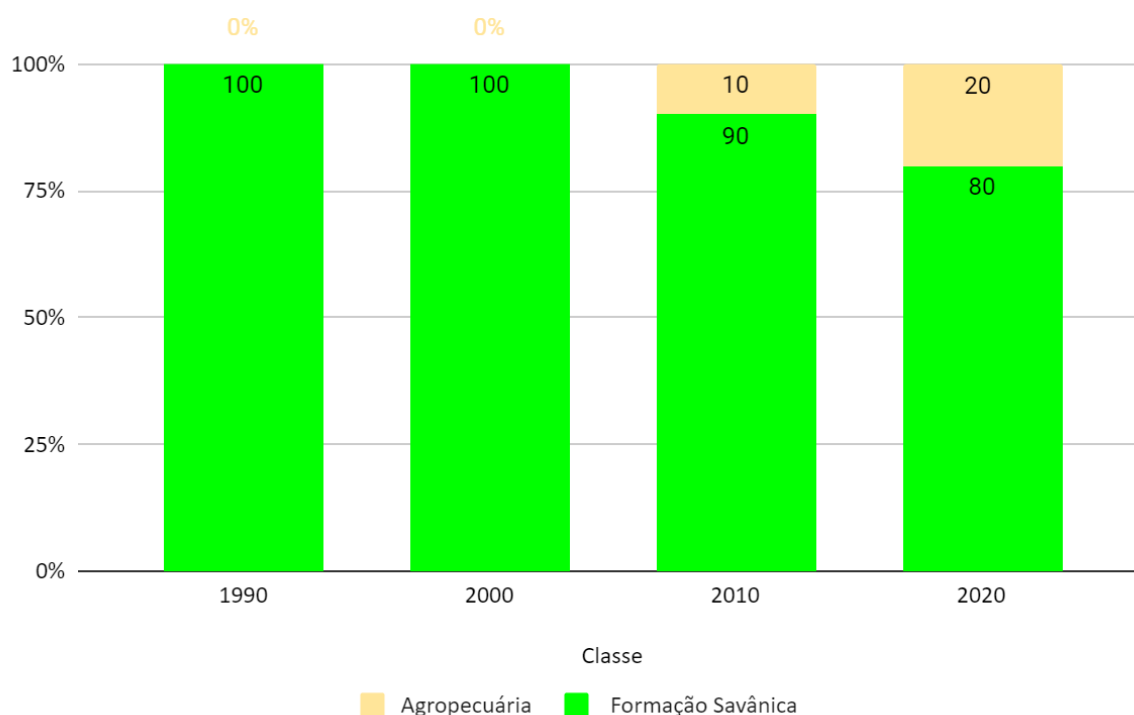
Mapa 10 - Classes de cobertura do solo na Área externa 1 entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

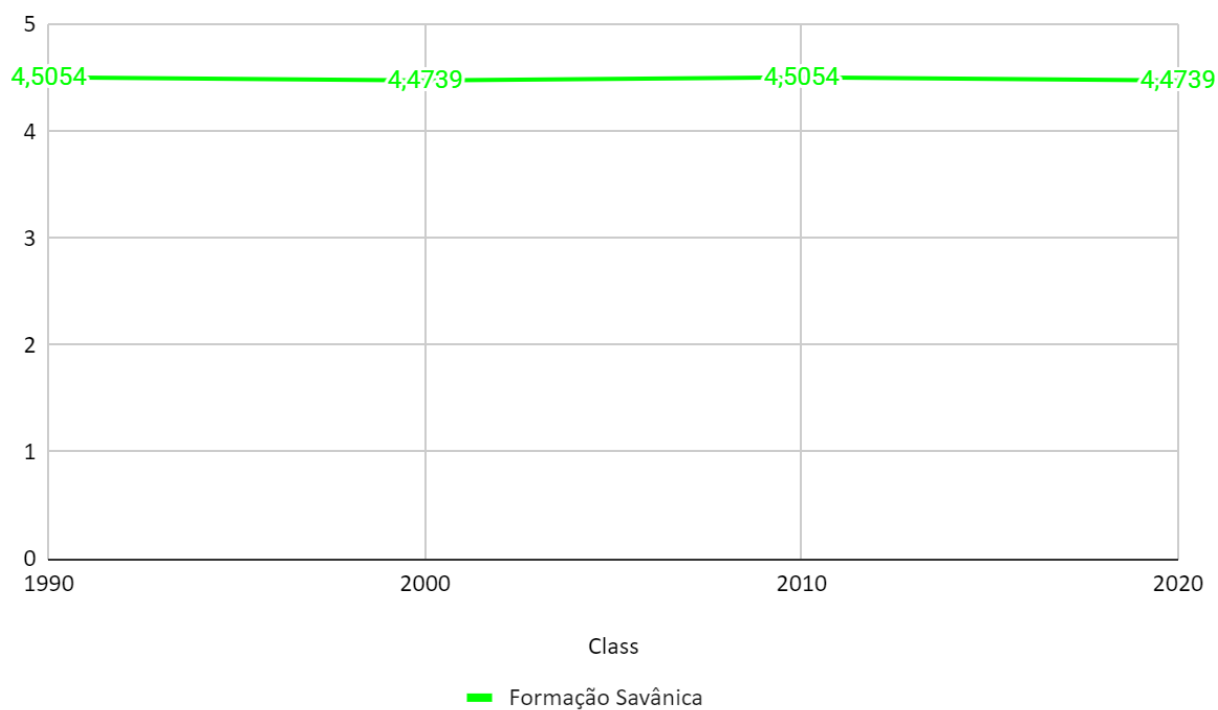
O Gráfico 47 apresenta as porcentagens de cobertura do solo da subclasse “Formação Savânica”, que representa a maior cobertura na Área externa 1 e, por isso, foi analisada com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na Área externa 1 ao longo de três décadas.

Gráfico 47 - Porcentagem da cobertura do solo na Área externa 1 por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

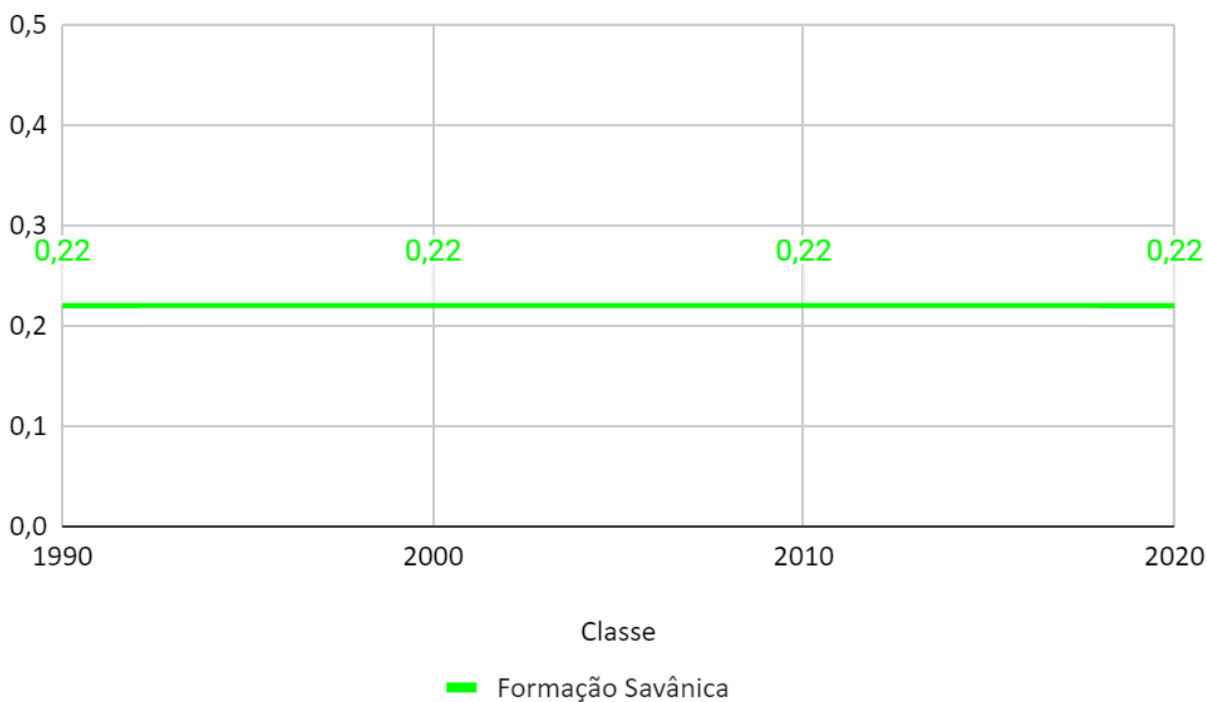
Apesar de verificar um aumento de 20% na classe “Agropecuária” dentro da Área externa 1, quando se compara as métricas de área do maior fragmento (Gráfico 48), densidade de fragmentos (Gráfico 49) e tamanho médio do fragmento (Gráfico 50), elas permaneceram estáveis para a subclasse “Formação Savânica”, ou seja, as regiões da Área externa 1 com vegetação natural se demonstraram pouco fragmentadas.

Gráfico 48 - Área do maior fragmento na Área externa 1 (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 49 - Tamanho médio dos fragmentos na Área externa 1 (km²) por ao estudado

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 50 - Densidade de fragmento na Área externa 1 (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

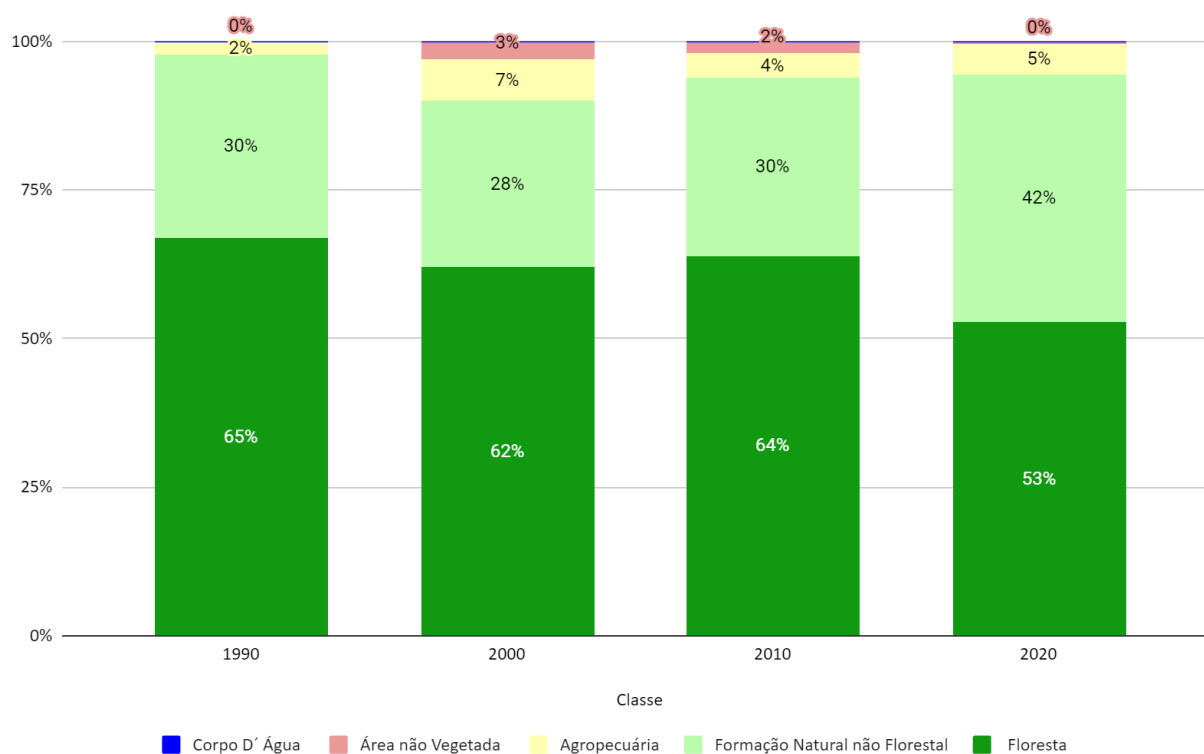
Segundo Carneiro, Filho e Costa (2016), entre os anos de 2000 e 2014, a cultura de soja na região do MATOPIBA teve crescimento de 253%, o que pode justificar o aumento dessa cultura na Área externa 1.

5.3.2 Área externa 2

A amostra da Área externa 2 possui 144.400 ha e está localizada nos municípios de Ponte Alta do Tocantins e Lagoa do Tocantins, ambos no estado do Tocantins.

A seguir, no Gráfico 51, estão apresentados os dados de cobertura de solo e porcentagem de cada classe na área externa. É possível constatar que, de 1990 a 2020, a participação da classe “Agropecuária” na porcentagem de cobertura do solo na Área externa 2 subiu de 2% para 5%, apesar de ter chegado a atingir 7% na década de 2000.

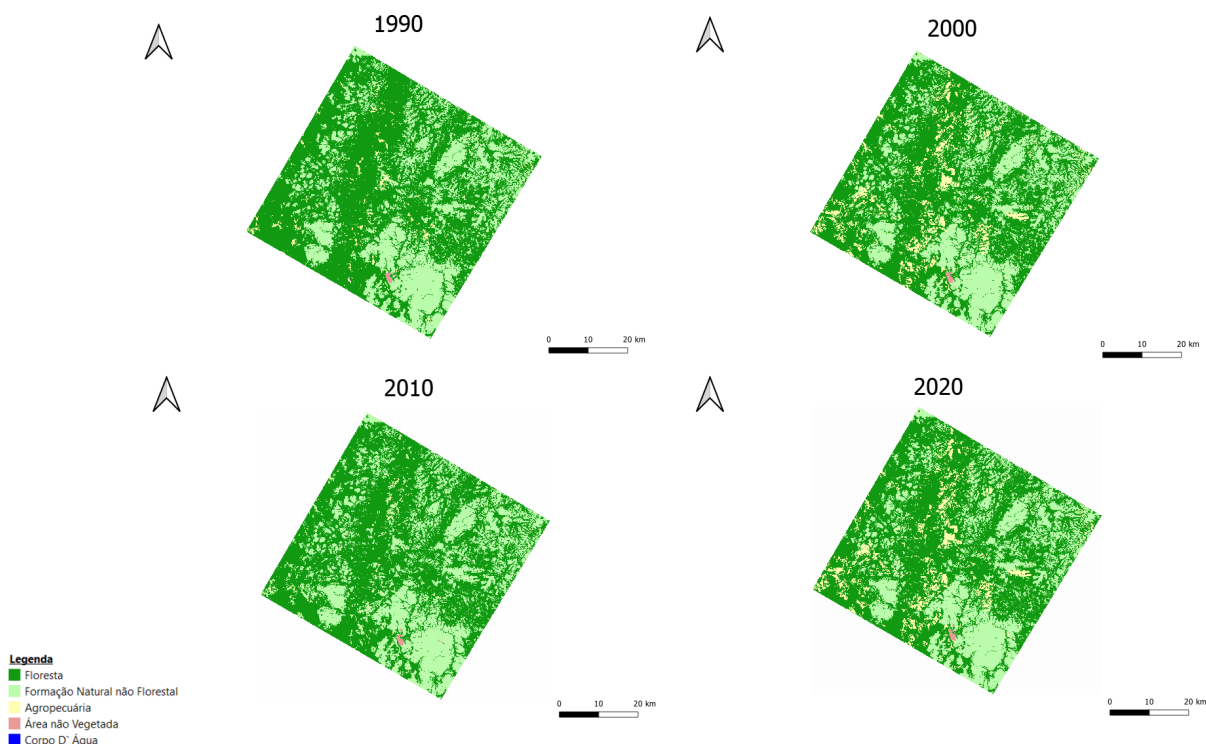
Gráfico 51 - Porcentagem das classes na Área externa 2 por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 11 mostra as classes de cobertura na amostra de Área externa 2 entre os anos de 1990 e 2020, onde é possível notar a expansão da classe “Agropecuária” na paisagem a partir do ano 2000.

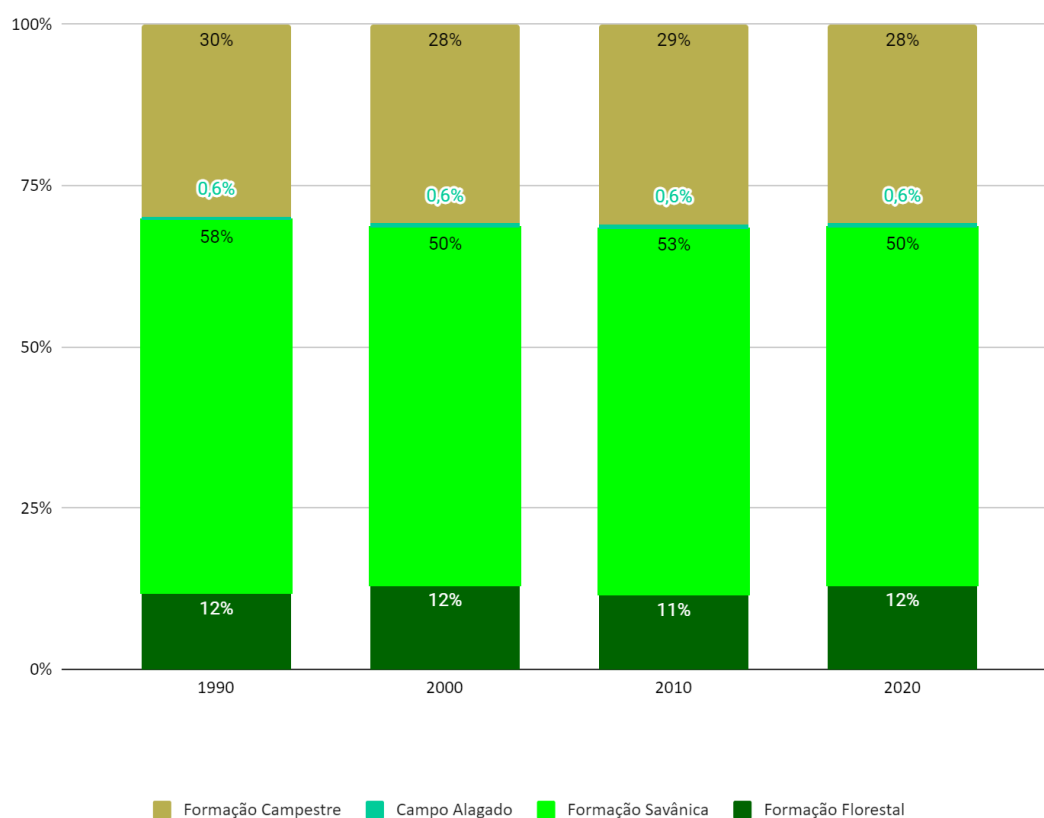
Mapa 11 - Classes de cobertura do solo na Área externa 2 entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico 52 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior cobertura na Área externa 2 e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na Área externa 2 ao longo de três décadas.

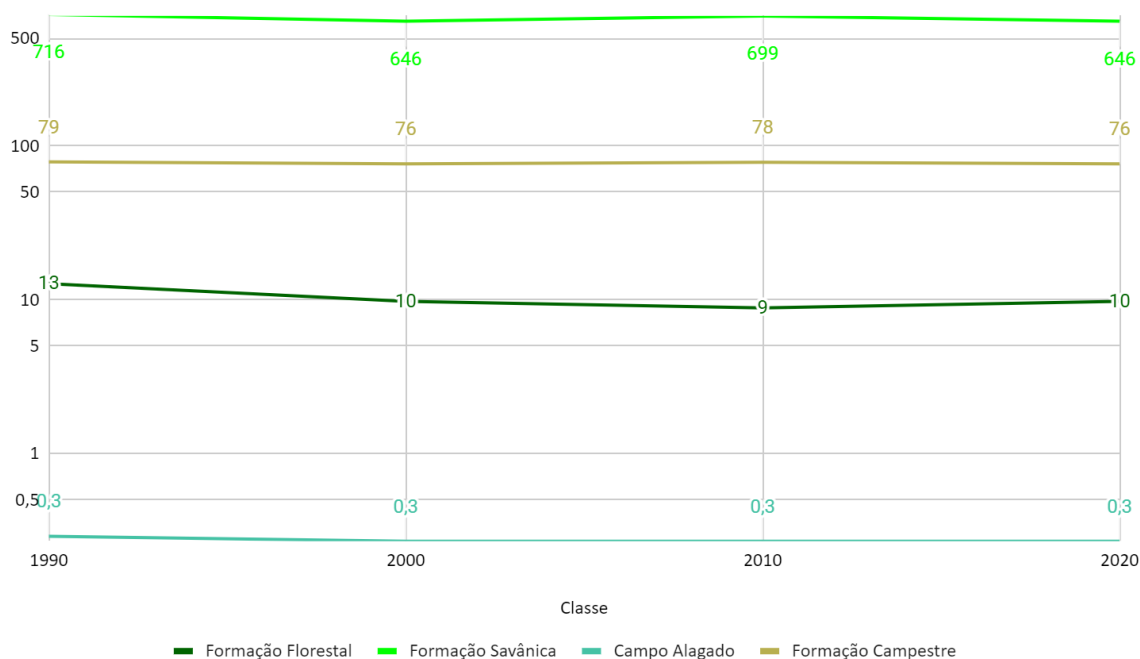
Gráfico 52 - Porcentagem de cobertura do solo na Área externa 2 por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

Com base na análise do Gráfico 53 é possível aferir que a métrica de área do maior fragmento apresentou um bom desempenho na Área externa 2, pois não houve redução significativa em nenhuma subclasse.

Gráfico 53 - Área do maior fragmento na Área externa 2 (km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

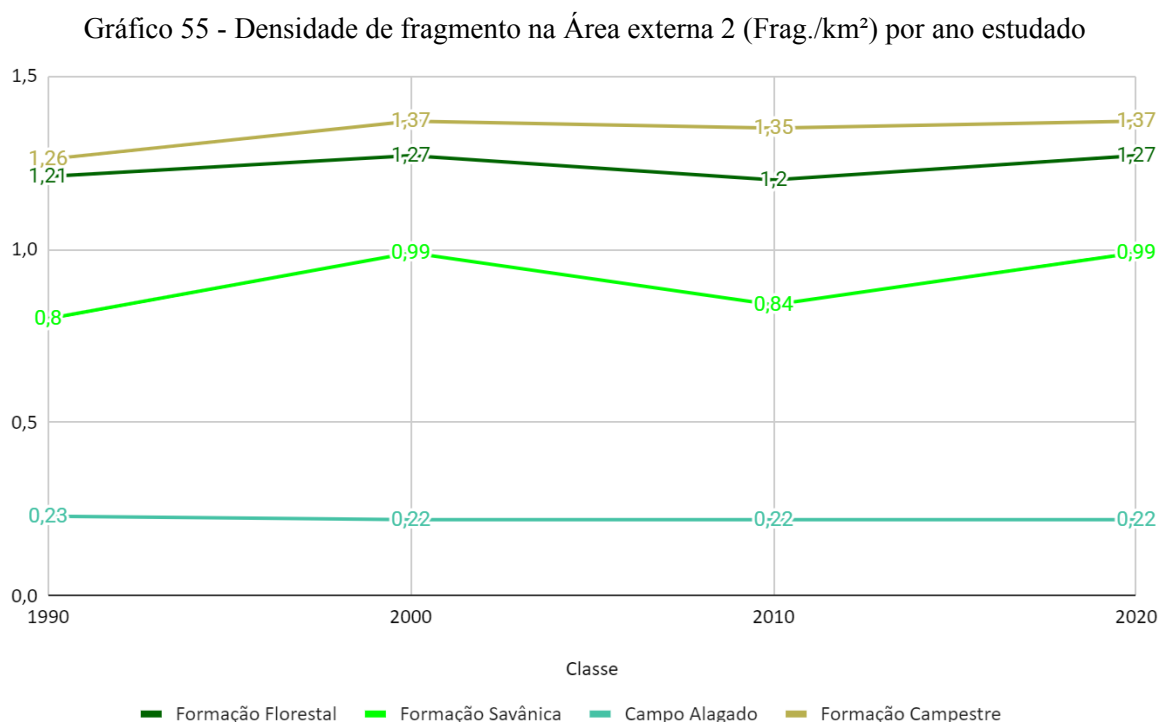
O tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 54), ao contrário, apresentou uma queda considerável de 0,16 km² (cerca de 24%) na classe “Formação Savânica”. Contudo, nas demais subclasses, o mesmo índice permaneceu constante e não apresentou alterações significativas.

Gráfico 54 - Tamanho médio dos fragmentos na Área externa 2 (km²) por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

As três subclasses com maior porcentagem de cobertura na Área externa 2 apresentaram um aumento considerável no índice de densidade de fragmentos (Gráfico 55). A “Formação Savânica” teve um aumento de 0,19 Frag./km², a “Formação Campestre” aumentou 0,11 Frag./km² e, por fim, a “Formação Florestal” cresceu 0,06 Frag./km². A subclasse “Campo Alagado” foi a única que não sofreu alterações significativas nessa métrica.



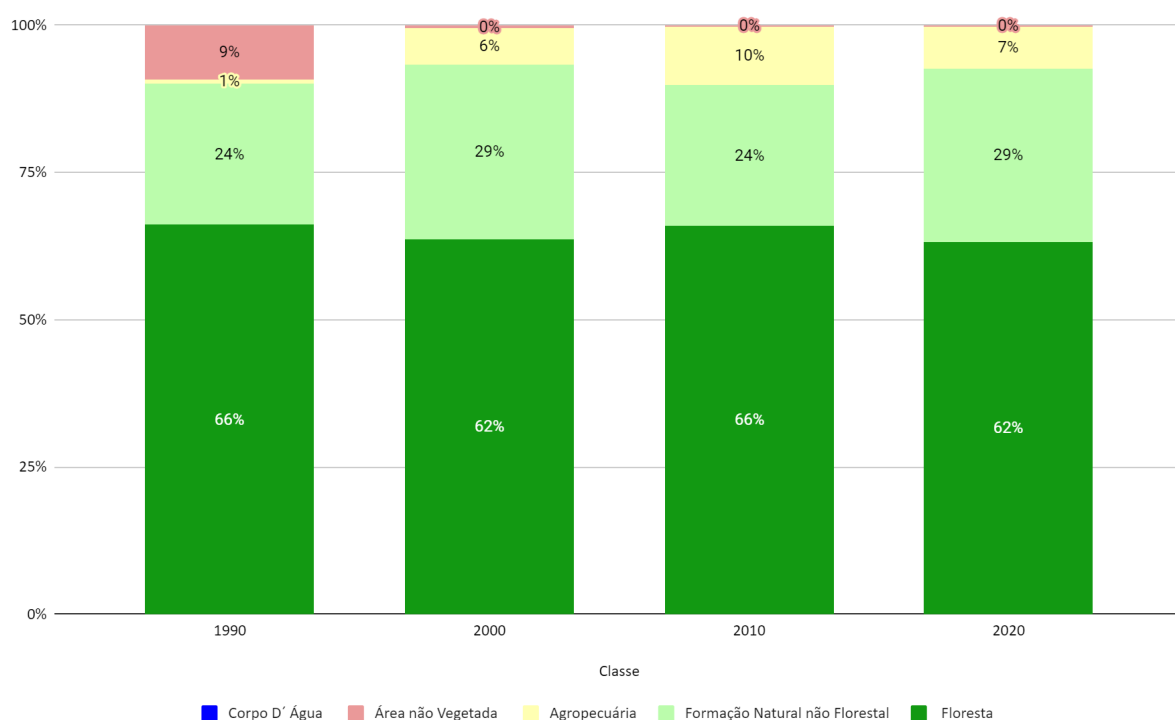
Fonte: Autoria própria.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), em 2020, a região do MATOPIBA era responsável por 12% da produção nacional de soja, o que pode explicar a presença mais significativa da classe “Agropecuária” na Área externa 2 a partir do ano 2000.

5.3.3 Área externa 3

A amostra de Área externa 3 possui 547.600 ha e está localizada nos municípios Alto Parnaíba, no Maranhão, e Santa Filomenos, no Piauí. O Gráfico 56 apresenta os dados de cobertura de solo e porcentagem de cada classe na Área externa 3, no qual é possível aferir que houve um aumento expressivo da classe “Agropecuária”, a qual saltou de menos de 1%, em 1990, para 7% ao final do período de estudo, em 2020. Vale ressaltar ainda que essa classe chegou a representar 10% da cobertura do solo na Área externa 3 em 2010.

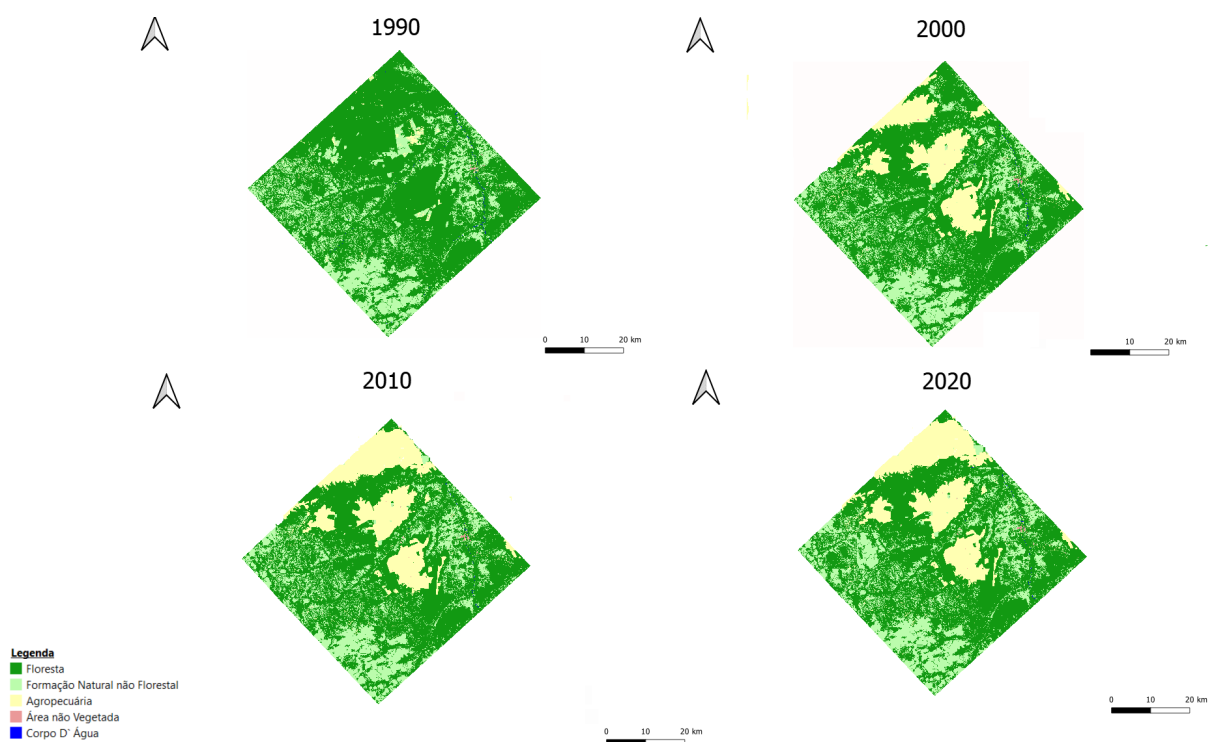
Gráfico 56 - Porcentagem das classes na Área externa 3 por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

O Mapa 12 mostra as classes de cobertura na amostra de Área externa 3 entre os anos de 1990 e 2020, onde é possível visualizar a expansão expressiva da classe “Agropecuária” na paisagem a partir da década de 2000.

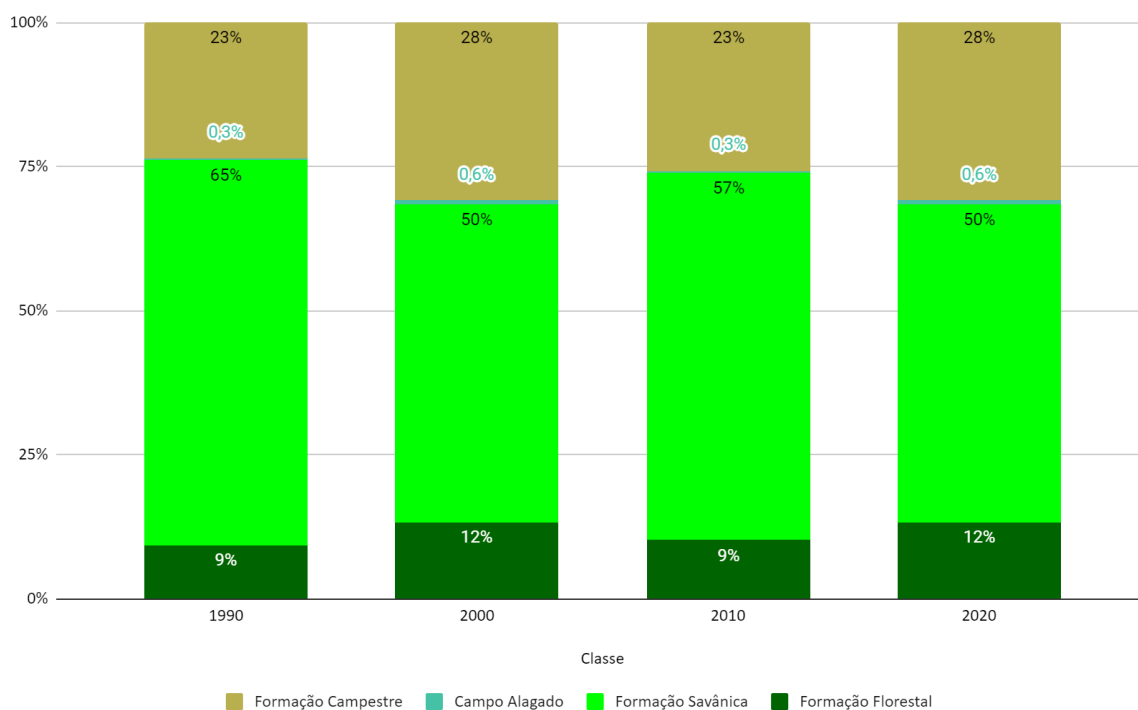
Mapa 12 - Classes de cobertura do solo na Área externa 3 entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

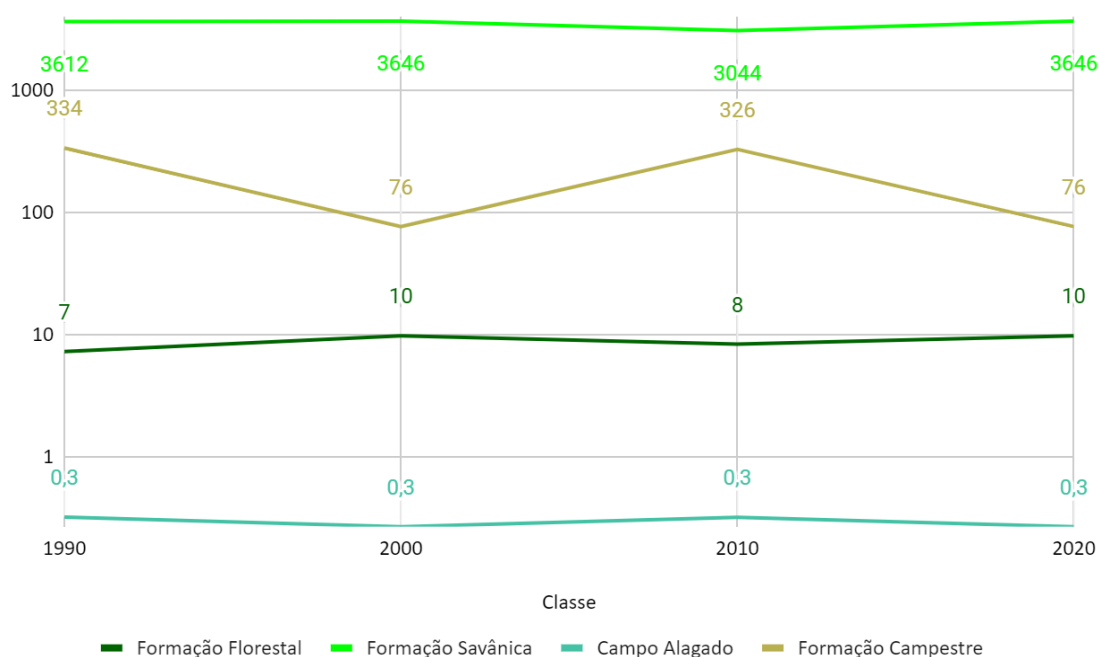
O Gráfico 57 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior cobertura na Área externa 3 e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na Área externa 3 ao longo de três décadas.

Gráfico 57 - Porcentagem de cobertura do solo na Área externa 3 por ano estudado



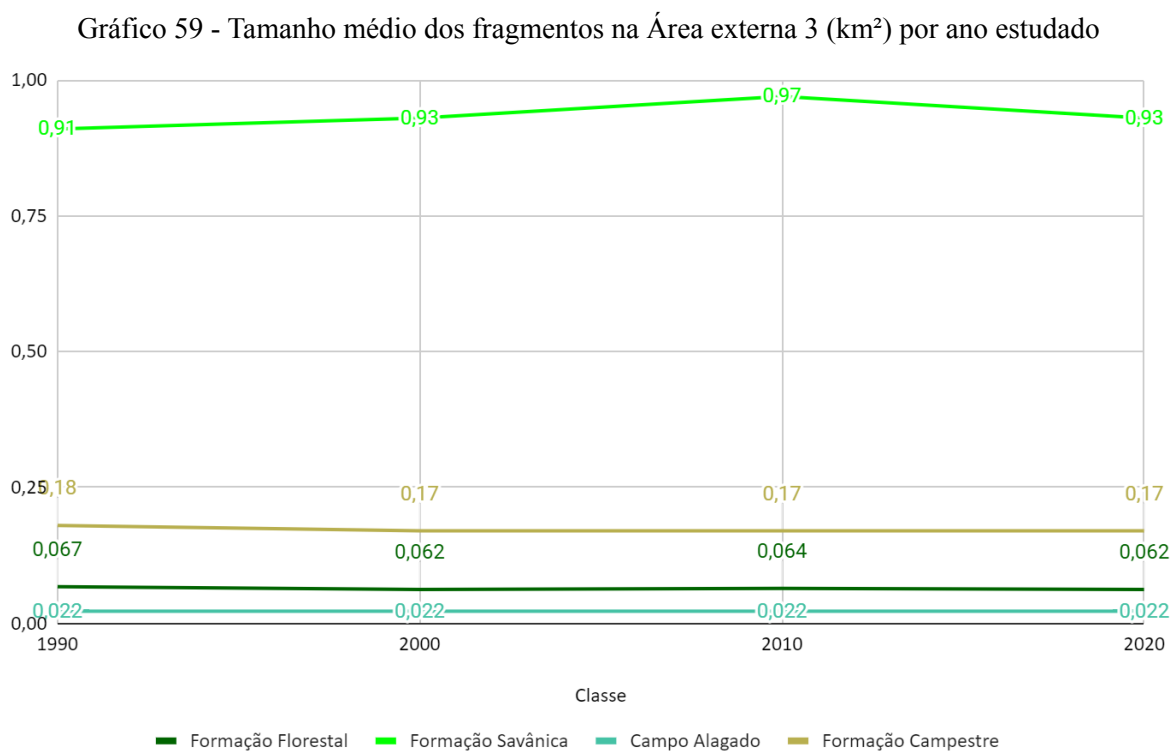
Fonte: Autoria própria.

A métrica de área do maior fragmento (Gráfico 58), por outro lado, apresentou uma queda expressiva de 257 km² na subclasse “Formação Campestre”. Contudo nas demais classes, o índice permaneceu constante e não apresentou alterações significativas.

Gráfico 58 - Área do maior fragmento na Área externa 3 (km²) por ano estudado

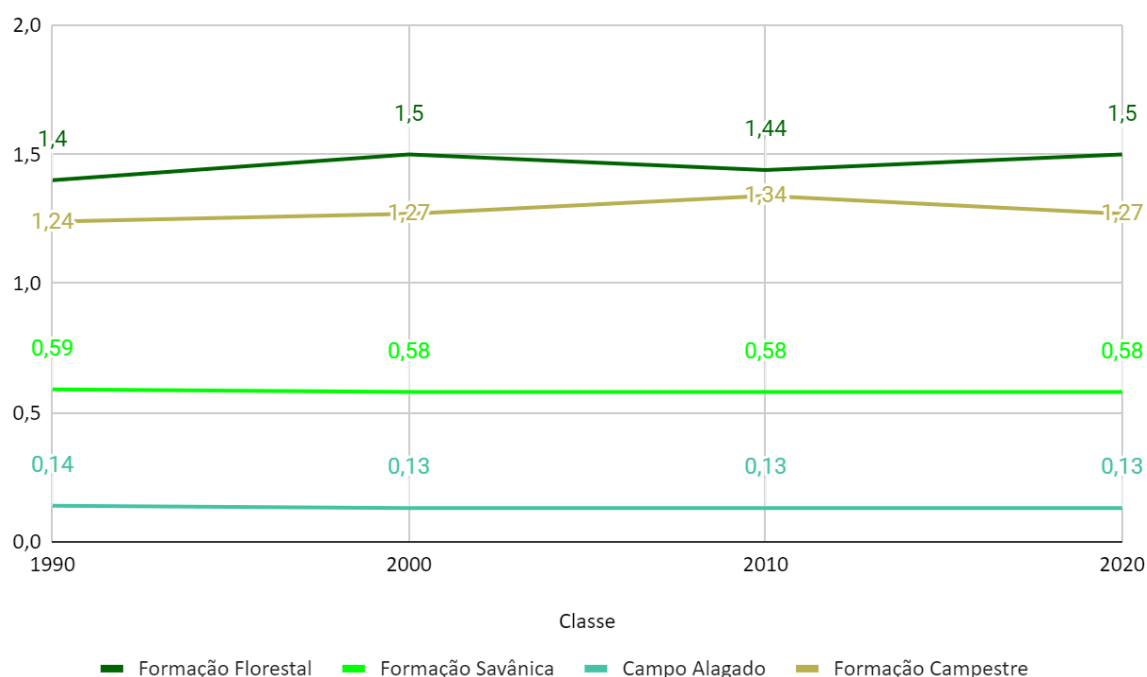
Fonte: Autoria própria.

Com base na análise do Gráfico 59 é possível aferir que a métrica de área do maior fragmento apresentou um bom desempenho na Área externa 3, pois não houve redução significativa em nenhuma subclasse.



Fonte: Autoria própria.

O índice de densidade de fragmentos de todas as classes (Gráfico 60) não sofreu alterações significativas.

Gráfico 60 - Densidade de fragmento na Área externa 3 (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

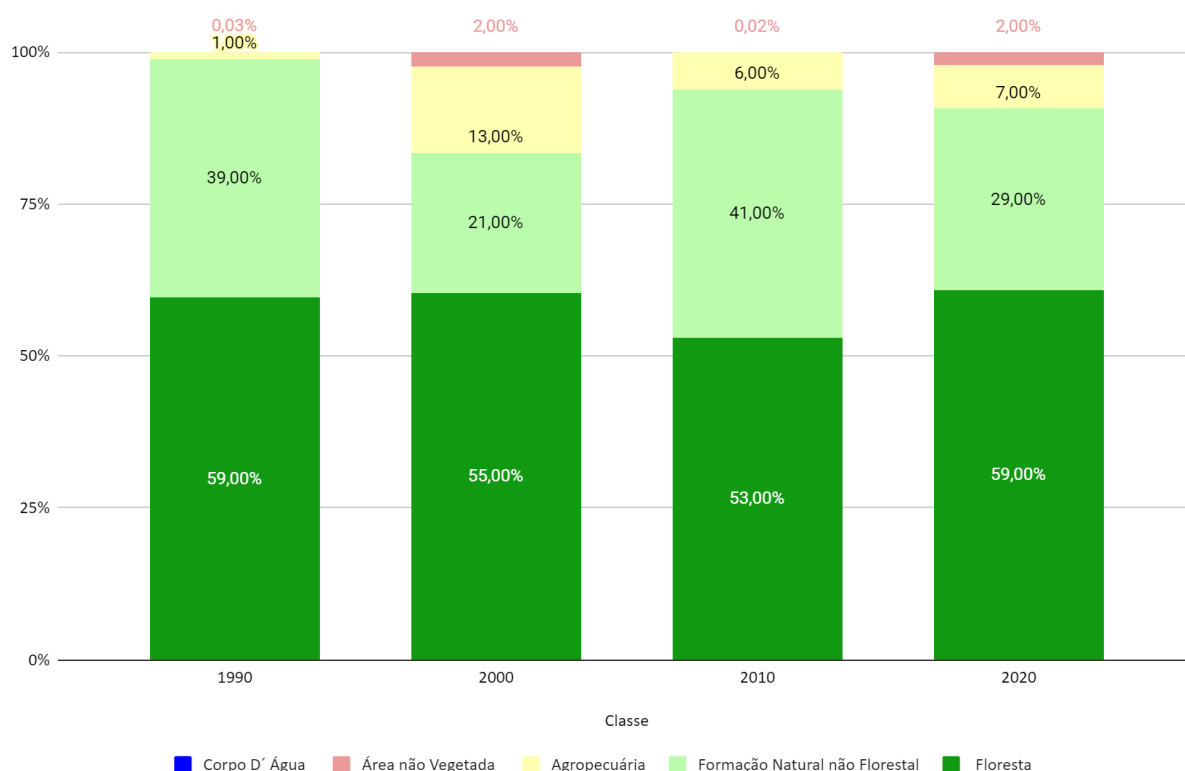
De acordo com Brega (2018), que analisou o cultivo de soja na região do MATOPIBA, os municípios onde a área externa 3 está inserida apresentam alta produção de soja, a saber: Alto Parnaíba (MA), com 988,24 mil toneladas e Santa Filomena (PI), com 834,36 mil toneladas. Segundo o autor, estes são os terceiro e quarto maiores produtores de soja da região estudada, o que pode explicar o crescimento da classe agropecuária ao longo dos anos observados neste trabalho.

5.3.4 Área externa 4

A Área externa 4 possui uma área de 1.210.000 ha e está localizada nos municípios de Novo Acordo, Rio Sono, Lizarda e Mateiros, todos no estado do Tocantins.

O Gráfico 61 apresenta os dados de cobertura do solo e porcentagem de cada classe da Área externa 4, no qual é possível aferir que houve um aumento de 1% para 7% na cobertura da classe “Agropecuária”, se comparado o ano de 1990 com 2020. Em 2000, a mesma classe teve o seu valor máximo de 13% que, somada à classe “Área não Vegetada” (2%), representaram 15% da cobertura do solo naquele ano.

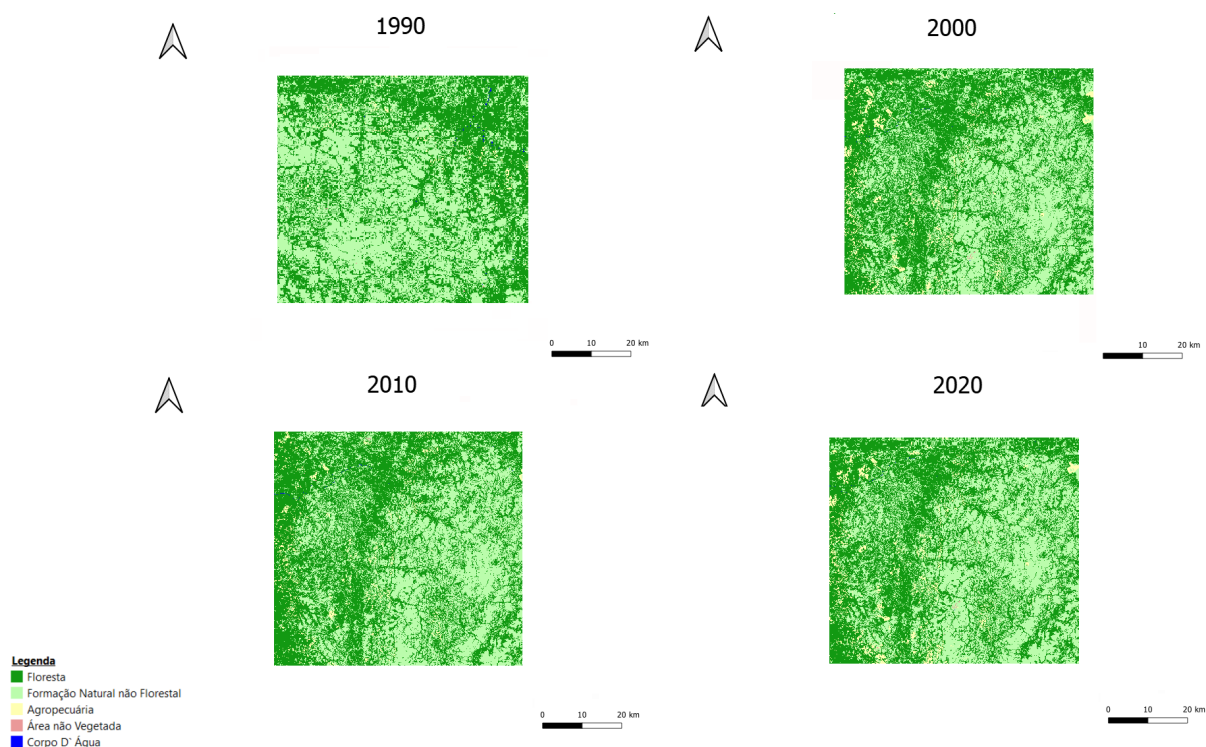
Gráfico 61 - Porcentagem das classes na Área externa 4 por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

A Mapa 13 mostra as classes de cobertura do solo na amostra de Área externa 4 entre os anos de 1990 e 2020, onde é possível notar a presença da “Agropecuária” a partir da década de 2000, quando essa classe apresentou a sua maior concentração.

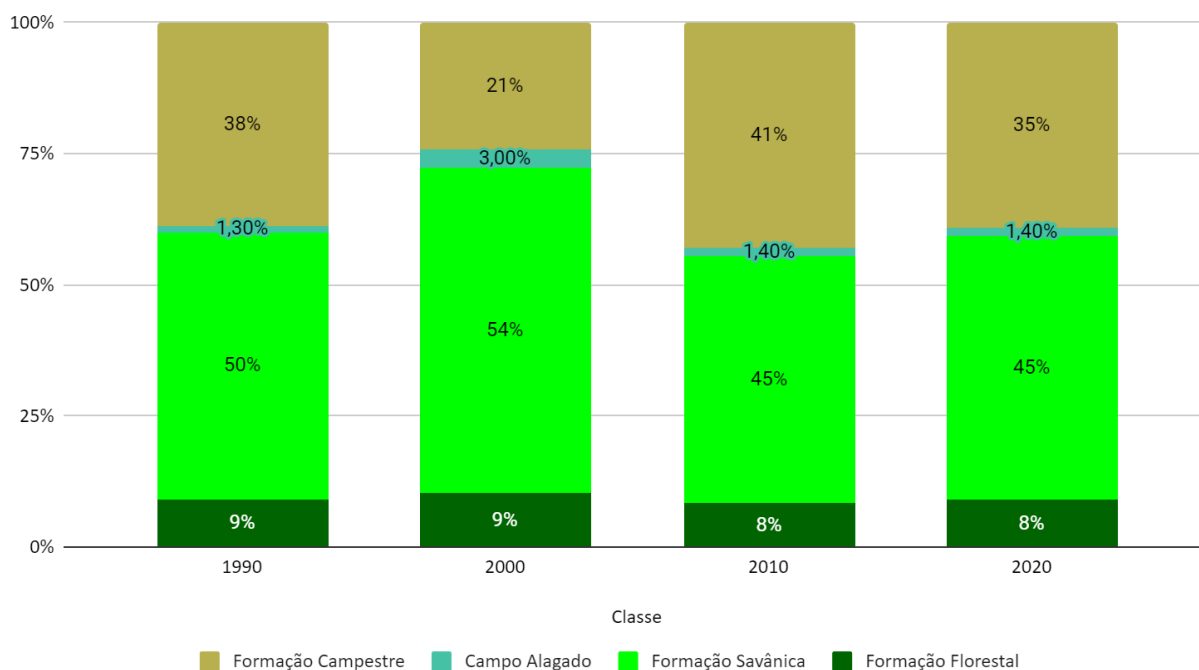
Mapa 13 - Classes de cobertura do solo na Área externa 4 entre 1990 e 2020



Fonte: Autoria própria.

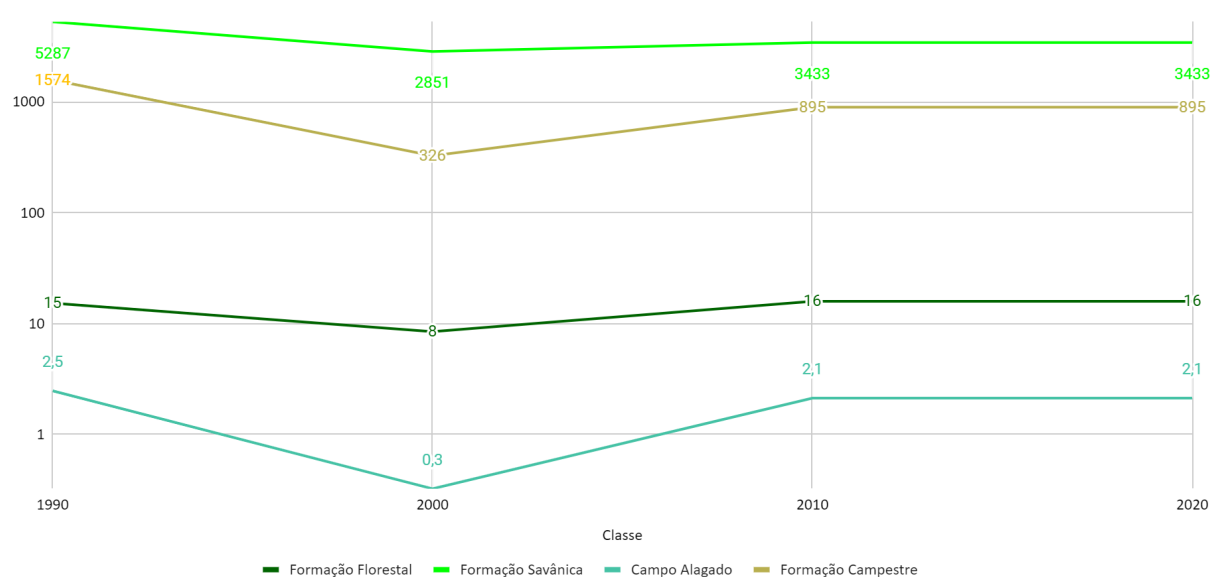
O Gráfico 62 apresenta as porcentagens de cobertura do solo das subclasses “Formação Savânica”, “Formação Florestal”, “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, que representam a maior cobertura na Área externa 4 e, por isso, foram analisadas com as métricas de tamanho do maior fragmento, tamanho médio de fragmento e densidade de fragmentos, para que fosse possível avaliar as mudanças na paisagem na Área externa 4 ao longo de três décadas.

Gráfico 62 - Porcentagem de cobertura do solo na Área externa 4 por ano estudado



Fonte: Autoria própria.

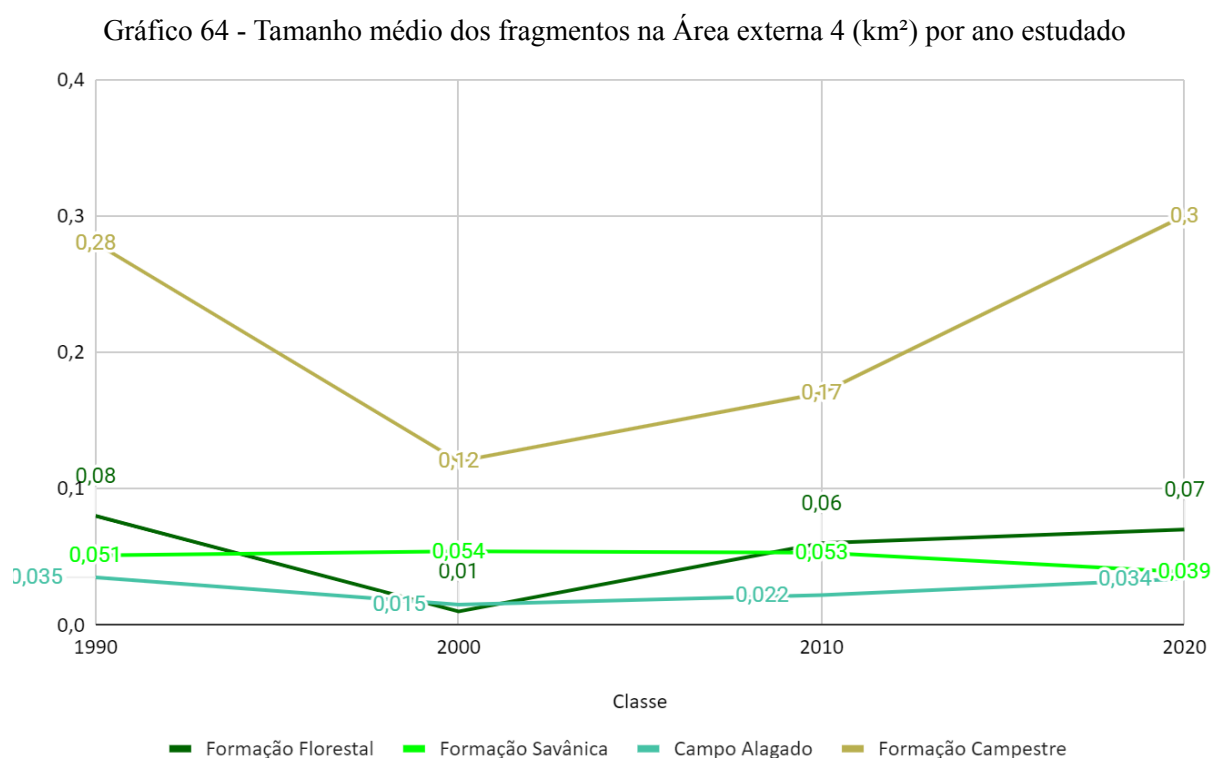
Com base na análise do Gráfico 63, foi possível aferir que a área do maior fragmento sofreu fortes reduções tanto para a subclasse “Formação Savânica”, quanto para a “Formação Campestre”. Enquanto a primeira perdeu 1.853,4 km² (35%), a segunda reduziu 679 km² (43%). Esse evento foi mais expressivo entre os anos de 1990 e 2000, mesmo período em que a classe “Agricultura” cresceu de 1% para 13% na cobertura do solo da área (Gráfico 61).

Gráfico 63 - Área do maior fragmento na Área externa 4 (km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

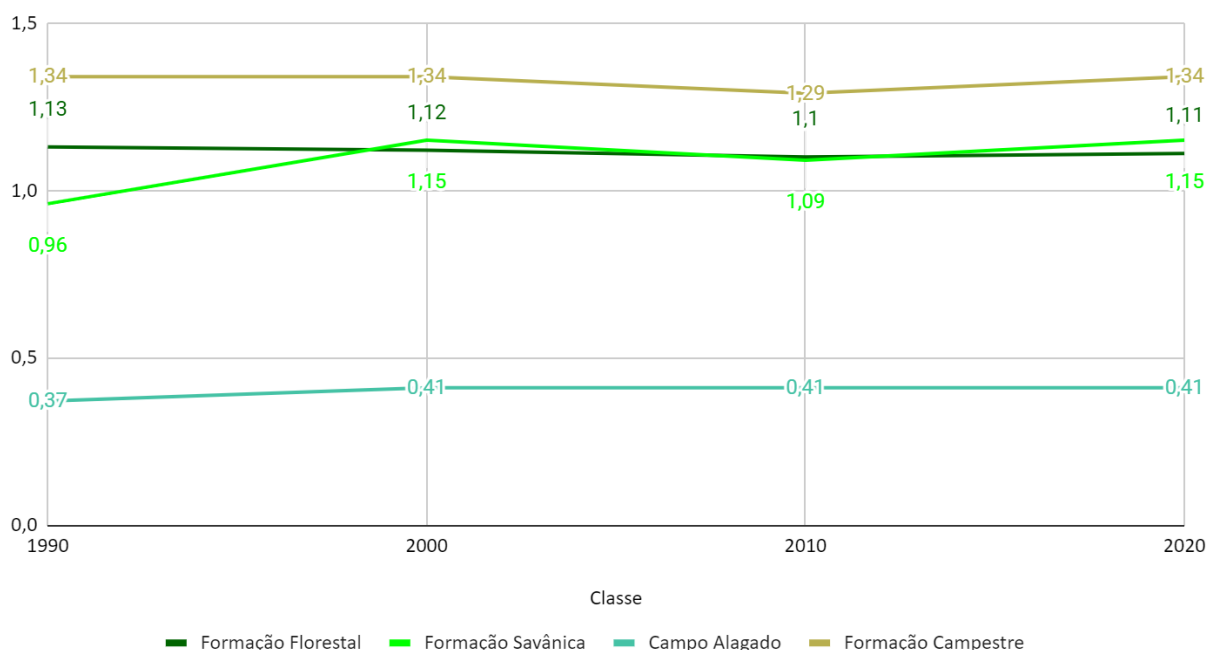
Nas décadas seguintes, a métrica teve uma leve recuperação, mas manteve-se significativamente abaixo do valor apresentado no início do período de estudo.

No que diz respeito ao tamanho médio dos fragmentos (Gráfico 64), também detectou-se reduções expressivas entre os anos de 1990 e 2000 nas subclasses “Formação Campestre” e “Formação Florestal”, mas os valores voltaram próximos ao patamar inicial ao longo das décadas seguintes. As demais subclasses não apresentaram variações significativas.



Fonte: Autoria própria.

O índice de densidade de fragmentos de todas as subclasses (Gráfico 65) não sofreu alterações importantes no período analisado.

Gráfico 65 - Densidade de fragmento na Área externa 4 (Frag./km²) por ano estudado

Fonte: Autoria própria.

De acordo com Arruda (2020), os arranjos produtivos do cultivo de soja na região do MATOPIBA localizada dentro do Tocantins apresentaram um aumento de 4 para 24 municípios com áreas com cultivo de soja entre 2004 e 2017, o que pode explicar o crescimento observado da classe “Agropecuária” e evidencia a região como uma fronteira agrícola em ascensão ao longo dos anos observados neste trabalho.

5.4 Análises conjuntas

Para examinar a contribuição das unidades de conservação de proteção integral e de uso sustentável, e compará-las com as áreas externas que não são áreas protegidas, os resultados foram organizados de forma conjunta, estabelecendo-se porcentagem de aumento ou diminuição das métricas de cobertura do solo, área do maior fragmento, tamanho médio dos fragmentos e densidade de fragmentos para as quatro subclasses de cobertura do solo.

O método adotado estabeleceu como referencial o valor do ano de 1990 e foi comparado com o ano de 2020, ou seja, dividiu-se o valor apresentado em 2020 pelo valor de 1990. Com isso, encontrou-se a variação percentual das métricas.

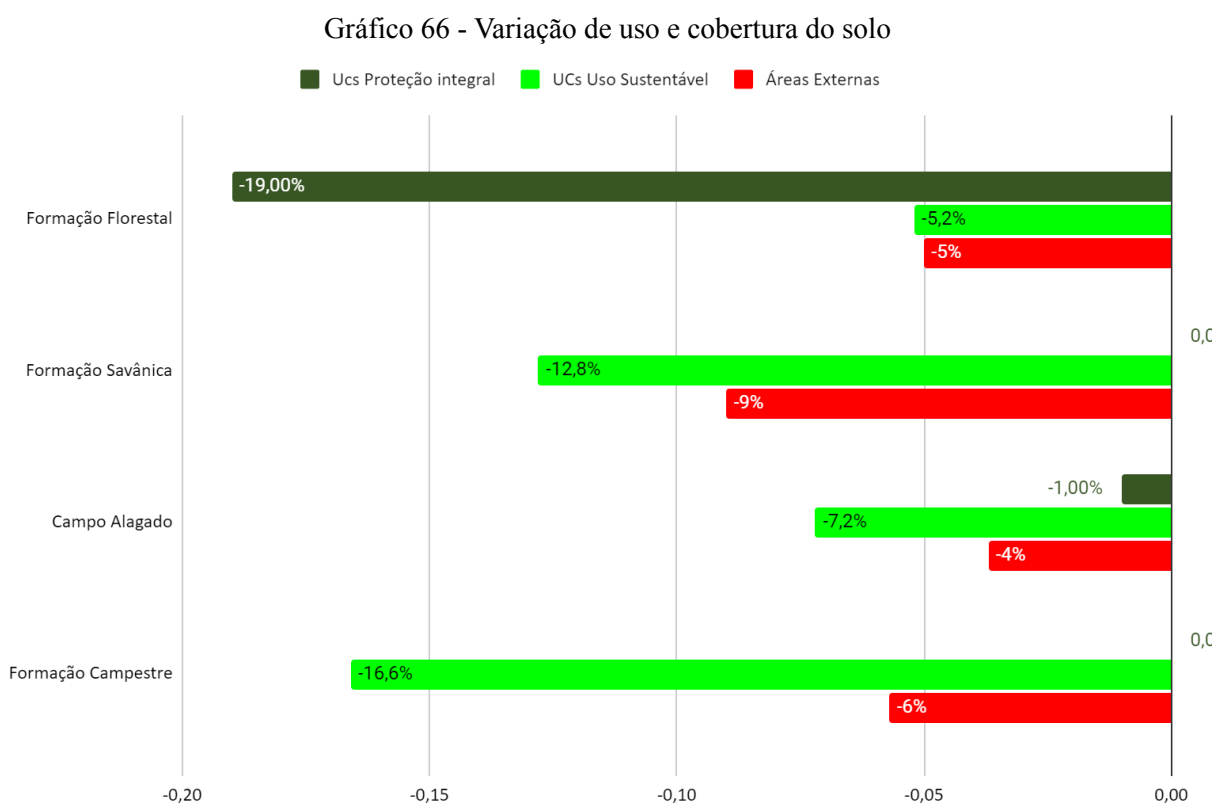
A média dessas variações foi calculada para os três grupos (unidades de conservação de proteção integral, de uso sustentável e áreas externas), a fim de se obter um entendimento

integral dos fenômenos em relação aos grupos estudados e seus desempenhos na preservação ambiental.

Para evitar distorções nos resultados de média, as classes que apresentaram menos de 1.5% da cobertura vegetal no ano de 1990 foram desconsideradas para a análise. Assim, a classe 2.1, correspondente ao “Campo Alagado”, não foi considerada nas seguintes áreas de estudo: Área externa 1, RPPN Fazenda Minnehaha e APA Serra da Tabatinga.

5.4.1 Variação da cobertura de solo

O Gráfico 66 mostra os resultados de médias de variações de cobertura do solo das quatro subclasses analisadas, no qual é possível observar que a variação gerou resultados evidentemente mais satisfatórios nas unidades de proteção integral, com exceção na subclasse “Formação Florestal” em que as unidades de uso sustentável foram melhores. Tal fato pode ser explicado pelo desempenho negativo da ESEC Serra Geral do Tocantins, que teve uma diminuição de 70% de cobertura dessa subclasse (Gráfico 68).



Fonte: Autoria própria.

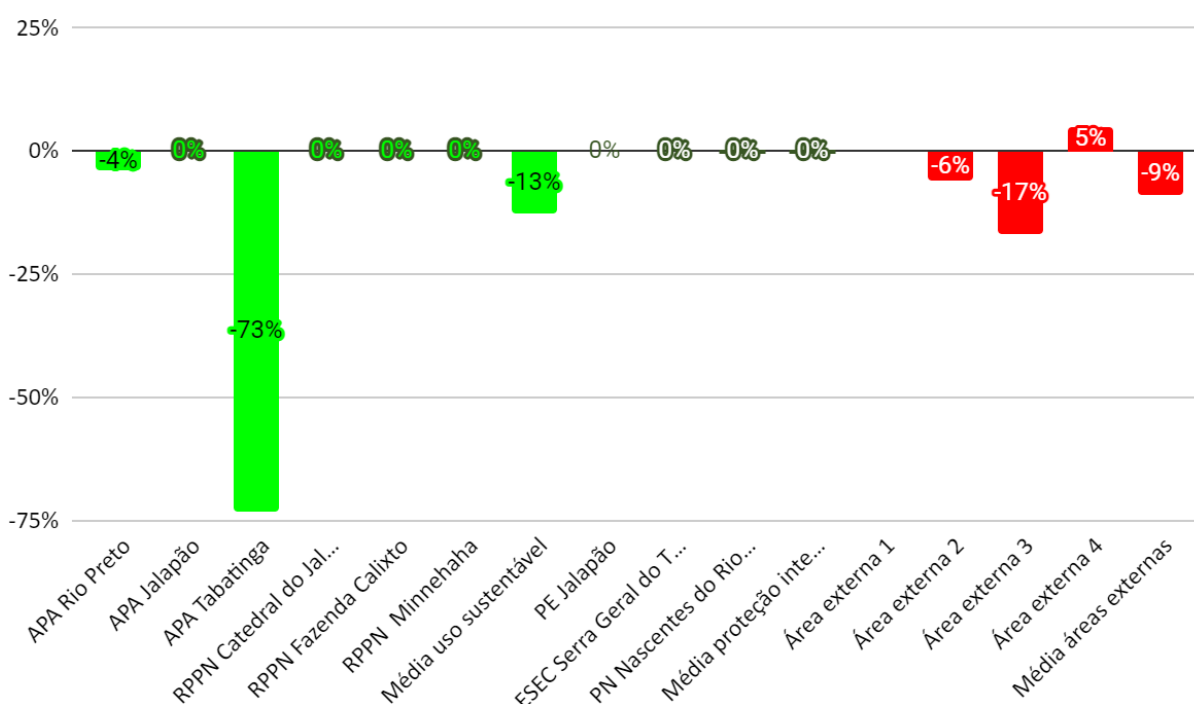
No entanto, é importante salientar que a porcentagem de “Formação Florestal” na ESEC foi de 1,7% em 1990, para 1% em 2020. O PE do Jalapão que teve uma perda de 4% (Gráfico 68), se comparado o ano de 1990 com o de 2020.

Contudo, as unidades de conservação de uso sustentável tiveram mais perdas que as áreas externas. Isso se deve ao desempenho significativamente negativo da APA Serra da Tabatinga, que teve suas coberturas de “Formação Savânica” e “Formação Campestre” extremamente afetadas, perdendo respectivamente 73% (Gráfico 67) e 63% (Gráfico 69) de sua área original, se comparado o período de 1990 e 2020.

Também é possível perceber pelo Gráfico 66 que o conjunto das áreas externas apresentaram variação negativa em todas as subclasses dentro do período analisado.

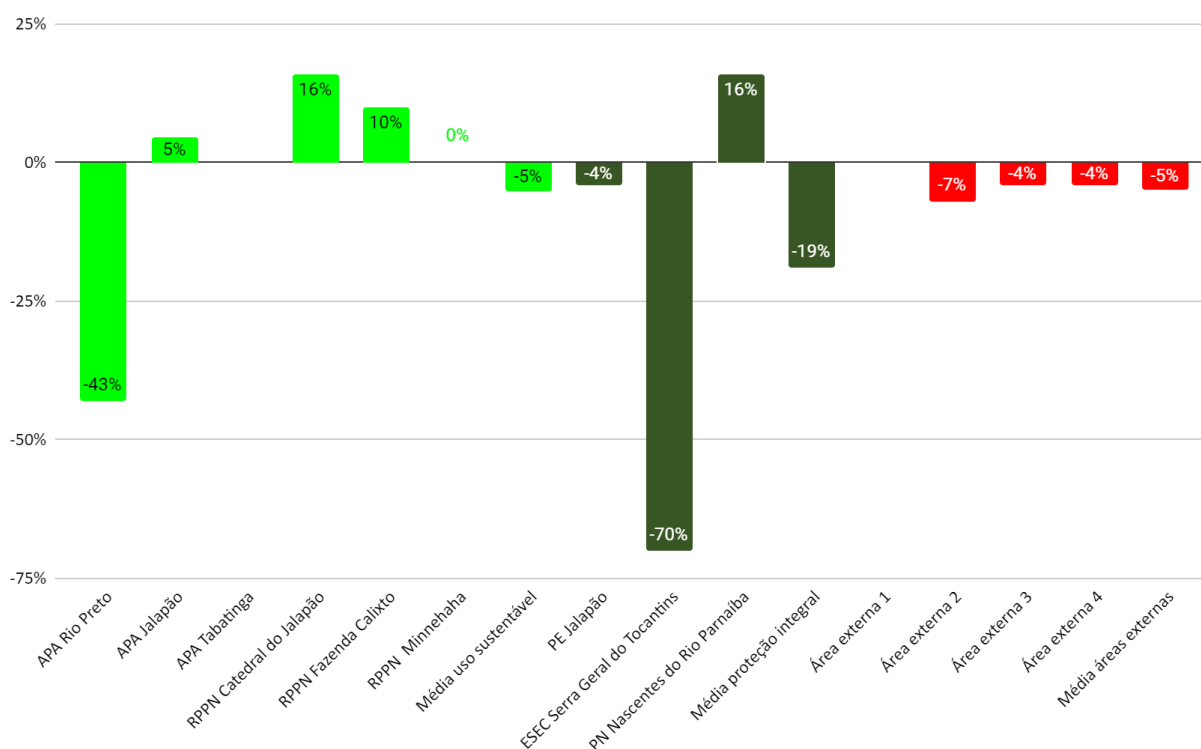
Os Gráficos 67, 68, 69 e 70 demonstram o desempenho individual das unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral, assim como os resultados das áreas externas e as médias de cada grupo.

Gráfico 67 - Variação de cobertura do solo da subclasse Formação Savânica



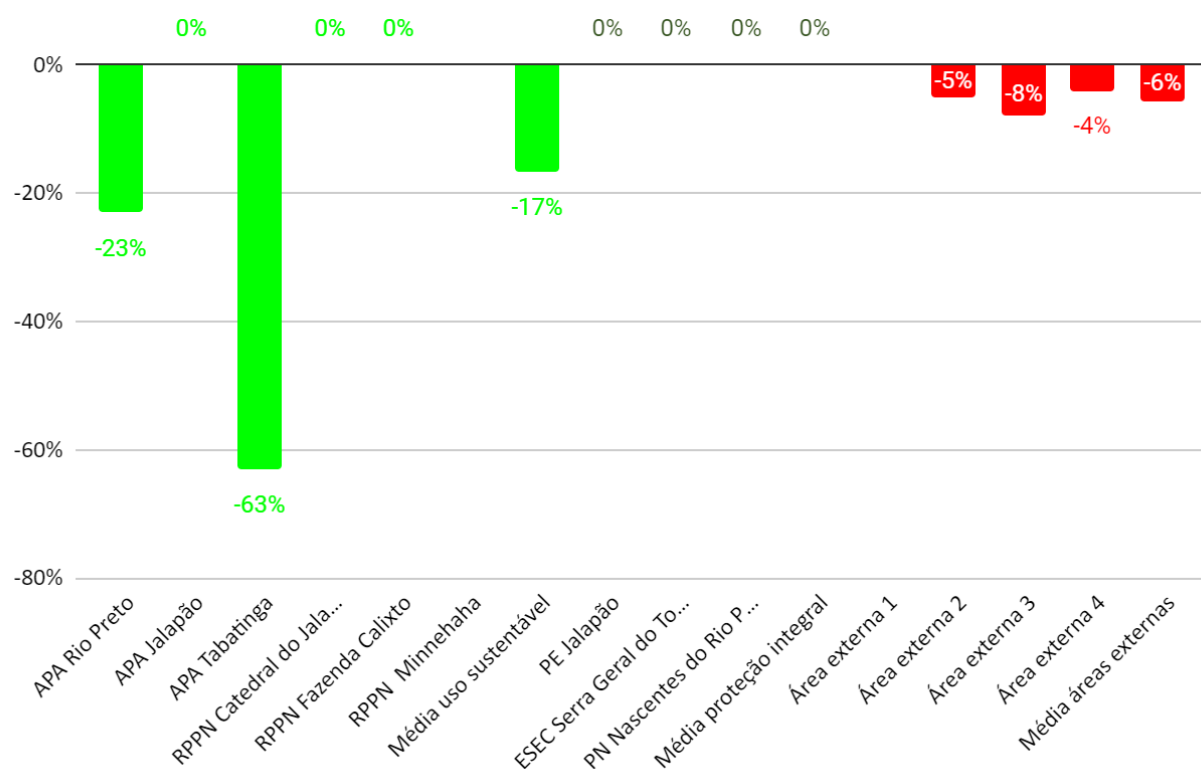
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 68 - Variação de cobertura do solo da subclasse Formação Florestal



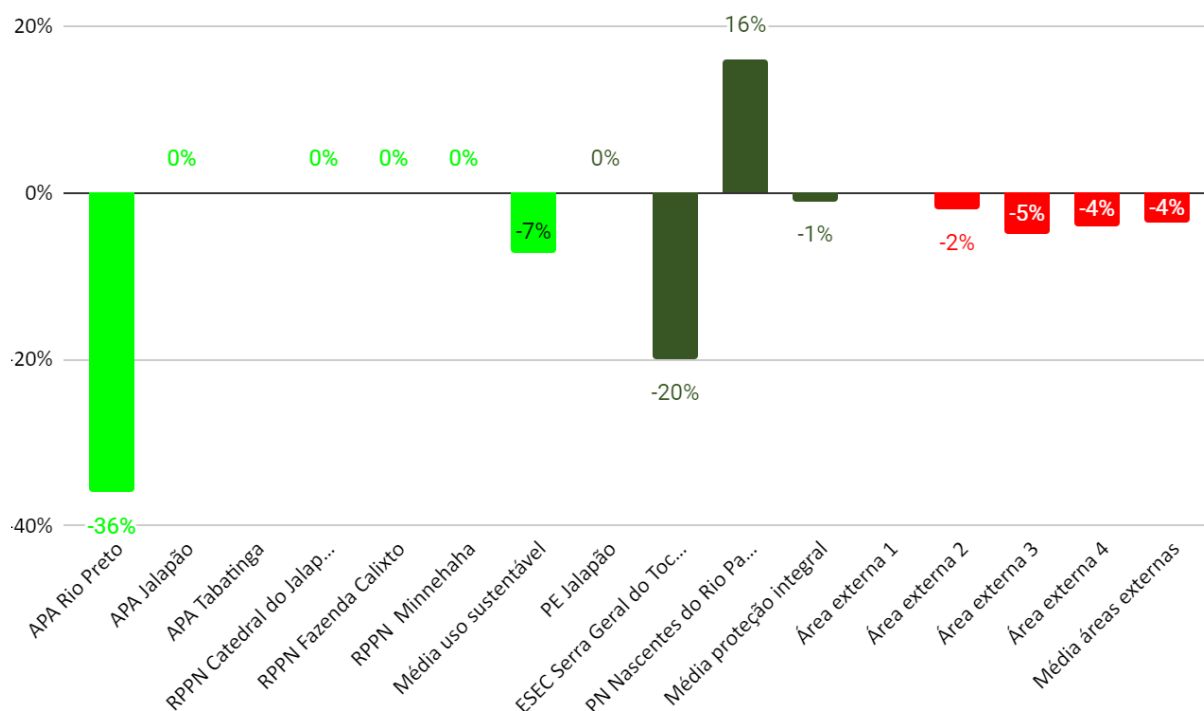
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 69 - Variação de cobertura do solo da subclasse Formação Campestre



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 70 - Variação de cobertura do solo da subclasse Campo Alagado



Fonte: Autoria própria.

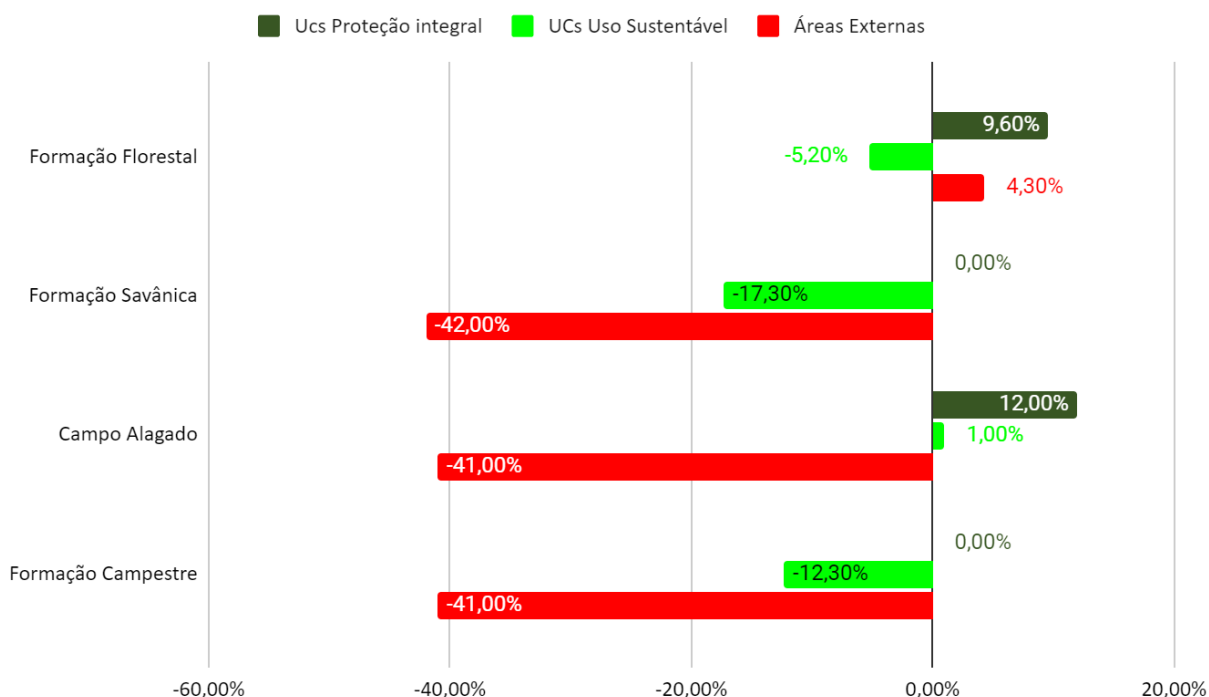
Analisando os gráficos, fica evidente os desempenhos negativos das APAs Serra da Tabatinga e do Rio Preto em praticamente todas as subclasses analisadas.

Os dados apresentados confirmam as tendências apresentadas por Santos et al. (2022), em que os autores comparam a eficácia das unidades de conservação presentes na região do Mosaico do Jalapão em relação às áreas externas. Segundo os autores, as unidades de proteção integral apresentaram quantidades maiores de vegetação natural se comparadas com as áreas externas e as unidades de uso sustentável.

5.4.2 Variação da área do maior fragmento

A variação da área do maior fragmento das subclasses “Formação Savânica”, “Campo Alagado” e “Formação Campestre” seguiu o mesmo padrão da variação de cobertura do solo e apresentou melhores resultados nas unidades com maior nível de restrição de uso do solo, as unidades de proteção integral, seguidas pelas de uso sustentável e, por último, as áreas externas. O Gráfico 71 mostra as médias de variações da área do maior fragmento das quatro subclasses analisadas.

Gráfico 71 - Variação da área do maior fragmento

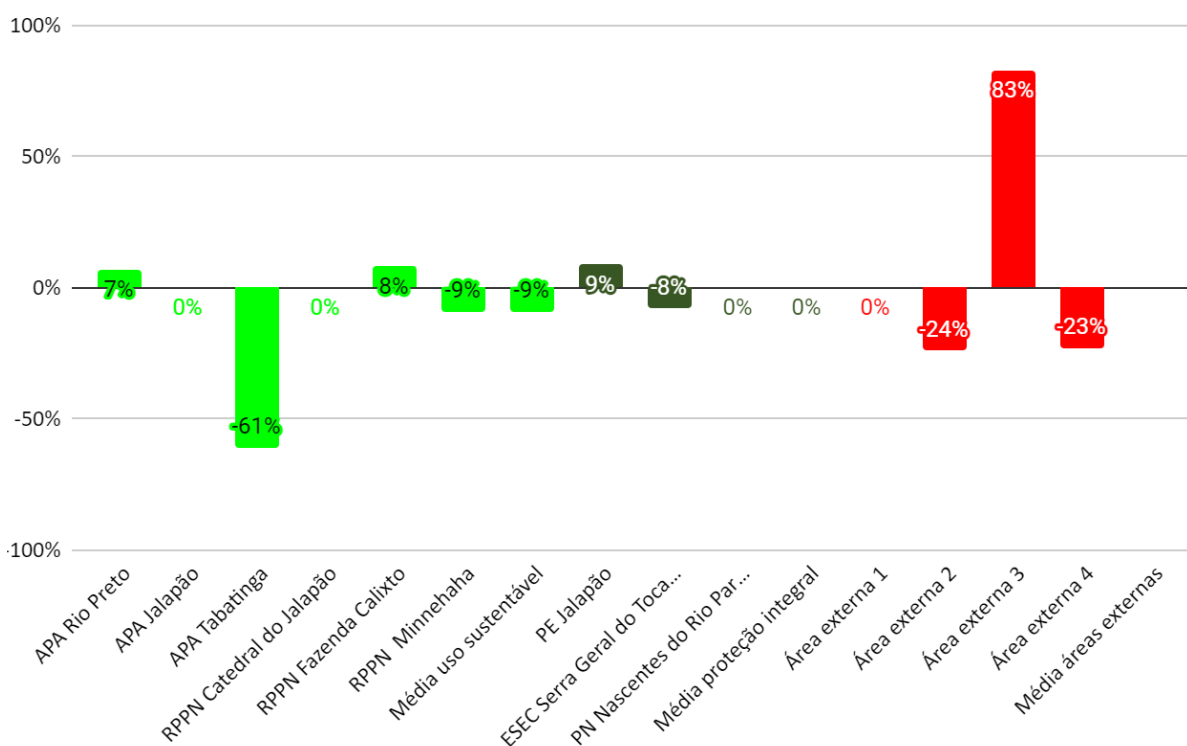


Fonte: Autoria própria.

Para a subclasse “Formação Florestal” foi observado um padrão diferenciado das demais. Apesar das unidades de proteção integral apresentarem o melhor resultado, com 22.2% de aumento da área do maior fragmento, as unidades de uso sustentável tiveram mais perdas ao serem comparadas com as áreas externas, onde as unidades de conservação tiveram uma queda de 5.2% e as áreas externas, por outro lado, tiveram um aumento de 4.3% (Gráfico 71). Este padrão é explicado pelo resultado ruim observado na APA do Rio Preto, que apresentou uma perda de 36% na área do maior fragmento dessa subclasse (Gráfico 73).

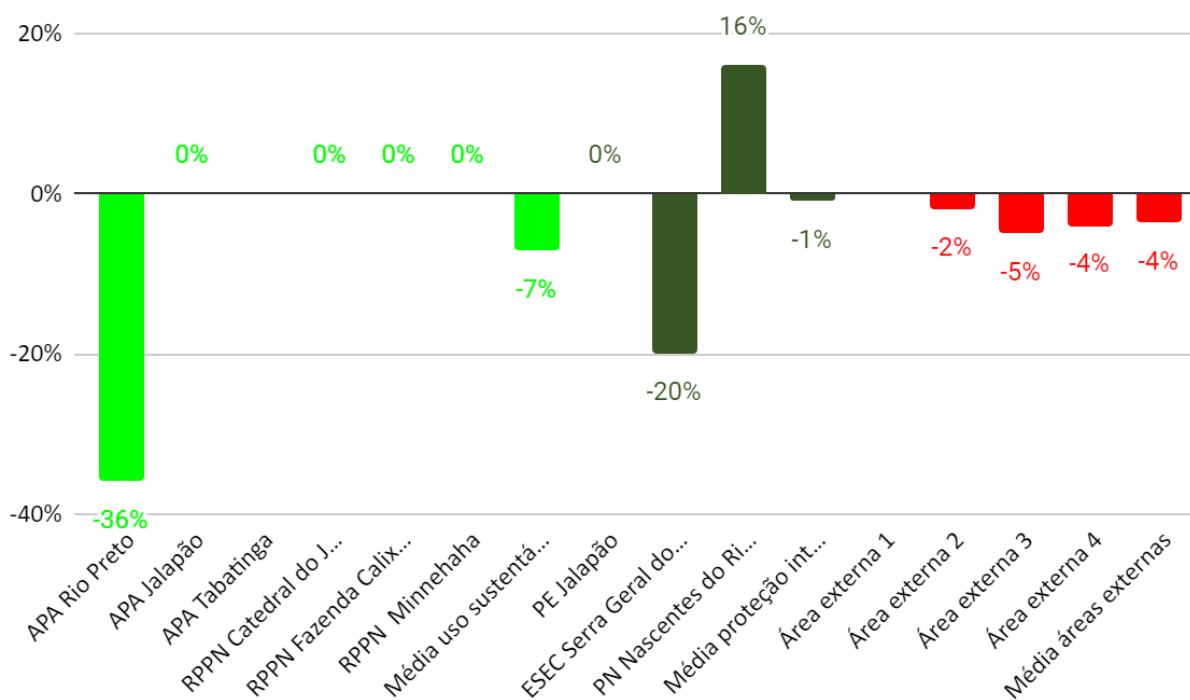
Os gráficos abaixo demonstram o desempenho individual das unidades de conservação de uso sustentável, de proteção integral, das áreas externas e suas respectivas médias.

Gráfico 72 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Formação Savânica



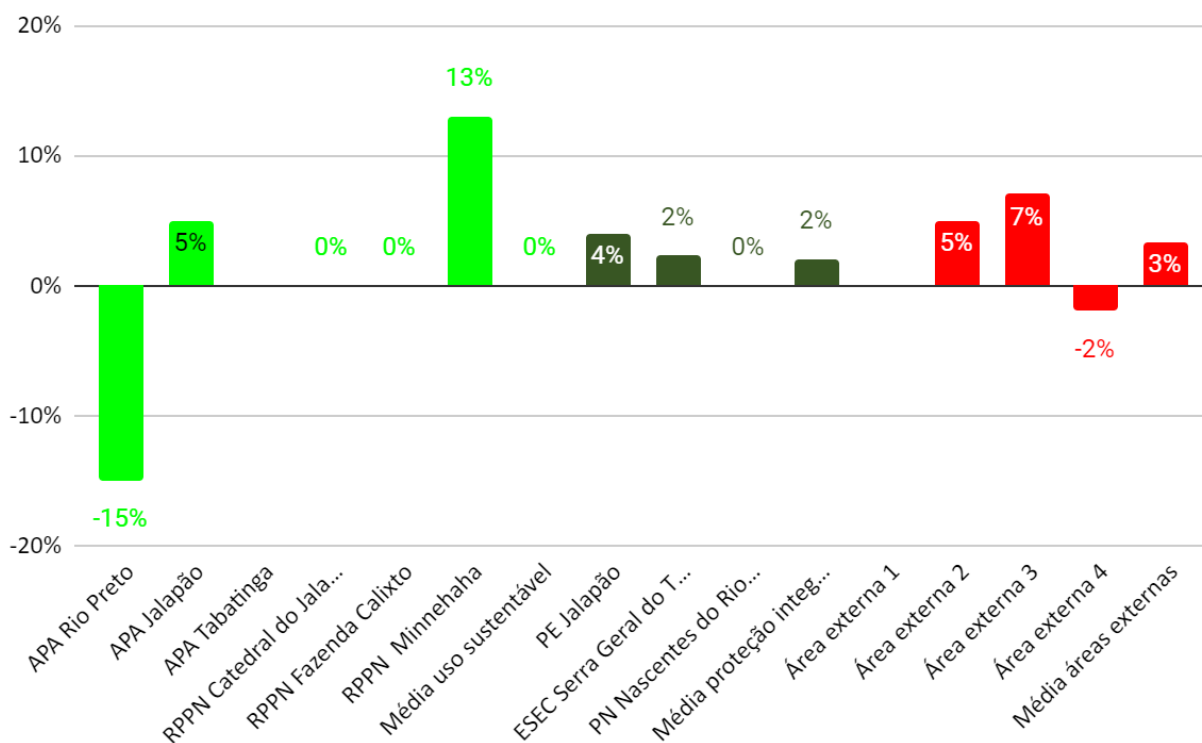
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 73 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Formação Florestal



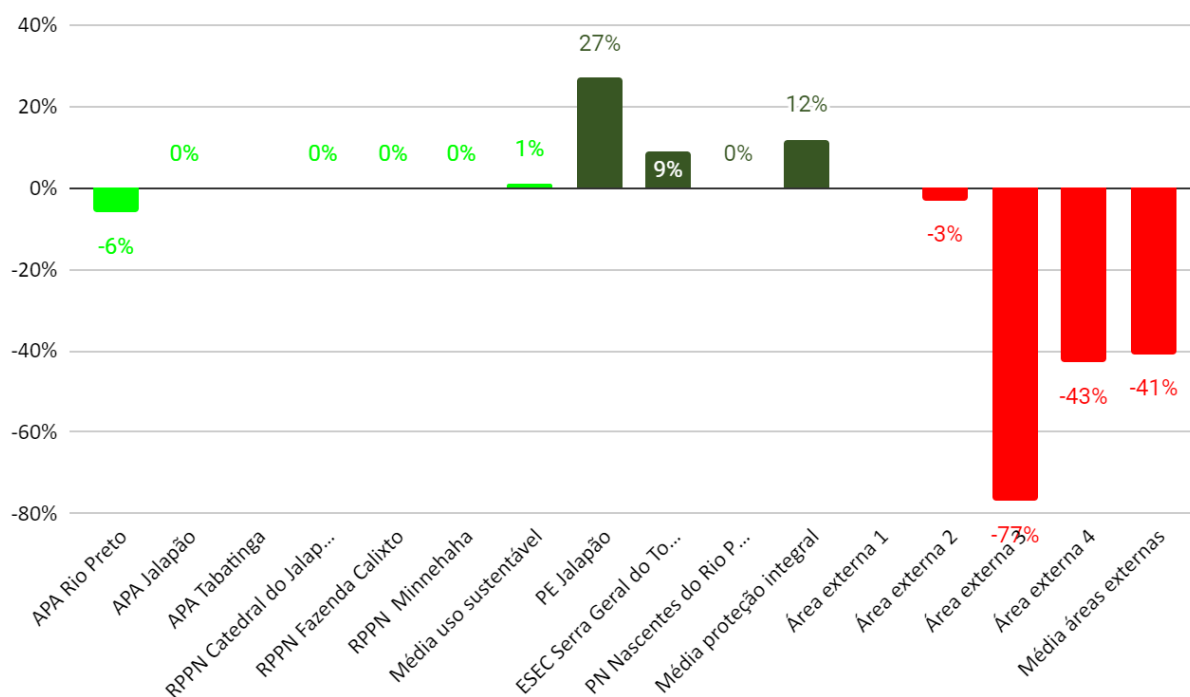
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 74 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Formação Campestre



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 75 - Variação da área do maior fragmento da subclasse Campo Alagado



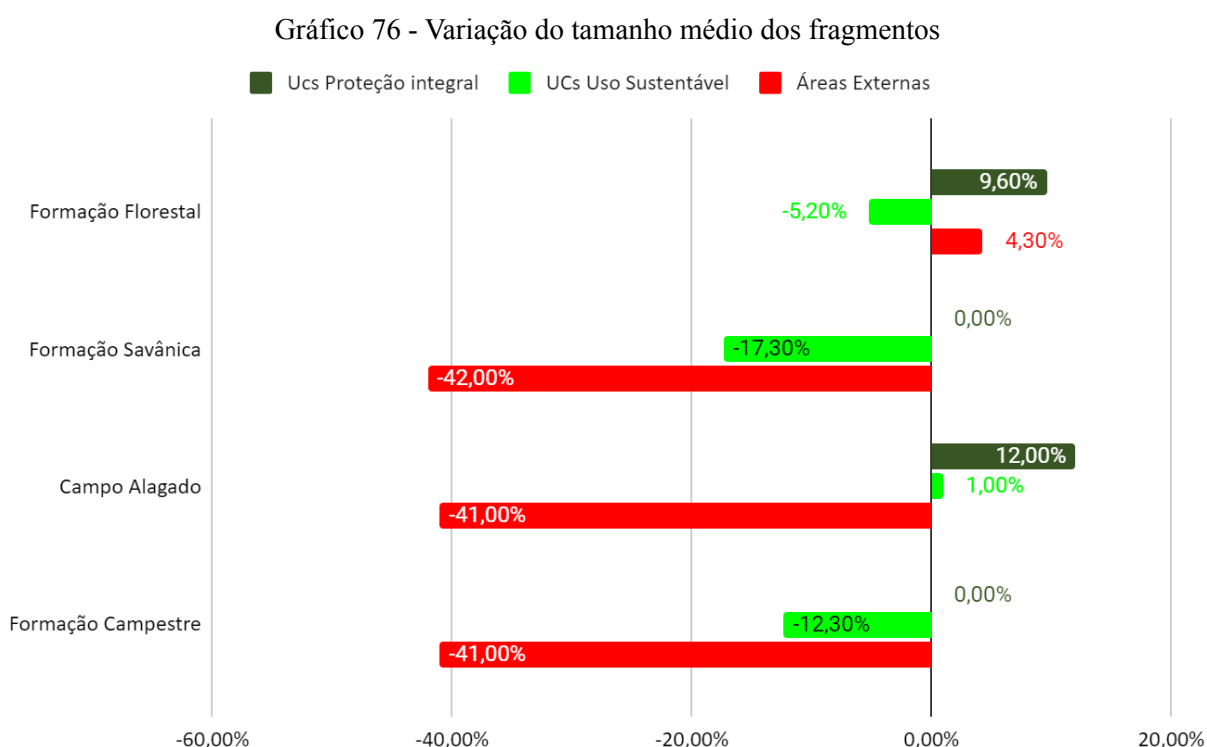
Fonte: Autoria própria.

Analisando os gráficos, fica evidente os desempenhos negativos das APAs Serra da Tabatinga e do Rio Preto, bem como das áreas externas, em praticamente todas as subclasses analisadas. As unidades de proteção integral, por outro lado, apresentaram ganhos consideráveis de “Formação Florestal” e “Campo Alagado” e não demonstraram perdas nas demais subclasses, foi possível observar que as áreas externas tiveram mais perdas que as unidades de conservação (Gráfico 71).

Assim, os dados obtidos confirmam novamente as tendências apresentadas por Santos et al. (2022).

5.4.3 Variação do tamanho médio dos fragmentos

O Gráfico 76 a seguir mostra as médias das variações do tamanho médio dos fragmentos nas quatro subclasses analisadas. A variação da subclasse “Formação Florestal” apresentou um padrão em que as UCs de proteção integral se mostraram mais eficazes do que as UCs de uso sustentável. Porém, as UCs de uso sustentável tiveram mais perdas do que as áreas externas. Tal fenômeno ocorreu devido a variação negativa de 33% e 20% que as APAs do Rio Preto e Serra da Tabatinga apresentaram, respectivamente, nessa métrica (Gráfico 78).



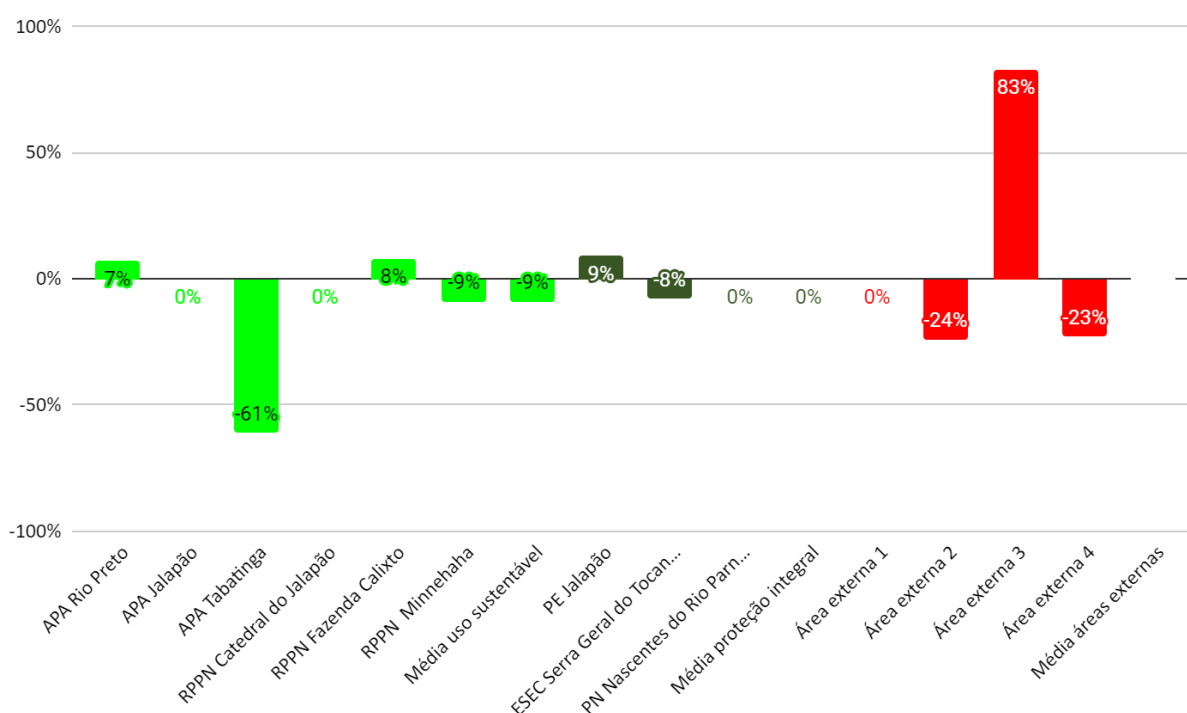
Fonte: Autoria própria.

A “Formação Savânica” apresentou um padrão similar, o que pode ser explicado pela variação negativa de 61% na APA Serra da Tabatinga (Gráfico 77). Já na subclasse “Campo Alagado”, as unidades de uso sustentável apresentaram o melhor resultado, sendo este melhor do que as UCs de proteção integral. Esse fato pode ser explicado, principalmente, pelos dados obtidos do PE do Jalapão que sofreu redução de 38% no tamanho médio dos seus fragmentos (Gráfico 78).

O mesmo fenômeno que ocorreu na subclasse “Campo Alagado” também foi observado na “Formação Campestre”, devido à redução de 52% no tamanho médio dos fragmentos verificada na mesma UC, o PE do Jalapão (Gráfico 79).

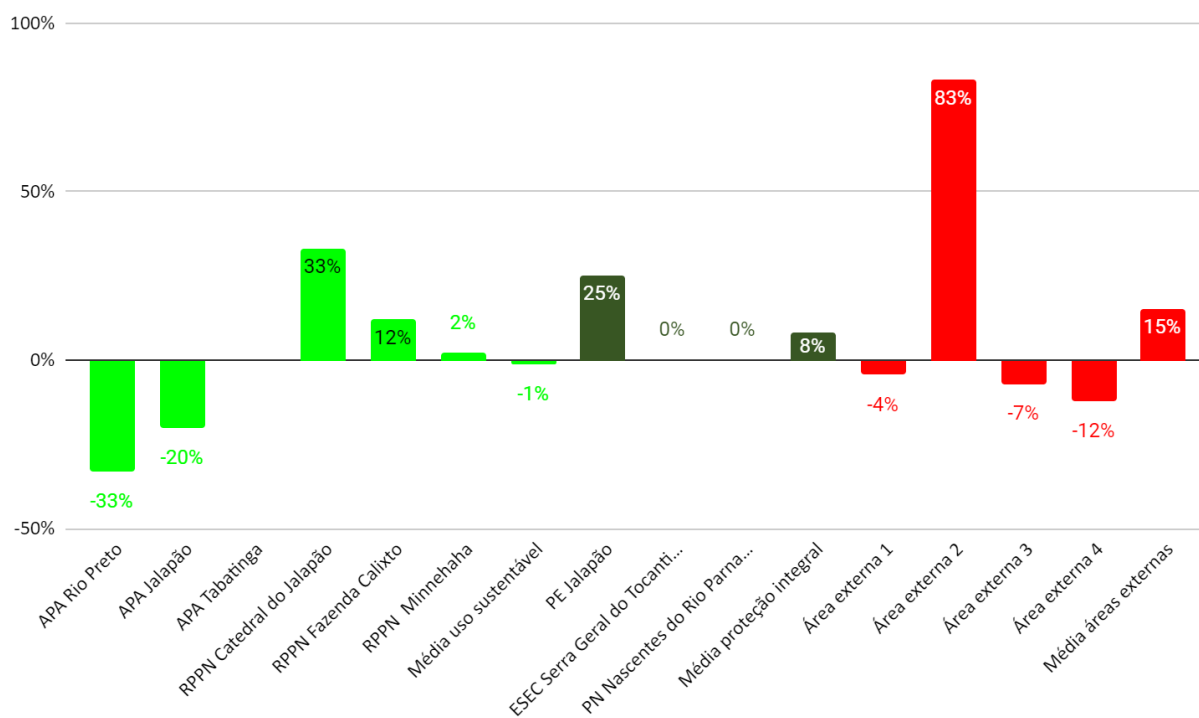
Os gráficos a seguir evidenciam o desempenho individual das unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral, comparando com as áreas externas e suas respectivas médias.

Gráfico 77 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Formação Savânica



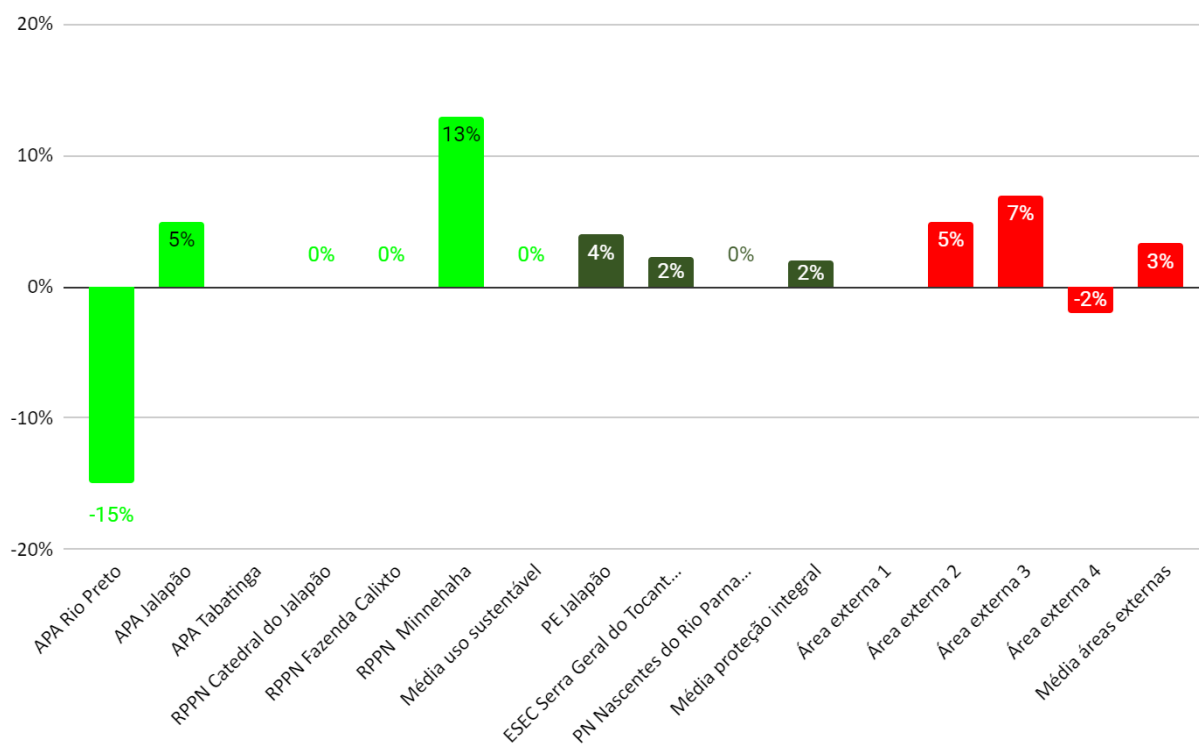
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 78 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Formação Florestal



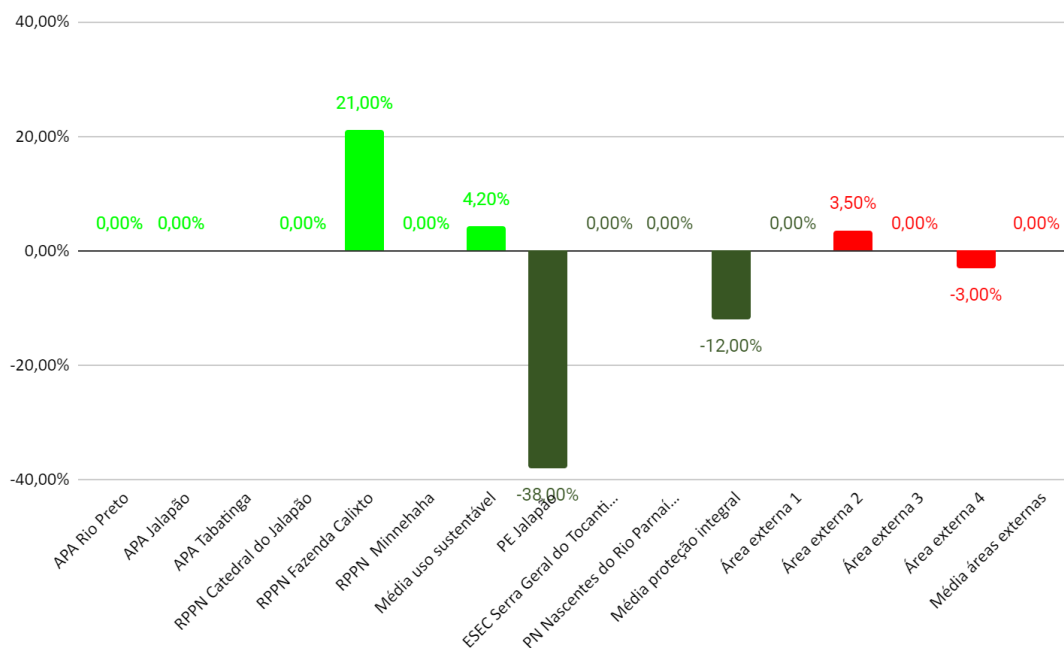
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 79 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Formação Campestre



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 80 - Variação do tamanho médio dos fragmentos da subclasse Campo Alagado

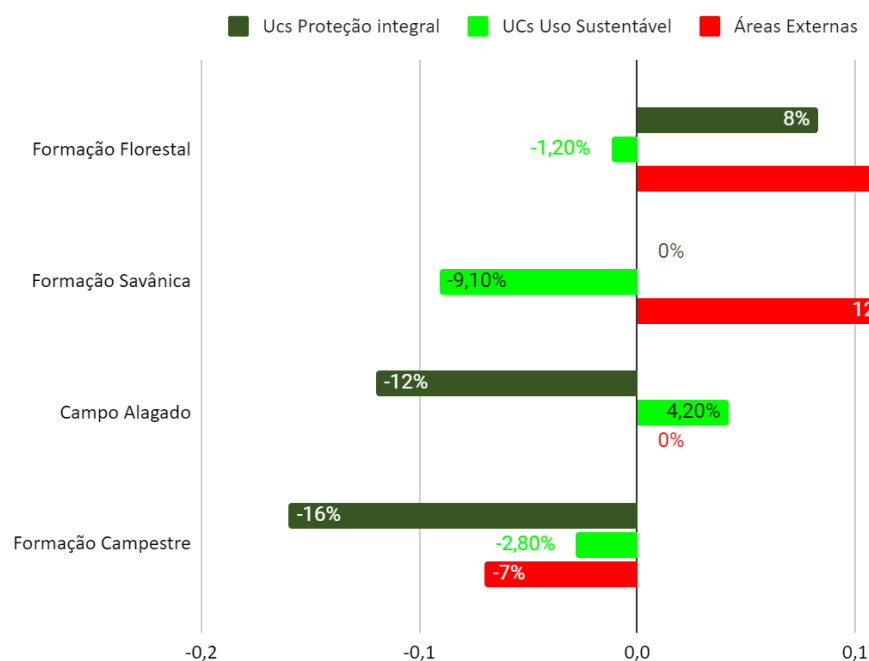


Fonte: Autoria própria.

5.4.4 Variação da densidade de fragmentos

O Gráfico 81 mostra as médias de variações da densidade de fragmentos das quatro subclasses analisadas.

Gráfico 81 - Variação da densidade de fragmentos



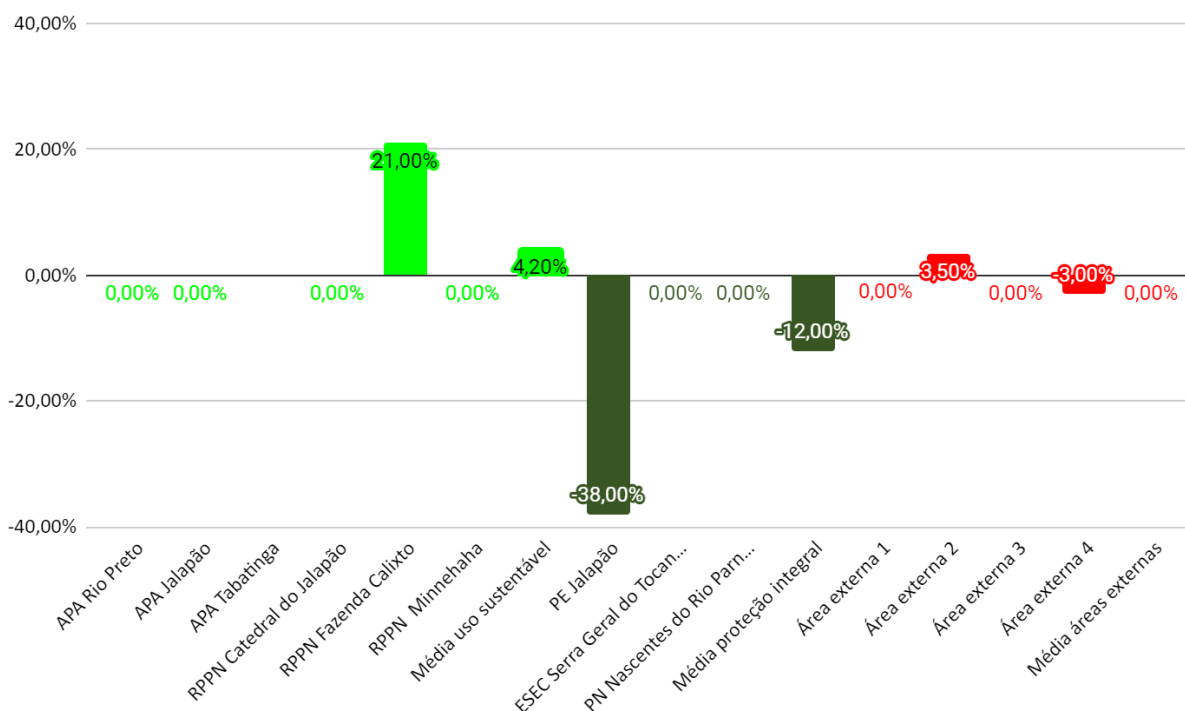
Fonte: Autoria própria.

A variação da densidade de fragmento nas subclasses “Formação Florestal” e “Formação Savânica” obteve resultados mais satisfatórios nas unidades de conservação de uso sustentável do que nas unidades de proteção integral.

As subclasses “Formação Campestre” e “Campo Alagado”, por outro lado, apresentaram resultados de acordo com o esperado, ou seja, os melhores valores foram encontrados nas UCs de proteção integral. As áreas externas tiveram um aumento maior na densidade de fragmento comparado com as áreas protegidas.

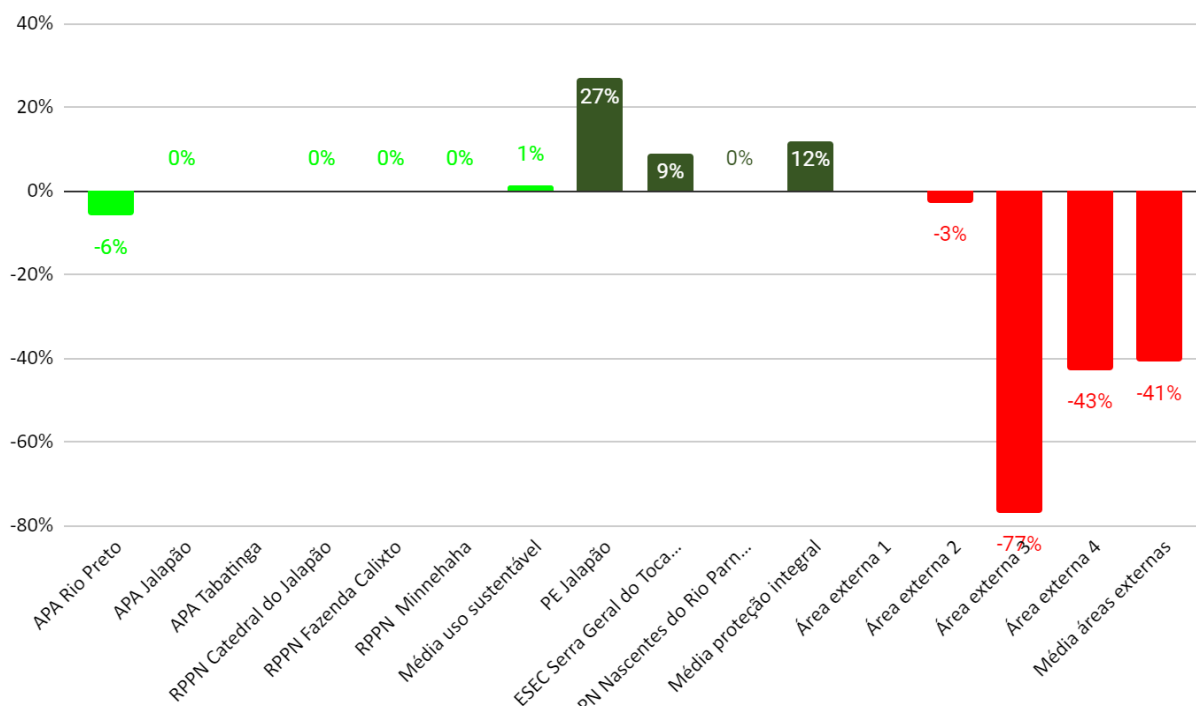
Os Gráficos 82, 83, 84 e 85 evidenciam o desempenho das unidades de conservação de uso sustentável e de proteção integral, em comparação com as áreas externas e suas respectivas médias.

Gráfico 82 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Formação Savânica



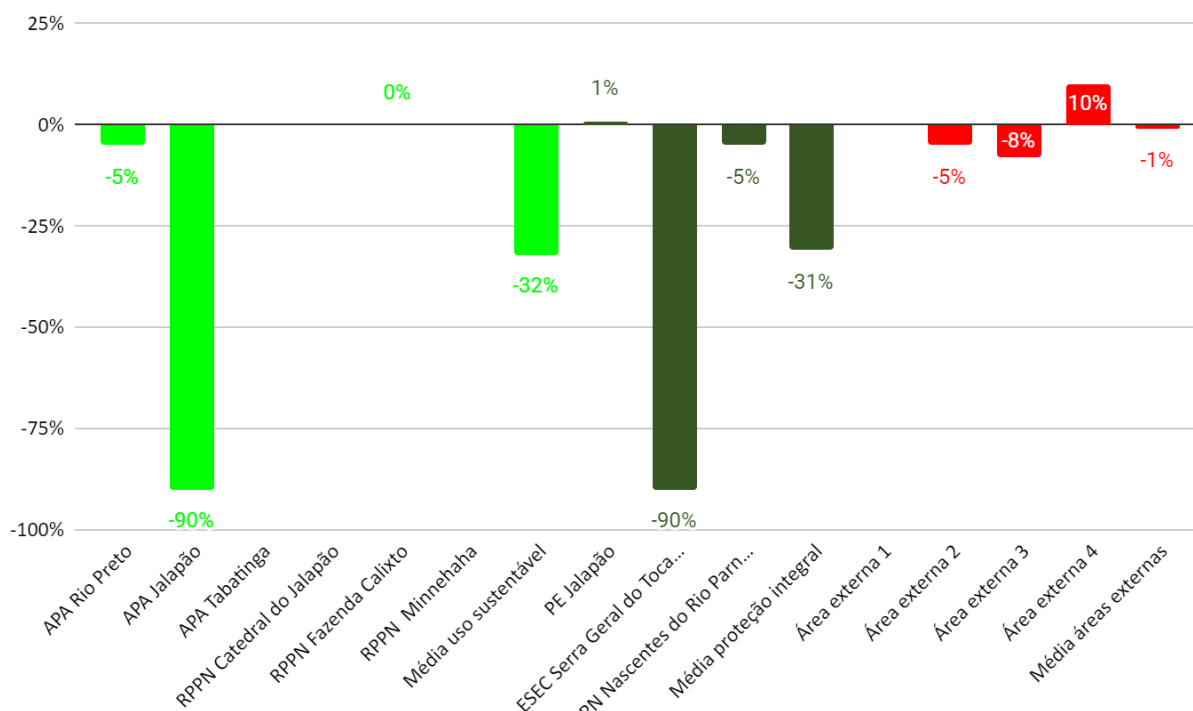
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 83 - Variação da densidade de fragmentos da subclasse Formação Florestal



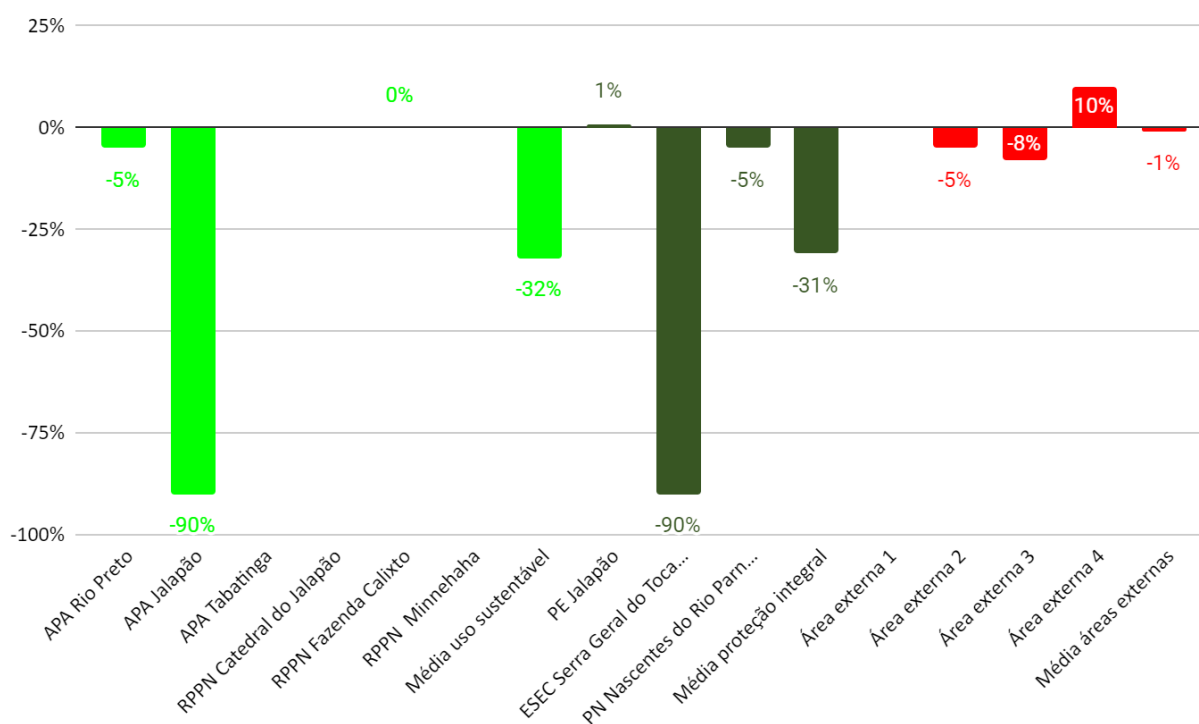
Fonte: Autoria própria.

Gráfico 84 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Formação Campestre



Fonte: Autoria própria.

Gráfico 85 - Variação da densidade de fragmento da subclasse Campo Alagado.



Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÕES

Considerando o desempenho das unidades de conservação da área de estudo, é possível inferir que, de forma geral, as unidades de proteção integral foram as que mais contribuíram para a manutenção de composição e estrutura de paisagens mais favoráveis à conservação da biodiversidade, no período entre 1990 e 2020, seguidas das unidades de uso sustentável. Além disso, as áreas que nunca foram protegidas apresentaram um desempenho inferior às áreas protegidas.

A partir dos resultados obtidos, é possível constatar a necessidade de aprimoramento no manejo de algumas UCs, como a APA Serra da Tabatinga e a APA do Rio Preto, pois em determinadas métricas elas se mostraram mais afetadas quando comparadas com as áreas externas e influenciaram negativamente as médias das unidades de conservação de uso sustentável. Enquanto a primeira apresentou uma redução de 73% de cobertura da subclasse “Formação Savânica” e 63% da subclasse “Formação Campestre”, a segunda obteve uma perda de 42% na área do seu maior fragmento.

7 REFERÊNCIAS

- BALDI, G.; GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M. Characterizing fragmentation in temperate South America grasslands. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 116, n. 3-4, p. 197-208, Set. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906000806>. Acesso em: 12 set. 2022.
- BELCHIOR, E. B.; ALCANTARA, P. H. R.; BARBOSA, C. F. **Perspectivas e desafios para a região do MATOPIBA**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, n. 16, 2017. 3p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1065435/perspectivas-e-desafios-para-a-regiao-do-matopiba>. Acesso em: 11 set. 2022.
- BEUCHLE, R. et al. Land cover changes in the Brazilian cerrado and caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p.116-127, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622815000284>. Acesso em: 09 set. 2022.
- BENNETT, A. F.; SAUNDERS, B. A. Habitat fragmentation and landscape change. In: SODHI, N. S.; EHRLICH, P. L. **Conservation biology for all**. Oxford: Oxford University Press, 2010. p. 88-106.
- BOLFE, E. L. et al. Matopiba em crescimento agrícola: aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**. v. 25, n. 4, p. 38-62, 2016. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1202>. Acesso em: 21 set. 2022.
- BRANNSTROM, C. Environmental policy reform on north-eastern Brazil's agricultural frontier. **Geoforum**, n. 2, p. 257-271, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2004.06.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718504000818>. Acesso em: 05 set. 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 138, p. 21-44, 19 jul. 2000. PL 2892/1992.
- BRASIL. Lista nacional oficial de espécies da fauna ameaçada de extinção. Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Ministério do Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 245, p. 121-126, 17 dez. 2014.

BRASIL. Decreto nº 8.447, de 6 de maio de 2015. Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu Comitê Gestor. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 85, p. 2, 06 maio 2015.

BRASIL. Decreto nº 99.278, de 6 de julho de 1990. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) nos Estados do Maranhão e Tocantins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 18, p. 1-4, 07 jul. 1990.

BRASIL. Portaria nº 105/96-n de 26 de novembro de 1996. Reconhecer, mediante registro, como Reserva Particular do Patrimônio Natural, de Interesse público, e em caráter de perpetuidade, a área de 745 ha (setecentos e quarenta e cinco hectares) na forma descrita no referido processo, constituindo-se parte Integrante do imóvel denominado FAZENDA MINNEHAHA, **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 230, p. 1, 11 1996

BRASIL. Decreto s/n de 16 de julho de 2002. Cria o Parque Nacional do Rio Parnaíba, nos Estados do Piauí, Maranhão, Bahia e Tocantins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 248, p. 1, 16 jul. 2002.

BRASIL. Portaria nº 58 de 27 de julho de 2010. Cria a RPPN Catedral do Jalapão. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 248, p. 21-44, 27 jul. 2010.

BRASIL. Portaria nº 43 de 04 de julho de 2009. Cria a RPPN Fazenda Calixto. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, n. 106, p. 159, 05 jul. 2009.

BRASIL. Decreto s/n, de 27 de setembro de 2001. Cria a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, nos Estados do Tocantins e da Bahia, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 18, p. 12, 28 set. 2001.

BRASIL. Lei nº 1.203 de 12 de janeiro de 2001. Cria a RPPN Fazenda Calixto. **Diário Oficial do Estado**: Palmas, TO, n. 1004, p. 1-3, 13 jan. 2009.

BRASIL. Decreto nº 10.019, de 5 de julho de 2006. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA do Rio Preto, nos Municípios de Formosa do Rio Preto, Santa Rita de Cássia e Mansidão, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**: seção 1, n. 5, p. 1, 06 2006.

BRASIL. Lei nº 1.172, de 31 de julho de 2000. Cria a unidade de conservação ambiental denominada APA-Jalapão. **Diário Oficial do Estado**: seção 1, Palmas, TO, n. 958, p. 1-4, 06 jul. 2000.

BRASIL. Decreto nº 10.473, de 24 de agosto de 2020. Declara a revogação, para os fins do disposto no art. 16 da Lei Complementar nº 95, de 26 de fevereiro de 1998, de decretos normativos. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 163, p. 7, 24 ago. 2020.

CACHOEIRA, J. N. Dinâmica espacial da paisagem do Parque Estadual do Jalapão (TO) de 2000 a 2015. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 755-766, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509834539>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/34539>. Acesso em: 27 set. 2022.

CARVALHO, F. M. V.; MARCO JÚNIOR, P.; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, v. 142, n. 7, p. 1392-1403, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.031>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000632070900072X>. Acesso em 26 ago. 2022.

CASTRO, B. L. G.; SILVA, R. A. Produção agrícola na Área de Proteção Ambiental do Rio Preto: impactos na vegetação em duas décadas. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 5011-5017, 2015. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/>. Acesso em: 17 set. 2022.

COLLINGE, S. K. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. **Landscape and Urban Planning**, n. 1, p. 59-77, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00341-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00341-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204696003416>. Acesso em: 17 ago. 2022.

ECHEVERRÍA, C. et al. M. How landscapes change: integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 822-831, Mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622811001676>. Acesso em: 01 set. 2022.

ELLIS, E.; PONTIUS, R. Land-use and land-cover change. In: CUTLER, J. (Ed.). **Encyclopedia of earth**. Washington, D.C: National Council for Science and the Environment, 2007. 7p.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. London: Chapman & Hall, 1998.

FERREIRA, L. et al. Biophysical properties of cultivated pastures in the Brazilian Savanna Biome: an analysis in the spatial-temporal domains based on ground and satellite data.

Remote Sensing, v. 5, n. 1, p. 307-326, Jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5010307>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/1/307>. Acesso em: 13 ago. 2022.

FONSECA, L. M. et al. Pattern recognition and remote sensing techniques applied to land use and land cover mapping in the brazilian savannah. **Pattern Recognition Letters**, v. 148, p. 54-60, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.04.028>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167865521001677>. Acesso em: 11 set. 2022.

FORMAN, R. T. T. **Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge: University Press, 1995.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. Wiley & Sons Ed., New York, 1986.

FRANÇA, L. C. J. et al. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica na região do MATOPIBA, Brasil. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. especial, p. 737-744, 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5843>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/5843>. Acesso em: 09 ago. 2022.

GAMBA, F. B.; COLLICCHIO, E. Cultivo da soja em áreas do entorno do Mosaico das Unidades de Conservação do Jalapão, na região do Matopiba. **Revista Liberato**, v. 19, n. 32, p. 179-190, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31514/rliberato.2018v19n32.p179>. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/563>. Acesso em: 18 ago. 2022.

GRECCHI, R. C. et al. Land use and land cover changes in the Brazilian Cerrado: a multidisciplinary approach to assess the impacts of agricultural expansion. **Applied Geography**, v. 55, p. 300-312, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.09.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622814002240>. Acesso em: 29 ago. 2022.

HARRIS, L. D.; SILVA-LOPEZ, G. Forest fragmentation and the conservation of biological diversity. In: FIEDLER, P. L.; SUBODH, K. J. **Conservation biology: the theory and practice of nature conservation, preservation and management**. Nova York: Chapman & Hall, 1992. p. 170-195.

HOBBS, R.J. Landscape ecology. In: **Encyclopedia of environmental biology**. San Diego: Academic, 1995. p. 417-428.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250.000. Série Relatórios

Metodológicos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/#/home>. Acesso em: 17 set. 2022.

ICMBio - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Atlas do corredor ecológico da região do Jalapão**. Brasília: Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão, v. 2, 2013. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/projetojalapao/images/stories/atlas/AtlasJica_2013_COMPLETO.pdf. Acesso em: 14 ago. 2022.

ICMBio - INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE **Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão - Prefeito de São Felix do Tocantins assina decreto de criação da I Unidade de Conservação Municipal**. Disponível em: ICMBio - Projeto Corredor Ecológico da Região do Jalapão - Prefeito de São Felix do Tocantins assina decreto de criação da I Unidade de Conservação Municipal. Acesso em: 05 out. 2022.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Terraclass Cerrado 2018: gestão integrada da paisagem no bioma Cerrado**. FIP Paisagens Rurais: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportal-cerrado/>. Acesso em: 21 ago. 2022.

IPAM - INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA. **Matopiba bate recorde histórico de desmatamento no Cerrado**. 05 jan. 2022. Disponível em: <https://ipam.org.br/matopiba-bate-recorde-historico-de-desmatamento-no-cerrado/>. Acesso em: 17 set. 2022.

JUNG, M (2012) LecoS - **A QGIS plugin to conduct landscape ecology statistics**, <http://plugins.qgis.org/plugins/LecoS>. Acesso: 09 set.2022.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, Jun. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3591058>. Acesso em: 11 set. 2022.

KRUMMEL, J. R. et al. **Landscape patterns in a disturbed environment**. Copenhagen: Oikos, 1987.

LIMA, T. P. et al. Dinâmica espaço temporal da cobertura da terra em uma bacia hidrográfica da região do MATOPIBA, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, v. 43, n. 1, p. 162-170, 2020. DOI:

https://doi.org/10.11137/2020_1_162_170. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/34106>. Acesso em: 02 out. 2022.

LINDENMAYER, D. B.; FISCHER, J. **Habitat fragmentation and landscape change**: an ecological and conservation synthesis. Washington D.C.: Island Press, 2006.

LIRA, D. J. S.; VIEIRA, V. C. B.; SILVA, A. J. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na área do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. 1-15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33368>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33368>. Acesso em: 04 set. 2022.

LIU, J. et al. How does habitat fragmentation affect the biodiversity and ecosystem functioning relationship?. **Landscape Ecology**, v. 33, n. 2, p.341-352, Fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0620-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-018-0620-5>. Acesso em: 17 set. 2022.

MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. F.; PERES, J. R. R. (Ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/328096/uso-agricola-dos-solos-brasileiros>. Acesso em: 13 ago. 2022.

MARTINS, E. et al. **Ecologia de paisagem**: conceitos e aplicações potenciais no Brasil. Planaltina (DF): Embrapa Cerrados, 2004. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4766.8727>. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/569511/1/doc121.pdf>. Acesso em: 24 set. 2022.

McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. **Fragstats v4**: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. Amherst: University of Massachusetts, 2012.

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 71, n. 3-I, p. 445-463, 1999. ISSN: 0001-3765. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001425053>. Acesso em: 08 set. 2022.

METZGER, J. P. W. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, n. 1-2, p. 1-9, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>. Disponível em: <https://www.biotaneotropica.org.br/BN/article/view/1575>. Acesso em: 02 oct. 2022.

MIRANDA, E. E., MAGALHÃES, L. A., CARVALHO, C. A. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. EMBRAPA Territorial. Campinas: Nota Técnica 1, 2014. 18p. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1037313/proposta-de-delimitacao-territorial-do-matopiba>. Acesso em: 29 jul. 2022.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Departamento de Áreas Protegidas. Julho de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/areasprotegidasecoturismo/plataforma-cnuc-1>. Acesso em: 06 out. 2022.

MUCHAILH, M. C. et al. Metodologia de planejamento de paisagens fragmentadas visando a formação de corredores ecológicos. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 147-162, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v40i1.17106>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/17106>. Acesso em: 02 ago. 2022.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. **Landscape ecology: theory and application**. New York: Springer-verlag, 1993.

NELLEMAN, C. et al. The environmental food crisis and the environment's role in averting future food crises. In: **A UNEP rapid response assessment**. Arendal: United Nations Environment Programme, GRID, 2009, 104p.

NEWBOLD, T. et al. Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. **Nature**, v. 520, n. 7545, p. 45-50, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14324>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature14324>. Acesso em: 19 jul. 2022.

NOOJIPADY, P. et al. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian cerrado biome. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, 2017. 11p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5986>. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa5986>. Acesso em: 24 ago. 2022.

OLIVEIRA, S. N. **Análise das mudanças espaciais e temporais nos padrões de paisagem na região do Oeste da Bahia sobre a formação do Grupo Urucuia (1988-2011) e suas implicações para a conservação do cerrado**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

OLIVEIRA, T. J. A.; DORNER, S. H.; SCHNEIDER, M. B. Desenvolvimento econômico no Matopiba: os arranjos produtivos locais da soja. **Revista Economia Ensaios**, v. 35, n. 2, p. 67-81. Set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/REE-v35n2a2020-57246>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistaeconomiaensaios/article/view/57246>. Acesso em: 03 set. 2022.

PICKETT, S. T. A., WHITE, P. S. **The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics**. New York: Academic Press, 1985.

PINHEIRO, L. C. S. J. **Análise multitemporal da dinâmica do uso e cobertura da terra no município de Correntina - BA**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

POLIZEL, S. P. et al. Analyzing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado – MATOPIBA region (Brazil). **Land Use Policy**, v. 109, n. 105713, 2021. 21p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105713>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721004361>. Acesso em: 19 ago. 2022.

RANIERI, V.; MORETTO, E. Áreas protegidas: por que precisamos delas? In: CUNHA, D.; CALIJURI, M. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologias e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, v. 2, p. 567-589.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0469>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305736497904698>. Acesso em: 02 set. 2022.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian cerrado. In: PENINGTON, T.; RATTER, J. A. **Neotropical savannas and seasonally dry forests**. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 31-66.

SANO, E. E. et al. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-009-0988-4>. Acesso em: 16 ago. 2022.

SANTANA, J. M. A. **O Estado e a organização espacial do Oeste Baiano**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

SANTOS, F. C. et al. Application of remote sensing to analyze the loss of natural vegetation in the Jalapão Mosaic (Brazil) before and after the creation of protected area (1970–2018). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 201, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09651-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-021-09651-5>. Acesso em: 23 set. 2022.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARGULES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v. 5, n. 1, p. 18-32. 1991. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.1991.tb00384.x>. Acesso em: 19 set. 2022.

SCARAMUZZA, C. A. et al. Land-use and land-cover mapping of the Brazilian Cerrado based mainly on Landsat-8 satellite images. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, p. 1041-1051, Jun. 2017. ISSN: 1808-0936. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44309>. Acesso em: 29 ago. 2022.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the south american cerrado: a tropical savanna hotspot. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2). Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/52/3/225/312213>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SOARES, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SU, S.; XIAO, R.; ZHANG, Y. Multi-scale analysis of spatially varying relationships between agricultural landscape patterns and urbanization using geographically weighted regression. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 360-375, Fev. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622811001214>. Acesso em: 02 out. 2022.

SUN, J. et al. Fractally deforested landscape: pattern and process in a tri-national Amazon frontier. **Applied Geography**, v. 52, p. 204-211, Ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.05.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622814001064>. Acesso em: 28 set. 2022.

TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, n. 20, p. 171-197, 1989. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.20.110189.001131>. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.es.20.110189.001131>. Acesso em: 25 set. 2022.

VILLARD, M. A.; METZGER, J. P. Beyond the fragmentation debate: a conceptual model to predict when habitat configuration really matters. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 2, p.

309-318, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12190>. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.12190>. Acesso em: 23 ago. 2022.

WILCOX, B. A; MURPHY, D. D. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. **The American Naturalist**, v. 125, n. 6, p. 879-887. 1985. DOI: <https://doi.org/10.1086/284386>. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/284386>. Acesso em: 25 set. 2022.

ZANCHETTA, M. L. et al. As reservas particulares de patrimônio natural são eficientes para conservação florestal no Estado de Rondônia? **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19501>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19501>. Acesso em: 25 set. 2022.