

MUDANÇAS NA ESTRUTURA DA PAISAGEM NO RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1985 E 2023

LANDSCAPE STRUCTURE CHANGES IN RIO GRANDE DO SUL BETWEEN 1985 AND 2023

CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL PAISAJE EN RIO GRANDE DO SUL ENTRE 1985 Y 2023

Letícia Figueiredo Sartorio

Mestra em Geografia, doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

leticia.sartorio98@gmail.com

Marcos Wellausen Dias de Freitas

Professor Adjunto no Departamento de Geografia, membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (POSGEA) e do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

mfreitas@ufrgs.br

RESUMO: As atividades humanas modificam intensamente a superfície terrestre, no Rio Grande do Sul há transformações significativas na configuração espacial dos usos da terra nas últimas décadas acompanhadas pela degradação de ecossistemas. Análises das mudanças do uso e cobertura da terra conjuntamente com as métricas da paisagem possibilitam mensurar as modificações na paisagem ao longo do tempo. Portanto, o presente estudo tem como objetivo analisar a estrutura da paisagem e sua dinâmica para o Rio Grande do Sul entre 1985 e 2023 a partir dos dados do projeto MapBiomas. Para isso foram aplicadas técnicas de quantificação das mudanças do uso e cobertura da terra, abrangendo o emprego de matrizes de transição, a análise das dinâmicas de ganho e perda, a quantificação de incidentes e estados, e o cálculo de métricas da paisagem. Os resultados demonstraram a alteração na composição da paisagem do Estado, reduzindo as áreas de vegetação natural e as substituindo por monoculturas, com uma perda de 14,74% na área das classes de cobertura. Destaca-se a expansão das áreas agropecuárias (soja e silvicultura) e urbanas. As métricas da paisagem revelaram um crescimento no número de manchas, e a redução de suas áreas e perímetros, indicando aumento da fragmentação da paisagem. Conclui-se que houve uma intensa alteração e fragmentação na estrutura da paisagem no Rio Grande do Sul em 39 anos. As informações aqui geradas podem subsidiar a elaboração de planejamentos ambientais.

Palavras-chave: MapBiomas; Métricas; Dinâmica; Ecologia da Paisagem.

ABSTRACT: Human activities intensely modify the Earth's surface. In Rio Grande do Sul, there have been significant changes in the spatial configuration of land use in recent decades, accompanied by the degradation of ecosystems. Analyses of changes in land use and land cover, together with landscape metrics, make it possible to measure changes in the landscape over time. Therefore, this study aims to analyze the landscape structure and dynamics for Rio Grande do Sul between 1985 and 2023 based on data from the MapBiomias project. To this end, techniques for quantifying changes in land use and land cover were applied, including the use of transition matrices, analysis of gain and loss dynamics, quantification of incidents and states, and calculation of landscape metrics. The results demonstrated the change in the composition of the state's landscape, reducing areas of natural vegetation and replacing them with monocultures, with a loss of 14.74% in the area of coverage classes. The expansion of agricultural (soybean and forestry) and urban areas stands out. Landscape metrics revealed an increase in the number of patches and a reduction in their areas and perimeters, indicating increased landscape fragmentation. It is concluded that there has been intense change and fragmentation in the landscape structure in Rio Grande do Sul over 39 years. The information generated here can support the development of environmental planning.

Keywords: MapBiomias; Metrics; Dynamics; Landscape Ecology.

RESUMEN: Las actividades humanas modifican intensamente la superficie terrestre, en Rio Grande do Sul hay transformaciones significativas en la configuración espacial de los usos de la tierra en las últimas décadas acompañadas de la degradación de ecosistemas. Los análisis de los cambios del uso y cobertura de la tierra conjuntamente con las métricas del paisaje posibilitan medir las modificaciones en el paisaje a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la estructura del paisaje y su dinámica para el Rio Grande do Sul entre 1985 y 2023 a partir de los datos del proyecto MapBiomias. Para eso se aplicaron técnicas de cuantificación de los cambios del uso y cobertura de la tierra, abarcando matrices de transición, análisis de la dinámica de ganancia y pérdida, la cuantificación de incidentes y estados, y el cálculo de métricas del paisaje. Los resultados demostraron la alteración en la composición del paisaje del Estado, reduciendo las áreas de vegetación natural y sustituyéndolas por monocultivos, perdiendo el 14,74% en el área de las clases de cobertura. Destaca la expansión de las áreas agropecuarias (soja y silvicultura) y urbanas. Las métricas del paisaje revelaron un crecimiento en el número de manchas, y la reducción de sus áreas y perímetros, indicando aumento de la fragmentación del paisaje. Se concluye que hubo una intensa alteración y fragmentación en la estructura del paisaje en Rio Grande do Sul en 39 años. Las informaciones aquí generadas pueden subsidiar la elaboración de planificaciones ambientales.

Palabras clave: MapBiomias; Métricas; Dinámica; Ecología del paisaje.

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas modificam significativamente a superfície terrestre (JONG et al., 2021), especialmente devido ao elevado crescimento populacional acompanhado da acelerada industrialização e urbanização, ocorridas entre meados do século XX e início do XXI. Essas transformações no espaço mundial foram marcadas por uma intensa apropriação colonial e capitalista da natureza, concebida e tratada como mero recurso (GONÇALVES, 2004, 2020; SANTOS; PIROLI, 2020). Assim, a relação sociedade e natureza se materializa pela transformação do espaço ao longo do tempo, em que as mudanças de uso e cobertura da terra (MUCT) estão associadas à aquisição de recursos para a sociedade (TURNER; GARDNER, 2015; OLIVEIRA, 2017). Tal visão e apropriação da natureza produzem consequências graves aos ecossistemas naturais, agroecossistemas e ecossistemas urbanos em diferentes escalas, que impactam a qualidade da água, a saúde humana, a biodiversidade etc., devido à fragmentação dos habitats e a redução dos serviços ecossistêmicos (TURNER; GARDNER, 2015).

Logo, a compreensão dos processos MUCT e seus impactos, provém informações capazes de auxiliar o planejamento do uso sustentável dos recursos naturais, através da implementação de práticas e políticas de gerenciamento adequadas ao meio (JONG et al., 2021; BOGALE et al., 2024). Ademais, em um cenário de mudanças ambientais globais (IPCC, 2023), Agarwal et al. (2023) indicam que as MUCT podem influenciar a magnitude do dano em caso de inundações e desastres naturais. No qual, a cobertura florestal consegue prevenir perdas humanas e econômicas, enquanto a urbanização possui efeito contrário (AGARWAL et al., 2023).

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) enfrentou um desastre climático em maio de 2024, que causou grandes impactos em razão da prolongada inundação e deslizamentos de terra (FONSECA et al., 2024; ANDRADES-FILHO et al., 2025), este cenário pode ser intensificado pelas MUCT. O estudo de Neto et al. (2025) aponta que o uso da terra afetou a magnitude da inundação no RS devido a ocupações urbanas em áreas de risco e a redução da capacidade de infiltração de água por conta do desmatamento para a expansão agrícola. Diversos estudos destacam as alterações na cobertura e uso da terra no Estado do Rio Grande do Sul e seus impactos negativos (ROVANI et al., 2020; ZILIOOTTO et al., 2023; ALVES, 2024; SILVA et al., 2024; SARTORIO; FREITAS, 2025). Estas mudanças se relacionam com a expansão da agricultura capitalista no Estado. A partir de 1970 a metade norte do RS se especializou na produção de soja, e os campos da metade sul passam a ser explorados para a sojicultura, substituindo o arroz e a pecuária tradicional (CHELOTTI; CASTANHO, 2006; MOREIRA; MEDEIROS, 2014).

Tais alterações se associam ao processo de expansão das monoculturas para exportação, sojicultura e silvicultura, reduzindo a biodiversidade e homogeneizando a paisagem. Silva et al. (2025) apresenta que a expansão das atividades antrópicas, como agropecuária e áreas urbanas, contribuem para a redução de serviços ecossistêmicos no Rio Grande do Sul. Devido as transformações significativas na matriz econômica e na configuração espacial dos usos da terra nas últimas décadas no Estado acompanhadas pela intensificação da degradação dos ecossistemas, torna-se necessário compreender como as mudanças no uso e cobertura da terra ocorreram espacialmente e sua magnitude, entendendo como a estrutura da paisagem foi alterada na escala estadual, de forma não fracionada. Ademais, o uso e cobertura da terra são importantes na dinâmica das inundações (NETO et al., 2025). Colocando essa informação como essencial para o desenvolvimento de planejamentos territoriais que consideram os riscos existentes.

Através do mapeamento do uso e cobertura da terra multi-temporal, é possível identificar os impactos ocasionados por atividades humanas na paisagem, bem como seu processo de regeneração ao longo dos anos. Por meio deste é possível compreender a fragmentação da paisagem e a distribuição espacial dos remanescentes, orientando ações de conservação e preservação (SANTOS, 2004). Para mapear e detectar as mudanças na paisagem, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são essenciais, fornecendo suporte para a construção de políticas públicas, bem como para o planejamento e gestão do território (GAMA et al., 2023).

Dados de uso e cobertura da terra - mapas classificados em categorias - são utilizados para analisar a estrutura da paisagem e seus padrões, além de sua dinâmica espaço-temporal, com o auxílio de ferramentas de Sistema de Informações Geográficas (SIG) (TURNER; GARDNER, 2015; COSTA, 2020). Os mapeamentos do projeto MapBiomias (MapBiomias, 2024) podem ser utilizados como base para análise das MUCT, por disponibilizarem uma extensa janela temporal. No entanto, o desafio de sintetizar as transições de uso e cobertura da terra entre múltiplas categorias e intervalos temporais é colocado por Pontius et al. (2017), ressaltando que o uso de uma série temporal inteira oferece informações mais profundas sobre a dinâmica do uso e cobertura da terra em relação à análise da data inicial e final (PONTIUS et al., 2017). Para tal, técnicas e métodos que permitem descrever e quantificar os padrões espaciais são fundamentais, como a contagem de incidentes e estados proposta por Pountius et al. (2017). Diferentes técnicas também podem ser aplicadas para identificar as transformações da paisagem

ao longo do tempo, como, por exemplo, o uso de matrizes de transição e a análise de perdas e ganhos (LAMCHIN, 2022; KUMAR; SINGH; BAHADUR, 2022; BOGALE et al., 2024; ENWRIGHT et al., 2024; GEBREHIWOT et al., 2024), bem como a aplicação de métricas da paisagem (LARA, 2016; LONGO et al., 2024; SANTOS; BOHRER; NASCIMENTO, 2024).

A paisagem possui uma estrutura, esta representa a configuração espacial dos seus elementos constituintes (mancha, corredor e matriz), onde as estruturas encontradas na paisagem refletem os processos atuantes sobre esse sistema (OLIVEIRA, 2017). A quantificação e avaliação da estrutura da paisagem é essencial para compreendê-la, e com o emprego de métricas da paisagem é possível avaliar o estado da paisagem em relação a sua degradação e preservação (OLIVEIRA, 2017; OLIVEIRA JÚNIOR, 2022). As métricas da paisagem possibilitam mensurar as modificações na paisagem ao longo do tempo, além de permitir comparações de padrões espaciais (LANG; BLASCHKE, 2009; TURNER; GARDNER, 2015). A conjunção entre o mapeamento de uso e cobertura da terra em pequena escala, aliados às técnicas de agregação sumária de MUCT e métricas da paisagem permitem realizar avaliações da configuração espacial e suas modificações ao decorrer do tempo, bem como seus impactos nos processos ecológicos que agem na paisagem.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo analisar a estrutura da paisagem e sua dinâmica para o Rio Grande do Sul entre 1985 e 2023 a partir dos dados do projeto MapBiomias. Para isso aplicou técnicas de quantificação das mudanças do uso e cobertura da terra e métricas de paisagem. Orientado pela hipótese de que há um processo de avanço das monoculturas no Estado, que reduz a diversidade paisagística e fragmenta a paisagem. A partir desta análise será possível elaborar uma síntese das principais alterações na estrutura da paisagem, espacialmente e quantitativamente, e assim, subsidiar ações de planejamento territorial e ambiental ao identificar remanescentes e áreas sobre maior pressão de atividades antrópicas.

1.1. Área de Estudo

A área de estudo corresponde ao Estado do Rio Grande do Sul, que pertence à Região Sul do Brasil, com área de 281 707,150 km². O Estado faz fronteira com Uruguai, a sul, Argentina, a oeste, e o oceano Atlântico, a leste. Possui uma costa litorânea de 620 quilômetros de extensão (DILLENBURG et al., 2005), com a presença de lagoas, se destacando a laguna dos Patos. A população do Rio Grande do Sul é de 10.882.965 habitantes, com densidade demográfica de 38,63 hab/km² segundo o censo demográfico de 2022 (IBGE, 2022). No Estado há dois biomas: o Pampa, metade sul, e a Mata Atlântica, metade norte. A localização da área de estudo e dos biomas pode ser visualizada na Figura 1.

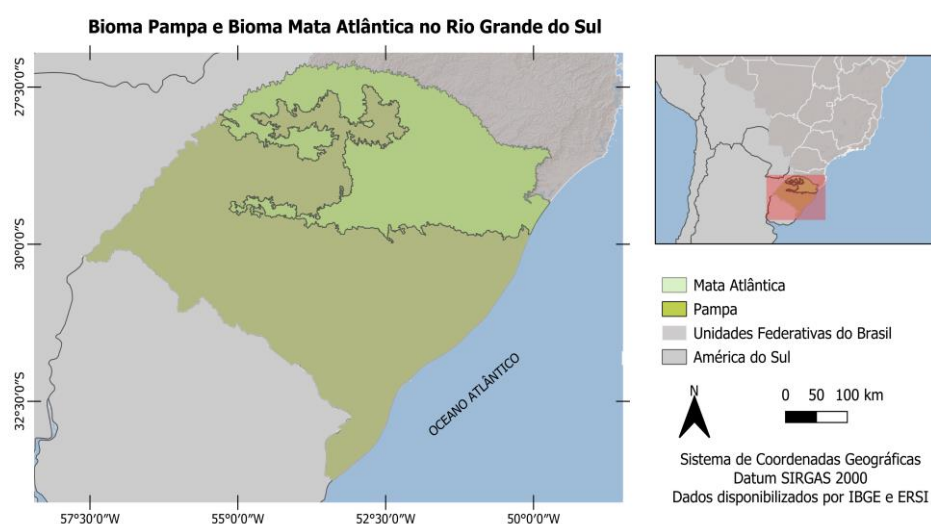


Figura 1 – Área de Estudo. Fonte: Os autores (2026).

O bioma Pampa possui uma área de 193.836 km², que equivale a 2,3% do território brasileiro e a 68,8% do Rio Grande do Sul. (BENCKE, CHOMENKO, SANT'ANNA, 2016; IBGE, 2019). A fitofisionomia com maior expressão no bioma é a de Estepe, em que predominam gramíneas, com as formações florestais restritas ao entorno dos cursos d'água e em áreas de relevo mais acidentado. Os campos do Pampa estão entrelaçados com as características culturais, sociais e econômicas da região, sendo a pecuária a principal atividade tradicionalmente desenvolvida (BENCKE, CHOMENKO, SANT'ANNA, 2016; IBGE, 2019).

A Mata Atlântica ocupa 13% do Brasil, com uma área de 1.107.419 km², no Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma área de 87.871 km², 31,2% do seu território (IBGE, 2019). A Mata Atlântica se caracteriza por ser uma floresta tropical úmida, com elevada biodiversidade em termos de flora, fauna e ecossistemas. Apesar de ser um *hotspot* de biodiversidade, também é altamente ameaçado em termos de degradação, com distintas fases de exploração econômica (MARQUES et al., 2016; REZENDE et al., 2018). As principais fitofisionomias presentes na Mata Atlântica no Rio Grande do Sul são a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual (MARQUES et al., 2016; IBGE, 2019).

A ocupação histórica do Rio Grande do Sul estava dividida entre a pecuária tradicional na metade sul, baseada na grande propriedade e na concentração de renda, e na agropecuária tradicional (policultura) na metade norte em pequenas propriedades (ALVES; SILVEIRA, 2008; RODRIGUES; BEZZI, 2008). A partir da metade do século XX, este cenário começa a se modificar pela introdução da lavoura empresarial com o processo de modernização agrícola (RODRIGUES; BEZZI, 2008). O cultivo da soja se associa ao processo de modernização da agricultura a partir de 1970 (CHELOTTI; CASTANHO, 2006; MOREIRA; MEDEIROS, 2014). Assim, a produção de soja se estabelece na porção no norte do Estado e avança em direção a metade sul. Dessa forma, as formações campestres vêm sendo substituídas por monoculturas intensivas, de soja e silvicultura, perdendo sua tradicional paisagem e posicionando o Pampa como um dos biomas mais ameaçados e menos protegidos do país (BENCKE, CHOMENKO, SANT'ANNA, 2016; VERDUM et al., 2019; SILVA et al., 2025).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A seguir são apresentados os materiais utilizados e as etapas metodológicas aplicadas. A Figura 2 apresenta um fluxograma com as etapas desenvolvidas na metodologia deste estudo, dividida em três fases: Pré-processamento, Análise MUCT e Métricas da Paisagem. Para identificar as MUCT no Rio Grande do Sul foram utilizadas técnicas de agregação sumária propostas por Pontius et al. (2017) e métricas de paisagem, para identificar as alterações na estrutura da paisagem.

2.1. Materiais

Para desenvolver o estudo foram utilizados dados vetoriais das unidades da federação e biomas do Brasil, ambos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2023, 2024) e mapas de uso e cobertura da terra entre 1985 e 2023 da coleção 9 do MapBiomas (2025), abrangendo 39 anos. Para processamento e análise dos dados foram utilizadas a plataforma em nuvem Google Earth Engine (GEE), o ambiente de programação Google Colaboratory, e os softwares Matlab 2014b, QGIS 3.10, ArcMap 10.3 e RStudio.

Os mapas de uso e cobertura da terra da coleção 9 do MapBiomas apresentam resolução espacial de 30 metros e temporal de um ano. Para a produção dos mapas foram utilizadas imagens da constelação de satélites *Landsat* processadas na plataforma Google Earth Engine e classificadas utilizando o algoritmo *Random Forest* e uma rede neural convolucional de

arquitetura U-NET para classes específicas. Esta coleção possui quatro níveis de legenda de classes, somando 28 classes para todos os biomas brasileiros, as classes originais podem ser visualizadas no Quadro 1. Em relação à acurácia da classificação, ao nível um apresenta acurácia global de 93%, com 1% de erro associado a desacordo de área e 6% a desacordo de alocação. Informações mais detalhadas sobre o projeto e sua metodologia podem ser consultadas em MapBiomas Project (2024).

2.2. Pré-processamento

A coleção 9 do MapBiomas foi acessada na plataforma GEE, nesta foi realizada o recorte para a área de estudo. Os dados da coleção foram pré-processados visando reduzir o número de classes e remover as transições de classes improváveis. Nesta primeira etapa as classes originais foram agrupadas em oito classes para reduzir a complexidade da análise. Este procedimento foi realizado no GEE por meio da função *ee.remap*, e o agrupamento das classes seguiu a hierarquia estabelecida pelo projeto (MapBiomas, 2024). O Quadro 1 apresenta as classes agrupadas com suas siglas, as classes originais utilizadas e o novo valor associado. Após o agrupamento, a coleção foi exportada do GEE.

Em seguida, o software Matlab 2014b foi utilizado para aplicar um filtro temporal na coleção baseado na permanência das classes, removendo transições isoladas que ocorreram em somente um ano. Esta etapa de filtragem temporal não foi aplicada no ano inicial (1985) e final (2023) da série temporal. Tanto o agrupamento das classes como a filtragem temporal das transições visaram facilitar a análise das mudanças do uso e cobertura da terra e dos padrões espaço-temporais, considerando que a série possui 39 anos de dados.

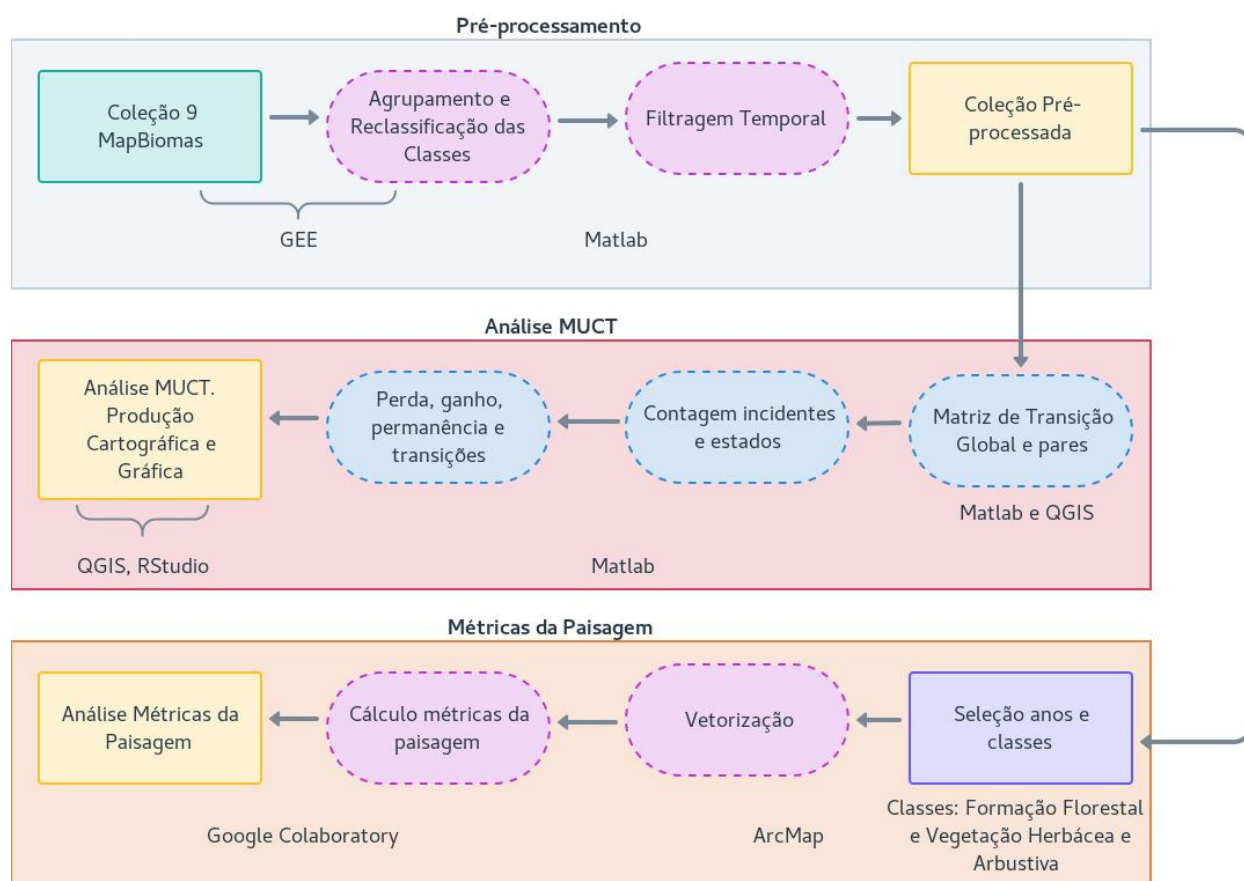


Figura 2 – Fluxograma com as etapas metodológicas. Fonte: Os autores (2026).

Quadro 1 – Classes agrupadas da coleção 9 do MapBiomass.

Classe Agrupada	Classe Original	Valor
Formação Florestal (FF)	Formação Florestal (3); Formação Savânica (4); Mangue (5); Floresta Alagável (6); Restinga Arbórea (49)	1
Vegetação Herbácea e Arbustiva (VHA)	Formação Campestre (12); Afloramento Rochoso (29); Campo Alagado e Área Pantanosa (11); Apicum (32); Restinga Herbácea (50)	2
Corpos D'Água (CA)	Rio, Lago e Oceano (33); Aquicultura (31)	3
Área Não Vegetada (ANV)	Mineração (30); Praia e Duna (23); Outras Áreas não Vegetadas (25)	4
Área Urbanizada (AU)	Infraestrutura Urbana (24)	5
Silvicultura (S)	Silvicultura (9)	6
Agropecuária (AG)	Pastagem (15); Outras Lavouras Temporárias (41); Mosaico de Usos (21); Cana (20); Algodão (beta) (62); Café (46); Citrus (47); Dendê (35); Outras Lavouras Perenes (48)	7
Agricultura de Grande Porte (AGP)	Arroz (40); Soja (39)	8

Fonte: Os autores (2026).

2.3. Análise das Mudanças do Uso e Cobertura da Terra

O primeiro passo para a análise das MUCT foi o cálculo da matriz de transição global (1985-2023) no software Matlab 2014b para identificar as principais transições quantitativamente, em contagem de *pixels*. Também foram produzidas matrizes de transição a partir do plugin *Semi-Automatic Classification* no QGIS 3.10, estas apresentam as transições em unidades de área (m²) com os dados utilizando a projeção de Albers. A matriz de transição é uma técnica para calcular as taxas de mudanças entre as classes de uso e cobertura da terra entre os intervalos de tempo por meio de comparação cruzada (CAMPO, QUEIROZ FILHO, 2017). A partir da matriz foi possível gerar distintas métricas, como mudança líquida e permanência, além das perdas e os ganhos por classe (COMBER et al., 2016). Em que o ganho indica o aumento total de uma classe no intervalo analisado, e a perda representa a sua redução. A permanência refere-se à quantidade que se manteve estável entre as datas. Por último, a mudança líquida corresponde ao saldo final, mensurada pela diferença entre ganhos e perdas.

Para a matriz de transição foi estimado o ganho (%), a perda (%) e a mudança líquida em quilômetros quadrados (km²) de cada classe. Um diagrama do tipo Sankey (SCHMIDT, 2008; ARIZAPANA-ALMONACID et al., 2024) foi produzido no software RStudio para facilitar a visualização das mudanças entre o ano inicial (1985) e final (2023). A partir destes resultados, foram selecionadas as classes de interesse a serem utilizadas nas próximas etapas.

Em seguida, no Matlab 2014b, foi mensurado o número de estados e de incidentes de cada *pixel*, analisando a sua trajetória temporal. Conforme Pontius et al. (2017) os estados (categorias únicas) indicam o número de classes distintas que o *pixel* apresentou ao longo do intervalo analisado, e os incidentes (transições) representam quantas mudanças ocorreram no *pixel*. A combinação entre incidentes e estados evidencia processos de alternância entre duas classes e a ocorrência de estados múltiplos, quando o *pixel* possui mais de duas categorias (Pontius et al., 2017). Nesta etapa foi realizada a combinação entre incidentes e estados, em que selecionou-se os *pixels* que apresentavam estabilidade (um estado), transição única (um incidente e 2 estados), e alternância (2 estados com diversos incidentes). A alternância é um padrão de MUCT no qual a mesma categoria varia entre presença e ausência na janela temporal (BILINTOH; PONTIUS; LIU, 2024). Por fim, foi gerado o mapa de permanência das classes de uso e cobertura da terra na série temporal, selecionado somente os *pixels* estáveis ao longo dos 39 anos. Para isso foi selecionado os *pixels* que apresentavam somente um estado.

Para complementar a análise foram gerados no Matlab 2014b mapas de ganho, perda e transição de classes de interesse entre os anos de 1985 e 2023. Foram mensuradas a perda e o ganho para as classes de cobertura, formação florestal (FF) e vegetação herbácea e arbustiva (VHA), e o ganho para as classes de uso, agricultura de grande porte (AGP), agropecuária (AG), silvicultura (S) e área urbanizada (AU). A partir da análise da matriz de transição global (1985-2023) e do diagrama de Sankey foram selecionadas transições de uso e cobertura da terra específicas. Estas representam processos MUCT (FREITAS; SANTOS; ALVES, 2013) de degradação (cobertura da terra para uso da terra), regeneração (uso da terra para cobertura da terra) e intensificação (alteração da intensidade do uso da terra). O que permitiu observar espacialmente os processos atuantes

As análises aqui realizadas geraram métricas para sumarizar mudanças de uso e cobertura da terra, indicando a dinâmica da paisagem e potenciais trajetórias (PONTIUS et al., 2017). A produção cartográfica foi elaborada no QGIS 3.10.

2.4. Métricas da Paisagem

Com o intuito de observar a transformação e fragmentação da estrutura e composição da paisagem foram mensuradas métricas e índices da paisagem para a área de estudo. Sendo calculadas as seguintes: Área da Mancha, Perímetro da Mancha, Número de Manchas, Razão Perímetro-Área, Índice de Forma, Dimensão Fractal, Área da Classe e Composição da Paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; TURNER; GARDNER, 2015)

Para tal, foram selecionados os mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023, e estes foram vetorizados no ArcMap 10.3. O emprego das cinco datas na análise possibilita comparar as métricas da paisagem temporalmente. A composição da paisagem e a área da classe foram determinadas a partir da mensuração da porcentagem e a área em quilômetros quadrados de cada classe de uso e cobertura para as datas selecionadas, usando a projeção de Albers. Estas foram as únicas métricas que consideraram todas as classes de uso e cobertura da terra.

Após, foram selecionadas somente as classes de cobertura, formação florestal e vegetação herbácea e arbustiva, para mensurar as demais métricas. Autores como Santos, Bohrer e Nascimento (2024) e Vancine et al. (2024) também utilizaram somente classes de cobertura para calcular as métricas da paisagem visando avaliar a fragmentação e alterações na cobertura vegetal. Assim, as métricas de paisagem foram calculadas na plataforma Google Collaboratory com a linguagem de programação Python e o pacote geopandas no nível de mancha, classe e paisagem. Estas foram mensuradas para cada mancha, e agregadas via média ao nível de classe e paisagem, o Estado do Rio Grande do Sul. A teoria da hierarquia oferece suporte nos estudos da paisagem, ao indicar que padrões e processos multiescalas podem existir nas paisagens (TURNER; GARDNER, 2015), ressaltando a importância de calcular as métricas da paisagem em distintas escalas de análise.

A métrica de número de manchas indica a quantidade de fragmentos de uma classe, seu aumento é indicativo de fragmentação. O índice de razão perímetro-área avalia a complexidade da forma da mancha, considerando a proporção entre a borda e a área interna, em que valores elevados indicam uma forma complexa ou alongada, e valores baixos indicam formas mais simples e compactas (TURNER; GARDNER, 2015). O índice de forma mede a complexidade da geometria da mancha em relação a uma feição padrão, aumentando conforme o desvio desse padrão, sendo esta situação associada a feições com contornos irregulares (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015). A dimensão fractal também avalia a complexidade da forma da mancha, em que valores próximos a um indicam formas com perímetros simples e retilíneos, como quadrados, e valores tendendo a dois indicam formas com bordas irregulares e complexas, associados a feições naturais (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; GONÇALVES; DOS PASSOS, 2024).

3. RESULTADOS

Primeiramente, apresentam-se os resultados referentes às análises de toda a série temporal, abrangendo os estados, incidentes, alternância e permanência. Em seguida, detalha-se a análise bitemporal (1985-2023), destacando a matriz de transição e as transições entre classes. Por fim, expõem-se as métricas da paisagem calculadas.

O número de estados (categorias únicas) entre os anos de 1985 e 2023 para o Rio Grande do Sul está apresentado na Figura 3a. Esse varia de um (apenas uma classe de uso ou cobertura), a até seis estados. As áreas em cinza, que indicam um único estado, correspondem a aproximadamente 42% da área, indicando classes estáveis. A ocorrência de dois estados, em azul, ocupam 39% da área de estudo. Por outro lado, as áreas em rosa indicam a ocorrência de três estados (16% da área), com maior dinamismo das MUCT, e concentra-se na porção interna do bioma Pampa.

A Figura 3b apresenta o número de incidentes (transições), que varia de zero a 16 incidentes. A ausência de transições (em cinza claro) indica áreas que mantiveram uma classe. A ocorrência de um único incidente, representada pela cor roxa, abrange áreas na porção norte e ocupa 30% da área de estudo. Em azul, temos a ocorrência de dois incidentes que ocorrem em 21% do RS, enquanto entre três e quatro incidentes (em azul-claro) abrange 25% da área. Os incidentes na faixa de cinco a sete estão apresentados em tons de rosa, ocupando 17% da área. De oito a 16 incidentes (em amarelo) indicam maiores frequências e ocorrem de forma isolada. Importante considerar que o elevado número de transições também pode representar erros no processo de classificação das imagens (BILINTOH; PONTIUS; LIU, 2024).

A partir da análise dos estados e incidentes foi realizada a combinação entre estes. A alternância entre classes de uso e cobertura da terra resulta da combinação entre ganhos e perdas ao longo da série temporal em um mesmo local (BILINTOH; PONTIUS; LIU, 2024). A Figura 3c apresenta a ocorrência de alternância entre 1985 e 2023. Em cinza temos a ocorrência de somente um estado ao longo dos 39 anos, logo estabilização. A transição única (em vermelho) indica a ocorrência de um incidente, com concentração na porção norte do RS. Os apresentados a seguir representam o processo de alternância entre duas classes ao longo da série temporal. A ocorrência de dois estados e dois incidentes está representada pelo tom de verde, e aponta a transição para uma classe e o retorno para a classe original. Em amarelo temos dois estados e três incidentes, e em azul a alternância entre dois estados com 4 a 16 incidentes, indicando um elevado número de transições entre duas classes. Este último se concentra espacialmente na Planície Costeira, nas Depressões Gaúchas e na fronteira oeste. A alternância indica a rotação entre classes, possivelmente entre culturas agrícolas, e revelam a elevada dinâmica das MUCT.

A Figura 3d apresenta as classes de uso e cobertura da terra que permaneceram estáveis durante os 39 anos, possuindo somente um estado. A vegetação herbácea e arbustiva apresenta a maior expressão espacial ocupando 44 931,55 km², localizada a sudoeste e no nordeste do RS. A formação florestal estável ocupa 34 387,06 km² e se concentra no bioma Mata Atlântica e no Escudo Sul Rio-Grandense no Pampa. Já a agropecuária estável (11 482,87 km²) e a agricultura de grande porte estável (8 606,68 km²) se concentram na porção norte do RS. A área urbanizada estável corresponde a 1 275,12 km², a silvicultura estável a 706,75 km², a área não vegetada (ANV) estável a 1 155,31 km², e os corpos d'água (CA) estáveis ocupam 17 817,91 km², sendo este representado pela laguna dos Patos, Lagoa Mirim, lagoas costeiras e por hidrelétricas. Os mapas da Figura 2 expressam a intensa dinâmica do uso e cobertura da terra no Rio Grande do Sul entre 1985 e 2023.

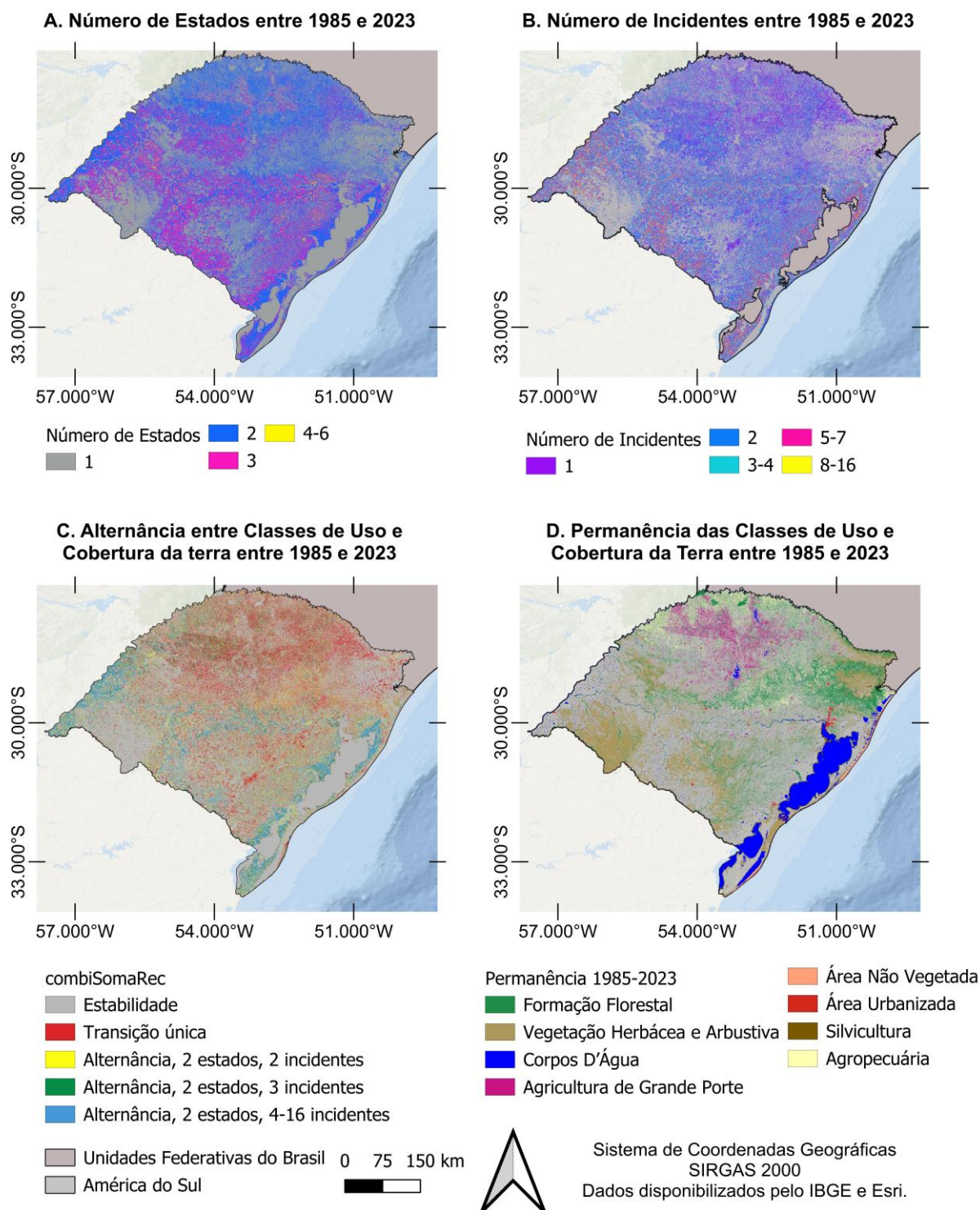


Figura 3 – Sumarização das MUCT no RS. Fonte: Os autores (2026).

A Tabela 1 apresenta as métricas de paisagem de área da classe (km^2) e de composição da paisagem (%). Tais métricas são essenciais para entender a estrutura e composição da paisagem, ao indicarem quais classes compõem a paisagem e a sua proporção (TURNER; GARDNER, 2015; OLIVEIRA, 2017). Destaca-se a redução da classe de VHA, que em 1985 ocupava 39,26% da área do Estado para 24,99% em 2023. Por outro lado, a AGP parte de 6,34% em 1985 para ocupar 25,67% da paisagem em 2023. A classe de silvicultura também apresentou crescimento significativo, de 0,46% para 4,30% (aproximadamente 10 vezes a porcentagem inicial). A redução da classe AG, em cerca de 9% da porcentagem inicial, chama a atenção e levanta-se a hipótese de sua substituição pela classe de AGP ou seu abandono, e consequente regeneração da vegetação. Já a classe de AU duplicou sua área ao longo dos 39 anos observados. No ano de 1985 as classes de cobertura, excluindo área não vegetada, correspondiam a 64,79% da paisagem, em 2023 este valor caiu para 50,05%. Assim, 49,15% da paisagem do Rio Grande do Sul no ano de 2023 é composta por usos da terra, como as classes de área urbanizada, silvicultura, agropecuária e agricultura de grande porte. Demonstrando a grande transformação em termos de composição da paisagem que ocorreu no decorrer dos 39 anos, reduzindo as áreas de vegetação natural e as substituindo por monoculturas, seja para a produção de soja e arroz ou de silvicultura. Este resultado indica a troca de uma paisagem mais diversa por uma mais homogênea.

Na Tabela 2 é possível observar a matriz de transição global, entre os anos de 1985 e 2023, em quilômetros quadrados. A área sem transições, diagonal principal, equivale a 58,26% da área. Portanto, 40,74% da área do RS apresentou algum tipo de transição entre 1985 e 2023. Este dado expõe a intensa dinâmica e magnitude das MUCT na área de estudo. Em termos de mudança líquida, as classes de formação florestal, vegetação herbácea e arbustiva, área não vegetada e agropecuária apresentaram um saldo negativo, ou seja, a perda foi maior que o ganho. As demais classes apresentaram um saldo positivo, com destaque para os ganhos das classes de agricultura de grande porte e silvicultura.

O diagrama Sankey das MUCT na Figura 4, apresenta as transições entre os anos de 1985 e 2023, representando visualmente as transições descritas na Tabela 2. A partir da sua análise é evidente a perda de VHA para as classes de AG, AGP e S, que correspondem em quilômetros quadrados, respectivamente, a 16 204,08 km^2 , 22 007,99 km^2 e 5 045,78 km^2 . A classe de FF apresentou suas maiores perdas para as classes de S (4 250,78 km^2) e AG (3 864,63 km^2). Por fim, a classe de AG apresentou uma perda de 34 051,79 km^2 para a classe de AGP, indicando a substituição de um uso por outro.

Tabela 1 – Área das classes de Uso e Cobertura da Terra em quilômetros quadrados e sua Porcentagem.

Classes*	1985 – km ²	%	1995 – km ²	%	2005 – km ²	%	2015 – km ²	%	2023 – km ²	%
FF	52 566,00	18,67	50 770,45	18,02	5 0991,65	18,10	51 456,76	18,27	51 129,44	18,15
VHA	110 564,62	39,26	105 645,87	37,50	94 987,93	33,72	85 024,93	30,18	70 392,95	24,99
CA	19 305,96	6,86	19 332,76	6,86	19 387,99	6,88	19 688,93	6,99	19 468,12	6,91
ANV	3 055,48	1,09	2 475,41	0,88	2 527,11	0,90	2 209,71	0,78	2 250,51	0,80
AU	1 285,48	0,46	1 678,10	0,60	2 059,91	0,73	2 348,33	0,83	2 559,04	0,91
S	817,83	0,29	4 363,62	1,55	6 028,74	2,14	10 743,49	3,81	12 097,55	4,30
AG	76 140,48	27,04	67 695,64	24,03	58 263,17	20,68	44 301,90	15,73	51 449,74	18,27
AGP	17 858,71	6,34	29 735,17	10,56	47 453,61	16,85	65 928,85	23,40	72 299,74	25,67

Fonte: Os autores (2026). *FF: Formação Florestal; VHA: Vegetação Herbácea e Arbustiva; CA: Corpos D'Água; Área Não Vegetada (ANV); AU: Área Urbanizada; S: Silvicultura; AG: Agropecuária; AGP: Agricultura de Grande Porte.

Tabela 2 – Matriz de Transição entre os anos de 1985 e 2023, área em quilômetros quadrados.

2023* 1985 *	FF	VHA	CA	ANV	AU	S	AG	AGP	Perda	(%)
FF	40 429,75	1 689,42	191,46	46,96	160,52	4 250,78	3 864,63	1 985,24	12 189,00	23,16
VHA	5 723,97	60 019,80	531,44	420,54	415,35	5 045,78	16 204,08	22 007,99	50 349,14	45,62
CA	207,49	490,57	18 292,93	50,93	5,60	14,44	230,28	29,27	1 028,58	5,32
ANV	83,63	697,40	41,09	1 558,20	75,12	277,94	215,49	134,16	1 524,83	49,46
AU	0,41	0,42	0,09	1,46	1 281,94	0,02	0,37	0,04	2,81	0,22
S	27,63	4,15	0,04	0,78	2,22	751,28	9,20	26,36	70,37	8,57
AG	4 565,33	6 824,34	401,37	181,81	573,76	1 708,24	27 760,79	34 051,79	48 306,63	63,51
AGP	58,27	574,62	25,54	12,36	31,47	74,16	3 276,14	13 915,36	4 052,57	22,55
Ganho	10 666,72	10 280,92	1 191,03	714,84	1 264,04	11 371,35	23 800,19	58 234,85	164 010,07	58,26
(%)	20,88	14,62	6,11	31,45	49,65	93,80	46,16	80,71		
ML	-1 522,28	-40 068,23	162,45	-809,98	1 261,23	11 300,98	-24 506,45	54 182,28	Total:	281 534,01

Fonte: Os autores (2026). * FF: Formação Florestal; VHA: Vegetação Herbácea e Arbustiva; CA: Corpos D'Água; Área Não Vegetada (ANV); AU: Área Urbanizada; S: Silvicultura; AG: Agropecuária; AGP: Agricultura de Grande Porte; ML: Mudança Líquida.

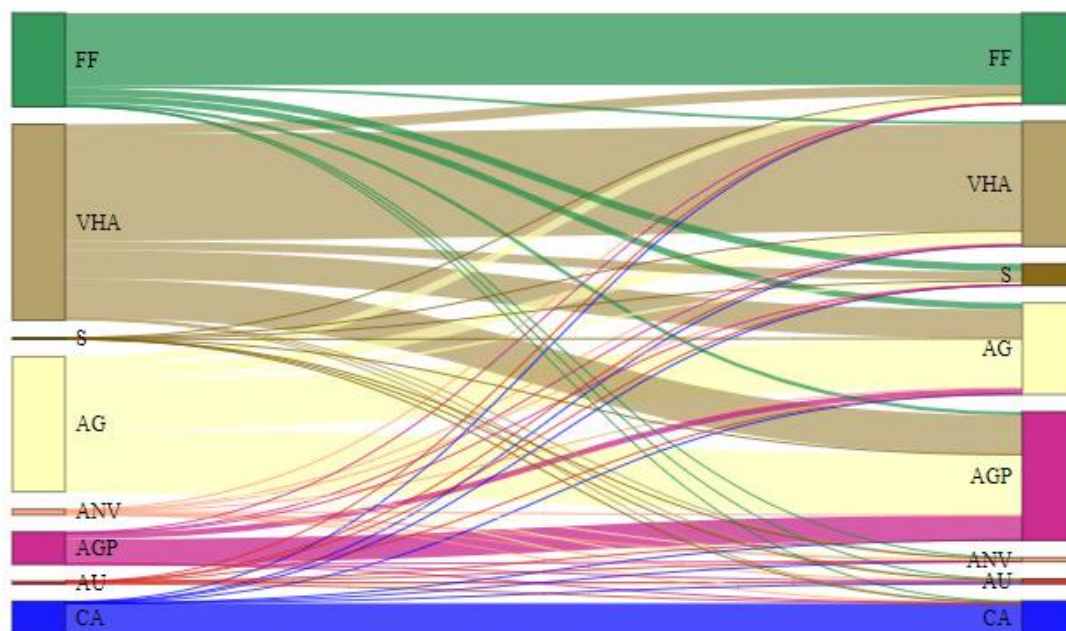


Figura 4 – Diagrama Sankey das MUCT entre 1985 e 2023. Fonte: Os autores (2026). * FF: Formação Florestal; VHA: Vegetação Herbácea e Arbustiva; CA: Corpos D'Água; Área Não Vegetada (ANV); AU: Área Urbanizada; S: Silvicultura; AG: Agropecuária; AGP: Agricultura de Grande Porte.

A Figura 5 a-b-c apresentam o ganho e a perda das classes de formação florestal e vegetação herbácea e arbustiva, e o ganho das classes de uso da terra entre o período de 1985 e 2023. Ao observar os mapas é expressiva a perda de VHA na área correspondente ao bioma Pampa e na porção nordeste da Mata Atlântica nos campos de cima da serra, representada pela cor vermelha. A perda de FF, em azul, se concentra na porção norte do Estado, no bioma Mata Atlântica, e no Pampa nas áreas do Escudo Sul Rio-Grandense. Contudo, o ganho de FF, em verde, ocorre principalmente no Escudo Sul Rio-Grandense e no limite norte do Estado. Já, o ganho de VHA se distribui de maneira dispersa, ocorrendo na Planície Costeira, nas Depressões Gaúchas e no Planalto da Campanha. Em relação ao ganho das classes de uso (Figura 5c), há uma predominância da expansão da AGP (rosa), intensamente no norte do RS, e sobre a VHA na parte sul. O ganho de área urbanizada (vermelho) apresenta maior expressão espacial na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPOA). A classe de silvicultura, em marrom, apresenta ganho significativo na área do Escudo Sul Rio-Grandense. Por fim, a classe de AG, em amarelo claro, apresenta ganho na porção sul do Estado.

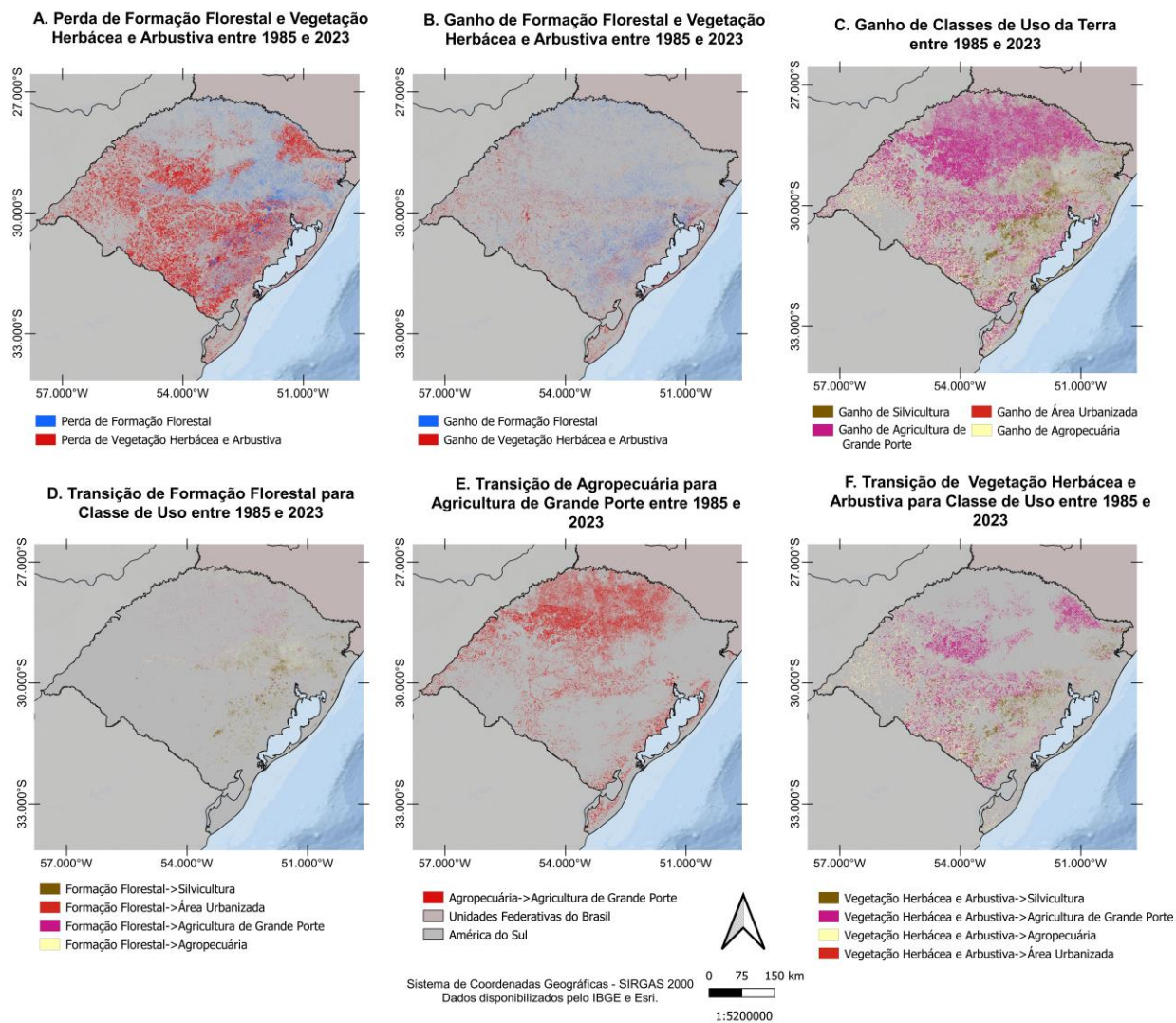


Figura 5 – Perda, Ganho e Transições entre 1985 e 2023. Fonte: Os autores (2026).

A Figura 5 d-e-f apresentam espacialmente os processos MUCT selecionados e a Tabela 2 a área destes. Primeiramente, temos o caso de degradação de formação florestal para classes de uso da terra (Figura 5d), a transição desta para AGP, em rosa, se concentra espacialmente ao norte do Estado sob o Planalto Geral. A transição para a silvicultura se concentra no Escudo Sul Rio-Grandense e no Planalto dos Campos Gerais, neste também há a presença da substituição de FF pela AG. No total, 10 261,16 km² de FF foram degradados, com maior participação da classe de silvicultura. Ao analisar o mapa do processo de degradação sob áreas de vegetação herbácea e arbustiva (Figura 5f), nota-se que esta ocorreu em maior magnitude em comparação a FF, o que se confirma pelas áreas na Tabela 2. A conversão para silvicultura, novamente, se concentra no Escudo Sul Rio-Grandense. A substituição pela AG se concentra na porção do bioma Pampa, e a transição para a classe de AGP (em rosa) apresenta a maior expressão espacial, ocorrendo nas áreas de planalto ao norte e no bioma Pampa. Ao total 43 673,20 km² de VHA foram convertidos para classes de uso, com maior contribuição da classe de AGP.

O processo de intensificação da classe de agropecuária para agricultura de grande porte (Figura 5e), indica uma troca na base produtiva para uma de maior intensidade, com maior uso de maquinário e agrotóxicos (GONÇALVES, 2004; MOREIRA; MEDEIROS, 2014). Esta ocorre principalmente na porção norte do RS, em uma localização onde a prática agropecuária já estava instalada anteriormente a 1985, com uma área total de 34 051,79 km². Ao analisar o ganho das classes de uso da terra (Figura 5c) destaca-se o avanço da AGP, em rosa, em um primeiro momento na porção norte, substituindo áreas de AG, e após avançando em direção ao bioma Pampa, como uma nova frente de expansão da fronteira agrícola sob as áreas campestres.

Em relação ao processo de regeneração, indicando a conversão das classes de agropecuária ou agricultura de grande porte para as classes de formação florestal ou vegetação herbácea e arbustiva, nota-se que este processo ocorreu em maior magnitude com a classe de agropecuária. Na Tabela 2 é possível avaliar as áreas em quilômetros quadrados, ao total 12 022,55 km² foram regenerados, mas nota-se que a regeneração de agropecuária para vegetação herbácea e arbustiva foi a que apresentou a maior contribuição.

As manchas que compõem a paisagem podem ser diferenciadas ao analisar o seu tamanho, quantidade e distribuição espacial (LANG; BLASCHKE, 2009; TURNER; GARDNER, 2015). Na Tabela 3 estão apresentadas as métricas da paisagem ao nível de paisagem (Rio Grande do Sul) e ao nível de classe, formação florestal ou vegetação herbácea e arbustiva, para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2023. Tal análise permite mensurar as transformações na estrutura da paisagem temporalmente. Ao observar o número de manchas nota-se um aumento nas mesmas nos dois níveis, em que predomina as manchas de formação florestal. O crescimento do valor desta métrica pode indicar um aumento na fragmentação da paisagem (GÖKYER, 2013; OLIVEIRA, 2017).

Em relação à área média das manchas, houve uma redução tanto no nível de paisagem como no nível de classe. Ademais, observa-se que o tamanho médio das manchas para a classe vegetação herbácea e arbustiva foi sempre superior ao da classe formação florestal. Dessa forma, evidencia-se que o número de fragmentos de vegetação aumentou ao longo do tempo, e o seu tamanho médio reduziu. A métrica de perímetro médio da mancha também apresenta a tendência de redução entre todos os níveis, somando-se aos indicativos de fragmentação da paisagem (GÖKYER, 2013).

Tabela 3 – Métricas da Paisagem, agregadas via média por ano e por classe.

	Área (m2)	Perímetro (m)	Razão Perímetro-Área	Índice de Forma	Dimensão Fractal	Número de Manchas
1985	174 90,48	1 631,52	0,07	1,46	1,37	934897
FF*	94230,48	1358,27	0,07	1,47	1,36	557845
VHA*	293234,42	2035,80	0,08	1,45	1,37	377052
1995	129094,39	1359,97	0,09	1,44	1,38	1211643
FF	75954,54	1224,49	0,08	1,46	1,37	668432
VHA	194484,04	1526,68	0,10	1,42	1,39	543211
2005	119640,88	1321,76	0,09	1,44	1,38	1220148
FF	75232,67	1217,39	0,08	1,45	1,37	677786
VHA	175137,51	1452,20	0,09	1,43	1,38	542362
2015	104635,23	1523,74	0,08	1,60	1,38	1304357
FF	68107,57	1389,33	0,08	1,61	1,38	755522
VHA	154918,92	1708,76	0,08	1,58	1,39	548835
2023	95809,97	1235,38	0,08	1,46	1,37	1268369
FF	68206,79	1148,20	0,08	1,45	1,38	749624
VHA	135698,56	1361,38	0,08	1,46	1,37	518745

Fonte: Os autores (2026). *FF: Formação Florestal; VHA: Vegetação Herbácea e Arbustiva.

Em relação a razão perímetro-área, os valores variaram de 0,07 a 0,09 no nível de paisagem, e o valor mais elevado (0,10) ocorreu na classe de vegetação herbácea e arbustiva no ano de 1995, podendo indicar fragmentos mais alongadas com menor área interna e maior efeito de borda. O menor valor do índice de forma ao nível de paisagem foi 1,44, e o maior 1,60 (2015). Este valor discrepante em relação aos demais pode estar relacionado ao aumento do perímetro médio neste mesmo ano, podendo indicar feições mais irregulares em 2015. Na Tabela 3 nota-se que os valores da dimensão fractal variaram de 1,37 a 1,39, indicando uma complexidade intermediária em relação à forma das manchas ao longo dos anos analisados. Aproximando-se de formas com perímetros mais simples, indicando a possível presença de feições antrópicas em seu entorno. Estudos futuros com emprego de zonas de agregação menores podem facilitar a identificação de variações nestas métricas. (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL, 2015; TURNER; GARDNER, 2015). Portanto, os resultados das métricas da paisagem apontam para a fragmentação da paisagem. Os fragmentos possuem geometrias de complexidade intermediária, embora ainda mantenham seus contornos irregulares, já há reflexos da simplificação de suas bordas impulsionadas pelas pressões antrópicas em seu entorno.

4. DISCUSSÃO

A distribuição espacial do uso e cobertura da terra influencia os processos naturais, como a erosão do solo, o ciclo hidrológico, o clima local, e também a conservação dos recursos naturais (PISANI; DEMARCHI; RIEDEL, 2016). Assim, a intensa alteração no uso e cobertura da terra no Rio Grande do Sul consegue gerar degradação em múltiplas escalas, afetando sistemas e seu equilíbrio ecológico. Destaca-se a drástica redução de 14,74% da cobertura natural em somente 39 anos, causando fragmentação e perda de habitats, as substituindo por monoculturas, principalmente a soja e o arroz. Além da degradação, estes novos usos se

associam ao uso intenso de agrotóxicos e maquinaria pesada, gerando danos na saúde humana e ecossistemas, etc. Lucas et al. (2020) indicam a contaminação da água de consumo humano por agrotóxicos na região central do RS, coincidente com a época de aplicação de agrotóxicos nas lavouras de soja. Farias e Thaler (2023) apontam para a relação entre a intensidade de uso de agrotóxicos e a mortalidade por câncer no RS, no qual, o maior volume de agrotóxicos utilizados se relaciona com o modelo agrícola latifundiário de monoculturas voltadas para a exportação. A lavoura empresarial da soja se caracteriza pela mecanização, intensa adubação e uso de agrotóxicos, e produção para a exportação (MOREIRA; MEDEIROS, 2014).

Nota-se que no Rio Grande do Sul, o modelo agrário tradicional vem sendo substituído pelo modelo monocultor baseado na concentração fundiária e na produção de soja para exportação. O sistema agrário vigente, voltado a mercantilização, se relaciona com a insegurança alimentar, ao substituir as culturas que tradicionalmente abasteciam o mercado nacional, por monoculturas para atender o mercado internacional. (GONÇALVES, 2004). A homogeneização da paisagem se relaciona a uniformização agrícola, com menor número de espécies, resultando na redução da complexidade dos agrossistemas, que se tornam mais simples e vulneráveis, e consequentemente dependentes de insumos como fertilizantes e agrotóxicos. (GONÇALVES, 2004, 2020). As MUCT identificadas no Rio Grande do Sul se associam a grande propriedade monocultora que homogeneiza a paisagem, reduz a diversidade, e produz em grande escala para atender o mercado internacional.

A substituição dos campos nativos do Pampa por usos agropecuários ou urbanos gera danos na biodiversidade e na provisão dos serviços ecossistêmicos, como a regulação climática e de inundações (WOLF; KUPLICH; GONÇALVES, 2019; NETTO; VERDUM, 2024). Os campos do bioma Pampa oferecem também serviços ecossistêmicos culturais conectados a prática da pecuária tradicional, sendo estes estéticos, de senso de lugar, de herança cultural etc. (NETTO; VERDUM, 2024). Tais serviços culturais podem ser suprimidos com a redução dos campos. Alves (2024) analisou as formações campestres no bioma Pampa e identificou uma redução de 56,3% da área entre 1985 e 2022. Na porção central e sul há uma supressão dos campos em detrimento da sojicultura e silvicultura. Por outro lado, na porção norte e noroeste há a substituição dos campos pela sojicultura e lavouras temporárias. Os autores destacam que na área observada em 1985 havia poucos remanescentes de formações campestres, com sua quase total supressão em 2022. Tal situação pode ser observada nos mapas da Figura 3 e 5. Rovani et al. (2020) ao analisarem as mudanças no norte do Rio Grande do Sul entre 1991 e 2011 observou uma redução na área ocupada por usos agrícolas e um aumento em áreas nativas, pastagem e áreas urbanas. Entretanto, o uso agrícola predomina na janela temporal analisada. As tendências observadas resultam do êxodo rural na região, com o abandono de áreas agrícolas, o que levou a um processo de sucessão ecológica, com regeneração espontânea da vegetação nativa (ROVANI et al., 2020). Relacionando-se aos ganhos de formação florestal e vegetação herbácea e arbustiva observados na Figura 5b.

Os resultados encontrados por meio da aplicação das métricas da paisagem apresentam uma tendência de aumento da fragmentação e redução nos habitats naturais entre todos os níveis observados no RS, indicados pelo crescimento no número de manchas e redução nas áreas (OLIVEIRA, 2017). É importante considerar que manchas maiores normalmente apresentam maior diversidade e resistência a extinção de espécies, em comparação a manchas menores e fragmentadas (GONÇALVES; DOS PASSOS, 2024). A redução nas dimensões das manchas é um indicador de pressão ambiental nas bordas do fragmento, ademais o retalhamento tende a formação de manchas irregulares, impactando as áreas centrais (OLIVEIRA JÚNIOR, 2022). Portanto, os resultados evidenciados para o Rio Grande do Sul levantam um alerta em relação ao risco de fragmentação e perda de habitats e a consequente redução da biodiversidade. Os fragmentos remanescentes, sejam campestres ou florestais, são de muita importância ecológica, principalmente em paisagens extremamente degradadas (LONGO et al., 2024).

As áreas estáveis de vegetação herbácea e arbustiva e de formação florestal sofrem a pressão de atividades antrópicas em seu entorno, mas podem ser utilizadas como referência para a criação e ampliação de Unidades de Conservação (UC), visando a manutenção desses ecossistemas. Um estudo de Lara (2016) identificou as mudanças na cobertura da terra na Província de Buenos Aires entre 1974 e 2011, e analisou a fragmentação da paisagem. Os resultados permitiram descrever a intensidade de uso das pastagens naturais e indicar áreas com potencial para a implementação de áreas protegidas (LARA, 2016). Palazzi (2018) ao analisar as áreas protegidas do Pampa brasileiro com métricas da paisagem, observou a efetividade dessas áreas para impedir a antropização. Ademais, as UC também diminuem a perda de habitat natural nas paisagens em seu entorno, possuindo um efeito amortecedor. O que é observado na Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã, localizada na Campanha Gaúcha (WOLF; KUPLICH; GONÇALVES, 2019). Esta coincide com a área de vegetação herbácea e arbustiva estável (Figura 3), reforçando a sua importância para a manutenção dos campos, e que seu efeito não se restringe aos seus limites espaciais.

A APA do Ibirapuitã apresenta tendência de estabilização da cobertura natural no seu interior, entretanto, nos municípios do entorno há a redução da cobertura natural, indicando um aumento na pressão de usos antrópicos, ressaltando a importância da APA para a manutenção dos ecossistemas (PIRES; PALLAORO; PÉRICO, 2024). Silva et al., (2024) observou uma pequena redução na área de formações campestres e aumento de formações florestais e agropecuária entre 2000 e 2022 na APA do Ibirapuitã, sendo que a agropecuária apresentou aumento na área total e no tamanho médio das manchas. A avaliação de Wolf, Kuplich e Gonçalves (2019) indica que as áreas que detêm a maior quantidade de serviços ecossistêmicos na APA são as áreas de florestas, matas ciliares e de preservação permanente, seguidas pelos campos naturais. Enquanto, as áreas de lavoura e estradas apresentam baixa qualidade de habitat e de estoque de carbono. Os campos naturais possuem baixa capacidade de estoque de carbono, porém, apresentam maior qualidade de habitats para as espécies de flora e fauna (WOLF; KUPLICH; GONÇALVES, 2019). Dessa forma, a APA do Ibirapuitã é extremamente importante para a conservação dos campos nativos do bioma Pampa, e demonstra a necessidade de implementação de novas UC no bioma (SILVA et al., 2024).

Também há permanência de VHA na porção sul da Planície Costeira, na área correspondente a Estação Ecológica do Taim (ESEC Taim), que é uma unidade de conservação integral, que possui administração do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio (BRAZ et al., 2015). Esta se localiza nos municípios de Rio Grande e Santa Vitória do Palmar no Rio Grande do Sul. A ESEC Taim é um pequeno remanescente dos ecossistemas típicos da Planície Costeira do Sul do Brasil, que visa conservar áreas representativas dos ecossistemas litorâneo e límico, importantes para a biota e para a qualidade do sistema físico-ecológico (COSTA; SATO, 2021). Dessa forma, a ampliação e a instalação de novas unidades de conservação no Rio Grande do Sul pode ser uma estratégia eficaz para preservar os fragmentos de vegetação nativa, bem como a biodiversidade presentes nestes. Tais ações se tornam essenciais considerando o movimento de expansão da cultura da soja, que desce do planalto ao norte em direção aos campos do Pampa, acompanhada da homogeneização da paisagem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou realizar uma análise da estrutura da paisagem para o Estado do Rio Grande do Sul e sua evolução entre os anos de 1985 e 2023. Para tal, recorreu a coleção de mapas de uso e cobertura da terra do MapBiomass, coleção 9, a qual foi analisada por meio de técnicas de agregação sumária de mudanças e métricas da paisagem. Estas se mostraram

satisfatórias para descrever os principais padrões espaço-temporais das MUCT, intercalando e complementando as análises que consideram toda a série temporal. A partir da análise destacam-se os principais pontos:

- Crescimento no número de manchas, indicando aumento da fragmentação, em relação às classes de formação florestal e vegetação herbácea e arbustiva;
- Redução na área média das manchas e do perímetro médio das manchas, com feições de complexidade intermediária.
- Alteração na composição da paisagem do Rio Grande do Sul, passando de 34,12% para 49,15% de classes de uso, com redução de 14,74% na área das classes de cobertura.
- Perda de formação florestal de 10 261,16 km² e de vegetação herbácea e arbustiva de 43 673,20 km² entre 1985 e 2023, principalmente para as classes de agricultura de grande porte, agropecuária e silvicultura.
- Expansão das classes de uso, como agricultura de grande porte, silvicultura e área urbanizada.
- Substituição da classe agropecuária pela agricultura de grande porte.
- Regeneração de 12 022,55 km² de áreas de agropecuária e agricultura de grande porte.
- Dinamismo das MUCT com áreas de 2-6 estados, com predomínio de 1 a 3, e de 1-16 incidentes, em que predominam de 1 a 2.
- Avanço da agricultura de grande porte em direção ao bioma Pampa;
- O mapa de permanência revela áreas com potencial de preservação, considerando a elevada pressão antrópica nos entornos.

Sumarizando, o Estado do Rio Grande do Sul apresentou redução da sua cobertura vegetal, substituída principalmente pela agricultura de grande porte, agropecuária e silvicultura. O que resultou na redução e fragmentação das áreas de formações florestais, herbáceas e arbustivas, com impactos negativos na biodiversidade e no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Indicando a troca das paisagens diversas por uma mais homogênea, baseada na monocultura exportadora. As informações aqui geradas possuem potencial de auxiliar na elaboração de planejamentos territoriais e ambientais, ao fornecer uma síntese das principais mudanças no Rio Grande do Sul e as transformações na estrutura da paisagem. Em um cenário de mudanças globais tal informação é essencial para planejamentos com vistas a redução de riscos. Pesquisas futuras, podem explorar mais métricas da paisagem, bem como reduzir a janela temporal entre as datas de análise. Ademais, como produzir análises focais em áreas de maior dinamismo da MUCT.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, P.; SAHOO, D.; PARIDA, Y.; PALTASINGH, K. R.; CHOWDHURY, J. R. Land use changes and natural disaster fatalities: empirical analysis for India. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 154, p. 110525, 2023.
- ALVES, E. A. C. Análise espaço temporal das coberturas campestres do bioma Pampa: reflexões sobre a sua degradação. **Geopauta**, Vitória da Conquista, v. 8, p. e15647, 2024.

ALVES, F. D.; SILVEIRA, V. C. P. Evolução das desigualdades regionais no Rio Grande do Sul: espaço agrário, imigração e estrutura fundiária. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p. 1-15, jun. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG92615806>.

ANDRADES-FILHO, C. de O.; MEXIAS, L. F. S.; QUEVEDO, R. P.; HERRMANN, P. B.; OLIVEIRA, G. G. de; CREMON, É. H.; GOMES, M. S.; ... & GIACCOM, B. The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the Rio Grande do Sul mega disaster in May 2024. **Landslides**, Berlin, p. 1-10, 2025.

ARIZAPANA-ALMONACID, M. A.; PARIONA-ANTONIO, V. H.; CASTAÑEDA-TINCO, I.; ASCENCIÓN MENDOZA, J. C.; GUTIÉRREZ GÓMEZ, E.; RAMONI-PERAZZI, P. Land cover changes and comparison of current landscape metrics in a region of the Central Andes affected by population migration. **Annals of GIS**, Abingdon, v. 30, n. 1, p. 105-120, 2024.

BENCKE, G. A.; CHOMENKO, L.; SANT'ANNA, D. M. O que é o pampa?. In: CHOMENKO, L.; BENCKE, A. **Nosso Pampa Desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. p. 16-27.

BILINTOH, T. M.; PONTIUS JR., R. G.; LIU, Z. Analyzing the Losses and Gains of a Land Category: Insights from the Total Operating Characteristic. **Land**, Basel, v. 13, n. 8, p. 1177, 2024.

BOGALE, T.; DAMENE, S.; SEYOUM, A.; HAREGEWEYN, N. Land use land cover change intensity analysis for sustainable natural resources management: the case of northwestern highlands of Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, Amsterdam, v. 34, p. 101170, 2024.

BRAZ, N. G. S.; CASCAIS, L. B.; SILVA, L. H. G.; MIURA, A. K. Detecção de áreas queimadas na Estação Ecológica do Taim (RS), causada pelos incêndios de 2008 e 2013. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6735-6742. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/3JM4J84>. Acesso em: 20 out. 2005

CAMPOS, P. B. R.; QUEIROZ FILHO, A. P. de. Matriz de transição na detecção das mudanças do uso e ocupação do solo: estudo de caso do Centro Educacional Unificado da Paz-Zona Norte de São Paulo. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 225-238, 2017.

CHELOTTI, M. C.; CASTANHO, R. B. Territórios da lavoura de arroz e de soja no Rio Grande do Sul: especificidades na produção do espaço agrário regional. **Sociedade & Natureza**, v. 18, n. 34, p. 115-132, 2006. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9224/5682>

COMBER, A.; BALZTER, H.; COLE, B.; FISHER, P.; JOHNSON, S. C.; OGUTU, B. Methods to quantify regional differences in land cover change. **Remote Sensing**, Basel, v. 8, n. 3, p. 176, 2016.

COSTA, I. C. N. P. Abordagem metodológica Ecologia da Paisagem: origem, enfoque e técnicas de análise. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 38, n. 1, p. 116-133, 2020.

COSTA, M. S.; SATO, S. E. Estação ecológica do Taim: uma análise sobre uso do espaço físico-natural e a legislação ambiental. **GeoUECE**, Fortaleza, v. 10, n. 18, p. 122-134, 2021.

DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; MARTINS, L. R.; BARBOZA, E. G. Modificações de longo período da linha de costa das barreiras costeiras do Rio Grande do Sul. **Gravel**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 9-14, 2005.

ENWRIGHT, N. M.; OSLAND, M. J.; THORNE, K. M.; GUNTENSPERGEN, G. R.; GRACE, J. B.; STEYER, G. D.; DAY, R. H.; STAGG, C. L.; HARTLEY, S. P.; BARRAS, J. A.; COUVILLION, B. R.; HAN, M. Observing coastal wetland transitions using national land cover products. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, London, v. 48, n. 1, p. 113-135, 2024.

FARIAS, R. N. D.; THALER, S. M. Uso de agrotóxicos e mortes por câncer no estado do Rio Grande do Sul. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 32, p. e210365pt, 2023.

FONSECA, E. L.; WEBER, E. J.; HASENACK, H.; SILVA, W.; MESQUITA, V.; MARTIN, E. V.; SCHIRMBECK, J.; SIQUEIRA, J.; FERREIRA, B.; TEIXEIRA JR., P.; AZEVEDO, T.; SHIMBO, J. **Nota Técnica**: os impactos do evento climático de maio de 2024 sobre a cobertura e o uso da terra no Rio Grande do Sul. São Paulo: MapBiomias, 2024. 25 p.

FREITAS, M. W. D. de; SANTOS, J. R. dos; ALVES, D. S. Land-use and land-cover change processes in the Upper Uruguay Basin: linking environmental and socioeconomic variables. **Landscape Ecology**, Dordrecht, v. 28, n. 2, p. 311-327, 2013.

GAMA, L. H. O. M.; ALMEIDA, A. S. de A.; PAIVA, P. F. P. R.; SILVA JR., O. M. da; NAHUM, J. S. Cenários futuros de desmatamento na Floresta Nacional do Jamanxim-PA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 75, p. 1, 2023.

GEBREHIWOT, G. H.; BEKITIE, K. T.; YOHANNES, H.; ANOSE, F. A.; GEBREMICHAEL, H. B. Time series land use/land cover mapping and change detection to support policies on sustainable environmental and economic management. **Environmental Systems Research**, London, v. 13, n. 1, p. 33, 2024.

GÖKYER, E. Understanding landscape structure using landscape metrics. **Kastamonu University Journal of Forestry Faculty**, Kastamonu, v. 13, n. 1, p. 32-40, 2013.

GONÇALVES, C. W. P. Geografia da riqueza, fome e meio ambiente: pequena contribuição crítica ao atual modelo agrário/agrícola de uso dos recursos naturais. **INTERthesis: Revista Internacional Interdisciplinar**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 1-45, 2004.

GONÇALVES, C. W. P. **Os (des)caminhos do meio ambiente**. 15. ed. São Paulo: Contexto, 2020.

GONÇALVES, D. L.; PASSOS, M. M. Planejamento ambiental de corredores ecológicos e o sistema GTP: uma alternativa teórico-metodológica possível. **GOT: Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, Porto, n. 27, p. 5-29, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomass do Brasil**. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html?=&t=downloads>. Acesso em: mar. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil**: compatível com a escala 1: 250 000. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/pdf/Lim08_BiomSist.pdf.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malhas territoriais**: Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: mar. 2025.

IPCC. **Climate Change 2023**: synthesis report: contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editores: Core Writing Team, H. Lee e J. Romero. Genebra: IPCC, 2023. 184 p. DOI 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

JONG, L.; DE BRUIN, S.; KNOOP, J.; VAN VLIET, J. Understanding land-use change conflict: a systematic review of case studies. **Journal of Land Use Science**, Abingdon, v. 16, n. 3, p. 223-239, 2021.

KUMAR, D.; SINGH, V.; BAHADUR, R. Land use/land cover change analysis using matrix union method. **Bulletin of Pure & Applied Sciences: Geology**, Modinagar, v. 41, n. 2, p. 309-317, 2022.

LAMCHIN, M.; BILINTOH, T. M.; LEE, W.-K.; OCHIR, A.; LIM, C.-H. Exploring spatio-temporal change in global land cover using categorical intensity analysis. **Frontiers in Forests and Global Change**, Lausanne, v. 5, p. 994713, 2022.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LARA, B. D. Fragmentación de pastizales en el centro de la provincia de Buenos Aires, mediante imágenes LANDSAT. **Revista Cartográfica**, Cidade do México, n. 92, p. 91-109, 2016.

- LONGO, R. M.; SILVA, A. L. da; RIBEIRO, A. I.; GOMES, R. C.; SPERANDIO, F. C.; NUNES, A. N. Evaluating the environmental quality of forest remnants using landscape metrics. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 4, p. 1543, 2024.
- LUCAS, E. de O.; BERNARDO, J. T.; MESQUITA, M. O.; SCHMITZ, J. A. K. Contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos na região central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 9, p. e242997128, 2020.
- MARQUES, M. C. M.; SILVA, A. C. L.; RAJÃO, H.; ROSADO, B. H. P.; BARROS, C. F.; OLIVEIRA, J.A.; FINOTTI, R.; NECKEL-OLIVEIRA, S.; AMORIM, A.; CERQUEIRA, R.; BERGALLO, H. G. Mata Atlântica: o desafio de transformar um passado de devastação em um futuro de conhecimento e conservação. In: PEIXOTO, A. L.; LUZ, J. R. P.; BRITO, M. A. de (Org.). **Conhecendo a biodiversidade**. Brasília, DF: CNPq: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2016. p. 50-67.
- MCGARIGAL, K. **FRAGSTATS help**. Amherst: University of Massachusetts, 2015.
- MOREIRA, V. S.; MEDEIROS, R. M. V. As novas configurações do espaço agrário no Rio Grande do Sul/Brasil: da pecuária tradicional ao complexo agroindustrial da soja. **Confins**, Paris, n. 20, 2014.
- NETO, J. B. F.; FREITAS, M. S.; SIMÕES, P. S. M.; PEREIRA, G.; LEÃO, H. S.; CALMON, A. V. V.; GÜCKER, B. Impact of April and May, 2024 extreme precipitation on flooding in Rio Grande do Sul, Brazil. **Urban Climate**, Amsterdam, v. 61, art. 102487, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102487>.
- NETTO, T.; VERDUM, R.; SILVA, L. A. P. da. Serviços ecossistêmicos culturais no Pampa gaúcho. **Revista Interdisciplinar em Educação e Territorialidade (RIET)**, Dourados, v. 4, n. 1, p. 12-37, 2024.
- OLIVEIRA JUNIOR, I. de. Fragmentos vegetais da caatinga e métricas da paisagem: uma abordagem no contexto do processo de desertificação. **Acta Geográfica**, v. 16, n. 41, p. 280-308, 2022.
- OLIVEIRA, P. do P. **Métricas da paisagem e perspectivas de conservação para parques em situação de isolamento na cidade de São Paulo**: o Parque Estadual Fontes do Ipiranga (PEFI), o Parque Estadual do Jaraguá (PEJ) e o Parque Natural Municipal Fazenda do Carmo (PNMFC), Município de São Paulo (SP). 2017. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- PALAZZI, G. **A meta para o sistema de áreas protegidas no bioma Pampa**: como estamos e para onde vamos? 2018. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- PIRES, M. M.; PALLAORO, R. B.; PÉRICO, E. Environmental changes in a key region of the Pampa: a quantitative analysis of land use in the Ibirapuitã Environmental Protection Area (Rio Grande do Sul) and surroundings. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. e04712, 2024.
- PISANI, R. J.; DEMARCHI, J. C.; RIEDEL, P. S. Simulação de cenário prospectivo de mudanças de uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Capivara, Botucatu-SP, por meio de Modelagem Espacial Dinâmica. **Cerrados**, Montes Claros, v. 14, n. 2, p. 3-29, 2016.
- PONTIUS JR., R. G.; KRITHIVASAN, R.; SAULS, L.; YAN, Y.; ZHANG, Y. Methods to summarize change among land categories across time intervals. **Journal of Land Use Science**, Abingdon, v. 12, n. 4, p. 218-230, 2017.
- PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 9 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. São Paulo: MapBiomas, 2024a. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- PROJETO MAPBIOMAS. **MapBiomas general "handbook"**: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD): Collection9. Version 2. São Paulo: MapBiomas Data, 2024b. Disponível em: <https://doi.org/10.58053/MapBiomas/ICCL5B>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- REZENDE, C. L.; SCARANO, F. R.; ASSAD, E. D.; JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; STRASSBURG, B. B. N.; TABARELLI, M.; FONSECA, G. A.; MITTERMEIER, R. A. From hotspot to hopespot: an opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 208-214, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>.

RODRIGUES, A. L.; BEZZI, M. L. A dinâmica histórica do espaço latifundiário no Rio Grande do Sul e sua manifestação na microrregião geográfica da Campanha Central/RS/Brasil. **Geografia**, Rio Claro, v. 33, n. 1, p. 21-33, 2008. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1772>

ROVANI, I. L.; DECIAN, V. S.; ZANIN, E. M.; BRANDALISE, M.; QUADROS, F. R.; HEPP, L. U. Socioeconomic changes and land use and land cover of the Northern Region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 27, p. e20180258, 2020.

SANTOS, P. M.; BOHRER, C. B. de Athayde; NASCIMENTO, M. T. Impacts of land use and land cover changes in phytophysionomies in the Atlantic Forest. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 27, p. e01701, 2024.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, R.; PIROLI, E. L. Planejamento ambiental e a perspectiva escalar: uma abordagem geográfica. **Geosul**, Florianópolis, v. 35, n. 75, p. 350-375, 2020.

SARTORIO, L. F.; FREITAS, M. W. D. de. Unveiling spatiotemporal patterns in the Pampa Biome using Principal Component Analysis. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 18, n. 5, p. 3872-3890, 2025.

SCHMIDT, Mario. The Sankey diagram in energy and material flow management: part I: history. **Journal of Industrial Ecology**, Hoboken, v. 12, n. 1, p. 82-94, 2008.

SILVA, C. F. M.; CAMPOS, M. C. C.; COSTA, D. F. S.; SCHNECK, F.; HEPP, L. U. Mapping and identification of ecosystem services hotspots in the Brazilian Pampa Biome. *Environmental Management*, New York, v. 75, n. 3, p. 538-550, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-024-02069-y>.

SILVA, P. S. da; MILAGRE, J. C.; MENDES, L. J.; FANTINEL, R. A.; GRANZOTTO, F.; PEREIRA, R. S. Dinâmica espaço-temporal da paisagem da Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã no bioma Pampa, Rio Grande do Sul. **Revista Delos**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 57, p. e1578, 2024.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Landscape ecology in theory and practice**: pattern and process. 2. ed. New York: Springer, 2015.

VANCINE, M. H.; MUYLEAERT, R. L.; NIEBUHR, B. B.; OSHIMA, J. E. de F.; TONETTI, V.; BERNARDO, R.; DE ANGELO, C.; ROSA, M. R.; GROHMANN, C. H.; RIBEIRO, M. C. The Atlantic Forest of South America: spatiotemporal dynamics of the vegetation and implications for conservation. **Biological Conservation**, Oxford, v. 291, art. 110499, mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110499>.

VERDUM, R.; VIEIRA, L. F. S.; CANEPPELE, J. C. G.; GASS, S. L. B. Pampa: the South Brazil. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; BUENO, G. T. (org.). **The physical geography of Brazil**: environment, vegetation and landscape. Cham: Springer, 2019. p. 7-20. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_2.

WOLF, M. M.; KUPLICH, T. M.; GONÇALVES, A. S. Serviços ecossistêmicos na APA Ibirapuitã, Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais eletrônicos** [...]. São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/servicos-ecossistemicos-na-apa-ibirapuita-rio-grande-do-sul?lang=pt-br>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ZILIOTTO, M.; KULMANN-LEAL, B.; ROITMAN, A.; BOGO CHIES, J. A.; ELLWANGER, J. H. Pesticide pollution in the Brazilian Pampa: detrimental impacts on ecosystems and human health in a neglected biome. **Pollutants**, Basel, v. 3, n. 2, p. 280-292, 2023.