



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MATO GROSSO DO SUL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE TRÊS LAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Bruno Henrique Machado da Silva

Modelagem preditiva do uso e cobertura da terra do Estado de Mato Grosso Sul, Brasil

Três Lagoas

2024

Bruno Henrique Machado da Silva

Modelagem preditiva do uso e cobertura da terra do Estado de Mato Grosso Sul, Brasil

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Campus de Três Lagoas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para a obtenção do título de mestre em Geografia.
Orientador: Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani

Três Lagoas

2024

Bruno Henrique Machado da Silva

Modelagem preditiva do uso e cobertura da terra do Estado de Mato Grosso Sul, Brasil

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por
banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Climbiê Ferreira Hall
UFMS/CPTL

Prof. Dr. Cesar Gustavo da Rocha Lima
UNESP/FEIS

Dr. Elias Rodrigues da Cunha
UFMS/CPAQ

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Geografia.

Prof. Dr. Sedeval Nardoque
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani
Orientador

Três Lagoas, 2024.

Este trabalho é dedicado a mim e aos meus familiares e aos meus queridos amigos e amigas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela presença, sempre me guiando durante minha jornada. Por me abençoar com todas as coisas e pessoas incríveis na minha vida.

Agradeço à minha família, por me formar com muito amor e sabedoria, pelo apoio e sempre iluminar os meus dias com muitas felicidades.

Agradeço ao Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani, por ser uma grande inspiração como pesquisador e ser humano, pela orientação, sabedoria e paciência, por sempre acreditar no meu potencial, sendo um grande suporte em minha jornada acadêmica.

Agradeço aos meus amigos e companheiros de pós-graduação, Amanda, Bruna, Edson, Erivelton e Víncler, que, através da troca de conhecimento e da parceria puderam me fortalecer e motivar para a continuidade dos meus estudos.

Agradeço aos docentes, André Luiz Pinto, Patrícia Helena Milani, Patricia Helena Mirandola Garcia, Climbiê Ferreira Hall, Thiago Araújo dos Santos, Jodenir Calixto Teixeira, Frederico dos Santos Gradella e Vitor Matheus Bacani, que estiveram presentes nessa etapa, por todo o conhecimento e compreensão de mundo compartilhados durante as aulas, colaborando com a minha formação acadêmica e pessoal.

Agradeço aos docentes, técnicos e colegas, pela colaboração e disponibilidade para a viabilização dos trabalhos de campo, essenciais para a execução e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao Laboratório de Sensoriamento Remoto, pela estrutura que possibilitou a execução de todo o trabalho e aos membros pela parceria e convivência diária.

Agradeço aos estagiários do Laboratório de Sensoriamento Remoto, Ana, Alexander, Denise, Kellen, Diego, Gabriel, Júlio e Marcos, pelo esforço e contribuição.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Também, com o apoio da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT-MS, Brasil, Projeto MS Carbono Neutro.

Por fim, agradeço à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.

RESUMO

O Estado de Mato Grosso do Sul vem se destacando em escala nacional devido ao seu desenvolvimento no setor da agropecuária e silvicultura, tornando-se uma potência econômica. Entretanto, as alterações do uso e cobertura da terra podem causar uma série de problemas ambientais, que impactam na redução dos estoques e sequestro de carbono, com destaque para o desmatamento e os incêndios florestais, sendo necessário um manejo adequado da terra. O objetivo do trabalho é realizar a modelagem preditiva do uso e cobertura da terra para os anos de 2030 e 2050, para Cenário de Tendências Atuais (CTA) e Cenário de Desenvolvimento Florestal (CDF). A metodologia proposta tem como base a análise multitemporal do uso e cobertura da terra e aplicação do modelo CA-Markov/Random Forest para realizar simulações preditivas de cenários futuros. Os resultados apontam a predominância da pastagem entre 1985 a 2020 (53%) com expressiva supressão vegetal (21% de perda). Seguindo o padrão do estado a pastagem demonstrou um padrão de crescimento significativo na mesorregião dos Pantaneais Sul Matogrossenses (36%). No contexto da atualidade as mesorregiões Centro Norte e Sudoeste, tem-se o avanço e o desenvolvimento da agricultura de exportação (crescimento de 9% e 26% de área ocupada), enquanto na mesorregião Leste a silvicultura se projeta como atividade com maior crescimento (8,25%). Para 2030 e 2050 as dinâmicas do CTA buscaram compreender a lógica produtiva, demonstrando a expansão da agricultura em todo estado (3% e 6%), seguidos dos crescimentos locais como o da silvicultura (1% e 2,2%) e a diminuição das pastagens (-2% e -6%) com exceção da região oeste. Entende-se que o CDF buscou empregar zonas para incentivar a preservação, conservação e desenvolvimento da biodiversidade, baseada na legislação brasileira, regenerando em comparação com CTA 5% em 2030 e 8% em 2050 de vegetação natural, podendo atingir resultados satisfatório ao meio ambiente mediante a sua aplicação. Conclui-se que o estado de Mato Grosso do Sul passou por diversas transformações da paisagem, acompanhada de prejuízos ambientais (desmatamento e incêndios) entretanto seguido do pleno desenvolvimento econômico, assim, os cenários futuros surgem como uma ferramenta de compreensão da dinâmicas do uso e cobertura da terra, sendo a expansão, manutenção e regressão do uso, desta maneira os cenários possuem objetivos diferentes mas podem ser trabalhados em conjunto visando o desenvolvimento econômico e ambiental, servindo assim como instrumento a gestão pública para planejamento e ordenamento do uso e cobertura da terra.

Palavras-chave: cenário de tendências atuais, cenários de desenvolvimento florestal; agropecuária; silvicultura; CA-Markov.

ABSTRACT

The State of Mato Grosso do Sul has been standing out nationally due to its development in the agriculture and forestry sector, becoming an economic powerhouse. However, land use and land cover changes can cause a series of environmental problems, which impact the reduction of carbon stocks and sequestration, mainly deforestation and forest fires, requiring proper land management. The objective of the work is to carry out predictive modeling of land use and land cover for the years 2030 and 2050 for business-as-usual (BAU) and forest development scenario (FD) scenarios. The proposed methodology is based on the multitemporal analysis of land use and land cover and applying the CA-Markov/Random Forest model to perform predictive simulations of future scenarios. The results point to the predominance of pasture between 1985 and 2020 (53%) with significant vegetation suppression (21% of perch). Following the state pattern, the pasture showed a significant growth pattern in the mesoregion of the Pantanaís Sul Matogrossenses (36%). In the current context, the Central North and Southwest mesoregions have advanced and developed export agriculture (growth of 9% and 26% of the occupied area). In contrast, in the Eastern mesoregion, silviculture is projected to have the highest growth (8.25%). For 2030 and 2050, the dynamics of the BAU sought to understand the productive logic, demonstrating the expansion of agriculture throughout the state (3% and 6%), followed by local growth such as silviculture (1% and 2.2%) and the decrease in pastures (-2% and -6%), except for the western region. It is understood that the FD sought to employ zones to encourage the preservation, conservation, and development of biodiversity, based on Brazilian legislation, regenerating 5% in 2030 and 8% in 2050 of natural vegetation compared to BAU, being able to achieve satisfactory results to the environment through its application. It is concluded that the state of Mato Grosso do Sul has undergone several transformations of the landscape, accompanied by environmental damage (deforestation and fires) however, followed by full economic development. Thus, the future scenarios emerge as a tool to understand dynamics of land use and land cover, being the expansion, maintenance, and regression of use; in this way, the scenarios have different objectives but can be worked together aiming at development economic and environmental, thus serving as an instrument for public management for planning and ordering land use and land cover.

Keywords: scenario business as usual; scenario forestry development; agriculture and livestock; silviculture; CA-Markov.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização das mesorregiões do estado de Mato Grosso do Sul.	19
Figura 2 – Mapa de localização da Mesorregião Centro Norte de Mato Grosso do Sul.	20
Figura 3 – Mapa de localização da Mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul.	21
Figura 4 – Mapa de localização da Mesorregião dos Pantanais Sul Mato-Grossense.	22
Figura 5 – Mapa de localização da Mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul.....	24
Figura 6 – Bacias hidrográficas de Mato Grosso do Sul.....	24
Figura 7 – Clima de Mato Grosso do Sul.....	26
Figura 8 – Geologia (províncias estruturais) de Mato Grosso do Sul.	26
Figura 9 – Compartimentos de relevo de Mato Grosso do Sul.	27
Figura 10 – Pedologia de Mato Grosso do Sul.....	28
Figura 11 – Fluxograma metodológico de construção da simulação preditiva.	35
Figura 12 – Fluxograma metodológico de construção do uso e cobertura da terra.....	36
Figura 13 – Mapa de distância das rodovias e estradas rurais.....	44
Figura 14 – Mapa <i>fuzzy</i> de distância da rede de drenagem.	45
Figura 15 – Mapa <i>fuzzy</i> de distância dos centros de influência urbana.	46
Figura 16 – Mapa <i>fuzzy</i> de distância de plantios de agriculturas.....	47
Figura 17 – Mapa <i>fuzzy</i> de distância de plantios de silviculturas.....	49
Figura 18 – Mapa <i>fuzzy</i> do Modelo Digital de Elevação.....	50
Figura 19 – Parâmetros LEAS.....	51
Figura 20 – Parâmetros Markov Chain.	52
Figura 21 – Parâmetros CARS.	53
Figura 22 – Parâmetros validação da calibração do uso e cobertura da terra.....	54
Figura 23 - Parâmetros para zona de desenvolvimento florestal.....	55
Figura 24 – Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 para a mesorregião Centro Norte.	56
Figura 25 - Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 para a mesorregião Leste. .	60
Figura 26 - Mapeamento de uso e cobertura da terra da microrregião de Cassilândia-MS.	62
Figura 27 - Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 na mesorregião dos Pantanais Sul Mato-Grossense.....	64
Figura 28 – Área urbana do município de Corumbá.	67
Figura 29 – Frequência de inundação do pantanal.	68
Figura 30 - Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 na mesorregião Sudoeste. .	69

Figura 31 – Área queimadas mapeadas pelo satélite MODIS em Mato Grosso do Sul.....	72
Figura 32 – Cenários preditivos de 2030 em Mato Grosso do sul.	74
Figura 33 - Cenários preditivos de 2050 em Mato Grosso do sul.	75
Figura 34 – Área de plantio de silvicultura próxima à pastagem degradada na mesorregião Leste.	77
Figura 35 – Crise de incêndios no pantanal.....	78
Figura 36 – Área de pastagem degradada com pisoteio de gado às margens de uma voçoroca na mesorregião Leste.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Reclassificação do uso e cobertura da terra.....	37
Quadro 2 – Parâmetros da projeção cônica de Albers.....	38
Quadro 3 – Descrição da classe formação campestre no uso e cobertura da terra.	39
Quadro 4 – Parâmetros Utilizados na Ferramenta CA – <i>Based on Multiple Random Patch Seeds</i> (CARS).....	53
Quadro 5 – Variáveis de confecção do cenário de desenvolvimento florestal.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limiões do índice Kappa.	42
Tabela 2 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Centro Norte.....	57
Tabela 3 – PIB em preço corrente gerado pela agropecuária em municípios da mesorregião Centro Norte em 2020.	58
Tabela 4 – Área colhida por produtos agrícolas em municípios da mesorregião Centro Norte em 2020.	59
Tabela 5 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Leste.....	60
Tabela 6 - Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 para a microrregião de Cassilândia-MS.	62
Tabela 7 - Produção agrícola nos municípios da microrregião de Cassilândia em 2020.	63
Tabela 8 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Pantaneis Sul Mato-Grossense.....	65
Tabela 9 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Sudoeste.	69
Tabela 10 – Área colhida por produtos agrícolas nos municípios da mesorregião Sudoeste em 2020.	71
Tabela 11 - Uso e cobertura da terra dos Cenários preditivos de 2030 em Mato Grosso do sul.	74
Tabela 12 - Uso e cobertura da terra dos Cenários preditivos de 2030 em Mato Grosso do sul.	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cotas altimétricas do rio Paraguai (m) – Ladário (Base Naval)	66
Gráfico 2 – Antropização do uso e cobertura da terra e área queimada em Mato Grosso do Sul	71
Gráfico 3 - Usos da terra em áreas de preservação permanente.	83
Gráfico 4 - Usos da terra em corredores ecológicos.....	84
Gráfico 5 - Usos da terra em comunidades quilombolas.....	85
Gráfico 6 - Usos da terra em terras Indígenas.	86
Gráfico 7 - Usos da terra em unidades da conservação federais.	87
Gráfico 8 - Usos da terra em unidades da conservação estaduais.	88
Gráfico 9 - Usos da terra em áreas de vegetação aluvial.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
AHP	Analytic Hierarchic Process
CA	Cellular Automata
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CARS	CA – based on multiple random patch seeds
CDF	Cenário de Desenvolvimento Florestal
CTA	Cenário de Tendências Atuais
CM	Confusion Matrix
GEE	Google Earth Engine
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LEAS	Land Expansion Analysis Strategy
MDE	Modelo Digital de Elevação
PIB	Produto Interno Bruto
PLUS	Patch-Generating Land Use Simulation
RFR	Random Forest Regression
SIG's	Sistemas de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UCT	Uso e cobertura da terra

SUMÁRIO



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MATO GROSSO DO SUL

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	ÁREA DE ESTUDO	19
3.1	MESSOREGIÕES DE MATO GROSSO DO SUL	20
3.1.1	Centro Norte de Mato Grosso do Sul.....	20
3.1.2	Leste de Mato Grosso do Sul	21
3.1.3	Pantaneais Sul Mato-Grossense	22
3.1.4	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	23
3.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE MATO GROSSO DO SUL	24
3.2.1	Bacias Hidrográficas de Mato Grosso do Sul.....	24
3.2.2	Clima de Mato Grosso do Sul.....	25
3.2.3	Geologia Mato Grosso do Sul	26
3.2.4	Geomorfologia de Mato Grosso do Sul.....	27
3.2.5	Solos de Mato Grosso do Sul	28
4	REVISÃO DE LITERATURA	30
4.1	USO E COBERTURA DA TERRA NO MATO GROSSO DO SUL	30
4.2	SENSORIAMENTO REMOTO E SIG'S	32
4.3	MODELAGEM PREDITIVA DO USO DA TERRA E CA-MARKOV	33
5	METODOLOGIA.....	35
5.1	MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA.....	36
5.1.1	Reclassificação.....	36

5.1.2	Conversão de projeção	38
5.1.3	Ajuste vegetação Aluvial	38
5.1.4	Aplicação de filtro.....	39
5.1.5	Ajuste do UCT (Pantanal).....	39
5.1.6	Ajuste da classificação (SERVAL).....	40
5.1.7	Validação estatística do UCT.....	40
5.2	MODELAGEM PREDITIVA	42
5.2.1	Conversão do UCT	43
5.2.2	Expansão do uso e cobertura da terra	43
5.2.3	Variáveis explicativas	43
5.2.3.1	<i>Distância das rodovias e estradas rurais</i>	<i>44</i>
5.2.3.2	<i>Distância da rede de drenagem.....</i>	<i>45</i>
5.2.3.3	<i>Distância de centros de influência urbana.....</i>	<i>46</i>
5.2.3.4	<i>Distância de áreas de agriculturas</i>	<i>47</i>
5.2.3.5	<i>Distância de plantios de silviculturas.....</i>	<i>48</i>
5.2.3.6	<i>Modelo Digital de Elevação</i>	<i>49</i>
5.2.4	Land expansion analysis strategy (LEAS).....	50
5.2.5	Markov Chain	51
5.2.6	CA -based on multiple random patch seeds (CARS)	52
5.2.7	Validação estatística	53
5.2.8	Cenário baseado em zonas de desenvolvimento.....	54
6	RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO	56
6.1	USO E COBERTURA DA TERRA PARA MATO GROSSO DO SUL	56
6.1.1	Validação do uso e cobertura da terra para Mato Grosso do Sul.....	56
6.1.2	Uso e cobertura da terra da mesorregião Centro Norte de Mato Grosso do Sul	56
6.1.3	Uso e cobertura da terra da mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul.....	59

6.1.4	Uso e cobertura da terra da mesorregião dos Pantanaís Sul Mato-Grossense	64
6.1.5	Uso e cobertura da terra na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul..	68
6.1.6	Ocupação do uso e cobertura da terra em uso antrópicos e usos naturais em Mato Grosso do Sul	71
6.2	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS PARA MATO GROSSO DO SUL	73
6.2.1	Simulação de cenários para 2030 e 2050 em Mato Grosso do Sul	73
<i>6.2.1.1</i>	<i>Cenário de Tendências Atuais para 2030 e 2050 em Mato Grosso do Sul.....</i>	<i>76</i>
<i>6.2.1.2</i>	<i>Cenário de Desenvolvimento Florestal para 2030 e 2050 em Mato Grosso do Sul</i>	<i>82</i>
7	CONCLUSÃO.....	90
8	REFERÊNCIAS.....	92

1 INTRODUÇÃO

As alterações na paisagem decorrentes da mudança do uso e cobertura da terra têm o potencial de ocasionar diversos problemas ambientais. Essas mudanças podem resultar em perda de biodiversidade, degradação dos ecossistemas, redução da qualidade do solo, aumento de áreas urbanizadas e fragmentação de habitats naturais (CARVALHO et al., 2017; WU et al., 2023). Além disso, a conversão de áreas naturais em atividades agropecuárias e urbanas pode levar a mudanças climáticas regionais e globais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa e a redução do sequestro de carbono (WEN et al., 2023).

No Brasil, o estado de Mato Grosso do Sul se destaca por passar por diversas transformações paisagísticas, desde a substituição da vegetação natural pela pastagem extensiva até a introdução de culturas agrícolas e de silvicultura, que ocupam grande parte do território estadual (MARIANO e TEIXERA, 2022). As principais atividades desenvolvidas no estado são a pecuária, a agricultura, com destaque para a produção de soja, milho e cana-de-açúcar, e a silvicultura, com ênfase no cultivo de eucalipto (MAPBIOMAS, 2023).

O estado de Mato Grosso do Sul se destaca na economia nacional, liderando em variação positiva no volume do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, impulsionado pela produção agrícola, com destaque no plantio de soja, além da relevância das indústrias de papel e celulose e fabricação de álcool, tornando-se um estado com notoriedade na sua dinâmica produtiva (IBGE, 2022).

Mato Grosso do Sul é reconhecido por sua rica diversidade de paisagens e ecossistemas, abrangendo três biomas brasileiros: Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (IBGE, 2019), cujo avanço da atividade agropecuária sobre a vegetação natural tem ameaçado o equilíbrio do meio ambiente. Esse avanço, em combinação com o desmatamento (TETILA et al., 2020) e aumento nos incêndios florestais (OLIVEIRA et al., 2020), tem sido alvo de preocupação recorrente para a gestão pública estadual.

As informações advindas do uso e cobertura da terra desempenham um papel fundamental no planejamento e ordenamento físico-territorial. Por meio da modelagem ambiental dinâmica com o auxílio do sensoriamento remoto, é possível potencializar a análise da paisagem. Através da simulação preditiva é possível diagnosticar problemas ambientais, orientar a gestão relacionada ao uso e cobertura da terra, bem como projetar cenários com possíveis tendências e caminhos de desenvolvimento (LI et al., 2021; LIANG et al., 2021; WANG et al., 2022).

O modelo CA-Markov tem sido aplicada em estudos de uso e cobertura da terra no território de Mato Grosso do Sul (BACANI et al., 2016; CUNHA et al., 2021; GUERRA et al., 2020; SILVA e BACANI, 2023; VICK e BACANI, 2019). No entanto, ainda existe uma ausência de pesquisas que explorem a modelagem em cenários futuros conservacionistas para todo o estado, baseado em inteligência artificial por aprendizado de máquina.

Desse modo, a aplicação do modelo de aprendizado de máquina Random Forest combinado com a abordagem CA-Markov em Cenários de Tendência Atual (CTA) e Cenário Desenvolvimento Florestal (CDF) para o estado de Mato Grosso do Sul permitirá a identificação de áreas com maior potencial de sequestro de carbono e conservação da vegetação. Com base nas informações e dados contribuindo para a formulação de políticas públicas eficazes de manejo sustentável do território e mitigação das mudanças climáticas. Além disso, a modelagem preditiva fornece informações relevantes para a identificação de áreas suscetíveis a problemas ambientais, como desmatamento e incêndios, possibilitando ações preventivas e estratégias efetivas de conservação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar as mudanças multitemporais do uso e cobertura da terra no estado de Mato Grosso do Sul (MS) nos respectivos anos de 1985, 2007, 2015 e 2020 e simular cenários futuros de uso e cobertura da terra no MS para os anos de 2030 e 2050 baseado no modelo CA-Markov/Random Forest.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

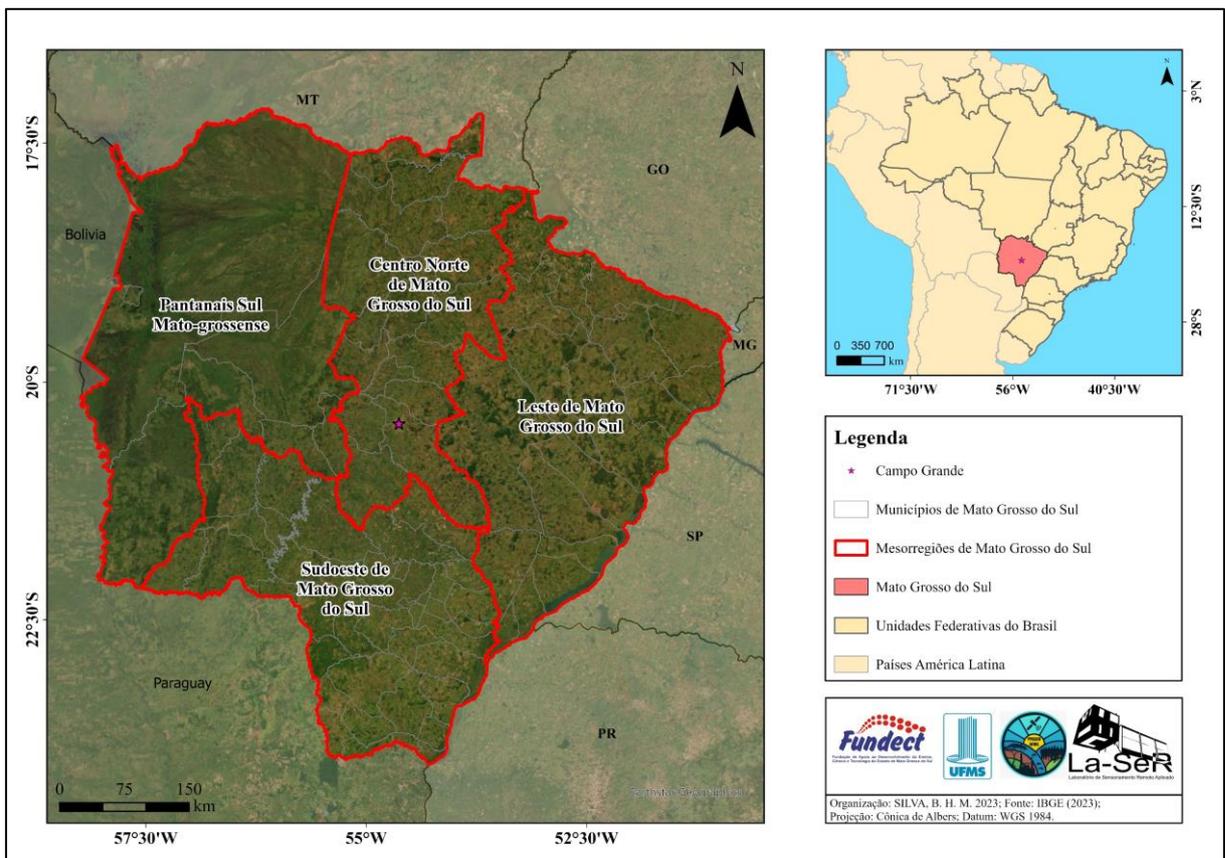
- I. Analisar as mudanças no uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 2007, 2015 e 2020.
- II. Identificar e elaborar variáveis explicativas de suporte à calibração do modelo de simulação espacial.
- III. Realizar a predição de cenários futuros do uso e cobertura da terra para os anos de 2030 e 2050, utilizando a integração das técnicas de cadeias de Markov e autômatos celulares com o aprendizado de máquina.
- IV. Realizar a modelagem preditiva para cenário de tendência atual e desenvolvimento florestal.
- V. Comparar os cenários conservacionista e de tendência dos negócios atuais para os anos de 2030 e 2050 em relação ao uso e cobertura da terra.

3 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Mato Grosso do Sul, criado em 1979 após a separação do estado de Mato Grosso, possui uma localização geográfica estratégica no Brasil. Com fronteiras com cinco estados brasileiros (Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraná e São Paulo) e limites internacionais com dois países vizinhos (Bolívia e Paraguai), o estado tem uma posição central espacial no território nacional e regional (IBGE, 2023).

Composto por 79 municípios distribuídos em quatro mesorregiões distintas: Centro Norte, Leste, Pantanais e Sudoeste (Figura 1). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da Resolução PR n. 51, de 31.07.1989, as mesorregiões são áreas individualizadas do estado definida através das seguintes características: processo social (fator determinante), meio natural (fator condicionante) e rede de comunicação como também de lugares (fator de articulação do espaço).

Figura 1 – Mapa de localização das mesorregiões do estado de Mato Grosso do Sul.



Fonte: Autor.

O estado tem uma extensa área territorial de 357.142,081 km², apresentando em 2022 uma população de 2.756.700 pessoas, onde apenas três municípios apresentam uma população acima de 100 mil habitantes: Campo Grande (897.938), Dourados (243.368), Três Lagoas (132.152), o que reflete uma densidade populacional relativamente baixa (IBGE,2023).

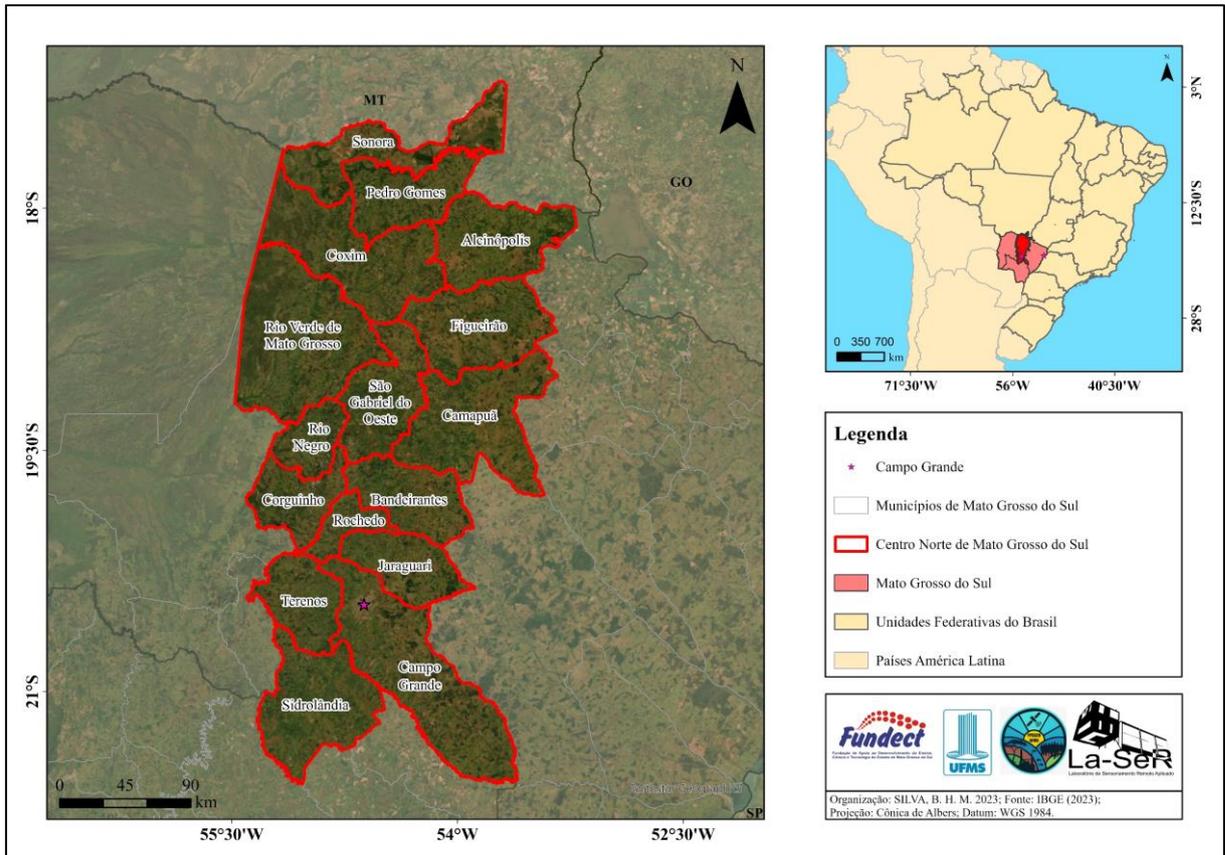
O PIB em preço corrente estimado do ano de 2020 do estado de Mato Grosso do Sul é no valor de R\$ 122.627.726.080,00, equivalente a 59,75% sobre impostos e serviços, 21,24% sobre a agropecuária e 19,01% sobre a indústria (IBGE, 2023). Assim, o estado é o 5º colocado entre os estados brasileiros em relação ao PIB per capita, apresentando um valor de R\$ 44.483,52 (IBGE, 2023). Sendo as principais atividades econômicas ligadas ao uso e cobertura da terra: pecuária, agricultura e a silvicultura.

3.1 MESSOREGIÕES DE MATO GROSSO DO SUL

3.1.1 Centro Norte de Mato Grosso do Sul

A mesorregião do Centro Norte de Mato Grosso do Sul é composta por 16 municípios (Figura 2): Alcinópolis, Bandeirantes, Camapuã, Campo Grande, Corguinho, Coxim, Figueirão, Jaraguari, Pedro Gomes, Rio Negro, Rio Verde de Mato Grosso, Rochedo, São Gabriel do Oeste, Sidrolândia, Sonora e Terenos. Possui área de 69.913,305 km² e uma população de 1.117.260 de habitantes, destacando-se como a mais populosa do estado (IBGE, 2023). Atualmente, com um PIB em preço corrente de R\$ 40.238.029.292,00, valor equivalente a 76,32% sobre impostos e serviços, 10,89% sobre a agropecuária e 12,79% sobre a indústria (IBGE, 2023).

Figura 2 – Mapa de localização da Mesorregião Centro Norte de Mato Grosso do Sul.

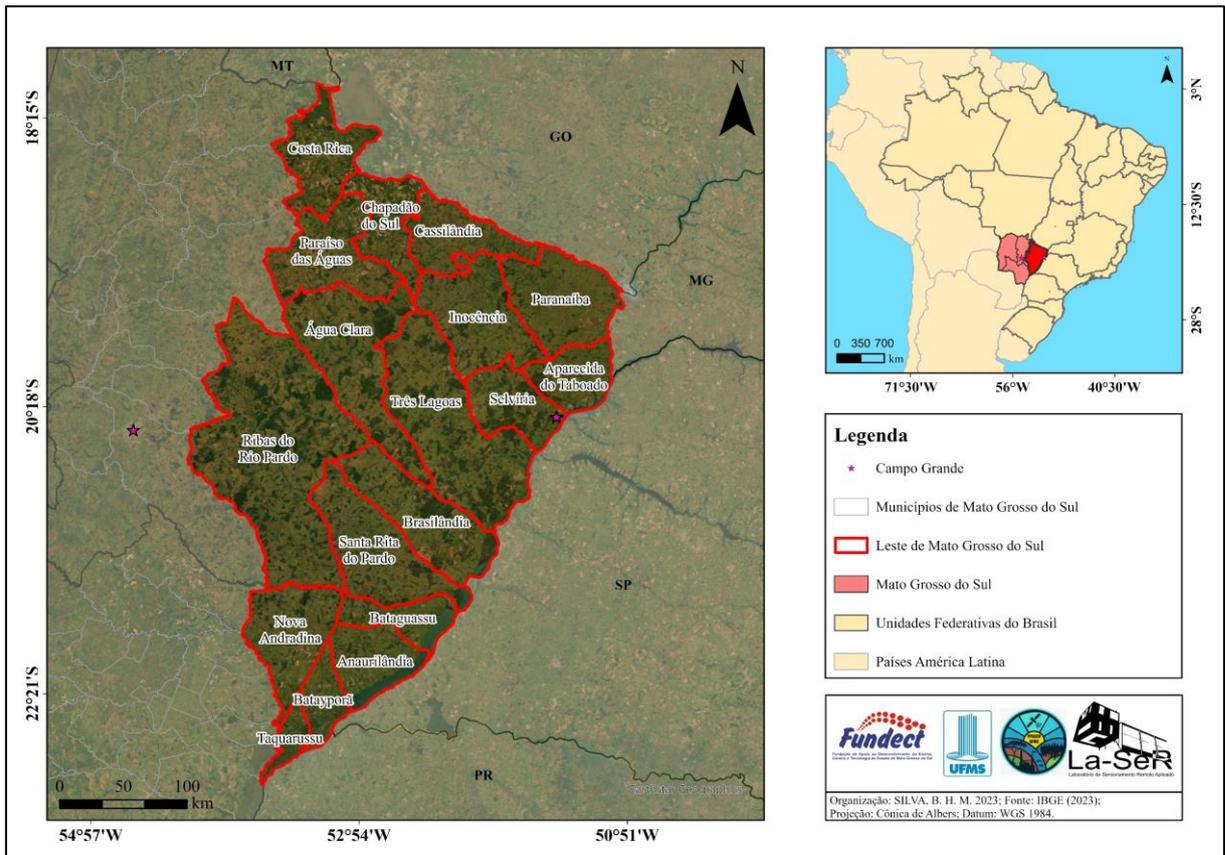


Organização: Autor.

3.1.2 Leste de Mato Grosso do Sul

A mesorregião do Leste de Mato Grosso do Sul é composta por 18 municípios (Figura 3): Água Clara, Anaurilândia, Aparecida do Taboado, Bataguassu, Batayporã, Brasilândia, Cassilândia, Chapadão do Sul, Costa Rica, Inocência, Nova Andradina, Paraíso das Águas, Paranaíba, Ribas do Rio Pardo, Santa Rita do Pardo, Selvíria, Taquarussu e Três Lagoas. Esta região possui uma área de 94.021,551 km² e uma população de 452.938 de habitantes (IBGE, 2023). Atualmente, com um PIB em preço corrente estimado em R\$ 31.081.546.697,00, valor equivalente a 39,79% sobre impostos e serviços, 24,20% sobre a agropecuária e 36,01% sobre a indústria (IBGE, 2023).

Figura 3 – Mapa de localização da Mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul.



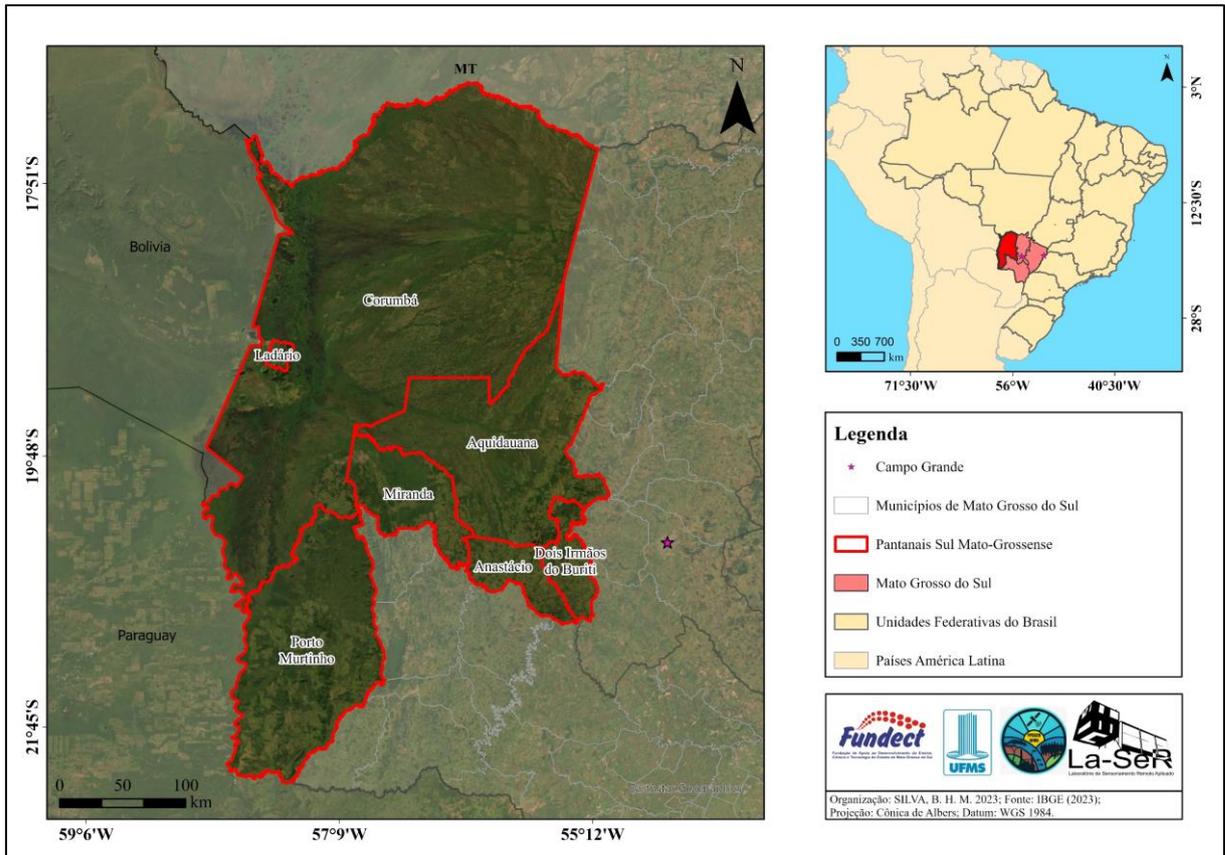
Organização: Autor.

3.1.3 Pantaneiros Sul Mato-Grossense

A mesorregião dos Pantaneiros Sul Mato-Grossense é composta por 7 municípios (Figura 4): Anastácio, Aquidauana, Corumbá, Dois Irmãos do Buriti, Ladário, Miranda e Porto Murtinho. Com uma área de 110.195,148 km², é a maior mesorregião em extensão territorial do estado, apresentando uma população de 238.195 de habitantes (IBGE, 2023).

Atualmente, a mesorregião dos Pantaneiros Sul Mato-Grossense possui um Produto Interno Bruto (PIB) em preço corrente no valor de R\$ 6.067.407.040,00, com uma composição de 72,63% proveniente de impostos e serviços, 17,17% proveniente da agropecuária e 10,20% proveniente da indústria (IBGE, 2023).

Figura 4 – Mapa de localização da Mesorregião dos Pantaneiros Sul Mato-Grossense.



Organização: Autor.

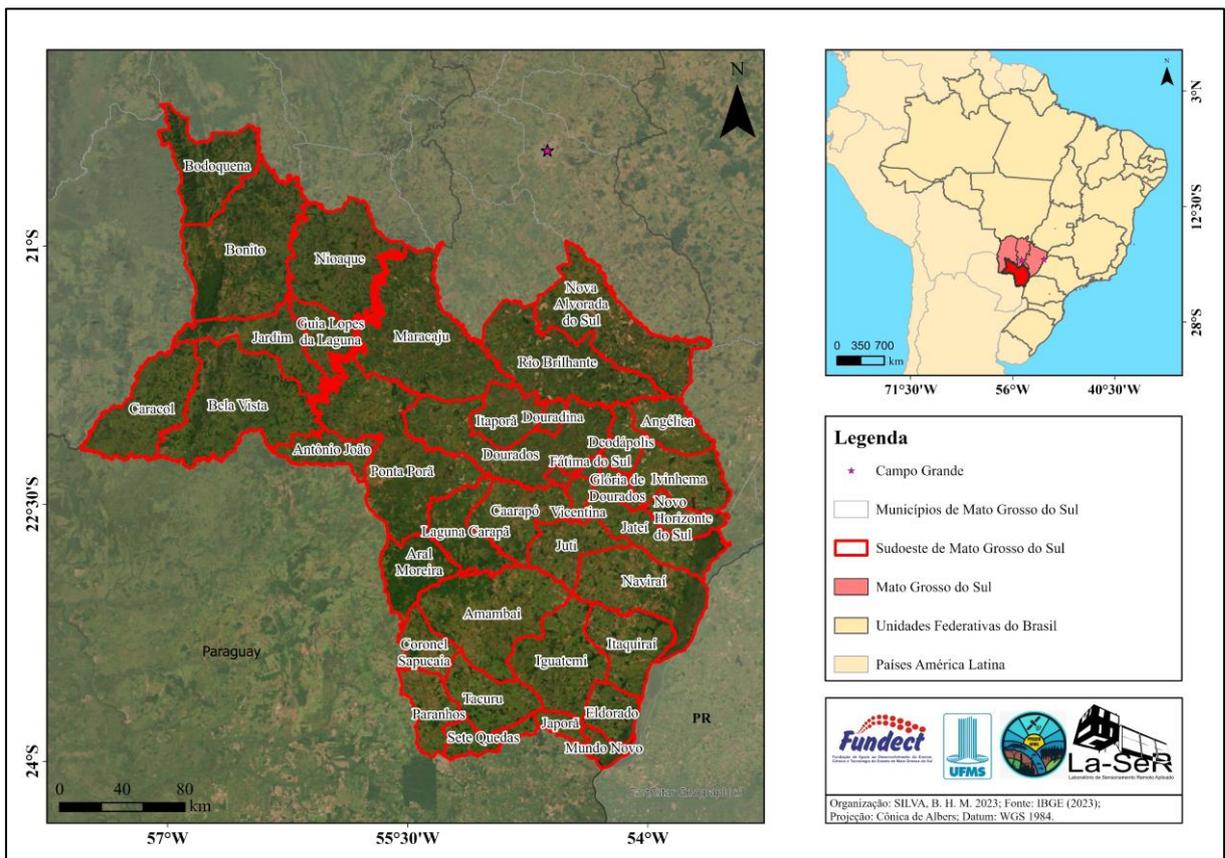
3.1.4 Sudoeste de Mato Grosso do Sul

A mesorregião do Sudoeste de Mato Grosso do Sul é composta por um total de 38 municípios (Figura 5), correspondendo a 48% dos municípios do estado, sendo eles: Amambai, Angélica, Antônio João, Aral Moreira, Bela Vista, Bodoquena, Bonito, Caarapó, Caracol, Coronel Sapucaia, Deodópolis, Douradina, Dourados, Eldorado, Fátima do Sul, Glória de Dourados, Guia Lopes da Laguna, Iguatemi, Itaporã, Itaquiraí, Ivinhema, Japorã, Jardim, Jateí, Juti, Laguna Carapã, Maracaju, Mundo Novo, Naviraí, Nioaque, Nova Alvorada do Sul, Novo Horizonte do Sul, Paranhos, Ponta Porã, Rio Brillhante, Sete Quedas, Tacuru e Vicentina.

Abrangendo uma vasta área de 83.012,077 km², a mesorregião do Sudoeste de Mato Grosso do Sul destaca-se como a maior em extensão territorial entre todas as mesorregiões do estado. Com uma população de 948.307 habitantes (IBGE, 2023), é uma região densamente povoada, compreendendo um conjunto significativo de municípios.

No que diz respeito à economia, o Sudoeste de Mato Grosso do Sul apresenta um PIB em preço corrente de expressivos R\$ 45.240.743.051,00, o que o coloca como o maior PIB do estado quando comparado a outras mesorregiões. Desse montante, 57,00% estão relacionados a impostos e serviços, 28,95% advêm da agropecuária e 14,05% provêm da indústria (IBGE, 2023).

Figura 5 – Mapa de localização da Mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul.



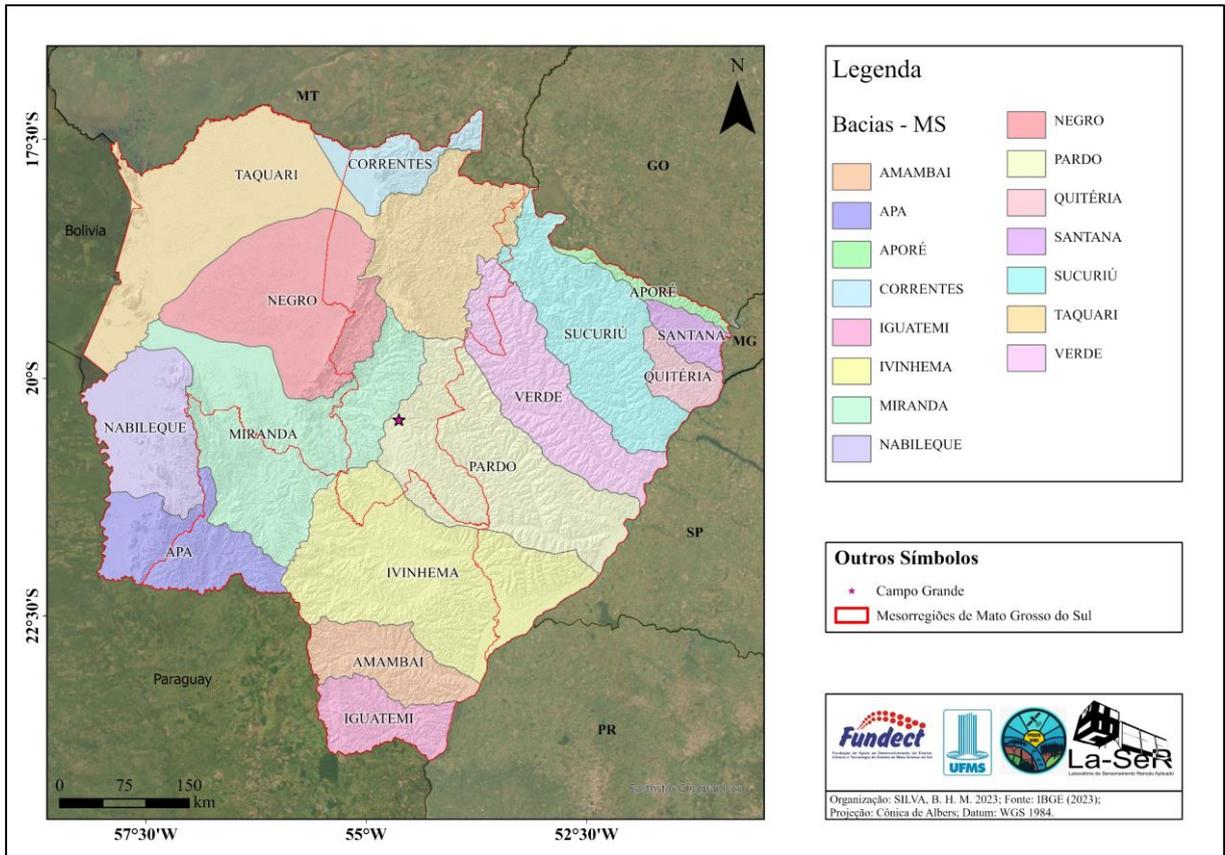
Organização: Autor.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE MATO GROSSO DO SUL.

3.2.1 Bacias Hidrográficas de Mato Grosso do Sul

O estado de Mato Grosso do Sul possui 15 bacias hidrográficas, sendo 9 bacias (Amambai, Aporé, Iguatemi, Ivinhema, Pardo, Quitéria, Santana, Sucuriú e Verde) afluentes do rio Paraná na porção leste do estado e 6 bacias (Apa, Correntes, Miranda, Nabileque, Negro e Taquari) afluentes do rio Paraguai na região oeste do estado (Figura 6).

Figura 6 – Bacias hidrográficas de Mato Grosso do Sul



Organização: Autor.

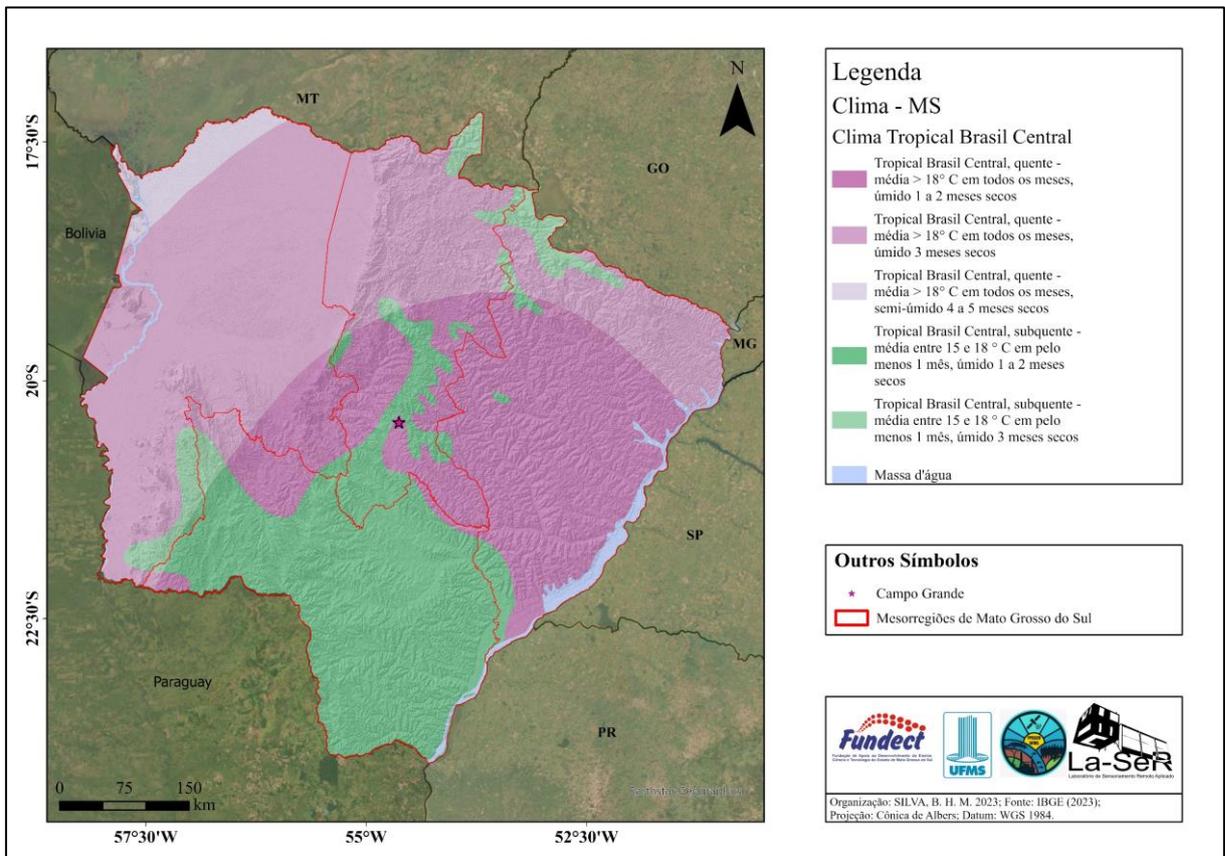
Assim as bacias hidrográficas fazem parte das Unidades de Planejamento e Gerenciamento (UPGs), criadas por volta de 1990, foram definidas como unidades de gestão para o planejamento dos recursos hídricos presentes no estado de Mato Grosso do Sul (MATO GROSSO DO SUL, 1990). Com o objetivo de gerenciar os recursos naturais da região, a gestão por meio das UPGs torna-se um elemento fundamental para o planejamento territorial.

3.2.2 Clima de Mato Grosso do Sul

O clima de Mato Grosso do Sul está inserido na zona Tropical Brasil Central, sendo de temperatura quente e sub-quente, apresentando períodos com características úmidas e semi-úmidas, com variabilidade por todo o território (IBGE,2023) (Figura 7).

Zavattini (2009) compreende o mosaico climático de Mato Grosso do Sul fatores dinâmicos tendem a influenciar a questão climática sobre o eixo norte sul, enquanto os fatores morfológicos condicionam o clima rumo leste oeste.

Figura 7 – Clima de Mato Grosso do Sul

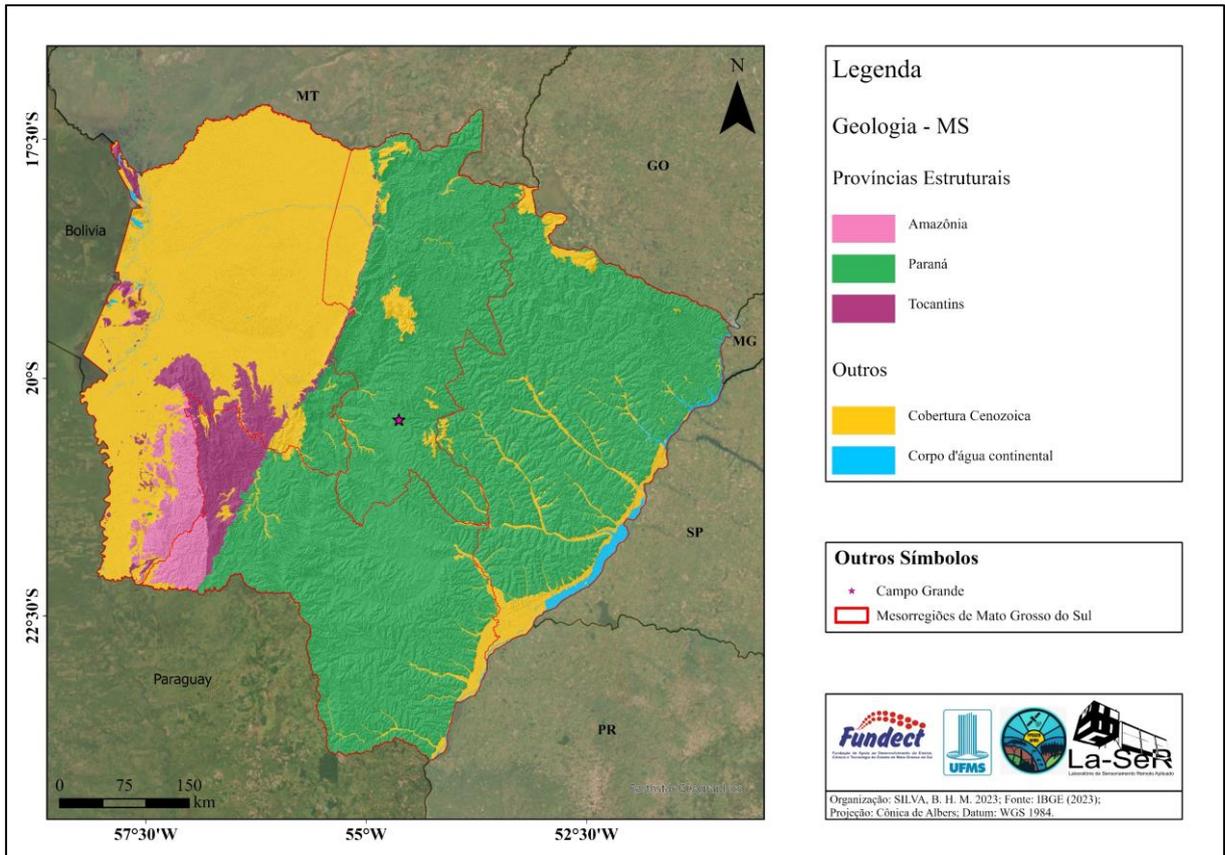


Organização: Autor.

3.2.3 Geologia Mato Grosso do Sul

O estado apresenta 4 províncias estruturais: Amazônia, Cobertura Cenozoica, Paraná e Tocantins (IBGE, 2023). Grande porção da região leste do estado está ocupado pela província paraná, ao qual faz parte da bacia hidrográfica do rio paraná, seguido pela cobertura cenozoica que o ocupa a maior parte do território do oeste como também as áreas de planícies Sul Mato – Grossense (Figura 8).

Figura 8 – Geologia (províncias estruturais) de Mato Grosso do Sul.

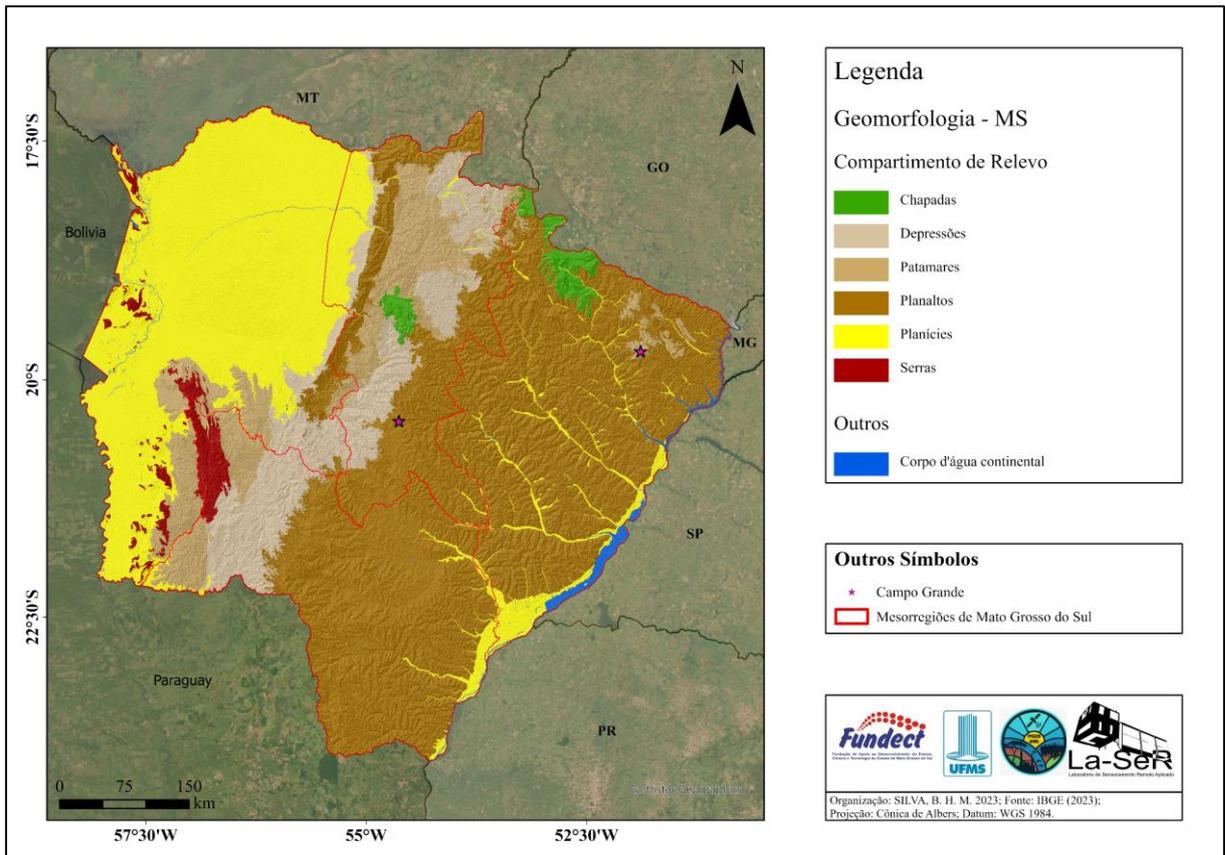


Organização: Autor.

3.2.4 Geomorfologia de Mato Grosso do Sul

Os compartimentos de relevo que formam a geomorfologia de Mato Grosso são subdivididos entre chapadas, depressões, patamares, planaltos, planícies e serras que caracterizam o território e o modo de produção pelo estado (IBGE, 2023). Grande parte da bacia do rio Paraná e formada por áreas de planalto de natureza acumulação, aplanamento e dissecação, por outro lado, grande porção da bacia do rio Paraguai é composta por de planícies, enquanto a faixa de transição, a região central do estado é formada por depressões e patamares (Figura 9).

Figura 9 – Compartimentos de relevo de Mato Grosso do Sul.

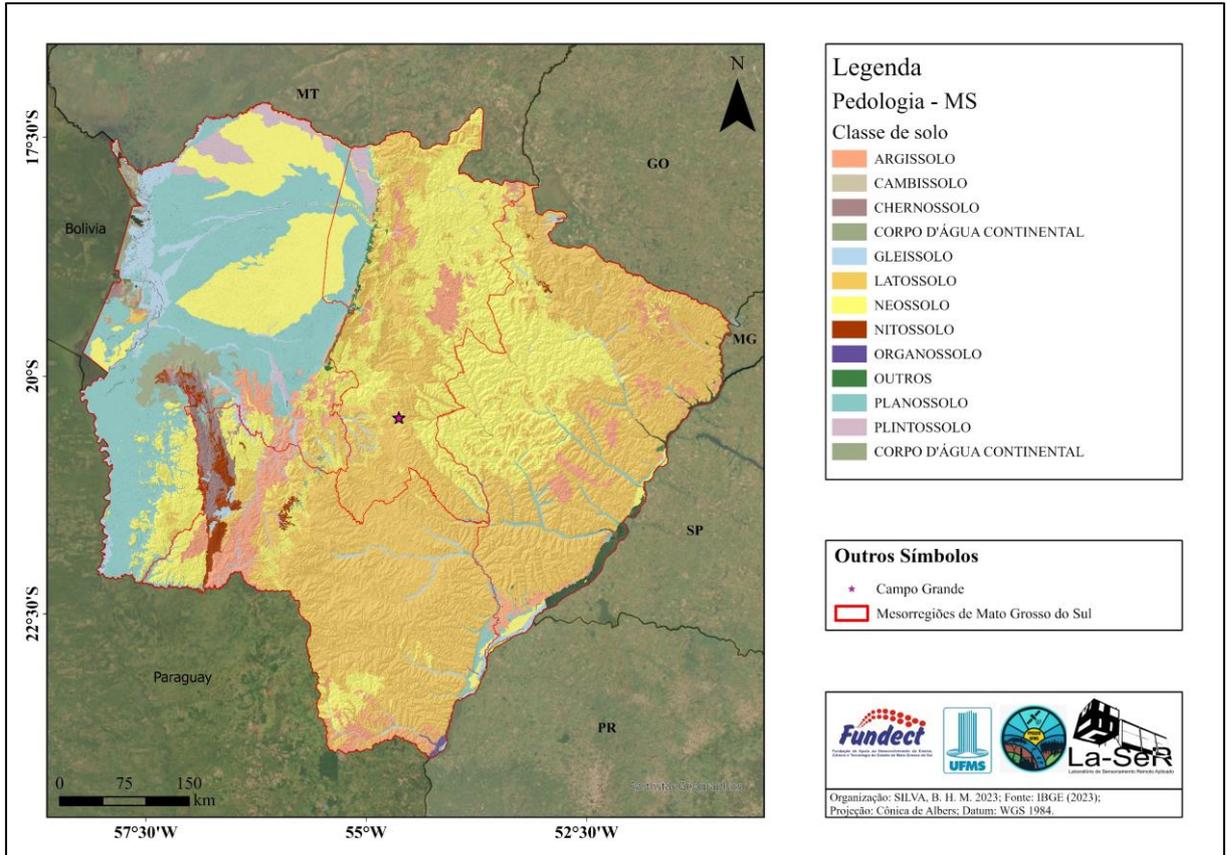


Organização: Autor.

3.2.5 Solos de Mato Grosso do Sul

Os solos de Mato Grosso do Sul são bem diversificados, entretanto as ordens de solo: Latossolo, Neossolo, Planossolo e Argissolo ocupam aproximadamente 90% do território. A maior parte da bacia do rio paraná na região leste é ocupada por Latossolos e Neossolos enquanto a bacia do rio Paraguai é formada por Planossolos, assim, apresentando grande variabilidade de textura (Figura 10).

Figura 10 – Pedologia de Mato Grosso do Sul.



Organização: Autor.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO E O USO E COBERTURA DA TERRA NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

As primeiras atividades econômicas do estado, se deu o extrativismo de minérios, que atraiu a migração para a área antes pertencente ao estado de Mato Grosso, no entanto a atividade é enfraquecida no período final do século XVIII, dando espaço à pecuária (MARIANO e TEIXEIRA, 2022).

O estado de Mato Grosso do Sul tem uma história marcada pelo longo predomínio da erva-mate. No entanto, devido ao declínio desse setor, houve um incentivo para o avanço da agropecuária extensiva em todo o território conforme Domingues e Thomaz Junior (2012).

Ao refletirmos sobre a história do Mato Grosso do Sul, vimos que esse estado tem tradicionalmente sua economia vinculada à extração de produtos primários e de recursos naturais, com destaque inicial para a erva-mate⁴. A partir de meados do século XX, entra em decadência o modelo de desenvolvimento agrícola em curso, ou seja, passa-se a praticar a agricultura modernamente tecnológica, o que oportunizou que outras atividades produtivas passassem a ser praticadas. Este é o caso da soja, do milho, e da pecuária de corte, que é a base econômica do Estado (DOMINGUES e THOMAZ JÚNIOR, 2012, p. 140).

Com as atividades produtivas de ervas da Campanhia Matte Laranjeira, as terras indígenas Kaiowá e Guarani passaram a ser ainda exploradas na região:

O monopólio da terra pela empresa a partir das concessões estaduais ocorreu em terras indígenas, no território Kaiowá e Guarani, e, dessa forma, impactou a vida dos povos indígenas que ali viviam. (LUIZ, LEONARDO E NARDOQUE, 2023, p.38)

Assim, a ocupação de terra no Mato Grosso do Sul, teve sua relação com base na produção do mate, condicionando as relações territoriais no campo:

Desde o início de sua ocupação, as oligarquias trataram de se apropriar de grandes extensões de terra, em seguida, houve a concessão de imensas extensões de terras à Companhia Matte Laranjeira para explorar os ervais, expropriando, dessa forma, comunidades indígenas e subjugando-as como mão de obra. (LUIZ, LEONARDO E NARDOQUE, 2023, p.36)

Com o enfraquecimento do mate por intervenção do governo, o substituto é a pecuária, favorecida na região Centro-Oeste por seus atributos naturais de planaltos com altitudes médias, e o clima tropical, se ‘espalhando’ do fim do século XVIII ao XIX a partir de Goiás, tendo uma concentração ao sul do Pantanal, onde posteriormente a comercialização do gado foi facilitada através da implantação da linha férrea (TEIXEIRA e HESPANHOL, 2014). A partir das políticas a Getúlio Vargas, na década de 1930, a região Centro-Oeste recebeu grandes influências para sua ocupação (MARIANO e TEIXEIRA, 2022).

Conforme Teixeira e Hespanhol (2014), em razão das plantações de cana-de-açúcar e expansão das atividades mineradora, ainda no período colonial, as atividades de criação de gado foram deslocadas para o interior do país, sendo apenas no início do século XX tomadas medidas oficiais de incentivo à atividade pecuária (como a implantação de frigoríficos, estabelecimento do Serviço de Veterinária do Ministério da Agricultura).

Com a modernização da agropecuária e incentivos de políticas oficiais, a partir da década de 1960 a pecuária passa a ter maior expansão, principalmente de forma extensiva pela região Centro-Oeste, de forma que de 1960 a 1980 as áreas correspondentes à pecuária foram de 122,3 para 175,5 milhões de hectares de acordo com o IBGE, de forma distribuída entre grandes propriedades concentradas (Teixeira e Hespanhol, 2014).

Somente a partir do final do século XX, a partir das exigências do mercado para exportação, houve melhorias na atividade da criação do gado, com um maior controle sanitário, as pastagens plantadas com ênfase na brachiária passaram a ser aplicadas. Nessa mesma década foram dados incentivos fiscais e atrativos pelo Fundo Constitucional do Centro-Oeste resultando no deslocamento de várias unidades de abate de bovinos para a região (Teixeira e Hespanhol, 2014).

Conforme Teixeira e Hespanhol (2014), posteriormente o estado de Mato Grosso do Sul passa por uma alteração na sua dinâmica de produção:

Na década de 2000, ocorreram algumas alterações nas áreas de criação. Regiões tradicionais de bovinocultura tiveram suas áreas de pastagens reduzidas em decorrência do avanço de outras atividades como, por exemplo, a cana-de-açúcar. Segundo Teixeira et al (2010) o Mato Grosso do Sul, primeiro produtor nacional de bovinos até a década de 1990, reduziu consideravelmente sua produção na década de 2000, diante do avanço das plantações de cana-de-açúcar e eucalipto (TEIXEIRA e HESPANHOL, 2014, p. 36).

Assim, além do desenvolvimento da agricultura na região, a silvicultura também se destaca devido às condições favoráveis do ambiente, como a localização, terras extensas, abundância de água, solos, relevo e clima adequados, além dos incentivos fiscais. Isso resulta no potencial de crescimento desse setor no estado.

A silvicultura se instala na região leste do estado de Mato Grosso do Sul, servindo inicialmente à atividade econômica da carvoaria nas últimas décadas de século XX e atualmente através de projetos do governo do estado tem-se a implantação das indústrias de papel e celulose a partir de incentivos e flexibilização de leis ambientais (KUDLAVICZ, 2011).

4.2 SENSORIAMENTO REMOTO E SIG'S

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados através da captação da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002). Para Luchiari et al. (2011) o sensoriamento remoto é a técnica que possibilita a aquisição de informações sobre determinados objetos, fenômenos e áreas sem que necessariamente necessite haver contato direto com tais, tornando-se instrumento de coleta e aquisição de dados.

Já os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), conforme descrito por Longley et al. (2013), constituem importante elemento complementar ao sensoriamento remoto, definidos como: sistemas computacionais capazes de armazenar e processar a informação geográfica. A integração do sensoriamento remoto com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) possibilita a análise detalhada da paisagem e contribui significativamente para a tomada de decisão por meio do uso das geotecnologias. Com o contínuo desenvolvimento de novas tecnologias, como o avanço dos sensores orbitais ópticos, os sistemas radarmétricos e o aprimoramento das técnicas de sensoriamento remoto, bem como o progresso do geoprocessamento e sua integração com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), tornou-se possível ampliar significativamente as observações e análises fisiográficas da paisagem.

Nesse contexto, o geoprocessamento e os SIG's assumem um papel fundamental como etapa essencial para o auxílio no ordenamento territorial e para a formulação de estratégias articuladas com base nos resultados obtidos. Ele se torna uma ferramenta indispensável para o zoneamento ambiental (ANIAH et al., 2023; LIU et al., 2023), permitindo uma abordagem precisa e integrada dos recursos naturais, dos aspectos socioeconômicos e das atividades humanas em determinada região.

O sensoriamento remoto tem se beneficiado fortemente dos avanços tecnológicos recentes em paralelo ao surgimento de big data e das plataformas de processamento baseadas

em nuvem que facilitam a classificação do uso e cobertura da terra para fins de planejamento e ordenamento físico-territorial, resultando em análises com ganho de tempo e redução de custos aos gestores (AMANI et al., 2020). Estes avanços têm se dado em função da constante disponibilização dos produtos de sensoriamento remoto disponíveis gratuitamente e novos algoritmos de aprendizado de máquina não paramétricos para classificação de uso da terra disponíveis no Google Earth Engine (GEE) (PAN et al., 2021; SHETTY et al., 2021).

4.3 MODELAGEM PREDITIVA DO USO DA TERRA E CA-MARKOV

A modelagem do uso e cobertura da terra permite explorar padrões preditivos da paisagem e orientar o manejo da gestão da terra. Conforme o *National Research Council* (NRC,2014), a modelagem é baseada em padrões para uma série de processos. Sendo no primeiro cenário: orientado para descrever os padrões passados e no segundo cenário: projetado para representar formas de decisões ambientais e antrópicas que causam alterações em padrões. Entretanto ambos os cenários são trabalhados de forma conjunta e interativa na aplicação da prática (REN et al., 2019).

Um dos métodos historicamente recorrente para previsão da trajetória da mudança entre os vários estados categóricos é a aplicação da modelagem por meio do processo estocástico das cadeias de Markov (PONTIUS; MALANSON, 2005), entretanto este processo tem uma fraqueza na abordagem Markoviana quando se utilizada isoladamente, fazendo com que a matriz de probabilidade de mudanças calculada pelo método não seja capaz de prever as mudanças no uso da terra, contando que uma vez que a mudança no uso da terra em uma célula geográfica depende, majoritariamente, de mudanças nas suas células vizinhas (BELL, 1974). Contudo, as cadeias de Markov não especializa esses resultados:

As principais limitações das cadeias de markov incluem o fato do modelo não explicar o fenômeno (Porquê) e ser limitado na resposta espacial (Onde), entretanto o modelo pode fazer previsões (Quando) desde que os processos sejam estacionários (PEDROSA e CÂMARA, 2003).

Entretanto a especialização deste processo ocorre através da implantação dos Autômatos Celulares (Cellular Automata), conforme Mitsova et al. (2011). Para a execução de cenários futuros, o modelo CA-Markov, que consiste na análise da mudança das classes do uso e cobertura da terra onde será possível realizar a transição das classes, assim, a integração das Cadeias de Markov com os Autômatos Celulares tem mostrado ser capaz de padronizar e

consequentemente melhorar os modelos que descrevem padrões complexos de mudanças na paisagem (CUNHA et al., 2021; LIANG et al., 2021).

A modelagem preditiva do uso da terra, utilizando abordagens como a CA-Markov, busca responder a questão sobre o impacto da ação antrópica no meio ambiente (LEGDOU et al., 2022; MIRANDA et al., 2022). Por meio dessa análise, é possível simular cenários futuros e avaliar como as atividades humanas, como agricultura, pecuária e expansão urbana (ZHOU et al., 2020), podem influenciar o uso e cobertura da terra ao longo do tempo.

Trabalhos que contemplam a execução do modelo integrado CA-Markov, podem atribuir análises a diversas áreas de estudo do uso e cobertura da terra, seja para compreensão da expansão urbana (ABURAS et al., 2017; BEYENE e MINALE, 2023; SIDDIQUI et al., 2021; XU et al., 2022^a), estoque e sequestro de carbono (AVTAR et al., 2022; BABBAR et al., 2021; ZHAO et al., 2019), erosão do solo (CUNHA et al., 2022; EL JAZOULI et al., 2019), alterações de áreas úmidas e pantanosas (BACANI et al., 2016; ZHANG et., 2021), expansões de monoculturas entre outras dinâmicas (RUBEN et al., 2020; VICK e BACANI, 2019).

Historicamente a modelagem preditiva estava associada ao uso do modelo CA-Markov, utilizando da lógica *Analytic Hierarchic Process* (AHP) (NATH et al., 2020; OMAR, et al., 2014), entretanto com o avanço das tecnologias a integração entre CA-Markov e a inteligência artificial por meio do aprendizado de máquina se tornou um avanço relevante para a modelagem (LIU et al., 2022). Entre os modelos de aprendizado de máquina o *Random Forest*, traz uma inovação a dinâmica da modelagem preditiva, rompendo com a lógica tradicional com a AHP e buscando compreender de forma mais precisa características compostas no uso e cobertura da terra (LIANG et al., 2021; ZHAO et al., 2023).

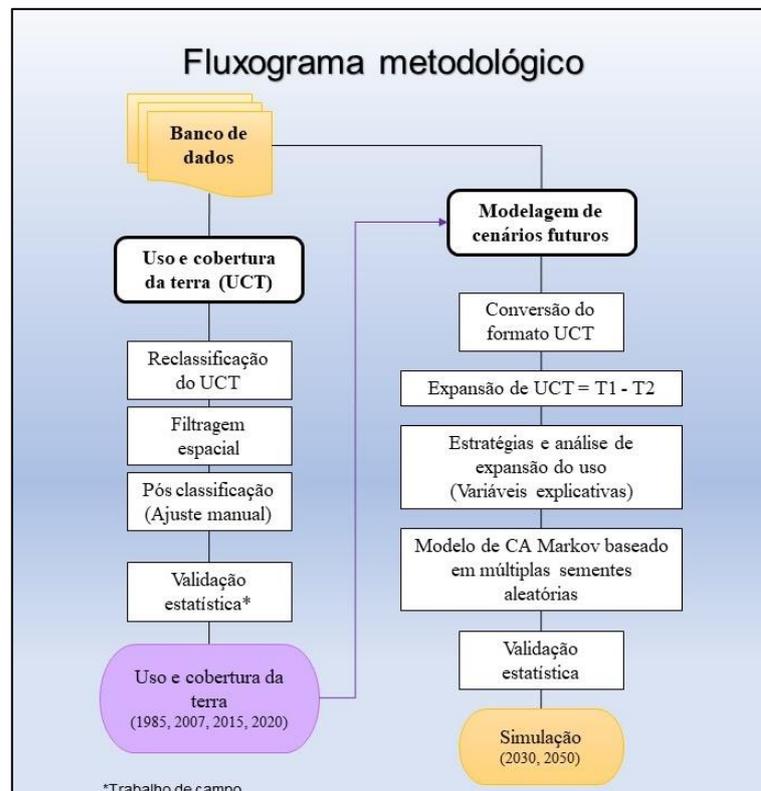
5 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos adotados neste estudo se dividem em duas principais etapas (Figura 11).

A primeira etapa consistiu no mapeamento das mudanças do uso e cobertura da terra (UCT) no Estado de Mato Grosso do Sul, abrangendo os anos de 1985, 2007, 2015 e 2020. Essa análise permitiu compreender de forma abrangente a evolução da paisagem ao longo do tempo, identificando padrões e tendências significativas.

A segunda etapa envolveu a modelagem preditiva de cenários futuros, com foco nos anos de 2030 e 2050. Nessa etapa, empregou-se o modelo de Cadeias de Markov em conjunto com Autômatos Celulares (CA-Markov)/Random Forest para simular os possíveis CTA e CDF. Essa abordagem possibilitou prever as mudanças futuras do uso e cobertura da terra, considerando diferentes variáveis e cenários possíveis.

Figura 11 – Fluxograma metodológico de construção da simulação preditiva.

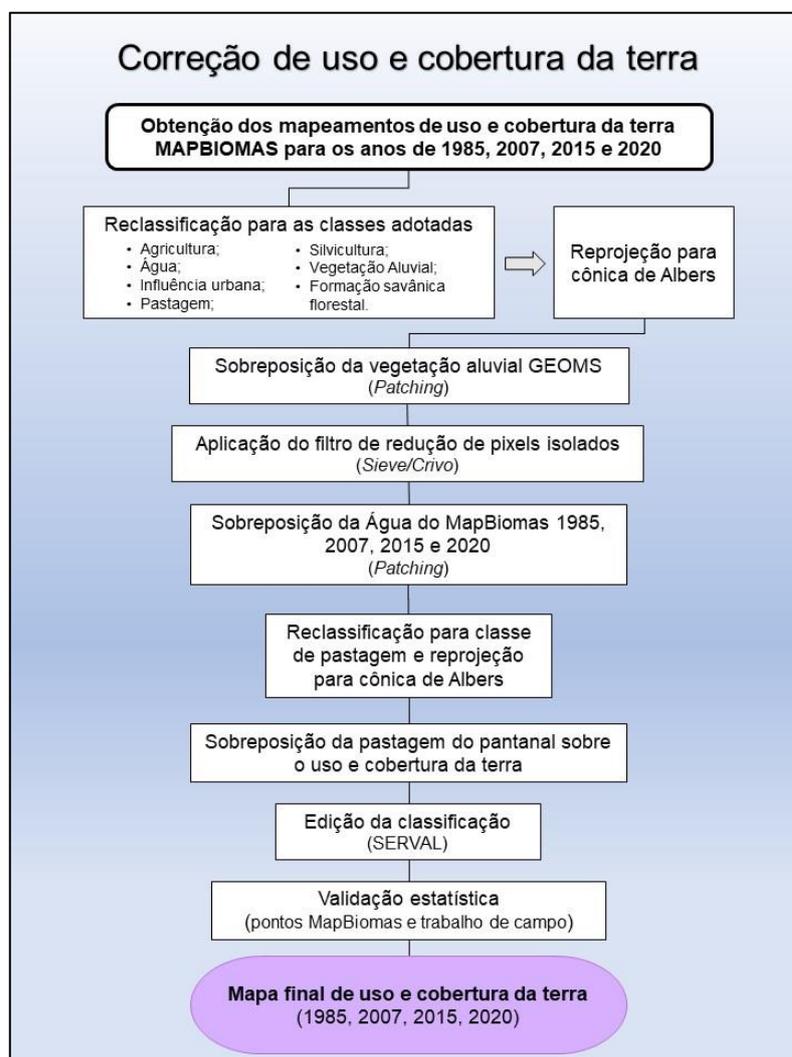


Fonte: Autor.

5.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DA TERRA

Os dados relativos ao uso e cobertura da terra foram obtidos por meio dos mapeamentos disponibilizados pelo projeto MapBiomias (SOUZA et al., 2020) e projeto GeoMS (SILVA et al., 2011). Esses mapeamentos passaram por ajustes e edições para melhor adequação ao estado de Mato Grosso do Sul (Figura 12).

Figura 12 – Fluxograma metodológico de construção do uso e cobertura da terra.



Fonte: Autor.

5.1.1 Reclassificação

Inicialmente, o mapeamento do uso e cobertura da terra do projeto MapBiomias (SOUZA et al., 2020) foi reclassificado com o objetivo de melhorar a acurácia, por meio da generalização das classes. As classes foram agrupadas de forma a simplificar as categorias existentes, utilizando a ferramenta “reclassificar por tabela” no software QGIS 3.22 (Quadro 1).

As classes definidas após a reclassificação foram as seguintes: Agricultura, Água, formação savânica/florestal, Influência Urbana, Pastagem, Silvicultura, e Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas. Essas categorias foram escolhidas com base no projeto GeoMS (SILVA et al., 2011) e na necessidade de generalizar as classes originais do mapeamento do projeto MapBiomias (SOUZA et al., 2020), permitindo uma análise mais abrangente das mudanças do uso e cobertura da terra no estado de Mato Grosso do Sul (Quadro 1).

Quadro 1 – Reclassificação do uso e cobertura da terra.

Reclassificação Uso e cobertura da terra	
Classe utilizada	Classes MapBiomias 7.0
Agricultura	Agricultura; Algodão (beta); Arroz (beta); Café; Cana; Citrus; Lavoura Perene; Lavoura Temporária; Outras Lavouras Perenes; Outras Lavouras Temporárias; Soja.
Água	Aquicultura; Corpo D’água; Rio, Lago e Oceano.
Formação Savânica/Florestal	Afloramento Rochoso; Apicum; Formação Campestre; Formação Florestal; Formação Savânica; Mangue, Outras Formações não Florestais; Restinga Arborizada; Restinga Herbácea.
Influência Urbana	Área Urbanizada.
Pastagem	Área não vegetada; Formação Campestre (Pantanal); Mineração; Mosaico de Usos; Outras Áreas não Vegetadas; Pastagem; Praia, Duna e Areal.
Silvicultura	Silvicultura.

Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	Campo Alagado e Área Pantanosa.
---	---------------------------------

Fonte: MapBiomias (2023). Organização: Autor.

5.1.2 Conversão de projeção

Após a reclassificação realizou-se a conversão da projeção dos mapeamentos para a projeção cônica de Albers com Datum WGS 1984. Essa etapa foi executada utilizando as ferramentas reprojetar coordenadas para arquivos de formato matricial e reprojetar camadas para arquivos vetoriais disponíveis no software QGIS 3.22. A adoção dessa projeção foi importante para garantir a consistência dos dados geoespaciais utilizados na análise, facilitando a integração e sobreposição dos mapas, segundo parâmetros oficiais do IBGE (IBGE, 2014)(Quadro 2).

Quadro 2 – Parâmetros da projeção cônica de Albers.

Parâmetros cônica de Albers	
Latitude de origem	-12
Longitude de origem	-54
Paralelo padrão 1	-2
Paralelo padrão 2	-22

Fonte: IBGE, 2014. Elaboração: Autor.

5.1.3 Ajuste vegetação Aluvial

Com o objetivo de aprimorar a exatidão do mapeamento de áreas que contêm vegetação aluvial, foi conduzida a extração da classe correspondente de vegetação aluvial a partir do mapa de uso e cobertura da terra elaborado em 2007 pelo projeto GEOMS (SILVA et al., 2011). Após a extração, essa classe foi sobreposta ao mapa do uso e cobertura da terra reclassificado e reprojetado, utilizando a ferramenta *Patching* disponível no complemento SAGA do software QGIS 3.22. Essa abordagem permitiu a integração e aprimoramento das informações referentes à vegetação aluvial, enriquecendo a análise das mudanças no uso e cobertura da terra ao longo do tempo.

5.1.4 Aplicação de filtro

Na etapa de pós-processamento, foi aplicado um filtro com o objetivo de aprimorar a representação do mapa de uso e cobertura da terra, visando reduzir o chamado “efeito sal e pimenta” descrito por Blaschke et al. (2000). Utilizando a ferramenta Crivo no software QGIS 3.22, foram definidos parâmetros de limite igual a 30 e a opção de conectividade 8-*connectedness* ativada, o que permitiu agrupar os pixels e reduzir a presença de pixels isolados no mapa do uso e cobertura da terra (NECKEL et al., 2020).

Para melhor representar as áreas de águas superficiais, após a aplicação do filtro, foi realizada a sobreposição da classe de água com base no respectivo ano do mapa de uso e cobertura da terra. Essa sobreposição foi feita utilizando a ferramenta *Patching* no software QGIS 3.22, considerando os valores de validação apresentados pelo MapBiomias (SOUZA et al., 2020). Essa etapa de pós-processamento visou aprimorar a precisão e a consistência do mapa de uso e cobertura da terra, assegurando uma representação mais acurada das áreas de águas superficiais no contexto geral da paisagem.

5.1.5 Ajuste do UCT (Pantanal)

Na mesorregião dos Pantanaís Sul-Mato-Grossense, que é composta principalmente pelo bioma do Pantanal, foi realizado um ajuste específico no mapa de uso e cobertura da terra (UCT). Nesse ajuste, a classe “Formação Campestre” foi reclassificada para a classe de “Pastagem”, devido às informações dessa classe não serem condizentes com o mapeamento do Cerrado (Formação Savânica/Florestal) que predomina no estado. Esse ajuste foi necessário para garantir a veracidade e a consistência dos dados reclassificados, e a sobreposição parcial foi realizada utilizando a ferramenta *Patching* no software QGIS 3.22 (Quadro 3). Essa medida visou assegurar a representação mais precisa possível do bioma do Pantanal na região.

Quadro 3 – Descrição da classe formação campestre no uso e cobertura da terra.

Formação Campestre (MapBiomias 7.0)	
Pantanal	Cerrado

Vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminóide, com presença de arbustivas isoladas e lenhosas raquíticas. A composição botânica é influenciada pelos gradientes edáficos e topográficos e pelo manejo pastoril (pecuária). Manchas de vegetação exótica invasora ou de uso forrageiro (pastagem plantada) podem estar presentes formando mosaicos com a vegetação nativa.	Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) e algumas áreas de formações savânicas como o Cerrado rupestre.
---	---

Fonte: Souza et al. (2020). Organização: Autor.

5.1.6 Ajuste da classificação (SERVAL)

Após a conclusão de todas as etapas de ajustes automáticos no mapeamento de UCT, foi realizado o ajuste manual utilizando o *plugin* SERVAL, disponível no software QGIS 3.22. Esse processo contou com o auxílio de imagens de alta resolução disponibilizadas gratuitamente, como banco de dados Bing®, Sentinel 2, CBERS 04A, SPOT 4-5 e Planet, que foram utilizadas para complementar e aprimorar os mapas. Os ajustes e adequações dos mapas foram realizados por meio do método de interpretação visual, conforme descrito por Novo (2010). Essa abordagem permitiu a correção de possíveis discrepâncias ao mapeamento final.

5.1.7 Validação estatística do UCT

Para validar o mapeamento de uso e cobertura da terra, foi utilizado o software QGIS 3.22. A avaliação da classificação baseou-se na utilização de parâmetros estatísticos clássicos para a validação do mapeamento temático do uso e cobertura da terra. Dentre esses parâmetros, destacam-se o índice de concordância Kappa (Eq. 1), os parâmetros de avaliação de desempenho da classificação por classe (Eq. 2), os valores dos erros de omissão e inclusão (Eq. 3 e 4, respectivamente), e a acurácia global da classificação (Eq. 5).

Para expandir o conjunto amostral e avaliar a acurácia do mapeamento em anos anteriores, escolheu-se uma abordagem combinada, utilizando trabalho de campo e fotointerpretação, na seleção de pontos amostrais. Na etapa inicial, 219 pontos foram escolhidos através de trabalho de campo, ao passo que outros 700 pontos foram distribuídos e considerados com base na expertise da área por meio de fotointerpretação, levando em consideração as 7 classes do mapeamento. A escolha desses pontos foi conduzida mediante amostragem aleatória estratificada, considerando o tamanho das classes. Os pontos foram coletados tanto em campo

quanto por meio de imagens dos satélites Landsat 8, equipado com o sensor OLI e Landsat 5, sensor TM. Utilizou-se uma composição colorida (bandas: 4/3/2) com referência temporal no ano da classificação, empregando a mediana anual. Essa abordagem combinada resultou em um total de 919 pontos distribuídos pelo estado para os anos de 1985, 2007, 2015 e 2020. Todos esses pontos foram interpretados como verdade terrestre, seguindo as diretrizes estabelecidas por Congalton (1991). Esses pontos foram dispostos em uma matriz de erros e confrontados com a classificação obtida, permitindo uma análise detalhada e precisa do desempenho do mapeamento em relação aos dados reais coletados em campo e imagens Landsat, complementadas por imagens de alta resolução espacial disponíveis no Google Earth Pro®. Essa etapa foi fundamental para verificar a confiabilidade do mapeamento e garantir a precisão dos resultados obtidos.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$$

$$Precisão_{classe_x} = \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (2)$$

$$Erros_{omissão} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (3)$$

$$Erros_{inclusão} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{i+}} \right) \quad (4)$$

$$Acurácia_{global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (5)$$

onde:

\hat{K} : valor estimado *Kappa*;

k : número de linhas;

x_{ii} : número de observações na linha i e coluna i ;

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$: soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;

x_{i+} : soma total das observações para as linhas;

x_{+i} : soma total das observações para as colunas;

N : número de observações total.

Para auxiliar na análise das classificações, os valores do índice Kappa foram comparados aos limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 1. Essa comparação forneceu uma indicação do nível de concordância entre os dados classificados e a verdade terrestre, ajudando a avaliar a precisão e confiabilidade do processo de mapeamento.

Tabela 1 – Limiares do índice Kappa.

Índice Kappa	Concordância
0.00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977, p. 165).

5.2 MODELAGEM PREDITIVA

A modelagem preditiva do UCT foi realizada a partir do software *Patch-Generating Land Use Simulation* (PLUS) no método CA-Markov, combinado com o aprendizado de máquina gerado pelo algoritmo *Random Forest* (LIANG et al., 2021). Dessa forma, esses modelos foram utilizados na elaboração da simulação das mudanças no UCT por mesorregiões de Mato Grosso do Sul nos CTA e CDF.

5.2.1 Conversão do UCT

Para a utilização do *software* PLUS foi necessária uma etapa de conversão dos arquivos primários de UCT para o formato *Unsigned Char Format*, sendo o único formato suportado pelo programa. Esse formato binário de 0 a 1, permite a execução na opção *Data Processing – Convert LULCs to Unsigned Char Format*.

5.2.2 Expansão do uso e cobertura da terra

Após a conversão do uso e cobertura da terra, foi realizado o cálculo de expansão do uso com base nos mapas correspondentes ao Tempo 1 (2015) e Tempo 2 (2020). Essa análise foi realizada utilizando a ferramenta *PLUS – Extract Land Expansion*, que permitiu capturar as mudanças ocorridas entre os dois períodos, ou seja, as alterações no uso e cobertura da terra ao longo desse intervalo. Essa abordagem possibilitou obter informações fundamentais para a calibração do modelo preditivo.

5.2.3 Variáveis explicativas

Para compreender o modelo e atender às necessidades de explicação das mudanças, foram criadas 6 variáveis padrão para o Estado (cinco baseadas em distâncias e uma baseada na altimetria do terreno), levando em consideração a realidade do manejo do UCT. Essas variáveis incluíam a distância das rodovias e estradas rurais, a distância da rede de drenagem, a distância de centros de influência urbana, a distância de áreas de agricultura, a distância de plantios de silvicultura e o modelo digital de elevação (MDE) (VICK e BACANI, 2019).

Após a obtenção e ajuste das 5 variáveis de distância, procedeu-se à aplicação da ferramenta de distância euclidiana no software ArcGIS 10.8. Essa etapa envolveu o uso de arquivos vetoriais contendo informações sobre as variáveis e sua distância até o limite definido, e posteriormente, esses arquivos foram convertidos para o formato matricial. O objetivo dessa abordagem foi calcular as distâncias a partir dos pontos de interesse, permitindo a incorporação dessas informações no modelo preditivo do uso e cobertura da terra. Essas distâncias desempenham um papel importante na explicação das mudanças observadas nas classes de interesse, contribuindo para uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a dinâmica da paisagem.

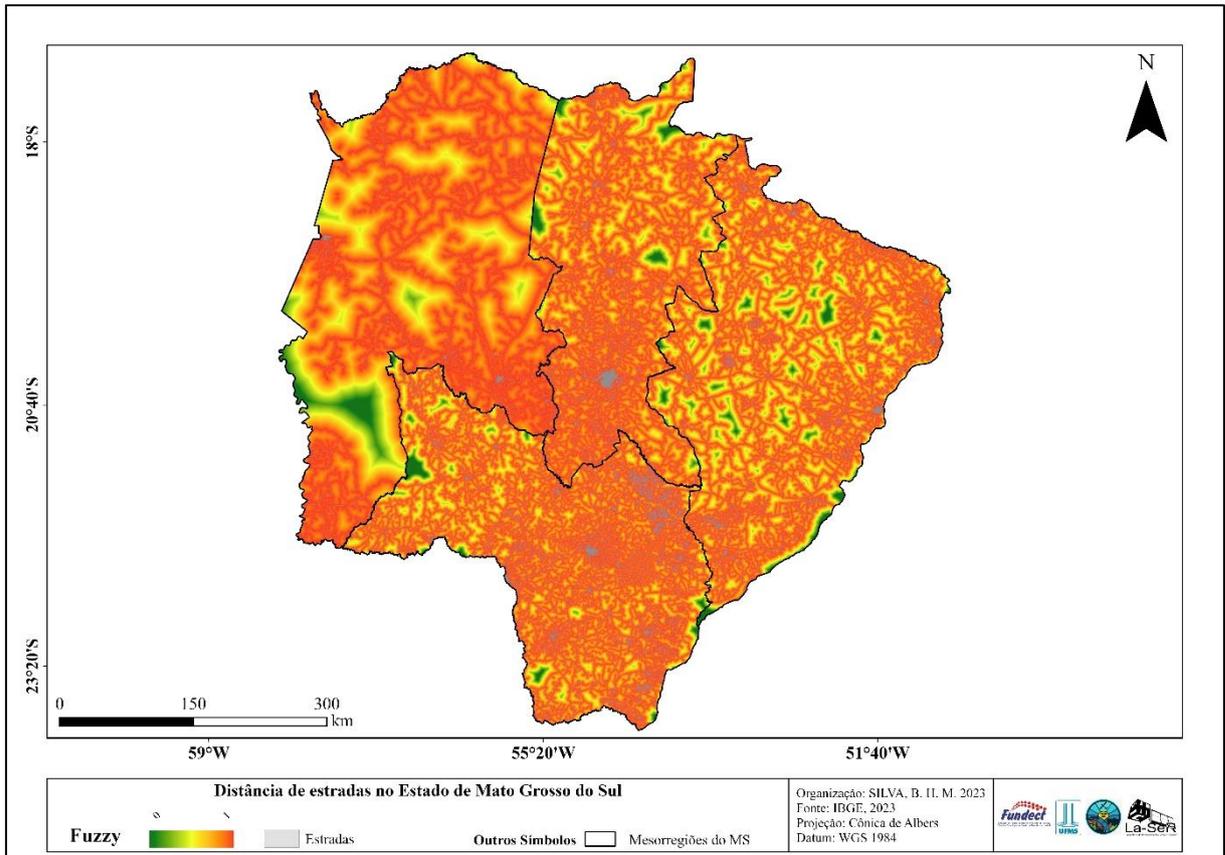
Após a aplicação da lógica fuzzy, as variáveis explicativas foram padronizadas, atribuindo valores de pertinência que variam de 0 a 1. A escolha das funções de aplicação das variáveis foi feita levando em consideração suas características e influências no uso e cobertura da terra. No caso das variáveis de distância, foi utilizada a função linear crescente. Isso significa que quanto mais próximo as áreas identificadas estavam das rodovias, estradas rurais, rede de drenagem, centros de influência urbana, áreas de agricultura e plantios de silvicultura, maior era sua pertinência e, portanto, maior era a adequação ao desenvolvimento. Essa abordagem considera que áreas mais próximas a essas infraestruturas e atividades têm maior potencial para serem utilizadas e ocupadas devido à facilidade de acesso e influência humana. Por outro lado, no caso do Modelo Digital de Elevação (MDE), foi aplicada a função linear decrescente. Isso significa que quanto mais próximo às áreas mais altas, menor era sua pertinência e, portanto, menos favorável era ao manejo do uso e cobertura da terra. Essa escolha se fundamentou na suposição de que áreas com maiores elevações podem apresentar limitações naturais ao desenvolvimento, como declividades acentuadas ou solos menos propícios para atividades humanas.

5.2.3.1 *Distância das rodovias e estradas rurais*

A confecção do mapa de distância das rodovias e estradas rurais foi realizada por meio do *plugin Quick OSM*, disponibilizado no software QGIS 3.22 (Figura 13). Esse *plugin* possibilitou a identificação de todos os tipos de estradas disponíveis na região de interesse. Para garantir a precisão do mapeamento, foram excluídos do resultado os projetos de estradas que ainda não estavam construídas.

Após a obtenção das informações das rodovias e estradas rurais, foi aplicada a ferramenta de distância *Euclidean Distance*, que calcula a distância euclidiana de cada pixel do mapa até o ponto mais próximo da estrada. Em seguida, a função fuzzy foi utilizada para padronizar os valores de pertinência das distâncias, atribuindo valores de 0 a 1 com base na função linear crescente. Isso permitiu que áreas mais próximas das rodovias e estradas rurais tivessem maior pertinência e, conseqüentemente, maior adequação ao desenvolvimento (LIANG et al., 2021).

Figura 13 – Mapa de distância das rodovias e estradas rurais.

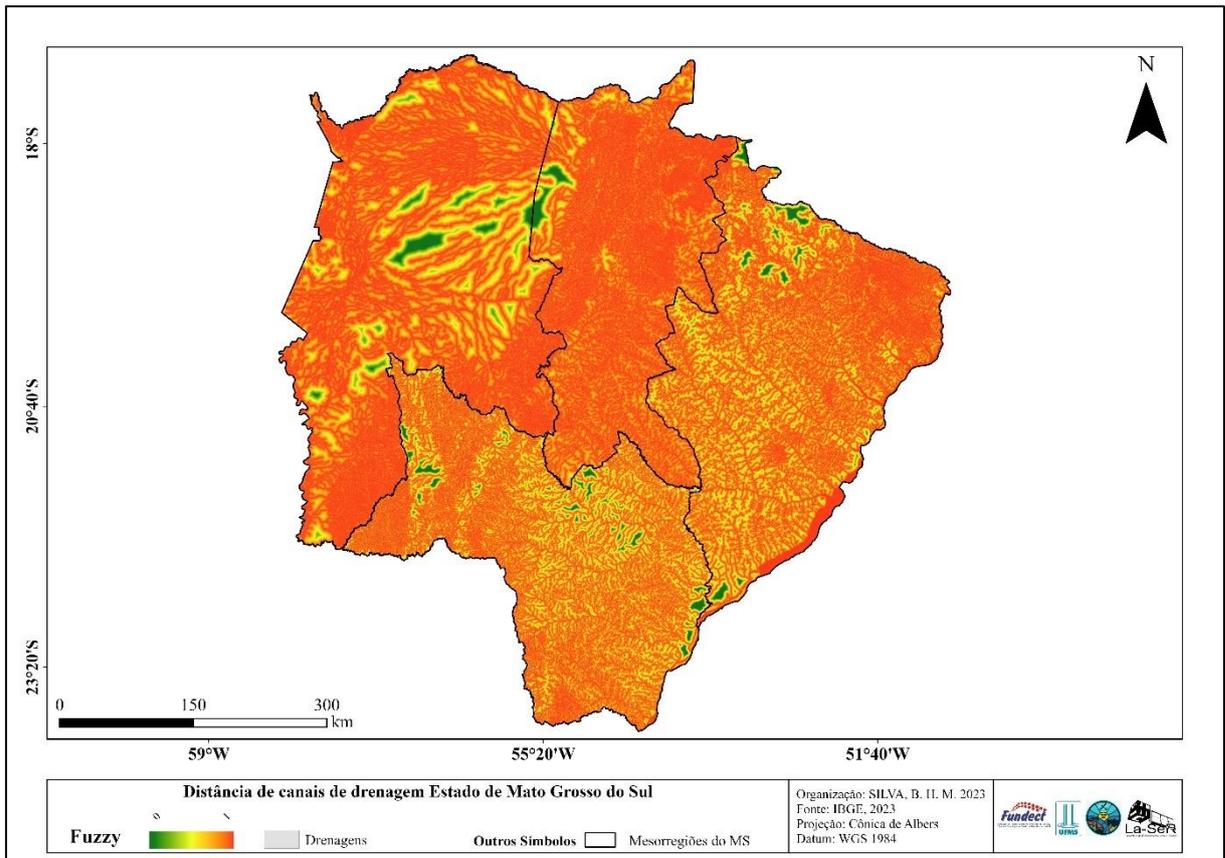


Fonte: Autor.

5.2.3.2 Distância da rede de drenagem

Para calcular a distância da rede de drenagem, foram utilizados dados do projeto GeoMS (SILVA et al., 2011), na escala de 1:100.000. A partir desses dados, executou-se a ferramenta *Euclidean Distance* para calcular a distância euclidiana de cada pixel do mapa até o ponto mais próximo da rede de drenagem. Em seguida, aplicou-se a função fuzzy para padronizar os valores de pertinência das distâncias, atribuindo valores de 0 a 1 com base na função linear crescente. Dessa forma, as áreas mais próximas da rede de drenagem tiveram maior pertinência, indicando uma maior influência dessa variável no uso e cobertura da terra (Figura 14).

Figura 14 – Mapa *fuzzy* de distância da rede de drenagem.

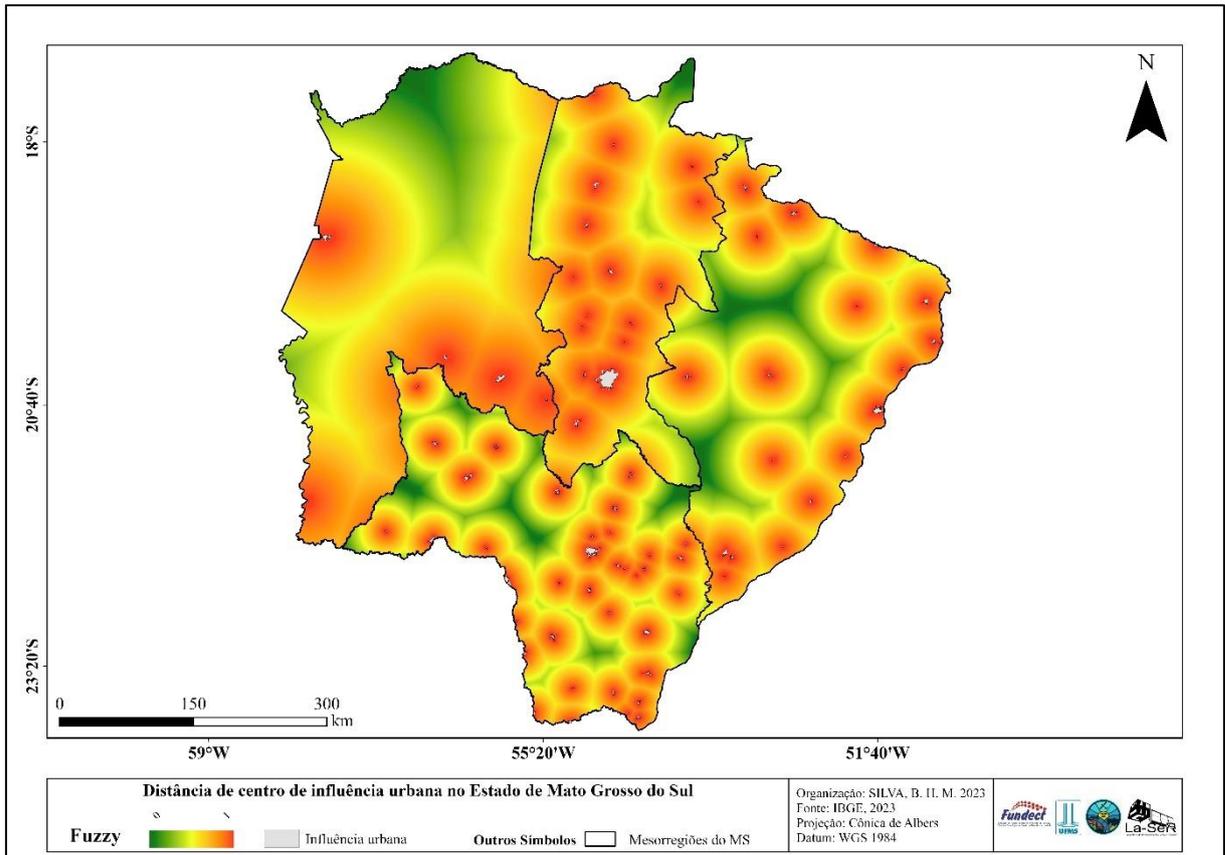


Fonte: Autor.

5.2.3.3 Distância de centros de influência urbana

Para a confecção da distância de centros de influência urbana foi realizado a vetorização manual em escala 1:8.000 no *software* ArcGIS 10.8, utilizando imagens do Bing para o ano de 2020 em todos os 79 municípios do estado. A vetorização considerou apenas as áreas construídas dentro do meio urbano e as áreas industriais próximas. Após a vetorização, aplicou-se a ferramenta *Euclidean Distance* para calcular a distância euclidiana de cada pixel do mapa até o ponto mais próximo dos centros de influência urbana. Em seguida, a função fuzzy foi utilizada para padronizar os valores de pertinência das distâncias, atribuindo valores de 0 a 1 com base na função linear crescente (Figura 15).

Figura 15 – Mapa *fuzzy* de distância dos centros de influência urbana.

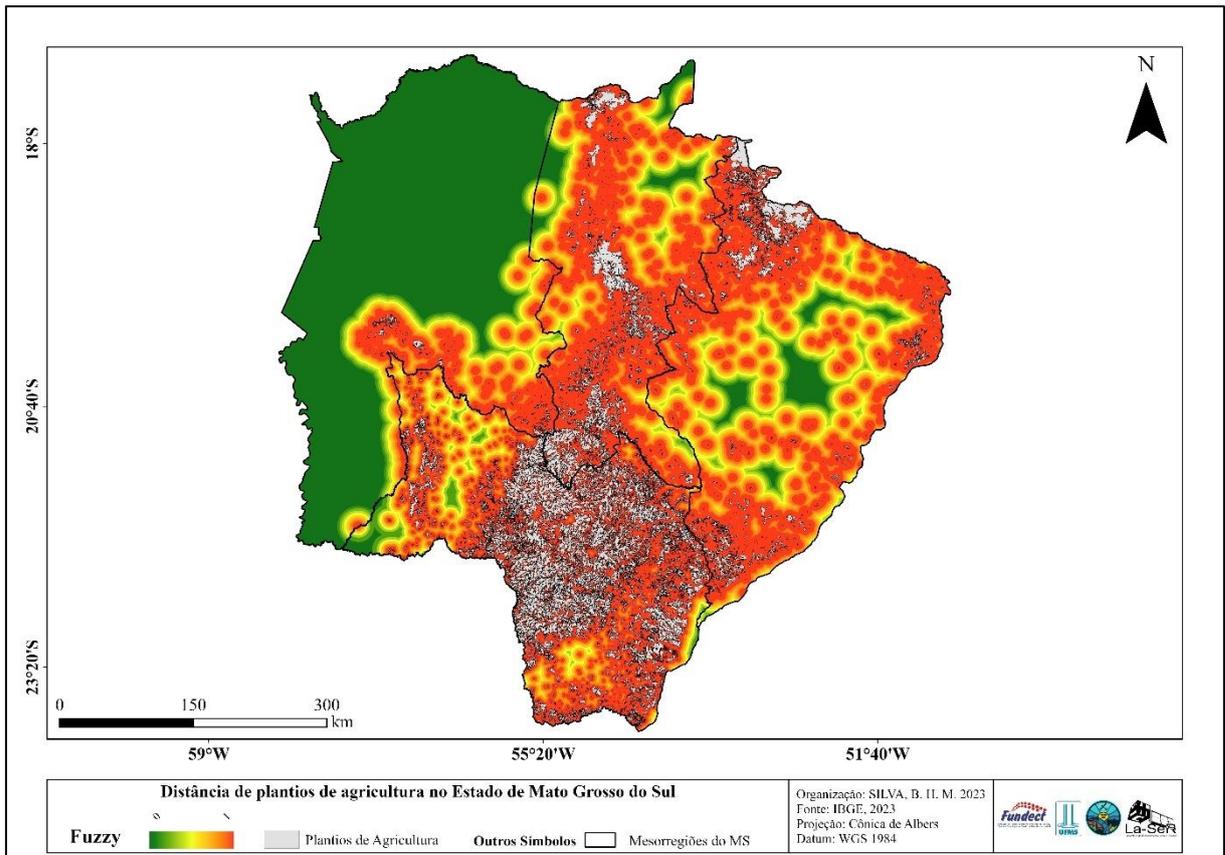


Fonte: Autor.

5.2.3.4 Distância de áreas de agriculturas

Para a confecção da distância de áreas com plantios de agriculturas, foi extraída a classe de agricultura do mapeamento de uso e cobertura da terra no ano de 2020. Em seguida, foi aplicada a ferramenta *Euclidean Distance* para calcular a distância euclidiana de cada pixel do mapa até o ponto mais próximo das áreas agrícolas. Devido à necessidade de adaptação para o software PLUS, foi realizada uma reclassificação dos dados utilizando a ferramenta *ArcToolBox – Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify* no software ArcGIS, com intervalos variando a cada 2,5 km. Essa reclassificação permitiu padronizar os valores de distância das áreas agrícolas e torná-los compatíveis com o formato exigido pelo software PLUS. Por fim, a função fuzzy foi aplicada aos valores de distância, atribuindo valores de pertinência que variam de 0 a 1. (Figura 16).

Figura 16 – Mapa *fuzzy* de distância de plantios de agriculturas.



Fonte: Autor.

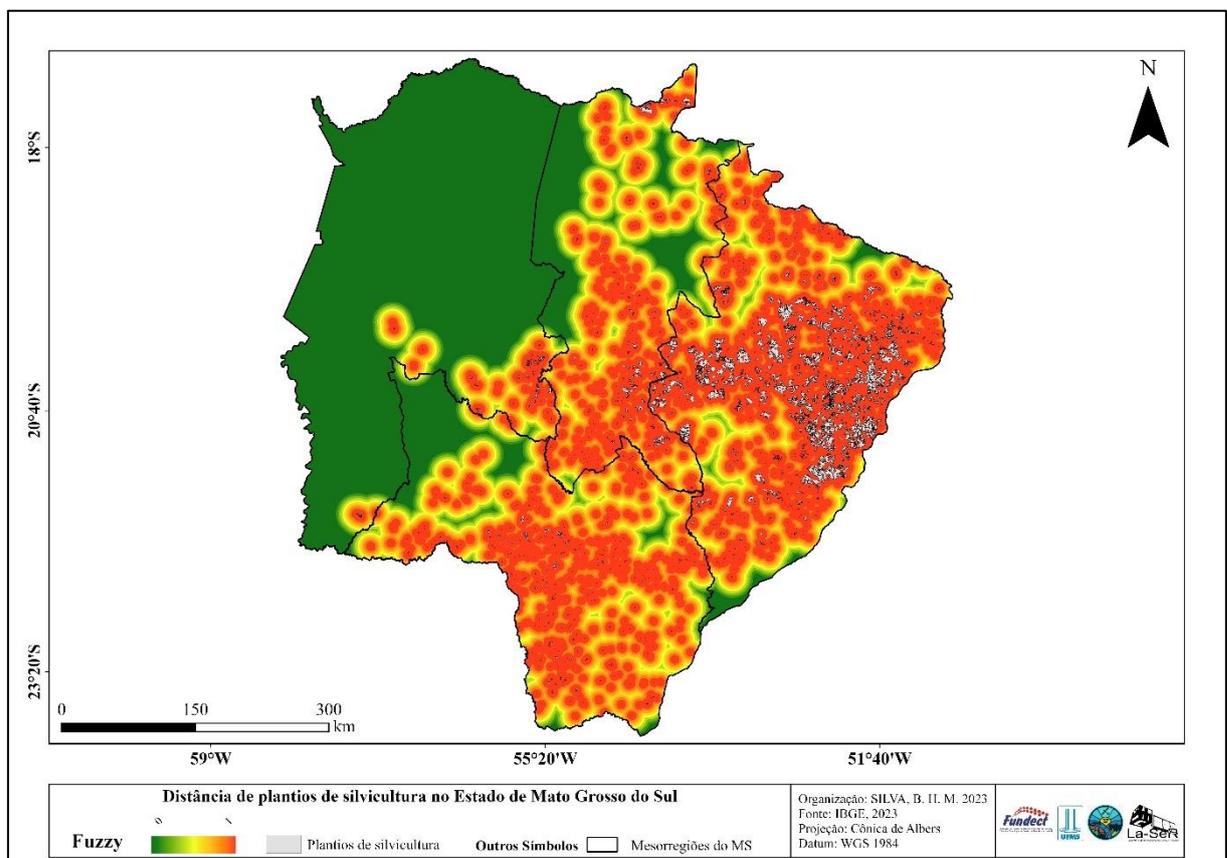
5.2.3.5 Distância de plantios de silviculturas

Para a elaboração da distância de plantios de silviculturas, primeiramente, foi realizada a extração da classe de silvicultura do mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020. Em seguida, aplicou-se a ferramenta *Euclidean Distance* para calcular a distância dessas áreas em relação ao restante da paisagem. Conforme a necessidade de adaptação, foi empregada uma reclassificação com intervalos entre 2,5 km por meio da ferramenta *Reclassify*, adotando a função *fuzzy* no software ArcGIS

Na mesorregião Leste, devido à grande concentração de plantios de silvicultura, principalmente de eucalipto, foi necessária uma adaptação específica. Considerando a relação desses plantios com o tamanho do imóvel rural, foram utilizados dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Foi elaborada uma reclassificação dos dados com base no módulo fiscal, atribuindo pesos de forma crescente conforme o tamanho do imóvel: minifúndio, pequena propriedade, média propriedade e grande propriedade, conforme estabelecido pela Lei nº 13.465 de 2007 (BRASIL, 2017). Em seguida, aplicou-se a função fuzzy com o parâmetro de

produto entre a distância dos plantios de silvicultura e o tamanho dos imóveis rurais. Essa abordagem levou em consideração tanto a distância dos plantios em relação ao restante da paisagem, como também a escala do tamanho dos imóveis, possibilitando uma representação mais precisa da relação entre a silvicultura e o uso da terra na mesorregião Leste (Figura 17). Essa adaptação foi fundamental para garantir uma análise mais acurada das mudanças no uso e cobertura da terra nessa região, considerando as características específicas relacionadas aos plantios de silvicultura.

Figura 17 – Mapa *fuzzy* de distância de plantios de silviculturas.



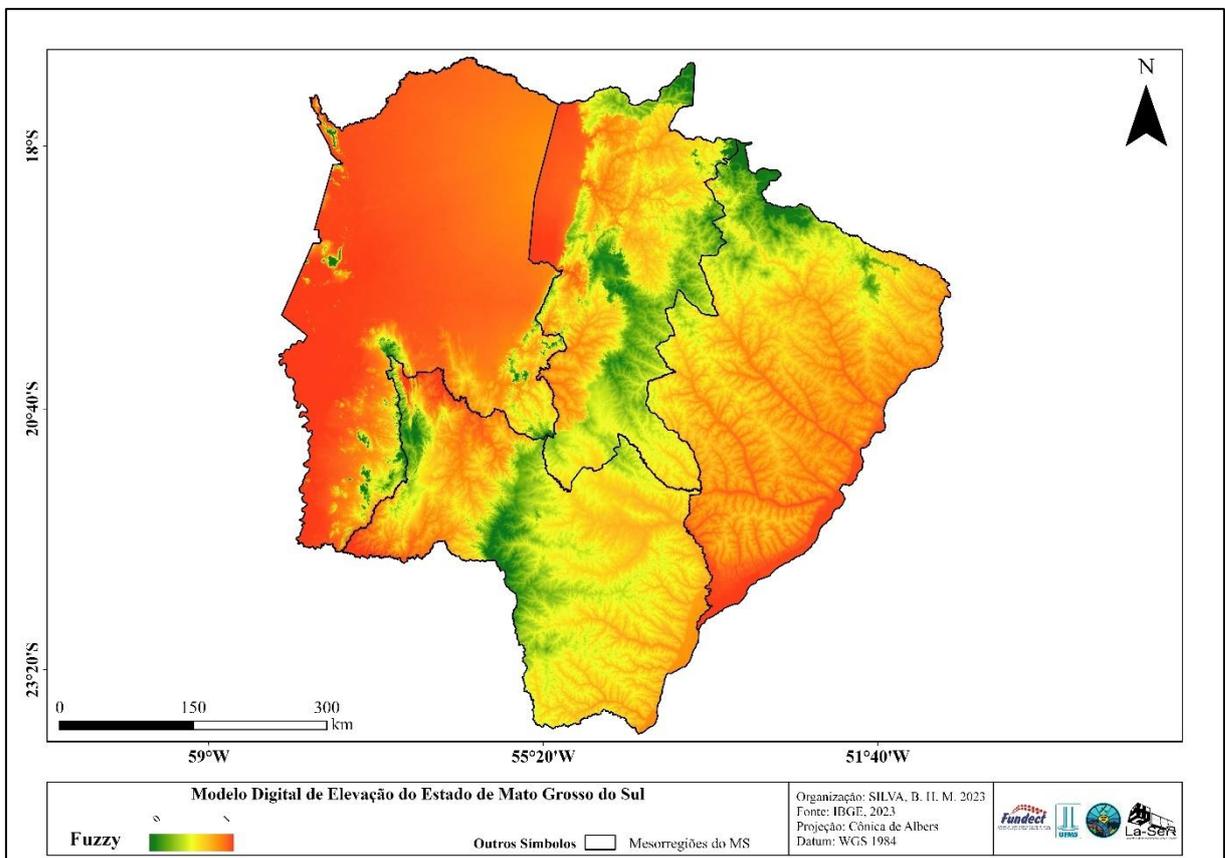
Fonte: Autor.

5.2.3.6 Modelo Digital de Elevação

O modelo digital de elevação (MDE) foi obtido por meio do *Google Earth Engine* (GEE), código: (<https://code.earthengine.google.com/fe64b19c6da78f29e1631cadee766336>), a partir de uma imagem de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com uma resolução

espacial de 30 metros. Para incorporar o MDE na modelagem, aplicou-se a função fuzzy, atribuindo pesos às diferentes altitudes da paisagem. As áreas de maior altitude foram consideradas mais restritivas ao desenvolvimento, recebendo um menor peso na análise. Essa abordagem permitiu capturar a relação entre a altitude da paisagem e o uso e cobertura da terra, considerando que áreas mais elevadas podem apresentar restrições naturais ou ambientais ao manejo e ocupação. Dessa forma, o MDE com função fuzzy enriqueceu a modelagem preditiva ao levar em conta as características topográficas e suas influências nas mudanças do uso da terra (Figura 18).

Figura 18 – Mapa *fuzzy* do Modelo Digital de Elevação.



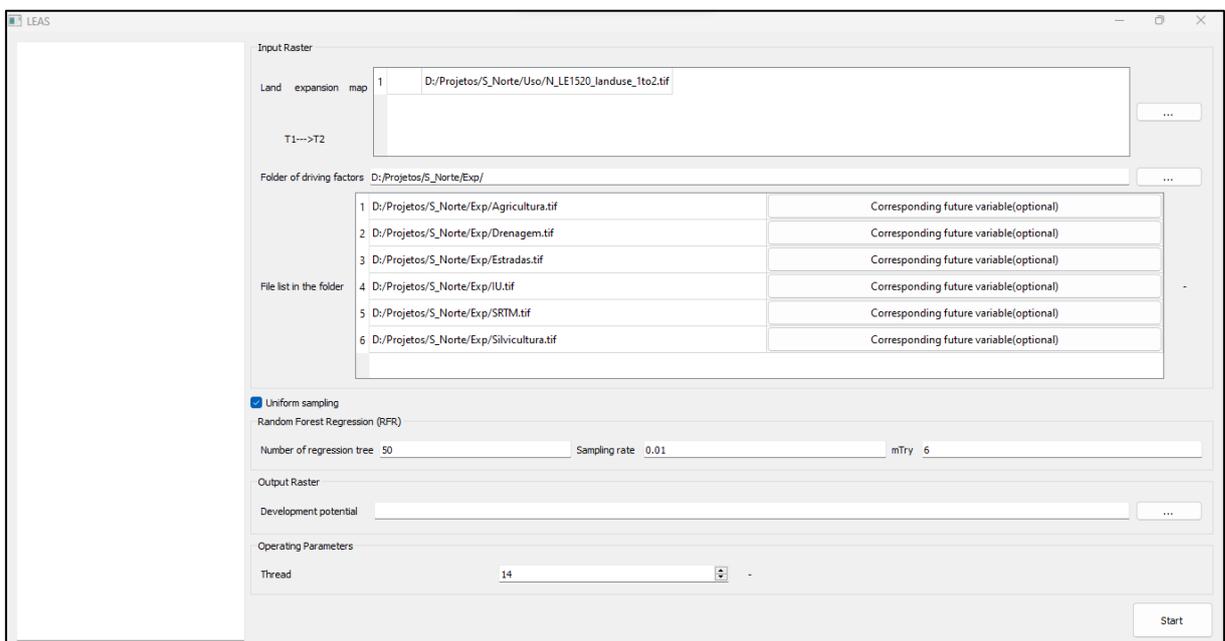
Fonte: Autor.

5.2.4 Land expansion analysis strategy (LEAS)

A ferramenta *Land Expansion Analysis Strategy* (LEAS) foi aplicada na etapa de modelagem preditiva para analisar a expansão do uso e cobertura da terra entre os anos de 2015

e 2020. Nesse processo, os dados do mapeamento de uso e cobertura da terra foram utilizados como input, juntamente com as variáveis explicativas previamente obtidas. A aplicação da técnica *Random Forest Regression* (RFR) foi realizada no módulo LEAS, com uma amostragem uniforme, garantindo que os pontos de amostragem para cada tipo de classe fossem os mesmos. Os parâmetros utilizados foram 50 árvores de regressão (*number of regression tree*) e uma taxa de amostragem de 0.01 (*sampling rate*) (Figura 19).

Figura 19 – Parâmetros LEAS.



Fonte: Autor.

Após a aplicação dos parâmetros a ferramenta gera variáveis de desenvolvimento potencial, indicando ao software possíveis áreas de crescimento com base nas mudanças do uso e cobertura da terra e as variáveis explicativas.

5.2.5 Markov Chain

Nessa etapa de calibração e simulação do uso e cobertura da terra foi necessário calcular a probabilidade de transição entre as classes por meio da ferramenta *Markov Chain*, que consiste na demanda das classes de uso e cobertura com base na sua perspectiva futura, representada através de um número de pixels, sendo os intervalos variados conforme os anos de início e fim (Figura 20).

Figura 20 – Parâmetros Markov Chain.

Markov Chain

Start year image ...

End year image ...

Start year

End year

Predict year ▾

```

2020,117120,320949,13343162,632100,44315133,10632256,8319830
2025,121773,333171,13165471,739991,43313871,10120012,9886262
2030,124501,345247,12983775,841739,42358646,9644891,11381753
2035,125722,357182,12799206,937638,41447466,9203793,12809543
2040,125776,368981,12612769,1027972,40578397,8793925,14172729
2045,124934,380650,12425355,1113015,39749566,8412764,15474266
2050,123415,392192,12237750,1193029,38959163,8058024,16716977

```

Fonte: Autor.

5.2.6 CA -based on multiple random patch seeds (CARS)

Após a extração dos valores de Markov e a geração das variáveis de desenvolvimento potencial, foi realizado o uso da ferramenta *CA – based on multiple random patch seeds* (CARS). Por meio de sua interface, a simulação foi calibrada e a simulação preditiva do uso e cobertura da terra foi realizada. Inicialmente, foi utilizado um mapeamento de uso e cobertura da terra padrão, sendo o ano de 2015 para a etapa de calibração e o ano de 2020 para a simulação futura. Em seguida, as variáveis de desenvolvimento potencial foram introduzidas, seguidas pelas variáveis de restrição, que tiveram como objetivo indicar áreas em que não era possível haver alterações. Para isso, a classe de água do ano de 2020 foi utilizada como um fator restritivo na simulação (Figura 21).

Os parâmetros definidos e utilizados são apresentados no Quadro 4, adaptados conforme a experiência do usuário (LIANG et al., 2021).

Quadro 4 – Parâmetros Utilizados na Ferramenta CA – *Based on Multiple Random Patch Seeds* (CARS).

Parâmetro	Valor
<i>Neighborhood Size</i>	5
<i>Patch Generation Threshold</i>	0.5
<i>Expansion Coefficient</i>	0.1
<i>Percentage of Seeds</i>	0.0001
<i>Lands Demands</i>	Baseados em valores de Markov
<i>Transition Matrix</i>	Todos definidos como 1
<i>Neighborhood Weights</i>	Todos definidos como 1

Fonte: (LIANG et al., 2021). Elaboração: Autor.

Figura 21 – Parâmetros CARS.

The screenshot shows the CARS software interface with the following settings:

- Neighborhood Size: 5
- Data Preparation:
 - Land use pattern: D:/Projetos/S_Norte/Useo/Norte_2020_uc.tif
 - Development potential:
 - 2 D:/Projetos/S_Norte/S_I/Pot_band_2.tif
 - 3 D:/Projetos/S_Norte/S_I/Pot_band_3.tif
 - 4 D:/Projetos/S_Norte/S_I/Pot_band_4.tif
 - 5 D:/Projetos/S_Norte/S_I/Pot_band_5.tif
 - 6 D:/Projetos/S_Norte/S_I/Pot_band_6.tif
 - 7 D:/Projetos/S_Norte/S_I/Pot_band_7.tif
 - Conversion constraint: D:/Projetos/S_Norte/Rest/Agua_uc.tif
- Output Path: Simulação_2050
- Patch generation threshold: 0.5
- Expansion coefficient: 0.1
- Percentage of seeds: 0.0001

The Land Demands table is as follows:

Land Demands	Transition Matrix	Neighborhood Weights						
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6	Type 7
Start Amounts (automatic calculation)		0	0	0	0	0	0	0
Future Amounts 1 (Fill in by users)		123415	392192	12237750	1193029	38959163	8058024	16716977

Additional interface elements include a 'Color' button, a checked 'Dynamic Display' checkbox, and 'Parameter', 'Stop', and 'Run' buttons at the bottom right.

Fonte: Autor.

5.2.7 Validação estatística

Para a validação estatística da calibração do mapeamento do uso e cobertura da terra foram utilizados dados reais e simulados por meio da ferramenta *Confusion Matrix and Fom*.

Os dados reais, denominados *Ground Truth*, correspondem ao uso e cobertura da terra real de 2020. Já os dados simulados, chamados de *Simulation Result*, representam o uso e cobertura da terra simulado para o ano de 2020. Os parâmetros da *Confusion Matrix* foram configurados com uma taxa de amostragem de 0.05, o que corresponde a 5% das amostras utilizadas para a validação estatística (Figura 22).

Figura 22 – Parâmetros validação da calibração do uso e cobertura da terra.

Fonte: Autor.

5.2.8 Cenário baseado em zonas de desenvolvimento

Para a confecção do cenário de zonas de desenvolvimento florestal foram consideradas 7 variáveis (Quadro 5), ao qual foram obtidas em formato vetorial, sendo reprojctadas para a projeção cônica de Albers, após a conversão os arquivos foram rasterizados.

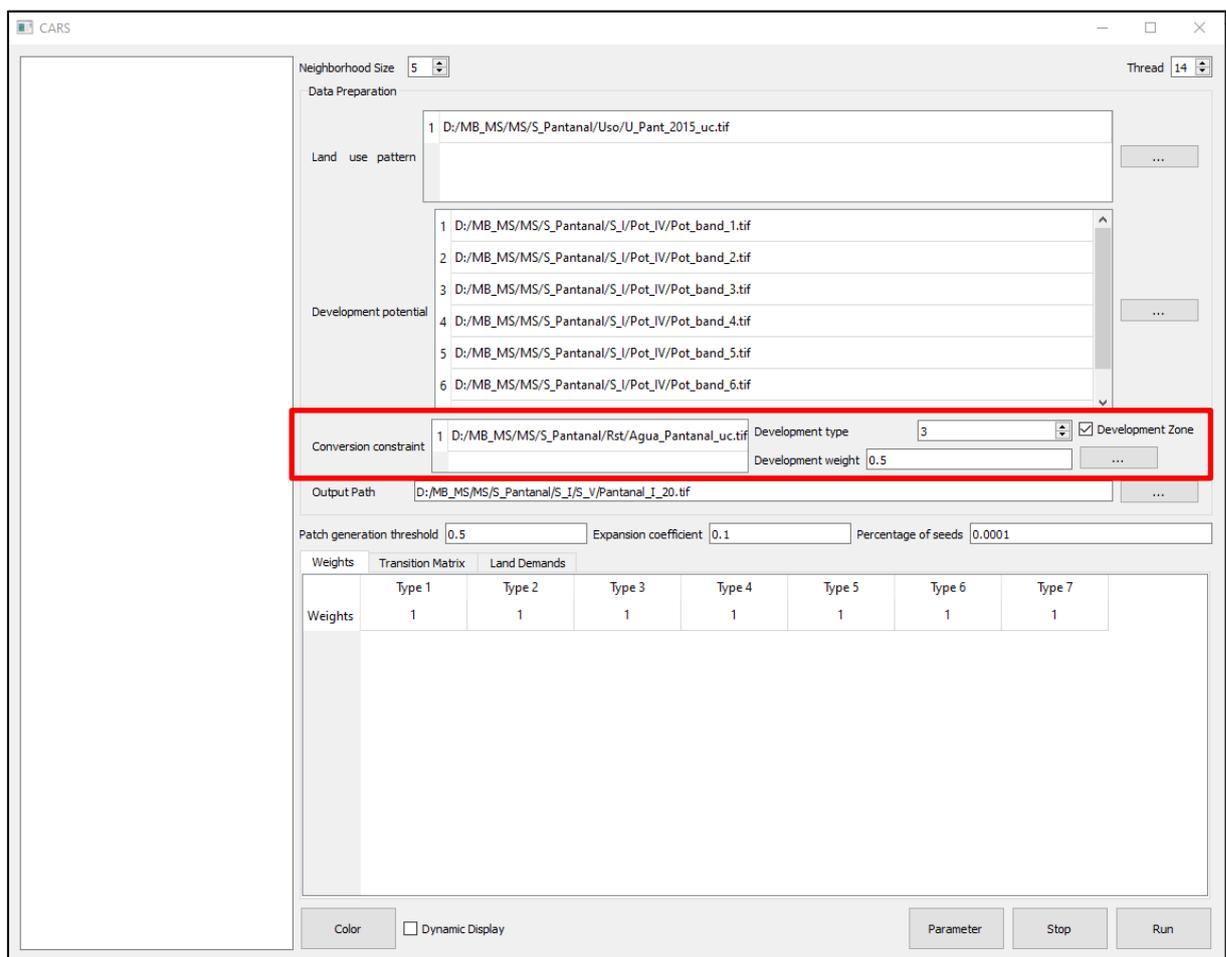
Quadro 5 – Variáveis de confecção do cenário de desenvolvimento florestal.

Zonas de desenvolvimento	Fonte
Áreas de Preservação Permanente (APP)	SICAR
Áreas de vegetação aluvial	SISLA/GEOMS
Corredores ecológicos	SISLA
Comunidades quilombolas	FUNAI

Terras indígenas	FUNAI
Unidades da conservação estaduais	SISLA
Unidades da conservação federais	ICMBIO

Seguido pelo processo de reclassificação no software ArcGIS, ao qual destinou em um mapa onde: 0 – restritivo (representa a água), 1 – transição (área de transição padrão entre classes) e 2 – desenvolvimento (área de desenvolvimento florestal ocupada por APPs). Diante a conversão de formato e foi-se aplicado através da ferramenta *Development Zone*, onde foi definido a classe 3 (Formação savânica/florestal) como de prioridade de desenvolvimento (Figura 23).

Figura 23 - Parâmetros para zona de desenvolvimento florestal.



Fonte: Autor.

6 RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

6.1 USO E COBERTURA DA TERRA PARA MATO GROSSO DO SUL

Foram validados os mapeamentos de uso e cobertura da terra e analisadas as dinâmicas históricas do estado de Mato Grosso do Sul para os anos de 1985, 2007, 2015 e 2020 baseando-se nas mesorregiões e suas interações.

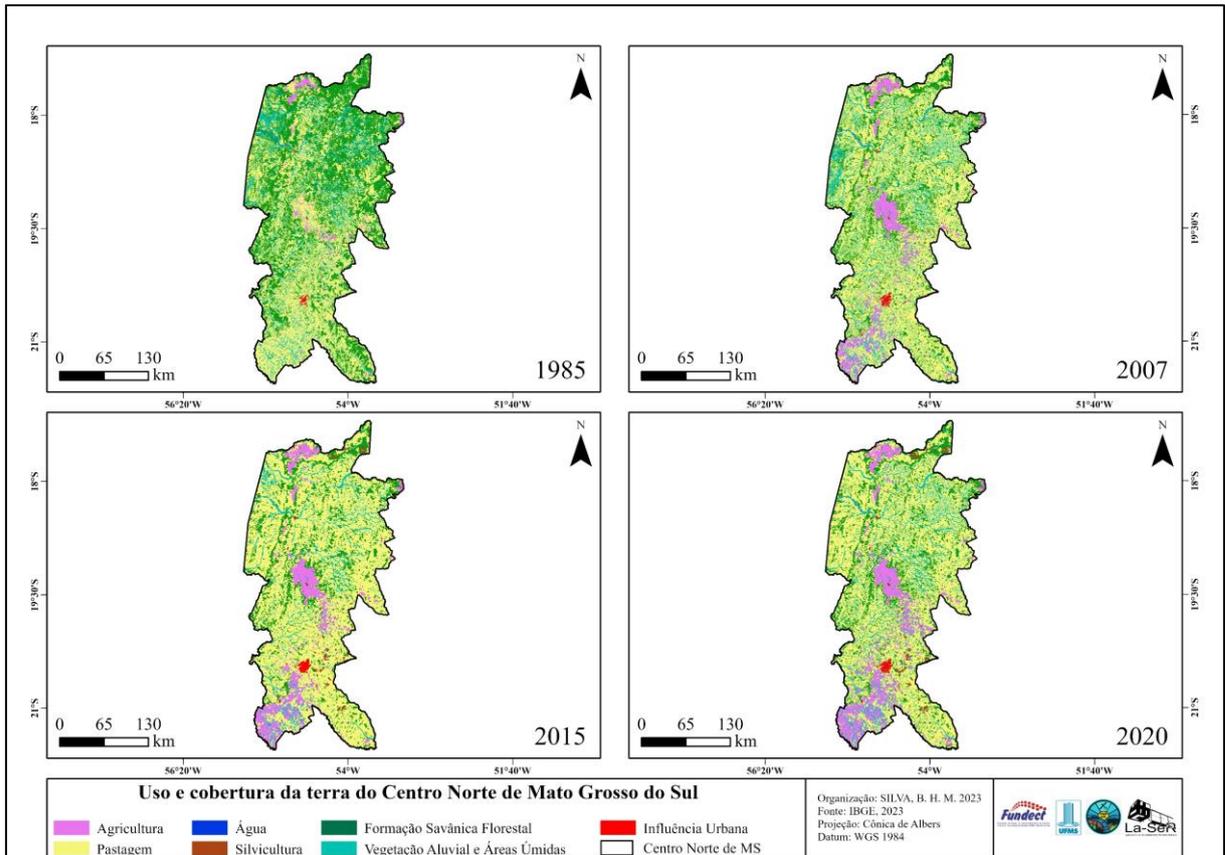
6.1.1 Validação do uso e cobertura da terra para Mato Grosso do Sul

O mapeamento de uso e cobertura da terra foi validado, obtendo as seguintes estatísticas kappa e acurácia global, para o ano de 1985: 0,84 e 85,3%, para o ano de 2007: 0,86 e 88,8%; para o ano de 2015: 0,87 e 89,1%; para o ano de 2020: 0,91 e 92,6%. De acordo com os critérios de Landis e Koch (1974), essa validação é considerada excelente.

6.1.2 Uso e cobertura da terra da mesorregião Centro Norte de Mato Grosso do Sul

A mesorregião Centro Norte de Mato Grosso do Sul passou por diversas alterações na paisagem devido ao avanço da agropecuária, começando com a expansão da pecuária sobre a vegetação nativa, seguida pela conversão das pastagens em monocultivos agrícolas (Figura 24).

Figura 24 – Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 para a mesorregião Centro Norte.



Fonte: Autor.

Em 1985, a mesorregião Centro Norte era predominantemente ocupada pelas classes de pastagem e vegetação de savana (Tabela 2). As áreas de pastagem eram mais concentradas nas proximidades do município de Campo Grande e ao longo da rodovia federal BR-163, estendendo-se até o município de Sonora. Essa distribuição se correlacionou com um aumento notável na produção do PIB no setor agropecuário dos municípios atravessados pela rodovia (ARAÚJO, 2021).

Tabela 2 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Centro Norte.

Classes UCT	1985		2007		2015		2020	
	Área km ²	Área (%)						
Agricultura	1.198,08	1,71	5.133,85	7,34	6.012,00	8,60	7.489,79	10,71
Água	151,14	0,22	110,33	0,16	97,55	0,14	103,82	0,15
Formação Savânica/Florestal	25.132,33	35,95	12.311,52	17,61	12.140,59	17,37	11.981,84	17,14

Influência Urbana	123,35	0,18	249,67	0,36	277,76	0,40	288,88	0,41
Pastagem	32.810,85	46,93	41.586,39	59,48	40.853,38	58,44	39.913,42	57,09
Silvicultura	0,64	0,00	35,04	0,05	465,86	0,67	568,92	0,81
Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	10.495,73	15,01	10.485,31	15,00	10.064,97	14,40	9.565,45	13,68
TOTAL	69912,12	100	69912,12	100	69912,12	100	69912,12	100

Fonte: Autor.

O ano de 2007 é caracterizado pela supressão vegetal, resultando em uma redução de 18,34% na classe de formação savânica/florestal, principalmente na parte norte da região. Esse fenômeno foi motivado pela expansão da pastagem na região central, acompanhada por um aumento triplo na agricultura local. Além disso, houve um crescimento das áreas de pastagem nas regiões desmatadas (MARIANO e TEIXEIRA, 2022). Entre os anos de 2015 e 2020, observou-se uma estagnação nas mudanças de uso e cobertura da terra, com um notável crescimento anual de 0,3% na agricultura ao longo de um período de 35 anos a partir de 1985. Nesse contexto, merece destaque dos municípios de Sidrolândia, São Gabriel do Oeste, Campo Grande, Bandeirantes e Sonora, que se destacaram quanto à área plantada, refletindo em um PIB de 66% (Tabela 3) do rendimento total proveniente da agropecuária na mesorregião, totalizando R\$ 4.383.326.731,00.

Tabela 3 – PIB em preço corrente gerado pela agropecuária em municípios da mesorregião Centro Norte em 2020.

Municípios	PIB em preço corrente da agropecuária (bilhões)
Sidrolândia	R\$ 1.095.531.862,00
São Gabriel do Oeste	R\$ 600.095.178,00
Campo Grande	R\$ 488.105.508,00
Sonora	R\$ 384.882.247,00
Bandeirantes	R\$ 361.274.016,00
TOTAL	R\$ 2.929.888.811,00

Fonte: IBGE 2023. Organização: Autor.

A agricultura nesses municípios, como na mesorregião, tem como destaque a produção culturas de produtos agrícolas, principalmente: soja, milho e cana-de-açúcar. Essas culturas ocupam extensas áreas de plantio em todo o vasto território (Tabela 4), desempenhando um papel fundamental na economia do agronegócio, conforme destacado por Richetti et al. (2020).

Tabela 4 – Área colhida por produtos agrícolas em municípios da mesorregião Centro Norte em 2020.

Área colhida (ha) por produtos agrícolas	Sidrolândia	São Gabriel do Oeste	Campo Grande	Sonora	Bandeirantes	TOTAL
Soja	230.000	120.000	82.000	57.300	76.000	565.300
Milho	200.000	87.500	34.200	29.650	17.978	369.328
Cana	5.045	0	3.500	17.660	0	26.205
TOTAL	435.045	207.500	119.700	104.610	93.978	960.833

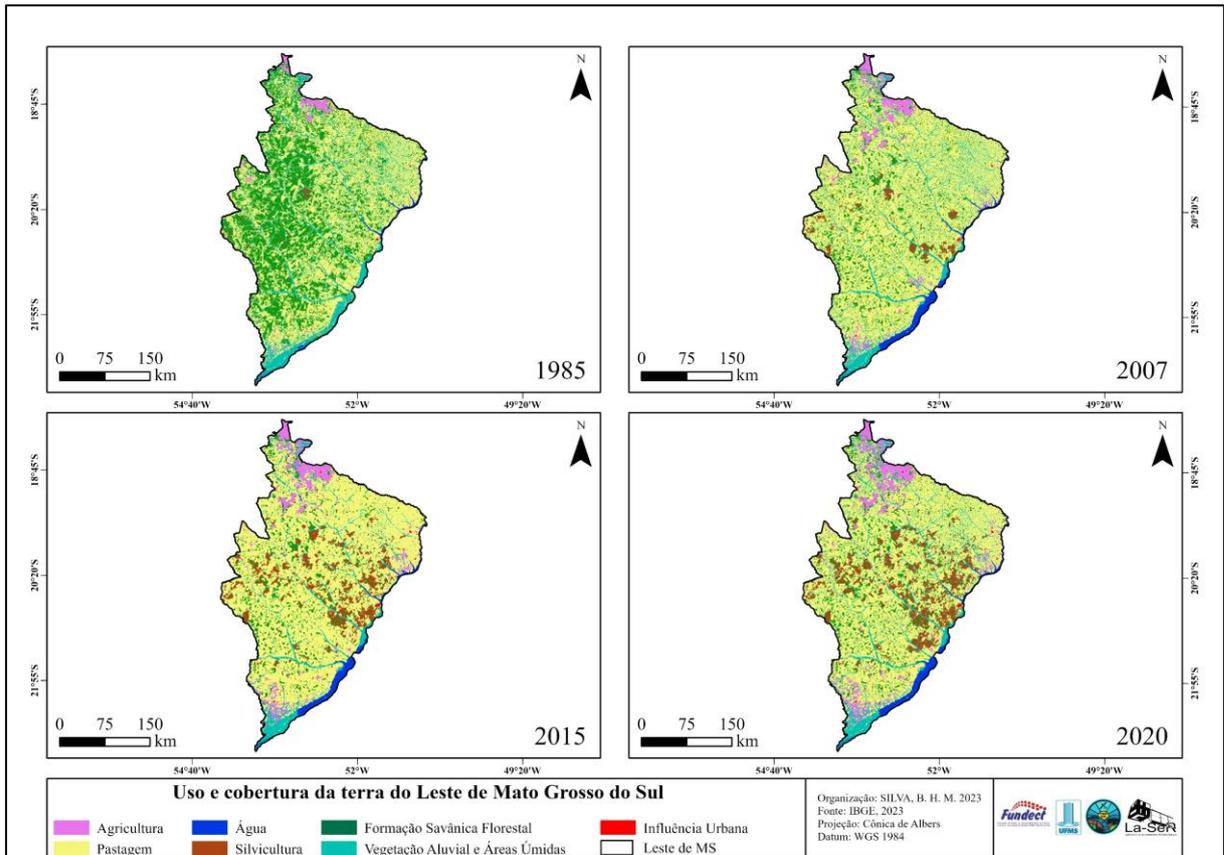
Fonte: SEMAGRO, 2022. Organização: Autor.

Dessa forma, as mudanças na paisagem dessa mesorregião revelam a predominância da atividade agropecuária, com uma extensa predominância de áreas de pastagem. Essa transição no uso e cobertura da terra tem gradualmente conduzido ao avanço da agricultura moderna voltada para a exportação em todo o seu território, conforme indicado por Richetti et al. (2020).

6.1.3 Uso e cobertura da terra da mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul

A mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul é caracterizada pelo predomínio da pastagem, com a pecuária sendo a atividade predominante por um longo período. No entanto, com o progresso, a silvicultura experimenta um crescimento significativo, impulsionado pela instalação de fábricas de papel e celulose. Esse desenvolvimento resulta na expansão da silvicultura por todo o território (Figura 25).

Figura 25 - Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 para a mesorregião Leste.



Fonte: Autor.

O ano de 1985 é caracterizado pela dualidade entre a vegetação nativa, representada pela formação savânica/florestal, e a influência antropogênica, impulsionada pela expansão da pastagem extensiva, que se estabeleceu como a atividade predominante na região por muitos anos. Beneficiada pela vasta extensão territorial, solos propícios e condições climáticas favoráveis, proximidade com o rio paraná (importante via de escoamento de produo), a pastagem tornou-se a categoria mais ocupada, abrangendo 49,63% da rea (Tabela 5).

Tabela 5 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Leste.

Classes UCT	1985		2007		2015		2020	
	rea km ²	rea (%)						
Agricultura	1.528,78	1,63	3.982,51	4,24	4.980,33	5,30	5.804,90	6,17
gua	1.119,10	1,19	2.440,11	2,60	2.454,14	2,61	2.465,67	2,62

Formação Savânica/Florestal	30.353,90	32,29	9.951,91	10,58	9.672,21	10,29	9.784,38	10,41
Influência Urbana	50,15	0,05	103,14	0,11	139,73	0,15	153,54	0,16
Pastagem	46.663,65	49,63	63.304,01	67,33	57.801,06	61,48	55.032,32	58,53
Silvicultura	322,79	0,34	1.718,31	1,83	6.238,98	6,64	8.083,88	8,60
Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	13.982,01	14,87	12.520,40	13,32	12.733,95	13,54	12.695,69	13,50
TOTAL	94020,39	100	94020,39	100	94020,39	100	94020,39	100

Fonte: Autor.

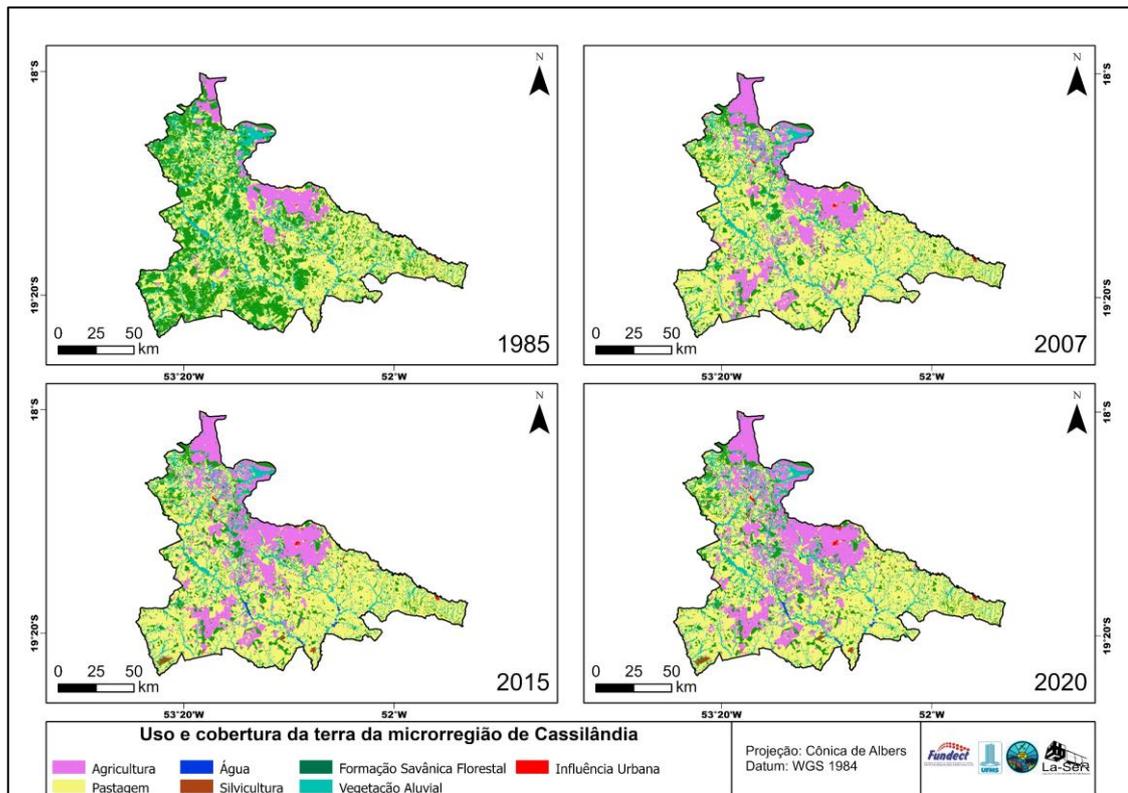
Em 2007, torna-se evidente o notável aumento da expansão urbana nos municípios integrantes da mesorregião, que ocorre paralelamente ao progresso da agropecuária. Esse desenvolvimento agropecuário também impulsionou um crescimento populacional significativo, levando a uma população total de 345.521 habitantes, em contraste com os 212.720 habitantes registrados em 1980, de acordo com o IBGE (2023). Portanto, mesmo com a predominância da agropecuária nas áreas rurais, o crescimento ocorre principalmente no espaço urbano devido à geração de serviços indiretos e à evolução econômica dos municípios.

Após o ano de 2007, entre 2015 e 2020, houve uma redução na área de pastagem na mesorregião, acompanhada por um significativo aumento no cultivo de silvicultura, com destaque para o eucalipto e, mais ao norte, a seringueira. Vick e Bacani (2019) afirmam que o crescimento da silvicultura na região está relacionado à substituição de pastagens extensivas, sendo economicamente mais viável a conversão para a silvicultura. Cabe ressaltar que o setor da indústria impacta diretamente na economia local da mesorregião leste, ocupando 36% do PIB total em preço corrente total (IBGE, 2023). Assim, uma das principais atividades que geram diretamente esta renda é por meio das indústrias de papel e celulose ligados à silvicultura.

Enquanto as microrregiões de Três Lagoas e Paranaíba desenvolvem a pecuária e a silvicultura, as microrregiões de Cassilândia e Nova Andradina desenvolvem a pecuária e agricultura na mesorregião leste de Mato Grosso do Sul. Dessa forma, a microrregião de Cassilândia se destaca, elevando o nível de produção agrícola no território leste.

A microrregião de Cassilândia (Figura 26), abrangendo os municípios de Cassilândia, Chapadão do Sul, Costa Rica e Paraíso das Águas, tem se destacado pelo notável crescimento no setor agropecuário, resultando em um aumento significativo na economia local (LIMA et al., 2016).

Figura 26 - Mapeamento de uso e cobertura da terra da microrregião de Cassilândia-MS.



Fonte: Autor.

Tornando-se possível por meio destes mapeamentos analisar a evolução do UCT na região nos anos de 1984, 2007, 2015 e 2020 (Tabela 6).

Tabela 6 - Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 para a microrregião de Cassilândia-MS.

Classes	Area km ² (%)			
	1985	2007	2015	2020
Agricultura	7,45	17,47	20,28	23,08
Água	0,15	0,06	0,24	0,25
Formação Savânica Florestal	31,52	11,29	11,12	11,07
Influência Urbana	0,04	0,11	0,15	0,17
Pastagem	48,22	59,53	56,03	53,09
Silvicultura	0,00	0,05	0,66	0,73
Vegetação Aluvial	12,62	11,48	11,52	11,61
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autor.

O ano de 1984 é marcado pelo avanço extensivo da pastagem plantada, que ocupa 48,22% da área total da microrregião, sendo a pecuária a grande influência econômica local e considerada a uma atividade tradicional no estado de Mato Grosso do Sul (MARIANO e TEIXERA, 2022).

Em torno de 22 de anos, até o ano de 2007, a pastagem já ocupava cerca de 59,53% da microrregião enquanto a classe da formação savânica/florestal teve uma perda de 20,23% de sua área. Isso demonstra uma taxa de desmatamento e substituição de 0,92% por ano, resultado da supressão vegetal nativa decorrente da expansão da pastagem. Conforme Teixeira e Hespanhol (2014), o avanço progressivo da pecuária ocorreu sobre áreas anteriormente cobertas de vegetação nativa. A agricultura, por sua vez, possui um crescimento gradual elevado, tendo o seu “boom” após os anos 2000, no setor canavieiro (DOMINGUES e THOMAZ JÚNIOR, 2012). Essa tendência tem se consolidando até os dias atuais, tornando-se a atividade principal da microrregião de Cassilândia, destacando-se também os plantios de soja, milho e algodão (SEMAGRO, 2022).

A produção agrícola entre 2015 a 2020 demonstra o crescimento das áreas de agricultura sobre áreas de pastagem. Teixeira et al. (2010) já apontavam essa redução advinda da modernização da agricultura e expansão dos monocultivos, concentrando assim a produção na região prioritariamente na monocultura (Tabela 7).

Tabela 7 - Produção agrícola dos principais produtos nos municípios da microrregião de Cassilândia em 2020.

Produtos	Produção (Toneladas)				TOTAL (Produto)
	Paraíso das Águas	Cassilândia	Chapadão do Sul	Costa Rica	
Borracha (Látex coagulado)	3.240	1.400	148	143	4.931
Algodão Herbáceo	0	10.500	36.207	74.007	120.714
Cana-de-Açúcar	1.604,888	0	1.492,137	3.794,434	6.891,459
Milho	17.640	98.893	241.600	317.682	675.815
Soja	237.600	32.950	327.600	320.760	918.910
Sorgo	400	450	0	3.600	4.450
TOTAL (Município)	1.863,768	144.193	2.097,692	4.510,626	8.616,279

Fonte: SEMAGRO, 2022. Organização: Autor.

Cabe destacar o avanço da silvicultura que tem como principal atividade a produção de borracha (látex) através do plantio de florestas de Seringueira. De acordo com Leal (2017), a

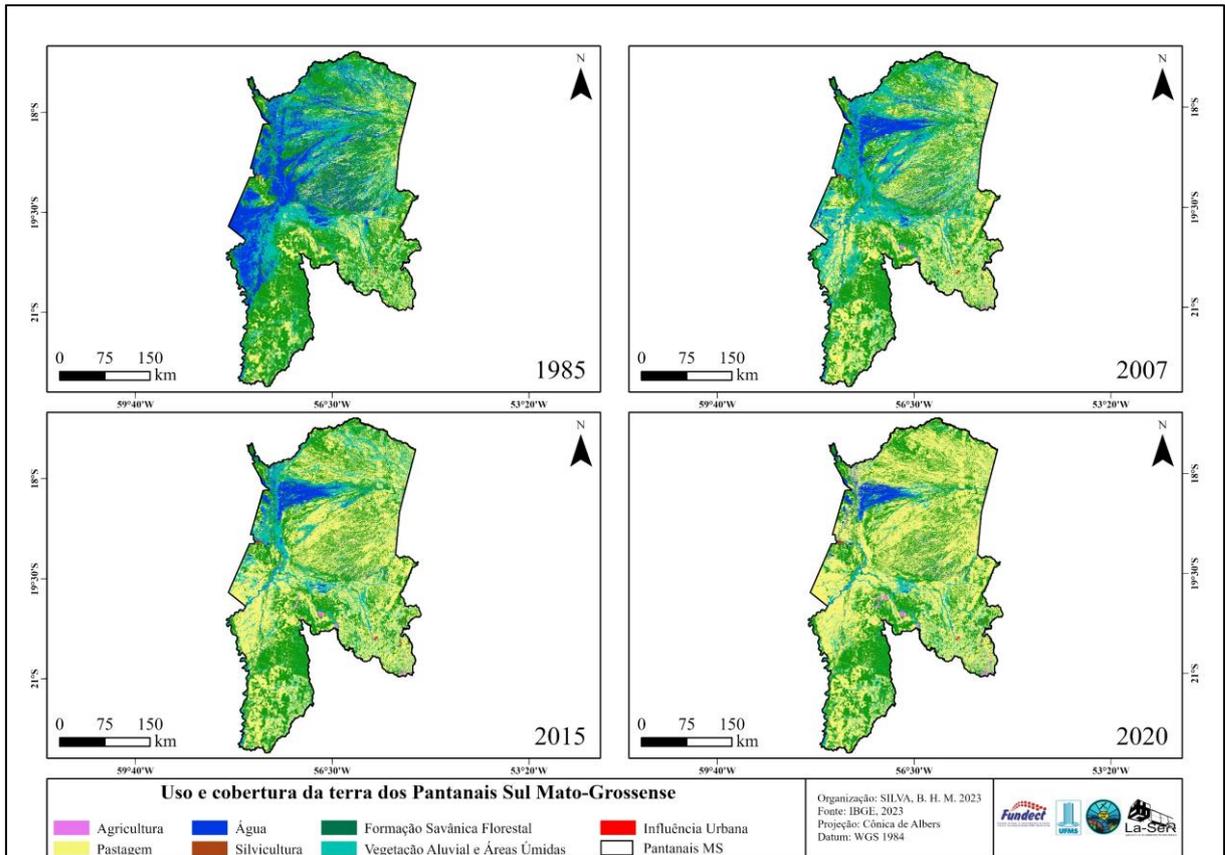
partir de 2010, a região leste do estado de Mato Grosso do Sul experimenta um aumento na produção do complexo de heveicultura, criando uma dinâmica competitiva na microrregião. As alterações causadas nas mudanças do uso e cobertura da terra vem trazendo algumas consequências na população local, sendo como positiva o aumento do PIB per capita, projetando os municípios ao nível de destaque estadual, apresentando uma maior produção agropecuária refletindo em sua economia: Paraíso das Águas (2º colocado no PIB per capita de MS), Costa Rica (6º) Chapadão do Sul (9º), Cassilândia (50º) (IBGE, 2023).

Entretanto este “desenvolvimento” traz consigo alguns pontos negativos, sendo eles: concentração fundiária (latifúndios) resultante da acumulação de terra nas mãos de uma minoria, expulsão dos povos do campo ocasionando em problemas urbanos consequência da desterritorialização, uso intensivos de agroquímicos que afetam o meio ambiente e causam o desequilíbrio ambiental (CAMACHO, 2010).

6.1.4 Uso e cobertura da terra da mesorregião dos Pantanaís Sul Mato-Grossense

Os pantanaís Sul Mato-Grossense se caracterizam pela dinâmica de alteração de águas superficiais e áreas úmidas, como também pela presença da pastagem nativa e o avanço atual da pastagem plantada (Figura 27).

Figura 27 - Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 na mesorregião dos Pantanaís Sul Mato-Grossense.



Fonte: Autor.

O ano de 1985 na mesorregião é marcado pela alta presença de formação savânica/florestal, representando 38,71% (Tabela 8), assim como as áreas de vegetação aluvial e áreas úmidas, abrangendo 24,17%. Esses números refletem um baixo índice de antropização em seu território. Entretanto, é evidente o crescimento da pastagem, principalmente proveniente dos planaltos do estado.

Tabela 8 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Pantaneis Sul Mato-Grossense.

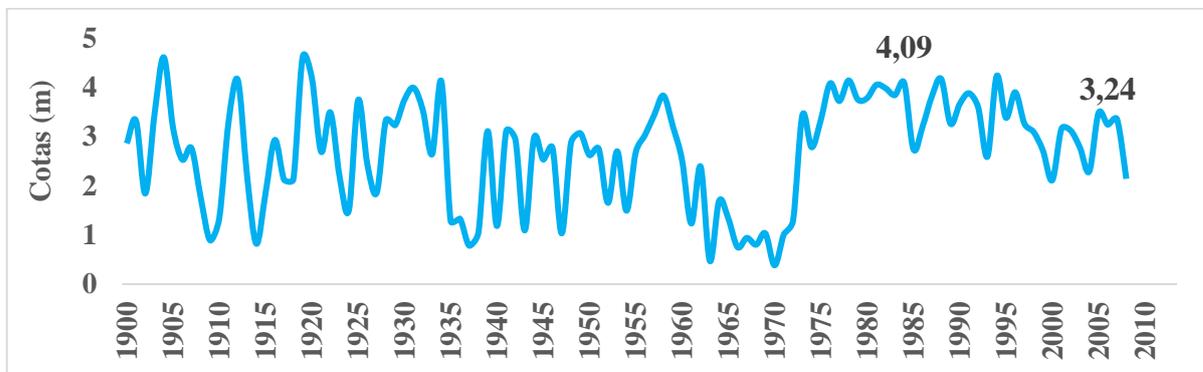
Classes UCT	1985		2007		2015		2020	
	Área km ²	Área (%)						
Agricultura	32,82	0,03	198,43	0,18	301,79	0,27	499,43	0,45
Água	18.997,02	17,24	7.195,23	6,53	4.556,37	4,14	3.888,48	3,53
Formação Savânica Florestal	42.644,13	38,71	35.396,63	32,13	35.076,67	31,84	34.538,19	31,35

Influência Urbana	38,53	0,03	54,70	0,05	57,86	0,05	59,76	0,05
Pastagem	21.819,54	19,81	39.623,19	35,97	53.484,04	48,55	62.080,79	56,35
Silvicultura	0,00	0,00	11,49	0,01	110,15	0,10	120,90	0,11
Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	26.631,16	24,17	27.683,54	25,13	16.576,33	15,05	8.975,67	8,15
TOTAL	110.163,21	100	110163,21	100	110163,21	100	110163,21	100

Fonte: Autor.

O ano de 1985 ainda é relevante devido a um dado importante relacionado ao ciclo de inundações do rio Paraguai, o principal rio do Pantanal, bem como grande parte da planície do Pantanal. Através dos dados de cotas altimétricas, é possível observar que em 1985 a cota atingiu 4,09 metros, um valor acima da média de 2,72 metros. No ano de 2007, a cota média foi de 3,24 metros, superior à média, embora menor que o pico registrado em 1985. Isso demonstra que o ciclo de cheias apresenta relação com às alterações no uso e cobertura da terra.

Gráfico 1 - Cotas altimétricas do rio Paraguai (m) – Ladário-MS (Base Naval).



Fonte: Hidroweb, 2023. Organização: Autor.

O Pantanal está inserido na bacia do alto Paraguai, assim faz parte de sistema complexo de drenagem, influenciado pelas precipitações em áreas de planalto e por sua dinâmica na planície, portanto sua distribuição de cheias é auto regulado por sua área planície de inundação, variando conforme o período do ano (STEVAUX et al., 2020).

Entre 1985 e 2007, a classe de influência urbana apresenta um crescimento, entretanto há uma estagnação até o ano de 2020. Os principais municípios em número populacional são Corumbá (96268 de pessoas) maior município em extensão e população (Figura 28) e Aquidauana (46803 de pessoas), sendo juntos equivalentes a 60 % da população total da

mesorregião em 2022 (IBGE, 2023). Em Corumbá, a expansão urbana ocorre de maneira horizontal, diferentemente de centros urbanos com grande densidade populacional (CABRERO e BACANI, 2022).

Figura 28 – Área urbana do município de Corumbá.

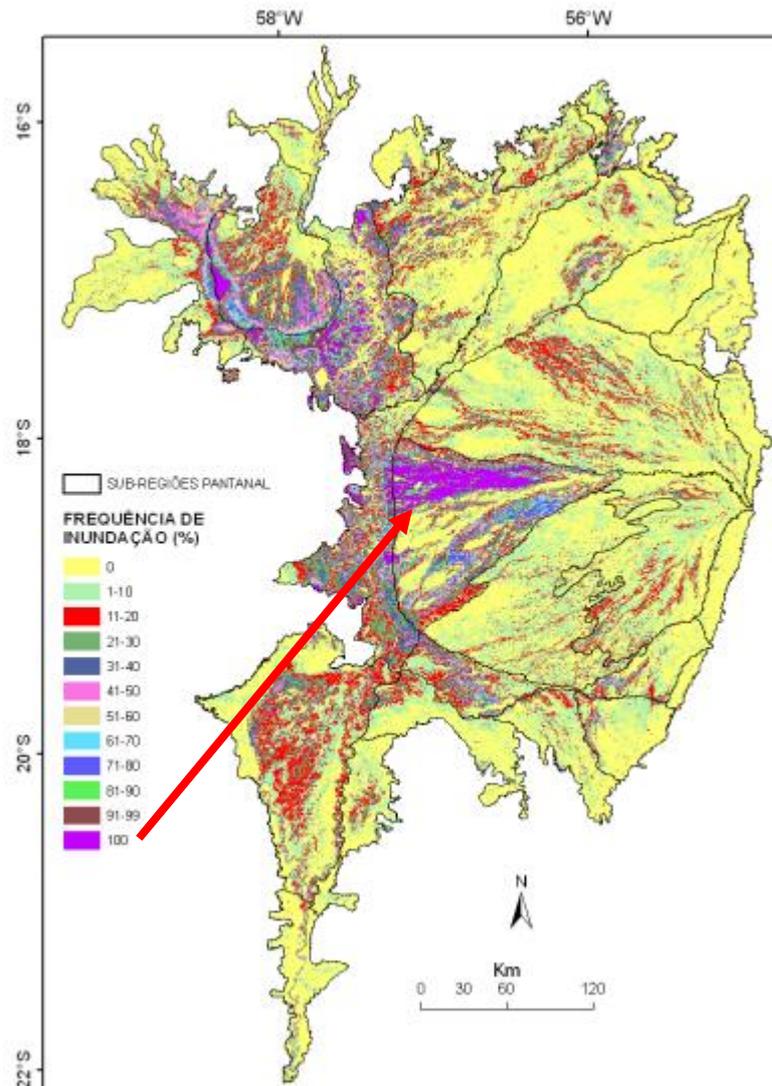


Fonte: Autor.

No período entre 2015 e 2020, a pastagem adquiriu maior relevância, ocupando aproximadamente 56,35% do território dos pantanais. Essa expansão da pastagem ocorreu predominantemente sobre as áreas de vegetação aluvial e ambientes úmidos. A incidência da seca desde 2019, aliada às extensas queimadas na região, propiciou a expansão dessas áreas de pastagem (MOREIRA et al., 2021). Nos últimos anos, o planalto da mesorregião tem experimentado um desenvolvimento agrícola significativo. O município de Miranda, em particular, reflete esse crescimento por meio do aumento das áreas destinadas à agricultura. Conforme ressaltado por Leite et al. (2022), a agricultura nessa região assume um caráter comercial, concentrando-se na produção de culturas como soja e milho.

A maior parte da água da mesorregião no ano de 2020 está localizada no megaleque fluvial do rio taquari, sendo a área com maior recorrência de inundação, desta forma, a área tem sua paisagem local alterada devido à alta presença da água, segundo a pesquisa de Padovani (2010) a região do taquari apresenta 100% de frequência de inundação (Figura 29).

Figura 29 – Frequência de inundação do pantanal.



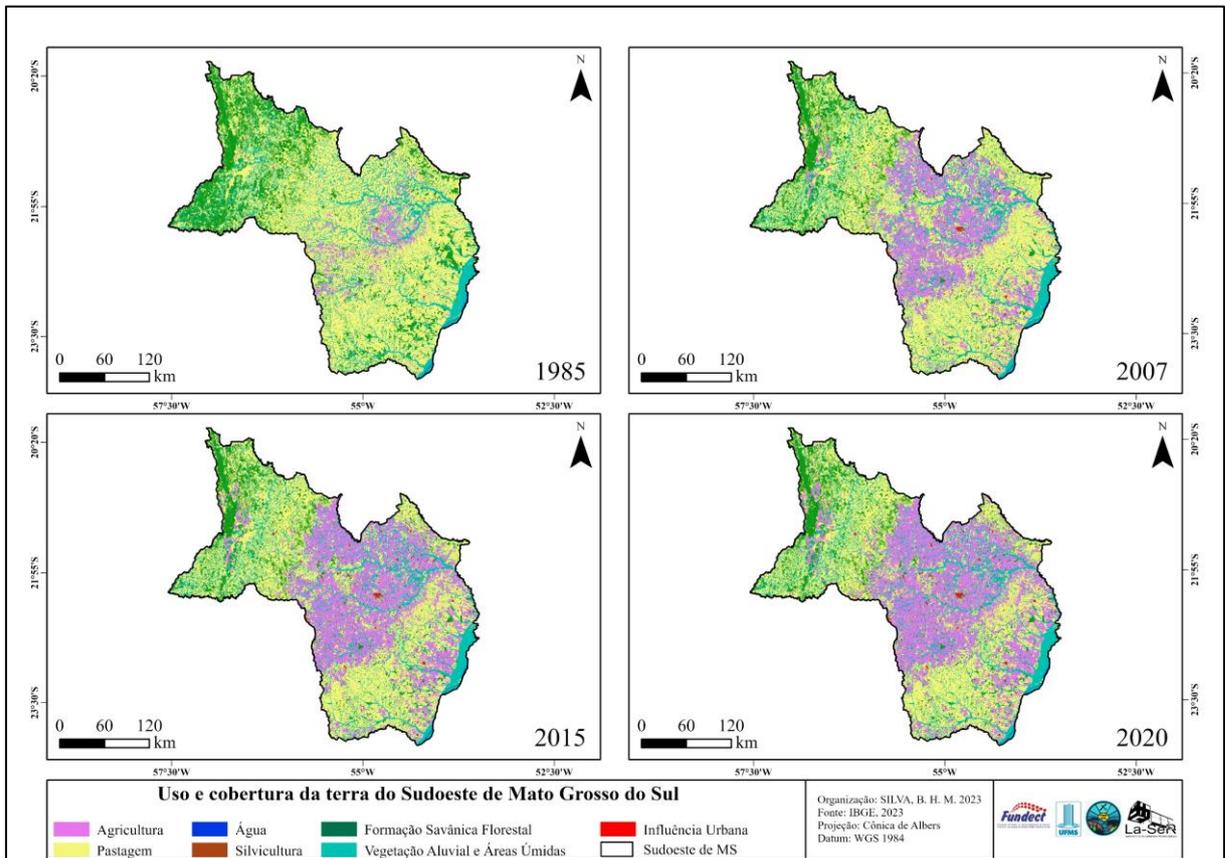
Fonte: Padovani (2010).

6.1.5 Uso e cobertura da terra na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul

A mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul se destaca por ser a maior geradora de PIB em preço corrente do estado. Isso se deve à sua forte atividade agrícola voltada para a exportação, que gera receitas elevadas na maioria dos municípios. Com o avanço proveniente

da região sul do Brasil, a porção central próxima a Dourados se sobressai nessa atividade (Figura 30).

Figura 30 - Uso e cobertura da terra de 1985, 2007, 2015 e 2020 na mesorregião Sudoeste.



Fonte: Autor.

Em 1985, a mesorregião ainda estava no início das suas atividades voltadas para a agricultura. Assim como em todo estado, a pastagem era predominante por toda sua extensão, ocupando por volta 58,30% do território. Esse cenário caracterizado pela onda de pastagem plantada extensiva que abrangia todo o território brasileiro (TEIXERA e HESPANHOL, 2014) (Tabela 9).

Tabela 9 – Uso e cobertura da terra entre 1985 a 2020 na mesorregião Sudoeste.

Classes UCT	1985		2007		2015		2020	
	Área km ²	Área (%)						
Agricultura	3.320,02	4,00	16.381,44	19,74	22.170,99	26,71	24.908,29	30,01

Água	313,01	0,38	271,29	0,33	271,17	0,33	271,64	0,33
Formação Savânica Florestal	14.823,72	17,86	8.694,56	10,48	8.447,48	10,18	8.372,77	10,09
Influência Urbana	97,01	0,12	201,38	0,24	247,35	0,30	269,36	0,32
Pastagem	48.387,45	58,30	41.382,55	49,86	35.377,19	42,62	32.659,30	39,35
Silvicultura	0,00	0,00	40,04	0,05	248,36	0,30	256,90	0,31
Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	16.057,29	19,35	16.027,25	19,31	16.235,96	19,56	16.260,23	19,59
TOTAL	82.998,50	100	82998,50	100	82998,50	100	82998,50	100

Fonte: Autor.

Grande parte da área agrícola da mesorregião Sul está localizada na bacia hidrográfica do Rio Ivinhema, ao qual tem importância para o desenvolvimento da atividade na região. Assim, segundo Teixeira e Hespanhol (2016), o crescimento da agricultura (com ênfase na cana) se dá pela implantação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL) em meados dos anos 2000, estando associado a instalação usinas de açúcar e álcool, sendo a principal bacia produtora de grãos e cana-de-açúcar do estado. Entre 2003 a 2015, Teixeira e Hespanhol (2016) apontam o crescimento de mais 18% da área ocupada para o cultivo de lavouras, sendo a soja e o milho os principais produtos agrícolas produzidos nessa região.

A partir de 2007, tem-se o avanço da agricultura, acompanhado por altas taxas de urbanização. A mesorregião optou por seguir caminhos alternativos à pastagem, uma vez que o cultivo de culturas agrícolas passou a oferecer lucros maiores do que o manejo da pastagem. Vale ressaltar que a região possui uma vasta área de várzeas que favorece o desenvolvimento da produção agrícola. A partir de 2015, a atividade agrícola se estabilizou na região, abrangendo 26,71% da área.

Esse cenário evidencia a redução da pecuária e das áreas de pastagem, mantendo-se constante até o ano de 2020, com uma proporção de 30,01%. Assim, na porção central da mesorregião, observa-se a predominância dos monocultivos de soja, milho e cana, que abrangem mais de 60% da área total dos municípios de Aral Moreira, Laguna Caarapó e Itaporã, e mais de 50% dos municípios de Maracaju, Caarapó, Rio Brillhante, Ponta Porã, Dourados e Douradina. Os maiores plantios agrícolas estão concentrados, sequencialmente, em Maracaju, Ponta Porã, Rio Brillhante e Dourados, juntos gerando um PIB no setor da agropecuária no valor de R\$ 5.092.502.666,00. Esse montante equivale a 19,55% do PIB da agropecuária de todo o

estado de Mato Grosso do Sul, constituindo-se como um pilar fundamental para a agricultura sul-mato-grossense (IBGE, 2023). As principais atividades destes municípios são a produção de soja, milho e cana-de-açúcar em 2020, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Área colhida por produtos agrícolas nos municípios da mesorregião Sudoeste em 2020.

Área colhida (ha) por produtos agrícolas	Maracaju*	Ponta Porã	Rio Brillhante	Dourados	TOTAL
Soja	280.000	235.000	115.000	190.000	820.000
Milho	250.000	260.000	95.000	145.000	750.000
Cana	23.000	34.955	84.764	22.522	165.241
TOTAL	553.000	529.955	294.764	357.522	-

Fonte: SEMAGRO, 2022. Organização: Autor.

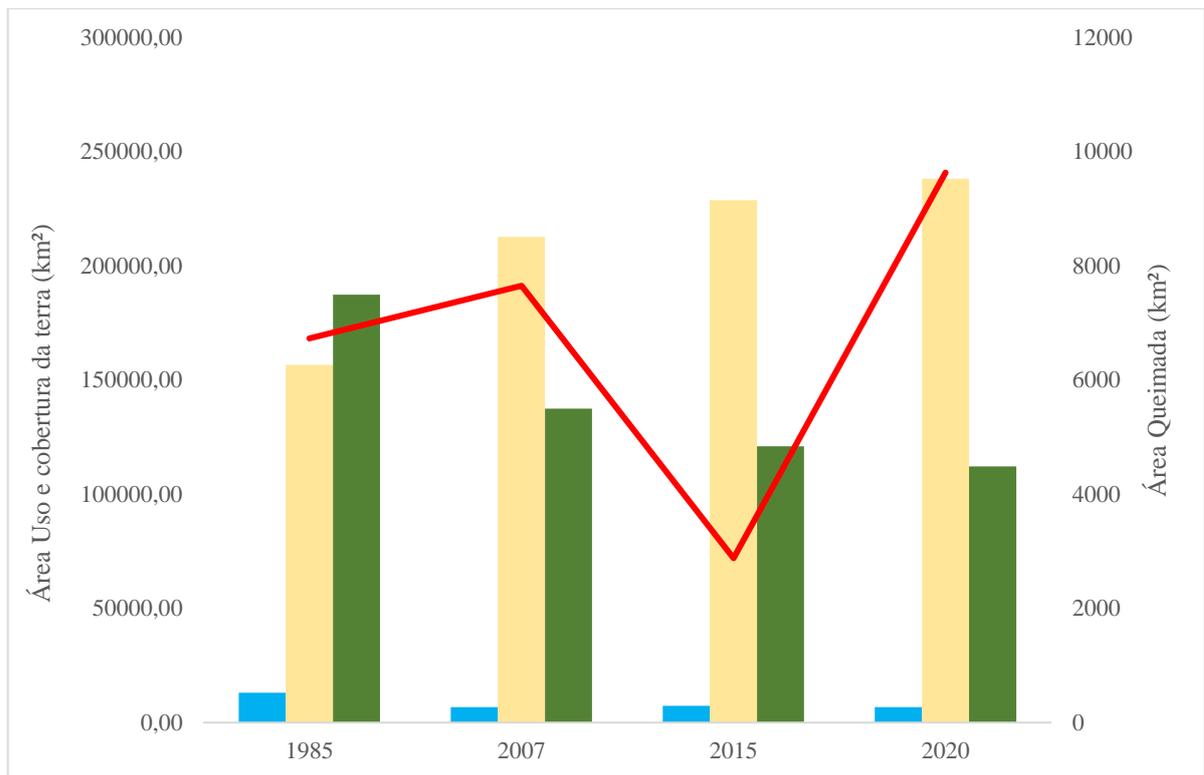
*Dados referentes ao ano de 2019.

Dessa forma, Mariano e Teixeira (2022) citam a produção do monocultivos mecanizados, utilizando técnicas modernas que exigem uma grande extensão de terra, além de incentivos e créditos por parte do governo federal, o que tem gerado uma problemática relacionada à concentração fundiária.

6.1.6 Ocupação do uso e cobertura da terra em uso antrópicos e usos naturais em Mato Grosso do Sul

O avanço da antropização é uma preocupação global, devido aos problemas causados ao meio ambiente, como desmatamento, incêndios florestais, emissão de gases de efeitos estufa, erosão no solo entre outros, causando assim a fragilidade em ambientes naturais. Através dos resultados gerados foi possível a generalização dos mesmos buscando evidenciar os usos antrópicos (Agricultura, Influência Urbana, Pastagem e Silvicultura) e uso naturais (formação savânica/florestal e Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas) como também a água, gerando informação sobre a ação humana através do uso da terra no Mato Grosso do Sul (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Antropização do uso e cobertura da terra e área queimada em Mato Grosso do Sul

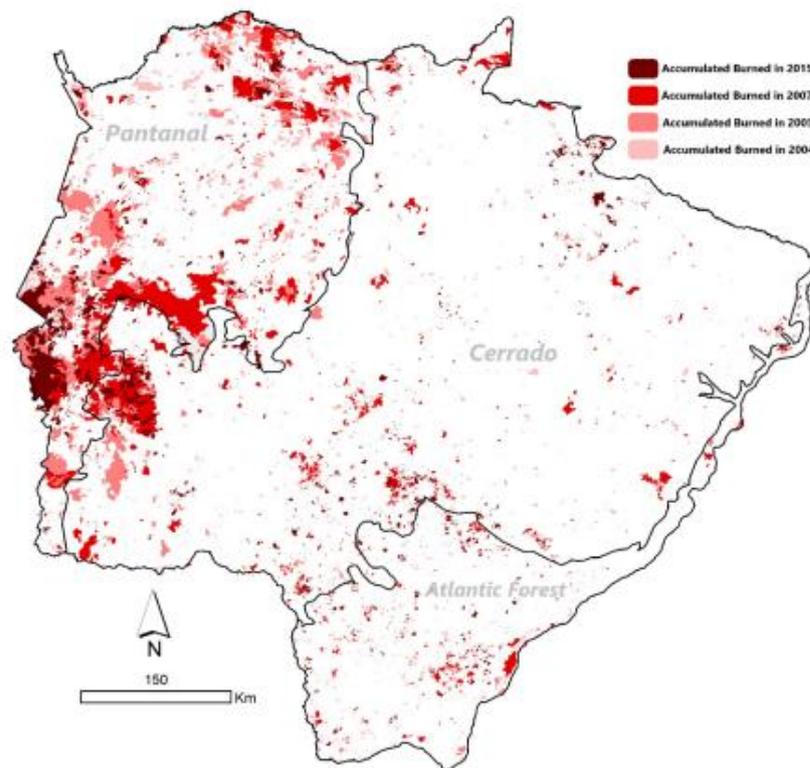


Fonte: autor.

A antropização segue uma linha de tendência linear rumo ao crescimento no estado, ocupando em 2020 em torno 67% do território, demonstrando um predomínio por todas as mesorregiões. De a 1985 a 2020 o uso natural teve uma diminuição de 21 % de área, assim como a água que perdeu mais de 2%, diminuição da vegetação nativa segue acompanhada dos incêndios com exceção de 2007, no entanto tem o seu auge no ano de 2020 com mais de 9.635 km² queimados com base em dados do MapBiomias Fogo (MAPBIOMAS, 2023).

Os incêndios florestais vem sendo um elemento de grande preocupação no estado, com o avanço da antropização as queimadas tornam-se recorrentes e atingem os biomas e toda a biodiversidade, dessa forma, a mesorregião dos pantanais atualmente é que mais sofre com esses episódios (Figura 31), demonstrando um marco negativo advindo da expansão da atividade da pecuária (LIBONATI et al., 2020; OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020).

Figura 31 – Área queimadas mapeadas pelo satélite MODIS em Mato Grosso do Sul.



Fonte: Oliveira-Júnior et al., 2020.

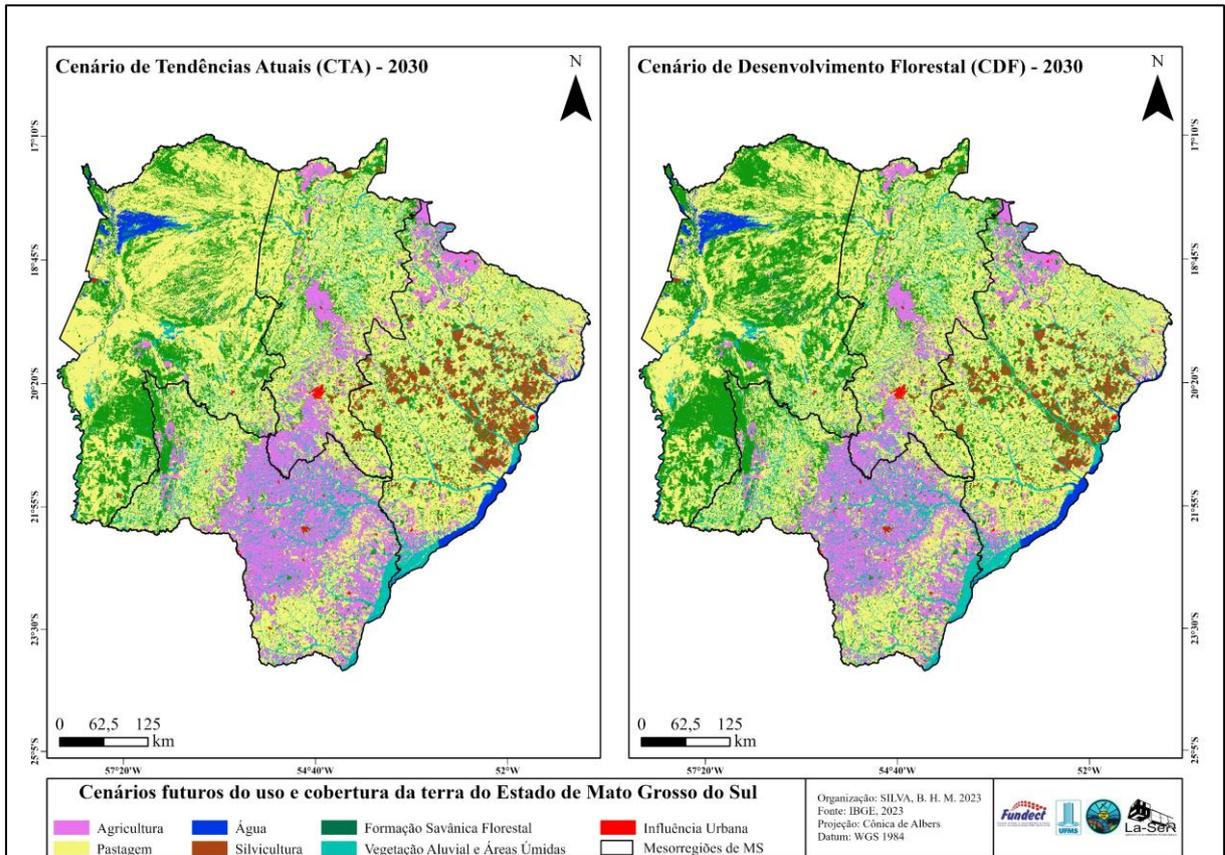
6.2 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS PARA MATO GROSSO DO SUL

A acurácia da modelagem preditiva para o ano de 2020 no Estado de Mato Grosso do Sul, apresentou um coeficiente kappa de 0,87 e uma acurácia global de 0,91, sendo considerado adequado para validar a calibração do modelo (LI et al., 2021; XU et al., 2022b), apresentando um índice Figure of Merit de 0,25 considerado como ótimo para simulação do modelo (HE et al., 2022; LIANG et al., 2021; ZHAI et al., 2021).

6.2.1 Simulação de cenários para 2030 e 2050 em Mato Grosso do Sul

Com base nos resultados, o cenário de tendências atuais e o cenário de desenvolvimento florestal de 2030 (Figura 32), apresentaram uma série de dinâmicas baseadas no uso e cobertura da terra das mesorregiões do estado de Mato Grosso do Sul, sendo no primeiro cenário um latente desenvolvimento do setor produtivo e o segundo uma resposta rápida a conservação florestal.

Figura 32 – Cenários preditivos de 2030 em Mato Grosso do sul.



Fonte: Autor.

As interações entre as classes demonstram sequencialmente um crescimento das classes de Agricultura, Silvicultura, Influência Urbana e Água acompanhado de uma diminuição das classes de Pastagem, Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas e Formação savânica/florestal no CTA, enquanto no CDF a expansão das classes se deu na formação savânica/florestal, Agricultura, Influência Urbana, Silvicultura e Água com a redução significativa da Pastagem e levemente a Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas (Tabela 11).

Tabela 11 - Uso e cobertura da terra dos Cenários preditivos de 2030 em Mato Grosso do sul.

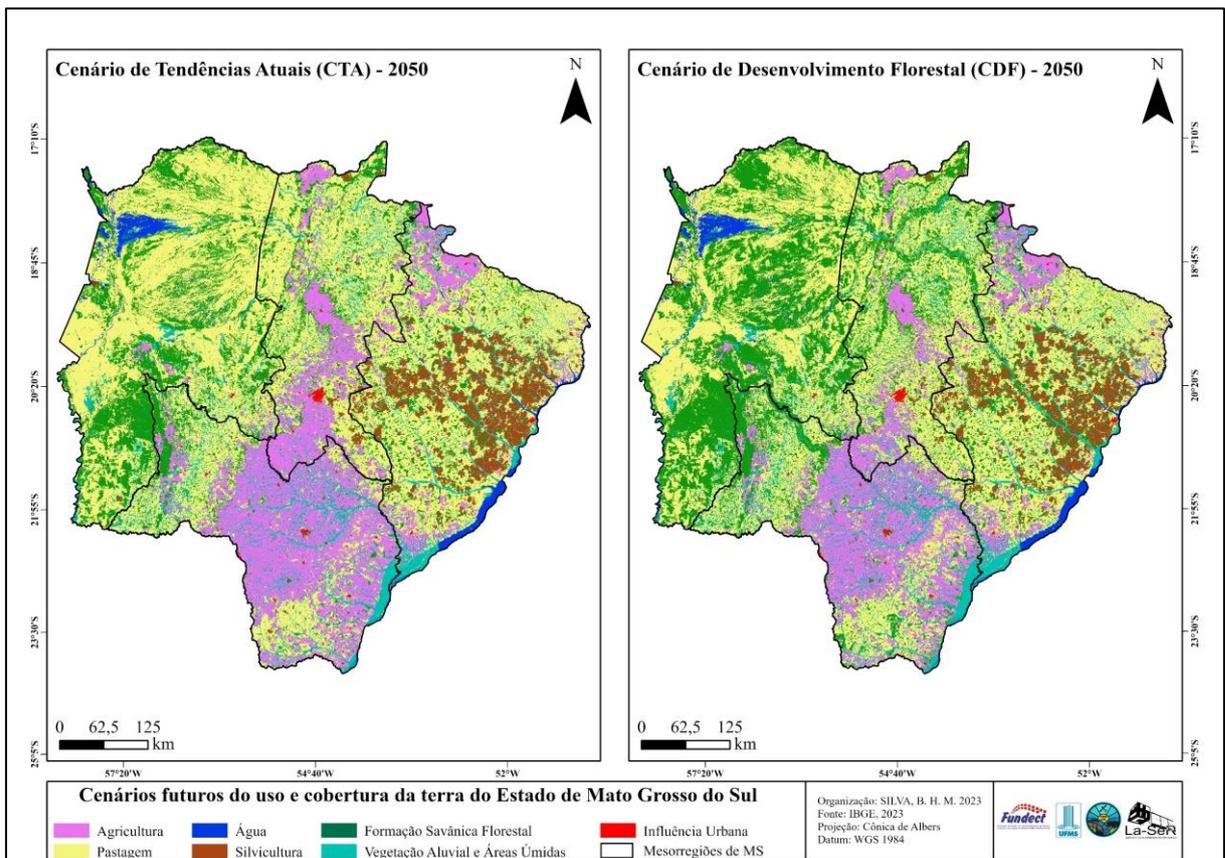
Classes UCT	CTA - 2030		CDF - 2030	
	Área km ²	Área (%)	Área km ²	Área (%)
Agricultura	47.695,93	13,36	41.703,63	11,68
Água	6.766,04	1,89	6.949,61	1,95

Formação Savânica/Florestal	63.545,09	17,80	81.742,10	22,89
Influência Urbana	867,69	0,24	861,75	0,24
Pastagem	182.385,49	51,07	172.522,06	48,31
Silvicultura	12.618,25	3,53	9.912,93	2,78
Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	43.215,72	12,10	43.402,15	12,15
TOTAL	357.094,22	100	357094,22	100

Fonte: Autor.

O ano de 2050, demonstrou continuidade seguindo as dinâmicas do ano de 2030, assim, o cenário de tendências atuais e o cenário de desenvolvimento florestal (Figura 33), apresentaram possíveis direcionamentos futuros do uso e cobertura da terra, servindo como base para ordenamento do território.

Figura 33 - Cenários preditivos de 2050 em Mato Grosso do sul.



Fonte: Autor.

Para o ano de 2050 o CTA demonstrou um crescimento significativo da agricultura em todo o estado, acompanhado da diminuição da pastagem, se tornando uma dinâmica comum e constante conforme o desenvolvimento da agricultura. Para o CDF apesar do crescimento das áreas de agricultura a classe de formação savânica/florestal apresentou um crescimento 2,38% em comparação com 2030 (Tabela 12), representando a efetividade do desenvolvimento deste cenário.

Tabela 12 - Uso e cobertura da terra dos Cenários preditivos de 2030 em Mato Grosso do sul.

Classes UCT	CTA - 2050		CDF - 2050	
	Área km ²	Área (%)	Área km ²	Área (%)
Agricultura	60.879,80	17,05	47.043,21	13,17
Água	6.765,92	1,89	7.001,89	1,96
Formação Savânica/Florestal	61.212,88	17,14	90.237,72	25,27
Influência Urbana	930,21	0,26	892,89	0,25
Pastagem	169.117,99	47,36	155.754,98	43,62
Silvicultura	17.106,81	4,79	15.169,76	4,25
Vegetação Aluvial e Áreas Úmidas	41.080,62	11,50	40.993,76	11,48
TOTAL	357.094,22	100	357094,22	100

6.2.1.1 Cenário de Tendências Atuais para 2030 e 2050 em Mato Grosso do Sul

A simulação preditiva do uso e cobertura na mesorregião Centro Norte revelou um crescimento significativo nos cultivos agrícolas, estabelecendo uma conexão em 2030 entre as áreas de plantio do sudoeste do estado, que se estende desde Campo Grande/Sidrolândia até os plantios em Jaraguari e Bandeirante, conectando-se com extensas áreas de cultivo em São Gabriel do Oeste, ao qual se intensifica em 2050. Para o ano de 2030, os resultados demonstram um aumento das áreas agrícolas (milho/soja) e silvicultura (eucalipto), em contrapartida com a redução das demais classes de uso e cobertura da terra.

A silvicultura da mesorregião Centro Norte está concentrada, nos municípios de Campo Grande, Jaraguari e especialmente no município em Ribas do Rio Pardo, mostra um crescimento favorável devido à previsão da instalação de uma indústria de processamento de papel e celulose em 2023 (TISSUEONLINE, 2022). Os cenários futuros para mesorregião Leste demonstram um crescimento significativo da silvicultura em sua porção central, com destaque para as plantações ao entorno do município de Três Lagoas, conhecido como a “capital mundial da celulose”.

Na mesorregião Leste tem como previsão para o ano de 2030 uma diminuição das áreas de pastagem e um notável crescimento da silvicultura, abrangendo cerca de 12,18% da área total. Essa expansão é especialmente concentrada em Três Lagoas, porém apresenta agora outros polos como Ribas do Rio Pardo e Inocência ao qual receberam novas fábricas em 2024 e 2028, situada na fronteira com o estado de São Paulo, o que representa um fator logístico altamente favorável. Segundo Jianfeng et al. (2023) a silvicultura pode ser considerada uma estratégia de manejo altamente benéfica para regiões frágeis ambientalmente. Portanto, em áreas extensivamente degradadas devido a pastagens, a silvicultura se destaca como uma alternativa mais adequada para o gerenciamento sustentável (Figura 34).

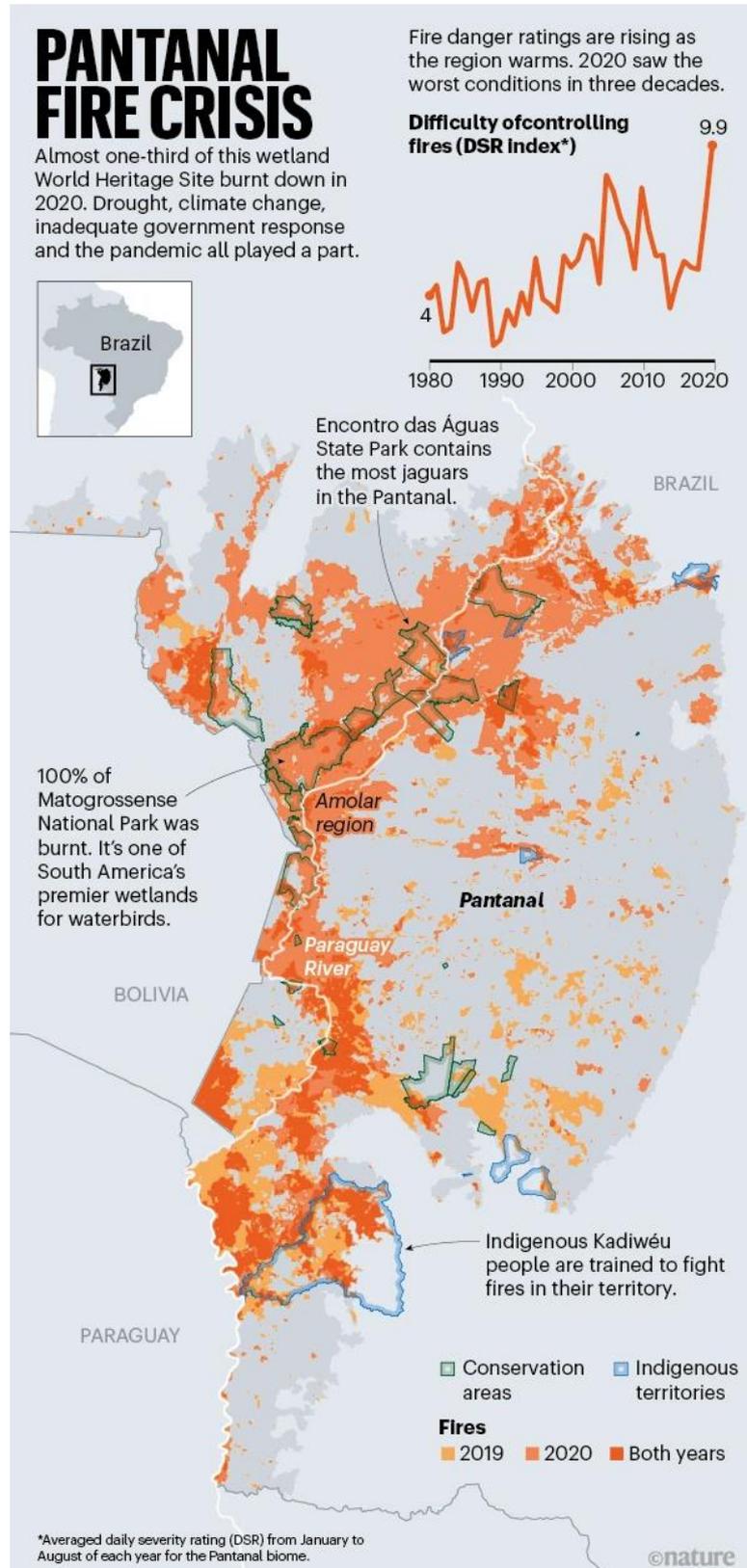
Figura 34 – Área de plantio de silvicultura próxima à pastagem degradada na mesorregião Leste.



Fonte: Autor.

A mesorregião Oeste, no cenário de 2030 apresentou dinâmicas complexas, devido a presença do bioma Pantanal onde a interação entre o uso da terra é influenciado por fatores que vem impactando a região, como ciclos de cheias e inundações (BERGIER e RESENDE, 2010; GALDINO et al., 2002), os incêndios florestais (LIBONATI et al., 2020) e a expansão da pecuária de corte (BONI et al., 2022), ao qual se mostram como um desafio para planejamento territorial. Portanto é perceptível que algumas atividades como a pecuária vem se firmando e ganhando território, diferente da agricultura que se concentra apenas em Miranda, enquanto as classes de cunho “natural” como a formação savânica/florestal, vegetação aluvial e áreas úmidas e a água vem sendo as classes mais impactadas pelas transformações antrópicas seja pelas inundações causadas pelas mudanças climáticas ou incêndios florestais (Figura 35).

Figura 35 – Crise de incêndios no pantanal.



Fonte: Libonati et al., 2020.

A perspectiva para a mesorregião sudoeste em 2030 é que a agricultura alcance em crescimento expressivo, com aumento de sua área próxima as várzeas localizadas na porção

central da região onde está localizada dourados, a principal cidade agrícola da região. Entretanto a agricultura ocupa outros municípios, como Bonito e Jardim, importantes municípios no cenário do ecoturismo Sul Mato-Grossense, favorecida pelo relevo plano e solos com altas taxas de fertilidade, ao mesmo tempo causando preocupação devido a presença da agricultura em áreas pantanosas (banhados) (CUNHA et al., 2021; MEDEIROS et al., 2023).

Na mesorregião Centro Norte o padrão de uso e cobertura da terra em 2050 continua a exhibir uma expansão das áreas agrícolas na mesorregião, ocupando aproximadamente 21,56% do território. Esse crescimento significativo desde 2020 é refletido principalmente na ocupação da terra pelos municípios que se dedicam aos cultivos agrícolas. Dessa forma, a mesorregião Centro Norte demonstrará uma aptidão favorável para o desenvolvimento da agropecuária, aliadas a proximidade com a capital e a rodovia BR-163, que corta o Brasil de norte a sul, conferindo-lhe um grande valor logístico para o seu desenvolvimento.

Em 2050, na mesorregião Leste a silvicultura tende a ser o uso com maior expansão, entretanto a agricultura emerge na área ao norte da mesorregião ocupando 9,20%, onde as práticas agrícolas são intensivas. Embora com terreno apresentando elevadas inclinações, essa região demonstra um desenvolvimento significativo, sugerindo que o manejo sustentável da agricultura pode ser viável com o emprego de práticas conservacionistas (YAO et al., 2022). Assim como a agricultura, a pastagem tem se caracterizado há muito tempo na região, ocupando desde as áreas planas até as áreas de solo com maiores declividades, nesse caso podendo resultar em diversos problemas ambientais associados a potencialização da erosão no solo, como é possível observar na Figura 36.

A perspectiva para os Pantanaís Sul Mato-Grossense até 2050 é o avanço e o predomínio da pecuária, corroborando com a Lei 6.160 de 2023 do estado de Mato Grosso do Sul, concede a permissão da criação de gado extensiva em áreas de APPs, rios, corixos, salinas e baías, assim, possibilitando a expansão das pastagens pelo território. Guerra et al. (2020) apontam que a perda de vegetação nativa para pastagem na bacia do Alto Paraguai, ao qual ocupa áreas pouco ou não inundadas, portanto, espera-se que a expansão da pecuária chegue até as áreas de planície de inundação acompanhada do padrão de incêndios florestais que vem ocorrendo com maior frequência na última década (PELISSARI et al., 2023, MARTINS et al., 2022).

A questão da água na mesorregião é outro fator complexo, pois o modelo não foi capaz de simular as dinâmicas necessárias na região, devido à complexidade, entretanto as tendências são de diminuição gradativa. A água apresenta grande importância econômica na mesorregião devido a hidrovía usada para o escoamento produtivo, entretanto, Wantzen et al. (2024) alertam

que a expansão da navegação de grande escala poderia trazer sérios problemas ao bioma pantaneiro, como prejuízos ecológicos, econômicos e sociais contrariando o acordo internacional do Brasil com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

Figura 36 – Área de pastagem degradada com pisoteio de gado às margens de uma voçoroca na mesorregião Leste.



Fonte: Autor.

A mesorregião sudoeste é marcada por uma dinâmica gradativa, a substituição da paisagem plantada para o avanço da agricultura, entretanto o avanço se deu também sobre outros usos como vegetação aluvial e áreas úmidas e formação savânica florestal, outro padrão do uso e cobertura da terra é o avanço das áreas de influência urbana, porém as dinâmicas de transições, foram interferidas pela pressão da agricultura sobre a proximidade com o meio urbano. Conforme Tomei et al. (2020) a relação da cana-de-açúcar e seus investimentos está condicionado ao desenvolvimento humano dos municípios, ou seja, municípios que possuem maior índice de desenvolvimento humano têm maiores propensões de investimento desse ramo

da agricultura o que corrobora com as tendências futuras da mesorregião como também com o planejamento estadual por meio do zoneamento econômico ecológico.

6.2.1.2 Cenário de Desenvolvimento Florestal para 2030 e 2050 em Mato Grosso do Sul

O cenário de desenvolvimento florestal, busca através de modelagem preditiva zonas que incentivem a preservação, conservação, regeneração e reflorestamento de áreas de vegetação nativa. Visando melhoras quadro ambiental mediante a conservação do solo, qualidade de habitats, qualidade do ar e água, aumento dos sumidouros de sequestro de carbono e assim melhorando os índices de qualidade de vida da fauna terrestre como também dos seres humanos (FAN et al., 2022; LI et al., 2021; LI et al., 2023).

Áreas de Preservação Permanente: de acordo com a Lei N° 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), as APPs têm como objetivo a preservação florestal, da biodiversidade, do solo e recursos hídricos, garantindo integridade do sistema climático no território brasileiro, a serviço da melhoria da qualidade de vida humana.

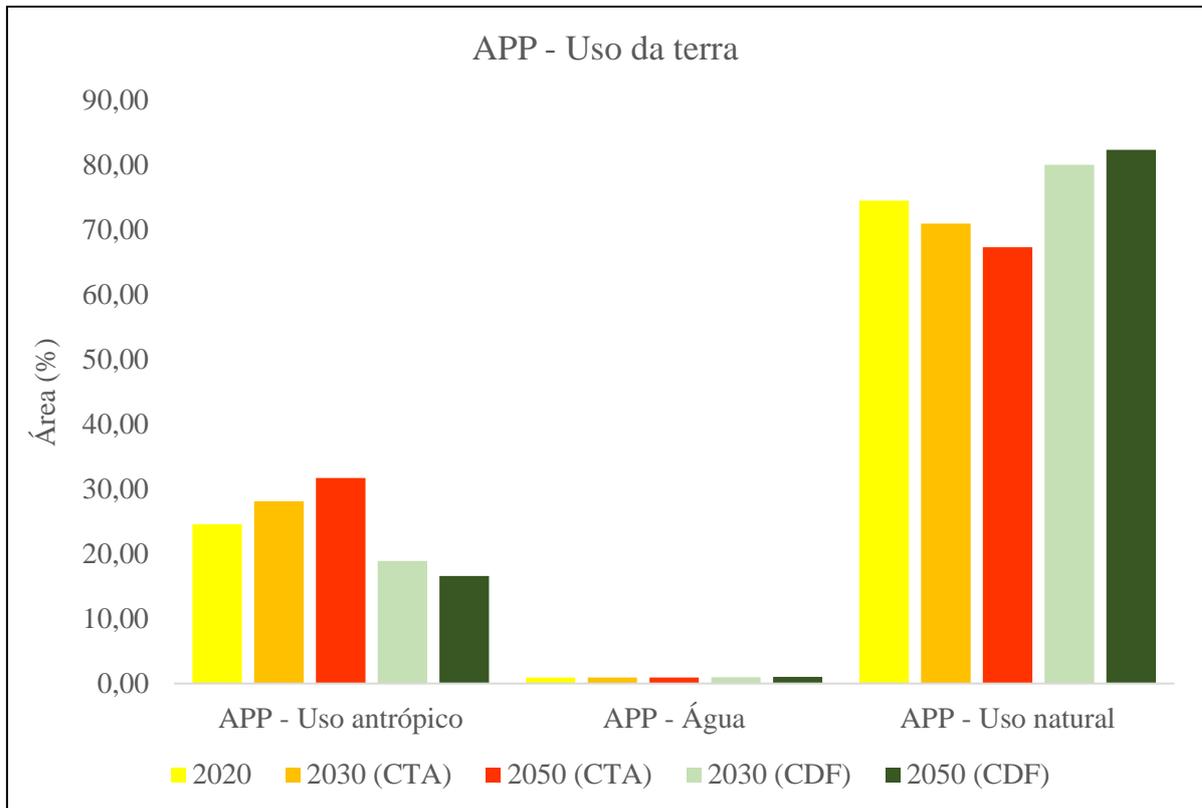
Dessa forma, as APPs apresentaram 74,54 % de uso natural em 2020 (Gráfico 3), entretanto, os cenários futuros apontam que no CTA para 2030 e 2050 a tendência é que este uso ocupe apenas respectivamente 70,96% e 67,34%, o que seria uma redução da vegetação nestas áreas. Assim, surge a importância do CDF que através do seu emprego apresentou em 2030 80,07% de uso natural, em 2050 82,37%, representando um valor expressivo, demonstrando maior regeneração, sendo significativo na redução de perda de área para os usos antrópicos no estado.

Conforme Borges et al. (2011), as APPs apesar de possuírem uma lei de regulamentação, atualmente ainda sofrem com problemas de recuperação, devido a prejuízos causados antes da sua promulgação, dessa forma, o CDF busca demonstrar áreas mais susceptíveis a regeneração e proteção florestal.

Corredores Ecológicos: de acordo com a Lei N° 9.895 de 2000 (BRASIL, 2000), os corredores ecológicos são ecossistemas, que ligam unidades da conservação, possibilitando o fluxo e movimentação de genes e da biota, servindo como elemento de dispersão de espécies e agente da recuperação de áreas degradadas, assim, mantendo a conservação do ambiente. Os corredores são uma resposta para perda e fragmentação de habitats devido as mudanças do uso

e cobertura da terra, através da conectividade de florestas naturais os corredores se tornam elementos para a conservação de ecossistemas fragilizados que estejam fragmentados (SEOANE et al., 2010).

Gráfico 3 - Usos da terra em áreas de preservação permanente.



Fonte: Autor.

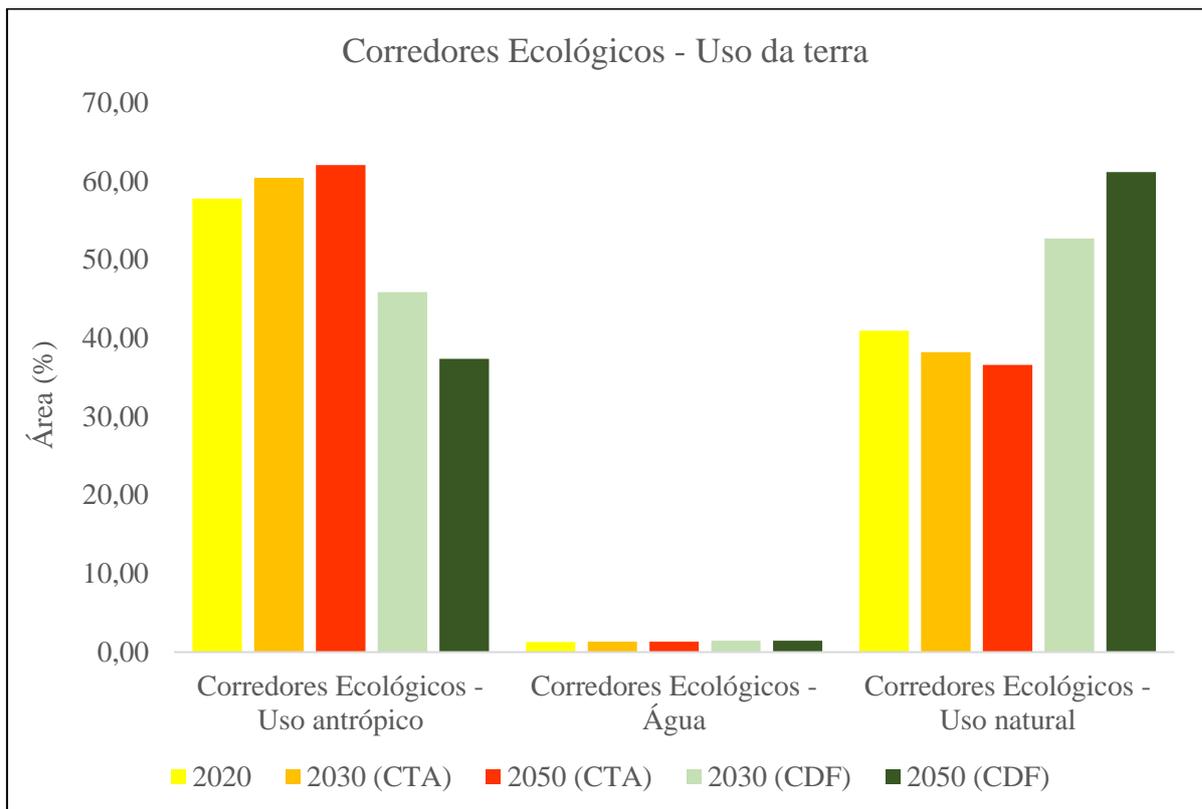
Os corredores ecológicos apresentaram uma alta taxa de uso antropizado em 2020 (Gráfico 4), sendo 57,76%. Desta forma, a uma necessidade para que aumente a taxa de regeneração da vegetação nessas áreas, podendo alcançar até 2050 no CDF uma taxa de uso antropizado, assim, os convertendo para usos naturais chegando a 61,16%, invertendo a realidade dos corredores.

Desse modo, o emprego do CDF, prezando a conservação e regeneração nativa priorizando a biodiversidade pode garantir uma melhora na integridade e sustentabilidade de ecossistemas fragilizados, através de uma efetiva conectividade ecológica (LI et al., 2023).

Comunidades Quilombolas: o estado possui 9 comunidades, sendo elas: Chácara Buriti, Furnas Boa Sorte, Furnas Dionísio, Tia Eva (mesorregião Centro Norte) e Colônia São Miguel, Dezidério Felipe de Oliveira/Picadinha, Famílias Araújo e Ribeiro, Família Cardoso e

Família Jarcem (mesorregião Sudoeste). Conforme o decreto N° 11.447 de 2023, o Programa Aquilomba Brasil promove a garantia dos direitos da população quilombola brasileira, onde no Art. 3° inciso III consta – “o reconhecimento do modo de vida tradicional quilombola como prática sustentável de relação com a natureza”, evidencia a ligação entre a conservação ambiental e as comunidades quilombolas.

Gráfico 4 - Usos da terra em corredores ecológicos.

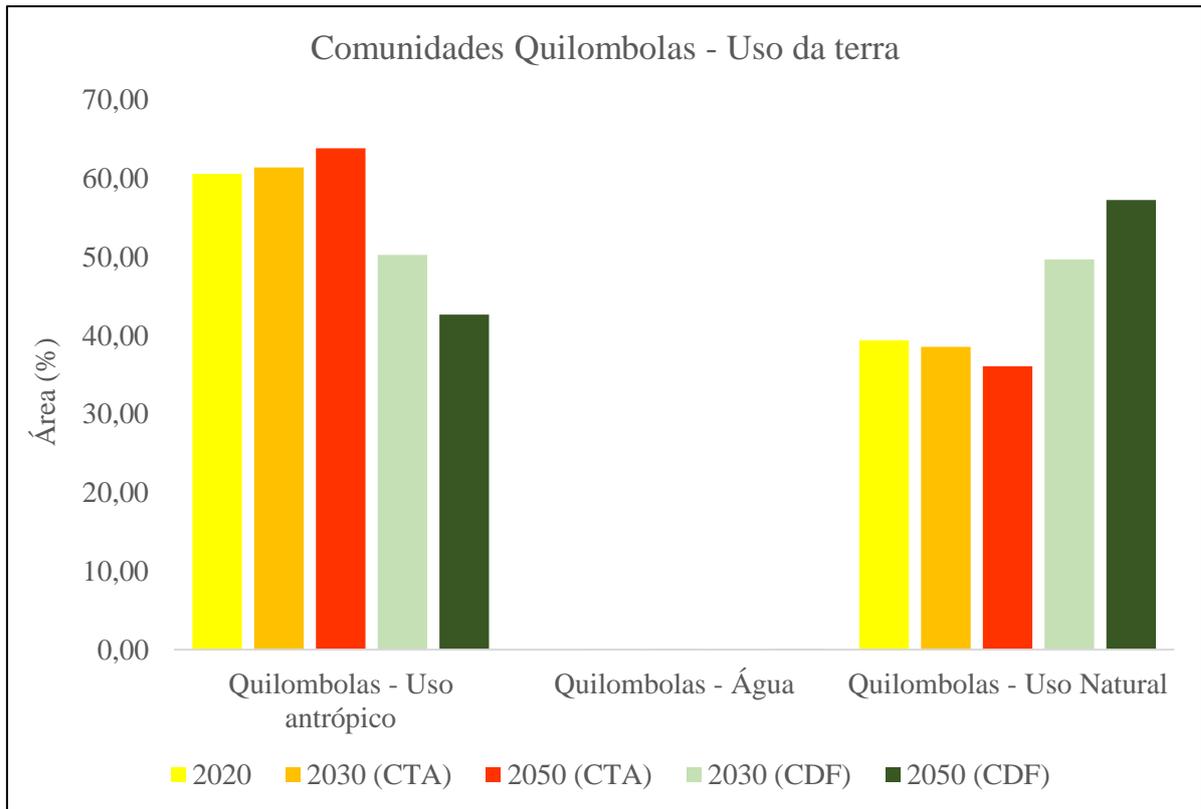


Fonte: Autor.

O uso antrópico é predominante nos quilombos em 2020 ocupando 60,61%, tendência que se manteve no CTA, entretanto é importante salientar que é necessária área suficiente para o plantio para a subsistência das comunidades, portanto o CDF prevê que as áreas de uso natural atinjam 57,29% até 2050, garantindo a estabilidade entre cultivo e preservação do meio ambiente (Gráfico 5).

Deste modo, Ditt et al., (2013) aponta que as comunidades quilombolas podem ser aliados para a conservação da biodiversidade, preservando ecossistemas se tornando atores importantes para o manejo adequado, corroborando com as tendências futuras do CDF, uma vez que as comunidades tradicionais desempenham um uso sustentável de recursos naturais.

Gráfico 5 - Usos da terra em comunidades quilombolas.

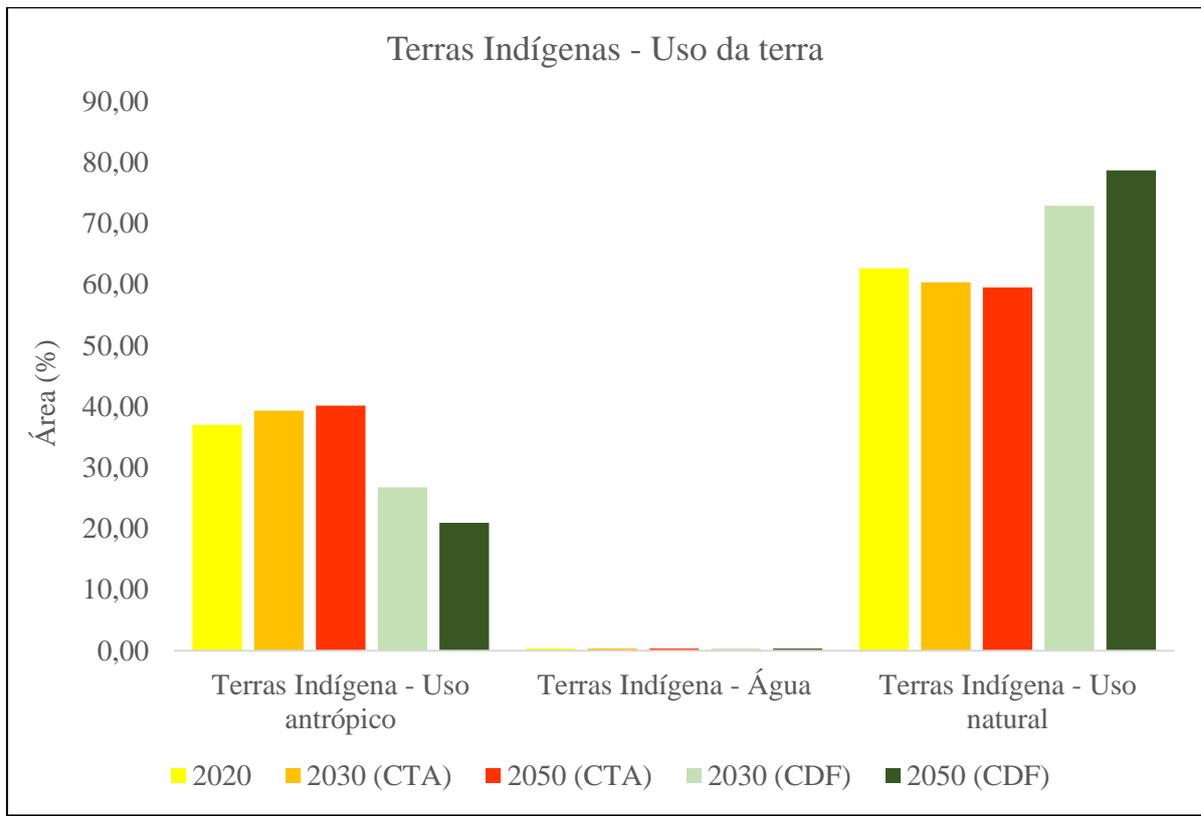


Fonte: Autor.

Terras Indígenas: conforme a Lei N° 6.001 de 1973 (BRASIL,1973), cabe aos estados e municípios, assegurar a permanência voluntária dos povos indígenas em seu habitat, possibilitando a escolha do seu modo de subsistência, lhes oferecendo o uso exclusivo das riquezas naturais e demais existentes no local de demarcação de terra. Assim, o estado de Mato Grosso do Sul possui 48 terras indígenas demarcadas, distribuídas por todo o estado, a maior demarcação Kadiwéu está localizada na mesorregião dos pantanais Sul-Mato Grossense, portanto grande parte das demais demarcações estão na mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul.

Entre 2020 a 2030 com base no CTA a tendência é perda de ocupação de usos naturais em terras Indígenas, sendo refletido principalmente nas terras que são demarcadas na região sul que sofre com o avanço da agricultura. Entretanto, o CDF demonstra um crescimento significativo de até 78,67% de uso natural em 2050, demonstrando que a proteção das terras indígenas garante a preservação do meio ambiente (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Usos da terra em terras Indígenas.



Fonte: Autor.

As terras indígenas vêm sofrendo com muitos conflitos no campo, desde a guerra da tríplice aliança até a ocupação da companhia Matte laranjeiras e concessão de produtores agrícolas por meio da companhia agrícola nacional de dourados, assim, entre os problemas jurídicos para a demarcar e o avanço da produção agrícola acabam por evidenciar a relação conflituosa entre os povos indígenas e os agentes da agropecuária (ARRUZO, CUNHA e SANTOS, 2022).

Unidades da conservação federais e estaduais: de acordo com a Lei N° 9.985 de 2000 as unidades de conservação são:

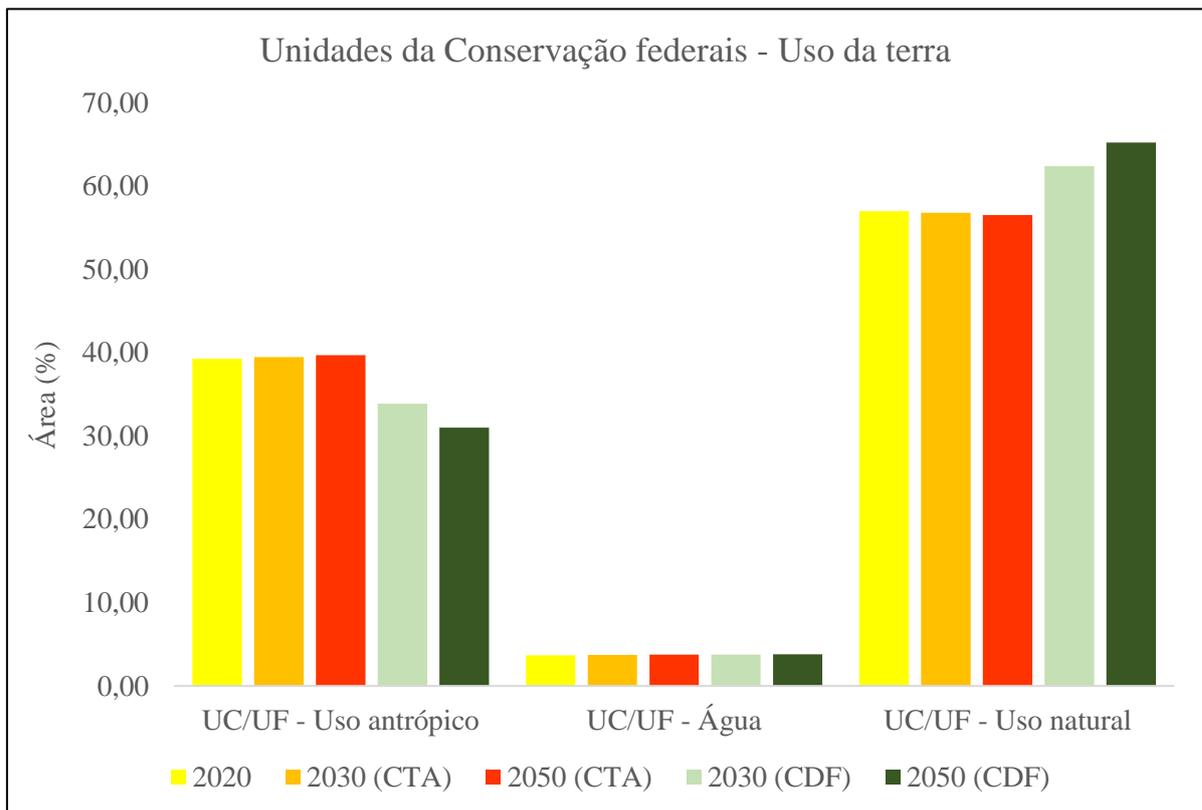
Espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção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

Deste modo, destacam entre seus objetivos, manutenção da diversidade biológica, preservação e restauração de ecossistemas, desenvolvimento sustentável de recursos naturais, proteção de paisagens naturais e recuperação de ecossistemas degradados (BRASIL,2000).

O estado de Mato Grosso do Sul possui quatro unidades da conservação federais: áreas de proteção ambiental das ilhas e várzeas do rio Paraná (mesorregião Leste e Sudoeste), parque nacional das emas (mesorregião Leste), parque nacional da serra da bodoquena (mesorregião Sudoeste) e Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense (mesorregião dos Pantanaís Sul Mato-Grossense).

As unidades de conservação apresentam uma grande área de uso natural, por sua proteção por meio da união a tendência de crescimento de usos antrópicos no CTA é de apenas 0,40%, apresentando uma diferença relativa do CDF que prevê diminuição de 8,30% entre 2020 até 2050, demonstrando uma efetiva taxa de recuperação vegetal (Gráfico 7).

Gráfico 7- Usos da terra em unidades da conservação federais.



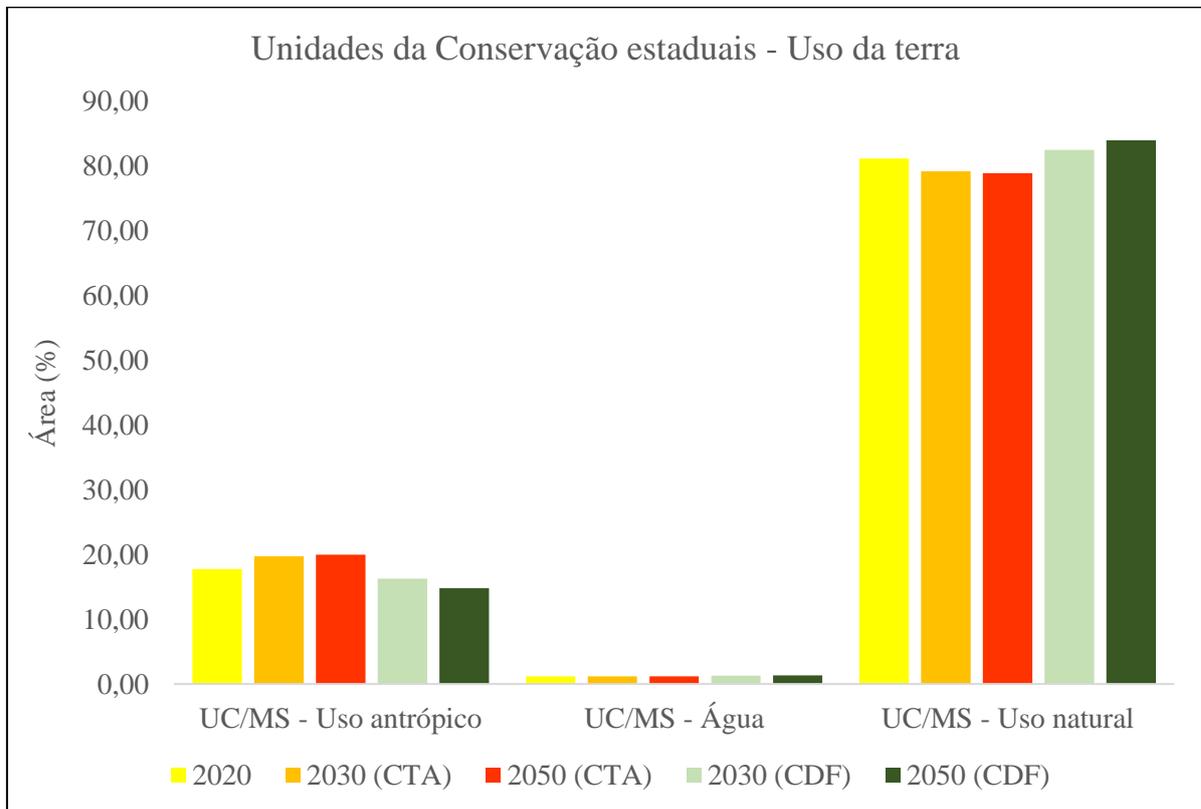
Fonte: Autor.

O Parque Nacional da Serra da Bodoquena recebe destaque por ser a única unidade da conservação federal em território exclusivo de Mato Grosso Sul, dessa forma Medeiros et al. (2023) destacam que o parque tem importância na conservação, preservação e recuperação de áreas degradadas, sendo crucial para o equilíbrio local.

Para as unidades de conservação do estaduais foram considerados apenas as de uso integral, as quais englobam: estação ecológica, monumento natural (estadual e municipal), parque (nacional e estadual), parque natural municipal, refúgio da vida silvestre e reserva biológica, diversificadas por todo território Sul Mato-Grossense.

Unidades de conservação do estaduais apresentam dinâmicas próximas as federais, com alta taxa de usos naturais e a diminuição sutil no CTA enquanto no CDF um aumento considerável, entretanto cabe ressaltar que a área das unidades federais é 7.944,21 km², enquanto as estaduais são de 3.400,89 km², ou seja, por menor que seja a taxa de antropização (2,21%) no CTA para 2050 a área afeta se torna mais expressiva (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Usos da terra em unidades da conservação estaduais.



Fonte: Autor.

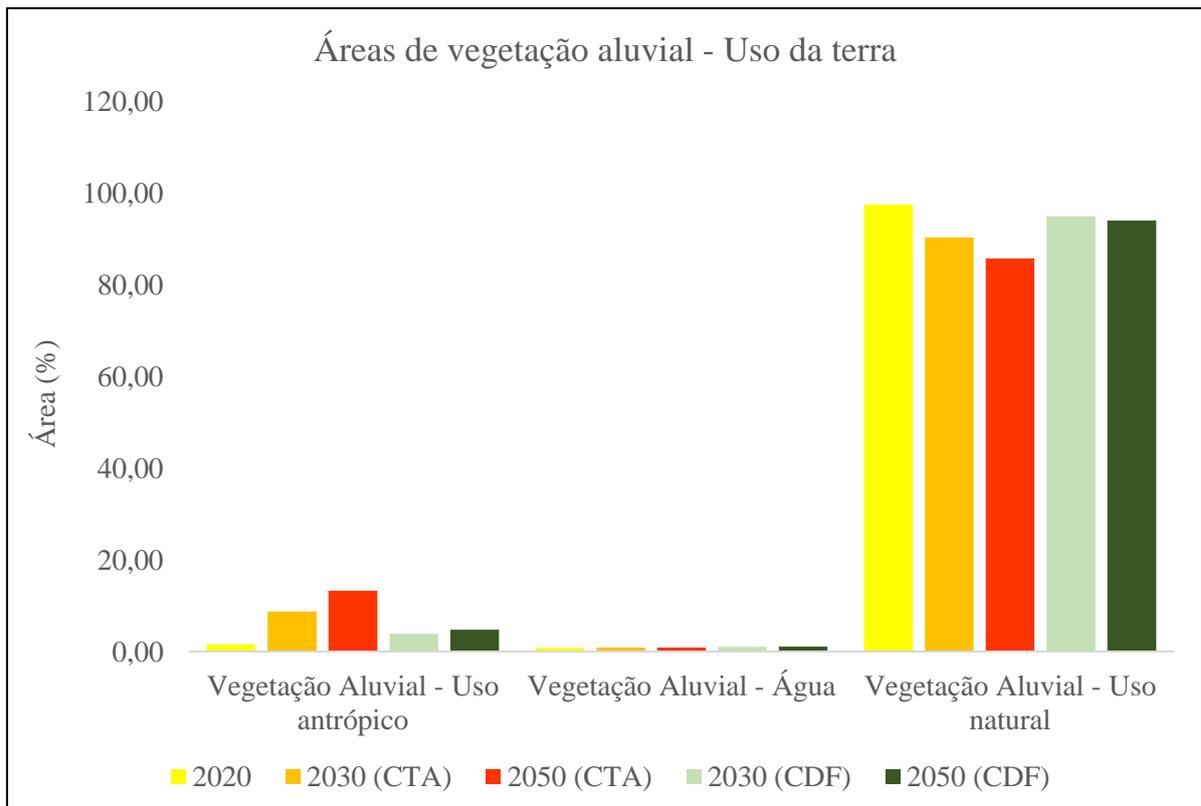
Por meio dos dados unidades da conservação em nível estadual foi verificado a falta de áreas de amortecimento ao entorno das unidades, sendo assim, Lopes, Veettil e Saldanha (2021) ressaltam a importância de *buffers* ao entorno dessas áreas pois cria-se a necessidade de proteção nos arredores para uma melhor preservação do meio.

Áreas de vegetação aluvial: de acordo com a Lei N° 12.651 de 25 de maio de 2012, Art.º 3 entende-se como atividades eventuais ou de baixo impacto:

Atividades com o objetivo de recompor a vegetação nativa no entorno de nascentes ou outras áreas degradadas, conforme norma expedida pelo órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), (BRASIL, 2012).

Dessa forma, as áreas de vegetação aluvial possuem grande importância para preservação do meio ambiente e recuperação do mesmo. Conforme os dados analisados, entre as zonas de desenvolvimento as áreas de vegetação aluvial foram as que mais apresentaram ocupação de usos naturais as perspectivas para 2050 no CTA é diminuição significativas dessas áreas, enquanto para 2050 o CDF demonstrou a menor a taxa de ocupação de uso antrópico, sendo um aliado ao desenvolvimento vegetal (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Usos da terra em áreas de vegetação aluvial.



Fonte: Autor.

Por meio de dispositivos estabelecidos na legislação, as áreas de vegetação aluvial assumem grande importância na preservação e conservação do meio ambiente. Assim, Battilani, Scremin-Dias e Souza (2005) constataram, em um estudo sobre espécies vegetais nativas em uma região de Mato Grosso do Sul, que as faixas ciliares são fundamentais para a manutenção da paisagem. Dessa forma, compreende-se que tanto o CTA para 2030 quanto para 2050 segue as tendências e dinâmicas de produção do espaço no estado de Mato Grosso do Sul, podendo impulsionar o estado na perspectiva econômica. No entanto, essa abordagem também acarreta no agravamento de problemas ambientais. Por outro lado, o CDF busca, de forma gradativa, a recuperação e preservação do meio ambiente. Ele segue uma dinâmica contrária à produção, visando a um cenário de conservação ideal.

7 CONCLUSÃO

As análises multitemporais permitiram a observação das dinâmicas do uso e cobertura da terra no estado de Mato Grosso do Sul, sendo as mesorregiões fatores determinantes para compreensão dos padrões de mudanças.

A mesorregião Leste evidenciou-se como uma área que passa por mudanças significativas atualmente. Enquanto a silvicultura prevalece no denominado "vale do eucalipto", a porção norte dessa mesorregião emerge como um novo polo da agricultura no estado. Dessa forma, a agricultura revelou seu padrão de substituição das pastagens, estabelecendo uma conexão de produção ao longo da BR-163 e instituindo uma dinâmica produtiva agrícola entre as mesorregiões Centro Norte e Sudoeste de Mato Grosso do Sul. Entretanto, os padrões na mesorregião dos Pantanaís Sul – Mato Grossense mostram-se ainda bastante complexos, exigindo estudos mais detalhados para uma compreensão abrangente. Assim, é possível compreender algumas tendências, como a expansão das pastagens.

As projeções para 2030 no CTA indicam um aumento da atividade agrícola em todas as mesorregiões do estado, especialmente no Sudoeste, com uma tendência de redução das áreas de pastagens. No entanto, em 2050 o cenário na mesorregião dos Pantanaís, onde se observam dinâmicas de expansão das pastagens sobre as áreas úmidas. Por outro lado, na mesorregião Leste, a silvicultura busca promover um cenário de desenvolvimento de florestas plantadas. A presença de duas fábricas modelo de papel e celulose, além de duas futuras previstas para 2028, sinaliza a continuidade da expansão dos monocultivos de eucalipto nessa região.

Conforme proposto, o CDF busca a implementação de um cenário ideal que prioriza a conservação, preservação e desenvolvimento da vegetação nativa no estado de Mato Grosso do Sul. Os resultados propostos para 2030 e 2050, fundamentados nas zonas de desenvolvimento, possibilitaram a avaliação da eficácia desse cenário. Apesar de ser considerado complexo para aplicação, devido ao confronto direto com o "desenvolvimento econômico", as zonas apresentam diversos dispositivos jurídicos que garantem a sua aplicabilidade e execução.

Conclui-se que os cenários possuem objetivos distintos; no entanto, podem ser aplicados em conjunto para um melhor ordenamento do território. Entende-se que a modelagem de cenários futuros foi capaz de compreender uma série de dinâmicas de interação do uso e cobertura da terra, apresentando algumas inovações e limitações. Por fim, a modelagem de uso e cobertura da terra para cenários futuros, abrangendo tanto as tendências atuais quanto o desenvolvimento florestal, constitui uma ferramenta que possibilita a gestão e o planejamento eficazes do território, quando aplicada de maneira integrada à gestão pública.

8 REFERÊNCIAS

- ABURAS, M. M. et al. Improving the capability of an integrated CA-Markov model to simulate spatio-temporal urban growth trends using an Analytical Hierarchy Process and Frequency Ratio. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 59, p. 65-78, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.03.006>
- AMANI, M. et al. Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. **IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote.Sens.** 2020, 13, 5326–5350. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- ANIAH, P. et al. Land use and land cover change detection and prediction based on CA-Markov chain in the savannah ecological zone of Ghana. **Environmental Challenges**, v. 10, p. 100664, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100664>
- ARAÚJO, L. V. G. O Perfil do desenvolvimento econômico do estado de Mato Grosso Do Sul: o caso dos municípios cortados pela BR-163. Trabalho de Conclusão de Curso. 2021.
- ARRUZZO, R. C.; CUNHA, L. D.; SANTOS, L. N. Relações territoriais entre povos indígenas e agronegócio no Brasil: conflitos e resistências. **Revista Tamoios**, v. 18, n. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.12957/tamoios.2022.63879>
- AVTAR, R. et al. Land use change and prediction for valuating carbon sequestration in Viti Levu Island, Fiji. **Land**, v. 11, n. 8, p. 1274, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11081274>
- BABBAR, D. et al. Assessment and prediction of carbon sequestration using Markov chain and InVEST model in Sariska Tiger Reserve, India. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123333, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123333>
- BACANI, V. M. et al. Markov chains–cellular automata modeling and multicriteria analysis of land cover change in the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal wetland. **Journal of applied remote sensing**, v. 10, n. 1, p. 016004-016004, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.10.016004>
- BELL, E. J. Markov analysis of land use change – application of stochastic processes to remotely sensed data. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 8, p. 311–316, 1974. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(74\)90034-2](https://doi.org/10.1016/0038-0121(74)90034-2)

BERGIER, I.; RESENDE, E. K. Dinâmica de cheias no Pantanal do rio Paraguai de 1900 a 2009. **Geopantanal**. INPE/Embrapa, Cáceres, MT, Brazil, p. 35-43, 2010.

BEYENE, E.; MINALE, A. S. Modeling urban land use dynamics using Markov-chain and cellular automata in Gondar City, Northwest Ethiopia. **Chinese Journal of Population, Resources and Environment**, v. 21, n. 2, p. 111-120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2023.06.007>

BLASCHKE, T. et al. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications. **Environmental information for planning, politics and the public**, v. 2, n. 1995, p. 555-570, 2000.

BONI, P. V. et al. Análise biogeográfica de cordilheiras sob pressão da pecuária no Pantanal do Abobral. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 85, p. 20-41, 2022. DOI: [10.14393/RCG238557257](https://doi.org/10.14393/RCG238557257)

BORGES, L. A. C. et al. Áreas de preservação permanente na legislação ambiental brasileira. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1202-1210, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000700016>

BRASIL. Lei Nº 6.001/1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 1973.

BRASIL. Lei Nº 13.465/2017. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Lei Nº 9.985/2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 2000.

BRASIL. Lei Nº 12.651/2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 2012.

CABRERO, D. R. O.; BACANI, V. M. Análise multitemporal (1975-2017) da expansão da área construída na região fronteira de Corumbá (MS). **Revista Eletrônica da Associação dos**

Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas, p. 44-68, 2022. DOI: <https://doi.org/10.55028/agb-tl.v1i36.12744>

CAMACHO, R. S. A barbárie moderna do agronegócio-latifundiário-exportador e suas implicações socioambientais. *Agrária* (São Paulo. Online), n. 13, p. 169-195, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i13p169-195>

CARVALHO, T. S.; DOMINGUES, E. P.; HORRIDGE, J. M. Controlling deforestation in the Brazilian Amazon: Regional economic impacts and land-use change. **Land use policy**, v. 64, p. 327-341, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.001>

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p. 35–46, 1991. DOI : [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

CUNHA, E. R. et al. Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado/Atlantic Forest ecotone of Brazil. **Land Use Policy**, v. 101, p. 105141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105141>

CUNHA, E. R. et al. Assessment of current and future land use/cover changes in soil erosion in the Rio da Prata basin (Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 818, p. 151811, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151811>

DITT, E. et al. Conservação da biodiversidade por meio da atividade extrativista em comunidades quilombolas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 27, p. 1-15, 2013.

DOMINGUES, A. T.; JÚNIOR, A. T. A territorialização da cana-de-açúcar no Mato Grosso do Sul. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 34, p. 138-160, 2012.

EL JAZOULI, A. et al. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 13, p. 361-374, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.004>

FAN, F. et al. Land-planning management based on multiple ecosystem services and simulation in tropical forests. **Journal of Environmental Management**, v. 323, p. 116216, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116216>

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GALDINO, S. et al. **Mudanças no regime hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Taquari-Pantanal**. 2002.

GUERRA, A. et al. Drivers and projections of vegetation loss in the Pantanal and surrounding ecosystems. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104388, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104388>

HE, F. et al. Offshore Island Connection Line: A new perspective of coastal urban development boundary simulation and multi-scenario prediction. **GIScience & Remote Sensing**, v. 59, n. 1, p. 801-821, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2071056>

IBGE. **Biomass e Sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. Cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/tres-lagoas/panorama>>. Acessado em: 3 de junho de 2023.

IBGE. Gerência de bases contínuas base cartográfica contínua do Brasil, ao milionésimo – BCIM, 4ª versão, II volume, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2014/informacoes_tecnicas/bcim_v4_doc_tecnica_vol_ii_anexos.pdf. Acesso em: 4 dez. 2023.

IBGE. Sistema de Contas Regionais: Brasil 2020.

JIANFENG, sun et al. **Assessment of Suitable Areas for Afforestation and its Carbon Sink Value in Fragile Ecological Areas of Northern China**. 2023. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4516467>

KUDLAVICZ, Mieczslau. Dinâmica agrária e a territorialização do complexo celulose/papel na microrregião de Três Lagoas/MS. Dissertação de mestrado, 2011.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LEAL, S. T. A heveicultura na mesorregião leste do estado de Mato Grosso do Sul: aspectos técnicos e econômicos. Tese de doutorado, 2017.

LEGDOU, A. et al. Predicting Forest Cover Change in Middle Atlas Morocco: A Logistic–CA–Markov Approach. In: **Computer Vision and Robotics: Proceedings of CVR 2021**. Singapore: Springer Singapore, 2022. p. 229-239. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8225-4_18

LEITE, E. F. et al. A vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Miranda, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2613-2639, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2613-2639>

LI, C. et al. Multi-scenario simulation of ecosystem service value for optimization of land use in the Sichuan-Yunnan ecological barrier, China. **Ecological Indicators**, v. 132, p. 108328, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108328>

LI, M. et al. Cost-benefit analysis of ecological restoration based on land use scenario simulation and ecosystem service on the Qinghai-Tibet Plateau. **Global Ecology and Conservation**, v. 34, p. e02006, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02006>

LI, Y. et al. The role of land use change in affecting ecosystem services and the ecological security pattern of the Hexi Regions, Northwest China. **Science of The Total Environment**, v. 855, p. 158940, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158940>

LIANG, X. et al. Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 85, p. 101569, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101569>

LIBONATI, R. et al. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. **Nature**, v. 588, n. 7837, p. 217-219, 2020. DOI: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-03464-1>

LIU, J. et al. Modern zoning plans versus traditional landscape structures: Ecosystem service dynamics and interactions in rapidly urbanizing cultural landscapes. **Journal of**

Environmental Management, v. 331, p. 117315, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117315>

LIU, X.; SHI, W.; ZHANG, S. Progress of research on urban growth boundary and its implications in Chinese studies based on bibliometric analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 24, p. 16644, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192416644>

LIMA, J. F.; PIFFER, M.; OSTAPECHEN, L. A. P. O crescimento econômico regional de Mato Grosso do Sul. **Interações** (Campo Grande), v. 17, p. 757-766, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4>

LONGLEY, P. A.; et al. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3 Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Tradução: André Schneider...et al.; Revisão técnica: Heinrich Hasenack; Eliseu José Weber

LOPES, M. S.; VEETIL, B. K.; SALDANHA, D. L. Buffer zone delimitation of conservation units based on map algebra and AHP technique: A study from Atlantic Forest Biome (Brazil). **Biological Conservation**, v. 253, p. 108905, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108905>

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Técnicas de Sensoriamento Remoto. **Geografia**: práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Sarandi, 2011.

Luiz, L. F., Leonardo, L. A., & Nardoque, S. (2023). A gênese da propriedade capitalista da terra: da formação territorial do Mato Grosso do Sul à manutenção da grande propriedade. **REVISTA NERA**, 26(65). <https://doi.org/10.47946/rnera.v26i65.9358>

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

MARIANO, Amanda Júlia Freitas; TEIXEIRA, Jodenir Calixto. O Avanço do atraso: a territorialização do agronegócio em Mato Grosso Do Sul. **Revista Ciência Geográfica**, v. 26, n. 2, p. 968-1002, 2022.

MATO GROSSO DO SUL. Atlas Multirreferencial. SEPLANCT/MS, 1990

MEDEIROS, R. B. et al. Landscapes of the Formoso river watershed, Mato Grosso do Sul-Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 121, p. 104121, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104121>

MIRANDA, J. R.; SILVA, R. G.; JUVANHOL, R. S. Forest fire action on vegetation from the perspective of trend analysis in future climate change scenarios for a Brazilian savanna region. **Ecological Engineering**, v. 175, p. 106488, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106488>

MITSOVA, D.; SHUSTERB, W.; WANGC, X. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. **Landscape and Urban Planning**, v. 99, p.141–153, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.001>

MOREIRA, A. P.; PARANHOS FILHO, A. C.; GUARALDO, E. Mapeamento dos incêndios florestais no bioma Pantanal e bacia do alto Paraguai entre 2018 e 2019 os florestais no bioma Pantanal e bacia do alto Paraguai entre 2018 e 2019. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 15, n. 2, p. 01-13, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v15i2.6898>

NATH, B. et al. Land use and land cover change modeling and future potential landscape risk assessment using Markov-CA model and analytical hierarchy process. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 2, p. 134, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi9020134>

NECKEL, A. et al. The Use of Remote Sensing and Landscape Metrics to Analyze Land Use Evolution in Rural Areas of the Municipality of Passo Fundo/RS (Brazil). **Journal of Civil Engineering and Architecture**, v. 14, p. 625-633, 2020. DOI: [10.17265/1934-7359/2020.11.006](https://doi.org/10.17265/1934-7359/2020.11.006)

NRC. Advancing land change modeling: Opportunities and research requirements. 2014.

OLIVEIRA, V. F. R. et al. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1194-1212, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1194-1212>

OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. et al. Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 282, p. 107861, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107861>

OMAR, N. Q. et al. Markov-CA model using analytical hierarchy process and multiregression technique. In: IOP conference series: earth and environmental science. **IOP Publishing**, 2014. p. 012008. DOI: [10.1088/1755-1315/20/1/012008](https://doi.org/10.1088/1755-1315/20/1/012008)

PADOVANI, C. R. Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PAN, X. et al. Detailed and automated classification of land use/land cover using machine learning algorithms in Google Earth Engine. **Geocarto International**, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1917005>

PONTIUS, G.R.; MALANSON, J. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, p. 243–265, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658810410001713434>

REN, Y. et al. Spatially explicit simulation of land use/land cover changes: Current coverage and future prospects. **Earth-Science Reviews**, v. 190, p. 398-415, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.01.001>

RICHETTI, A. et al. A evolução da produção de soja nas macrorregiões sojícolas 2 e 3 (MRS2 e MRS3). p. 25, 2020.

RUBEN, G. B. et al. Analysis and projection of land-use/land-cover dynamics through scenario-based simulations using the CA-Markov model: A case study in guanting reservoir basin, China. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3747, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12093747>

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**. V. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

SEMAGRO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico, Produção e Agricultura Familiar. Perfil Socioeconômico de Mato Grosso Do Sul. 2022.

SEOANE, C. E. S. et al. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 207-207, 2010.

SIDDIQUI, A. et al. Urban growth dynamics of an Indian metropolitan using CA Markov and Logistic Regression. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 21, n. 3, p. 229-236, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.006>

SILVA, J. S. V. et al. Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**, 2011.

SILVA, L. C. N.; BACANI, V. M. Simulação de cenários de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio da Prata, MS, utilizando o modelo de Cadeias Markov–e autômatos celulares. **Geosul**, v. 38, n. 85, p. 184-207, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2023.e87208>

SOUZA, C. M. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p.2735, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>

STEVAUX, J. C. et al. Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, v. 350, p. 106906, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106906>

TEIXEIRA, J. C.; FREITAS, W. S.; AMORIM, C. J. A produção agropecuária e as novas tendências econômicas do Estado de Mato Grosso do Sul frente ao processo de modernização da agricultura. In: Anais do XX ENGA – Encontro Nacional de Geografia Agrária, Francisco Beltrão: Unioeste, 2010.

TEIXEIRA, J. C.; HESPANHOL, A. N.. A trajetória da pecuária bovina brasileira. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 36, p. 26-38, 2014.

TEIXEIRA, J. C.; HESPANHOL, A. N. A expansão canavieira no contexto da produção agropecuária da bacia hidrográfica do rio Ivinhema no Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Campo-Território**. v. 11. p. 262-289, 2007. DOI: [10.14393/RCT112412](https://doi.org/10.14393/RCT112412).

TETILA, E. C. et al. Desafios do modelo de desenvolvimento agrícola do estado de Mato Grosso do Sul: uma proposta para o desenvolvimento sustentável. **Interações** (Campo Grande), v. 21, p. 615-632, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v21i3.2430>

TISSUEONLINE. Arauco anuncia investimento de R\$ 15 bilhões em megafábrica de celulose em MS: O Projeto “Sucuriú” terá capacidade de 2,5 milhões de toneladas por ano e deve entrar em operação no primeiro trimestre de 2028. 2022. Disponível em: <https://tissueonline.com.br/arauco-anuncia-investimento-de-r-15-bilhoes-em-megafabrica-de-celulose-em-ms/>. Acesso em: 11 abr. 2023.

TOMEI, J. et al. Assessing the relationship between sugarcane expansion and human development at the municipal level: A case study of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, p. 105700, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105700>

VICK, E. P.; BACANI, V. M. Prediction of the future scenario of the expansion of areas of forestry into the Brazilian Cerrado using a Cellular Automata Markov Chain model. **Mercator** (Fortaleza), Fortaleza, v. 18, e18026, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2019.e18026>

WANG, Z. et al. Dynamic simulation of land use change and assessment of carbon storage based on climate change scenarios at the city level: A case study of Bortala, China. **Ecological Indicators**, v. 134, p. 108499, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108499>

WANTZEN, K. M. et al. The end of an entire biome? World's largest wetland, the Pantanal, is menaced by the Hidrovia project which is uncertain to sustainably support large-scale navigation. **Science of The Total Environment**, v. 908, p. 167751, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167751>

WEN, J. et al. Land use change on the surface area and the influence on carbon. **Ecological Indicators**, v. 153, p. 110400, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110400>

WU, S. et al. Global patterns and influencing factors of post-fire land cover change. **Global and Planetary Change**, v. 223, p. 104076, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2023.104076>

XU, L. et al. Forecasting urban land use change based on cellular automata and the PLUS model. **Land**, v. 11, n. 5, p. 652, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11050652>

XU, T.; ZHOU, D.; LI, Y. Integrating ANNs and cellular automata–Markov chain to simulate urban expansion with annual land use data. **Land**, v. 11, n. 7, p. 1074, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11071074>

YAO, X. et al. Prediction of Spatiotemporal Changes in Sloping Cropland in the Middle Reaches of the Yangtze River Region under Different Scenarios. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 1, p. 182, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20010182>

ZHAI, H. et al. Understanding spatio-temporal patterns of land use/land cover change under urbanization in Wuhan, China, 2000–2019. **Remote Sensing**, v. 13, n. 16, p. 3331, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13163331>

ZHANG, Z. et al. Identification and scenario prediction of degree of wetland damage in Guangxi based on the CA-Markov model. **Ecological Indicators**, v. 127, p. 107764, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107764>

ZHAO, M. et al. Assessing the effects of ecological engineering on carbon storage by linking the CA-Markov and InVEST models. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 29-38, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.052>

ZHAO, H. et al. Spatial pattern evolution and prediction scenario of habitat quality in typical fragile ecological region, China: A case study of the Yellow River floodplain area. **Heliyon**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14430>

ZHOU, L. et al. Multi-scenario simulation of urban land change in Shanghai by random forest and CA-Markov model. **Sustainable Cities and Society**, p. 102045, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102045>