

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Identificação e análise do Índice de Geodiversidade e sua relação com a dinâmica de coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul (RS)

**VINÍCIUS BARTZ SCHWANZ**

Pelotas  
2023

VINÍCIUS BARTZ SCHWANZ

Identificação e análise do Índice de Geodiversidade e sua relação com a dinâmica de coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul (RS)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Gracieli Trentin  
Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Luís Heck Simon

Pelotas  
2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

S398i Schwanz, Vinícius Bartz

Identificação e análise do índice de geodiversidade e sua relação com a dinâmica de coberturas e usos da terra no município de São Lourenço do Sul (RS) [recurso eletrônico] / Vinícius Bartz Schwanz ; Gracieli Trentin, Adriano Luis Heck Simon, orientadores. — Pelotas, 2023.  
153 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Avaliação quantitativa da geodiversidade. 2. Índice de geodiversidade. 3. Cobertura e uso da terra. 4. Ameaças à geodiversidade. 5. Geoprocessamento. I. Trentin, Gracieli, orient. II. Simon, Adriano Luis Heck, orient. III. Título.

CDD 631.4

VINÍCIUS BARTZ SCHWANZ

Identificação e análise do Índice de Geodiversidade e sua relação com a dinâmica de coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul (RS)

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Geografia, Programa de Pós-Graduação em geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 14/12/2023

**BANCA EXAMINADORA**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Gracieli Trentin (Orientadora)  
Doutora em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas

.....  
Prof. Dr. Adriano Luís Heck Simon (Co-orientador)  
Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

.....  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Edvania Aparecida Corrêa Alves  
Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

.....  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Vívian Castilho da Costa  
Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

.....

## **AGRADECIMENTOS**

Diante desta etapa tão importante na minha vida acadêmica, profissional e pessoal, discorro meus agradecimentos para algumas pessoas.

Agradeço a minha mãe Catiane Bartz Schwanz e meu Pai Vitor Schwanz pelos incentivos diários, sobretudo em momentos difíceis, por todo auxílio e confiança em mim. Se hoje sou quem sou, é graças a vocês.

À minha orientadora Gracieli Trentin e meu coorientador Adriano Simon, os quais foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal. Por todos os ensinamentos, diálogos, incentivos, pela paciência e confiança em mim. Eu realmente aprendi muito com vocês.

Ao meu amigo, Denis Maass, o qual me acompanhou em diversos momentos. Esteve disposto e auxiliou sempre que precisei.

Aos meus amigos Adriane, Anelize, Ândrea e Lucas, por todo o companheirismo e troca de conhecimentos.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física – LEAGEF.

Aos colegas e amigos de mestrado, Guilherme e Elinton, por todo companheirismo e diálogos durante o período.

Ao Vitor pela dedicação durante o período.

À Professora Dra. Edvania Aparecida Corrêa Alves e a Professora Dra. Vívian Castilho da Costa, por aceitar e por contribuir com a pesquisa.

À Instituição Universidade Federal de Pelotas - UFPEL e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGEQ, pela oportunidade de ter cursado o mestrado em um programa público, gratuito e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro por meio da concessão de bolsa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, tenham contribuído no desenvolvimento desta pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos...

## RESUMO

SCHWANZ, Vinícius Bartz. **Identificação e análise do Índice de Geodiversidade e sua relação com a dinâmica de coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul (RS)**. Dissertação (Mestrado em geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

A diversidade natural dos elementos abióticos constitui a geodiversidade, um conceito que teve origem em meados da década de 1940, mas só se difundiu efetivamente na década de 1990. Reconhece-se que a geodiversidade enfrenta diversas ameaças, muitas das quais estão relacionadas à ação antrópica. Nesse contexto, tem-se a necessidade de identificar áreas de interesse, dada a impossibilidade de conservar toda a geodiversidade da Terra. Nesta perspectiva, surgem diferentes vertentes metodológicas para a avaliação da geodiversidade, incluindo métodos qualitativos, quantitativos e quali-quantitativos. No âmbito da avaliação quantitativa, destacam-se as metodologias que empregam índices, pois permitem a identificação de áreas com elevada variabilidade nos elementos abióticos. Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo obter o Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul – RS e relacionar as áreas de elevado Índice de Geodiversidade com a dinâmica de coberturas e usos da terra a fim de identificar as ameaças à geodiversidade. O Índice de Geodiversidade foi obtido a partir das orientações gerais propostas por Forte et al. (2018). Este método consiste na sobreposição de variáveis abióticas como geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos. A partir dessa sobreposição, centroides são criados para cada nova geometria, permitindo assim a geração do índice por meio da aplicação da *Densidade de Kernel*. Posteriormente, a camada matricial resultante é reclassificada para representar o Índice. Para identificar as ameaças à geodiversidade, foram utilizados dados de cobertura e uso da terra do Projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomias) dos anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020, tanto para o Município de São Lourenço do Sul quanto para as áreas com elevado Índice de Geodiversidade. Os resultados apresentaram que 14,31% do município detém as classes consideradas de elevado Índice de Geodiversidade, Alta e Muito Alta, enquanto 85,31% possuem as classes de Muito Baixa, Baixa e Média geodiversidade. A distribuição das áreas de elevado índice estão concentradas majoritariamente na Unidade da Paisagem Planalto, nas regiões centro-oeste, norte e noroeste do município. A dinâmica de cobertura e uso da terra para São Lourenço do Sul indicou que os cultivos agrícolas, sobretudo a sojicultura e a silvicultura se sobressaíram frente aos demais usos, tendo um aumento de 762% e 2.959% respectivamente. O mesmo ocorre para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade, enquanto a formação campestre apresentou uma redução de 64%, a soja obteve um aumento de 914% bem como a silvicultura com 5.533%. Estas constatações indicam a sojicultura e a silvicultura como principais ameaças à geodiversidade para o município e para as áreas com elevada variabilidade dos elementos abióticos. Por fim, destaca-se a necessidade de adotar estratégias que minimizem os impactos derivados destas ameaças, seja a devida aplicação das legislações ambientais ou a partir da geoeducação, geoturismo bem como outros instrumentos que promovam o desenvolvimento sustentável.

**Palavras-chave:** Avaliação Quantitativa da Geodiversidade; Índice de Geodiversidade; Cobertura e Uso da Terra; Ameaças à Geodiversidade; Geoprocessamento.

## ABSTRACT

SCHWANZ, Vinícius Bartz. **Identification and analysis of the Geodiversity Index and its relationship with land cover and land use dynamics in the Municipality of São Lourenço do Sul (RS)**. Dissertation (Master's in Geography) – Graduate Program in Geography, Institute of Human Sciences, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The natural diversity of abiotic elements constitutes geodiversity, a concept that originated in the mid-1940s but only effectively spread in the 1990s. It is recognized that geodiversity faces various threats, many of which are related to anthropogenic action. In this context, there is a need to identify areas of interest, given the impossibility of conserving the entire geodiversity of the Earth. In this perspective, different methodological approaches emerge for geodiversity assessment, including qualitative, quantitative, and quali-quantitative methods. Within the realm of quantitative assessment, methodologies employing indices stand out, as they allow the identification of areas with high variability in abiotic elements. In light of this, the present research aims to obtain the Geodiversity Index for the Municipality of São Lourenço do Sul – RS and relate areas with a high Geodiversity Index to the dynamics of land cover and land use to identify threats to geodiversity. The Geodiversity Index was obtained following the general guidelines proposed by Forte et al. (2018). This method involves overlaying abiotic variables such as geology, geomorphology, pedology, and water resources. From this overlay, centroids are created for each new geometry, thus allowing the generation of the index through the application of Kernel Density. Subsequently, the resulting matrix layer is reclassified to represent the Index. To identify threats to geodiversity, land cover and land use data from the Annual Land Cover and Land Use Mapping Project in Brazil (MapBiomas) for the years 1985, 1995, 2005, 2015, and 2020 were used, both for the Municipality of São Lourenço do Sul and for areas with a high Geodiversity Index. The results showed that 14.31% of the municipality holds classes considered to have a high Geodiversity Index, High and Very High, while 85.31% have classes of Very Low, Low, and Medium geodiversity. The distribution of high-index areas is mainly concentrated in the Plateau Landscape Unit, in the central-west, north, and northwest regions of the municipality. The land cover and land use dynamics for São Lourenço do Sul indicated that agricultural crops, especially soybean cultivation and forestry, stood out compared to other uses, with an increase of 762% and 2,959%, respectively. The same applies to areas with a high Geodiversity Index, where grassland showed a reduction of 64%, soybean cultivation increased by 914%, and forestry increased by 5,533%. These findings indicate soybean cultivation and forestry as the main threats to geodiversity for the municipality and for areas with high variability of abiotic elements. In conclusion, there is a need to adopt strategies that minimize the impacts derived from these threats, either through the proper application of environmental regulations or through geo-education, geotourism, as well as other instruments that promote sustainable development.

**Keywords:** Quantitative Assessment of Geodiversity; Geodiversity Index; Land Cover and Land Use; Threats to Geodiversity; Geoprocessing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rede de relações dos métodos quantitativo, qualitativo e qualitativo-quantitativo da geodiversidade.....	24
Figura 2 - Serviços ecossistêmicos da geodiversidade, segundo Gray (2013). .....	27
Figura 3 - Relação entre geodiversidade e geopatrimônio.....	36
Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo.....	47
Figura 5 - Mapa das Unidades da Paisagem assumidas para a área de estudo. ....	48
Figura 6 - Mapa hipsométrico da área de estudo.....	49
Figura 7 - Mapa dos sistemas ecológicos do Bioma Pampa com destaque para a área de estudo.....	51
Figura 8 - Mapa fitogeográfico do Rio Grande do Sul com destaque para a área de estudo. ....	52
Figura 9 - Localização da Planície Costeira do Rio Grande do Sul e seus sistemas.....	54
Figura 10 - Área de abrangência do Escudo Cristalino Sul Rio-Grandense.....	56
Figura 11 - Demonstração das características da Floresta estacional semidecidual. ....	57
Figura 12 - Temperatura e precipitação média ao longo de 30 anos no Município de São Lourenço do Sul - RS.....	58
Figura 13 - Distribuição espacial média de precipitação na área de estudo (1981 – 2013).....	59
Figura 14 - Síntese dos procedimentos metodológicos empregados na pesquisa....	65
Figura 15 - Resultado da sobreposição (união) das variáveis recursos hídricos, geologia, pedologia e geomorfologia.....	69
Figura 16 - Valores testados para aplicação do raio de Densidade de Kernel para obtenção do Índice de Geodiversidade. ....	70
Figura 17 - Diagrama do processo de geração dos dados do MapBiomias.....	72
Figura 18 - Classificação do MapBiomias para legenda, código e paleta de cores. ..	73
Figura 19 - Recorte ilustrativo da Cobertura e uso da terra em áreas com elevado Índice de Geodiversidade.....	75

Figura 20 - Exemplo de informações disponíveis para o Ponto 1 do roteiro de campo demonstrando o Índice de Geodiversidade, altitude, hidrografia, as vias e a cobertura e uso da terra. ....	78
Figura 21 - Distribuição espacial dos pontos do primeiro campo e trajeto percorrido. ....	79
Figura 22 - Distribuição espacial dos pontos do segundo campo e trajeto percorrido. ....	81
Figura 23 - Exemplo da eliminação das áreas vazias que correspondiam aos polígonos de massas d'água e incorporação das áreas às classes correspondentes para as variáveis pedologia, geologia e geomorfologia.....	82
Figura 24 - Comparação da variável hidrografia gerada pelo MDE e da base de dados da FEPAM. ....	85
Figura 25 - Comparação dos cenários pré e pós adaptações das variáveis que compuseram o Índice de Geodiversidade na área de estudo. ....	86
Figura 26 - Mapa geológico da área de estudo. ....	89
Figura 27 - Mapa das unidades geomorfológicas da área de estudo. ....	91
Figura 28 - Mapa das curvas de nível/altimetria da área de estudo. ....	94
Figura 29 - Mapa pedológico da área de estudo. ....	95
Figura 30 - Mapa dos recursos hídricos para a área de estudo. ....	97
Figura 31 - Mapa da hidrografia e massas d'água para a Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.....	98
Figura 32 - Mapa hidrogeológico da área de estudo. ....	99
Figura 33 - Mapa do Índice de Geodiversidade para a área de estudo.....	102
Figura 34 - Variáveis que contribuíram para o mapa do Índice de Geodiversidade e as áreas de elevado Índice de Geodiversidade para a área de estudo. ....	103
Figura 35 - Mapa do Índice de Geodiversidade para a Unidade da Paisagem Planalto e para a Unidade da Paisagem Planície da área de estudo. ....	105
Figura 36 - Mapa do Índice de Geodiversidade e os registros de campo para Unidade da Paisagem Planalto da área de estudo.....	106
Figura 37 - Mapa do Índice de Geodiversidade e registros de campo para Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.....	108

Figura 38 - Mapa do Índice de Geodiversidade e registros de campo para Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.....	111
Figura 39 - Cenários das coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul entre 1985 e 2020. ....	113
Figura 40 - Extensa área da prática de sojicultura no ponto 16 do campo realizado na área de estudo. ....	116
Figura 41 - Cenários das coberturas e usos da terra para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade no Município de São Lourenço do Sul entre 1985 e 2020.....	119
Figura 42 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na Unidade da Paisagem Planalto (Ponto 2 do campo). ....	120
Figura 43 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na Unidade da Paisagem Planície (Ponto 8 do campo). ....	121
Figura 44 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na Unidade da Paisagem Planície demonstrando a cultura da soja avançando sobre áreas de proteção permanente (APP) (ponto 11 do campo). ....	127
Figura 45 - Largura do corpo hídrico no ponto 11 do campo na área de estudo.....	128
Figura 46 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na em uma área de transição entre Unidade da Paisagem Planície e Unidade da Paisagem Planalto, demonstrando a classe de uso da terra Silvicultura (ponto 3 de campo). ....	129

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução de práticas agrícolas no Município de São Lourenço do Sul (1985-2020). .....	117
---	-----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Valores da geodiversidade e sua descrição.....	25
Quadro 2 - Resumo das Unidades da Paisagem assumidas para a área de estudo com base na proposta de Lima (2006).....	49
Quadro 3 - Materiais cartográficos utilizados na pesquisa. ....	67
Quadro 4 - Classes atribuídas ao Índice de Geodiversidade e seus respectivos códigos em RGB.....	71
Quadro 5 - Quadro dos pontos e suas respectivas coordenadas e classificação a partir do produto preliminar do Índice de Geodiversidade. ....	76
Quadro 6 - Quadro dos pontos e suas respectivas coordenadas e classificação a partir do Índice de Geodiversidade.....	81
Quadro 7 - Classes altimétricas utilizadas na geração do Índice de Geodiversidade. ....	84
Quadro 8 - Valores de área ocupada pelas classes do Índice de Geodiversidade para a Unidade da Paisagem Planalto. ....	107
Quadro 9 - Valores de áreas ocupada pelas classes do Índice de Geodiversidade para a Unidade da Paisagem Planície. ....	109
Quadro 10 - Valores de áreas ocupada pelas classes do Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul. ....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da população por distrito no Município de São Lourenço do Sul.....	47
Tabela 2 - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no Município de São Lourenço do Sul.....	115
Tabela 3 - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo. ....	122
Tabela 4 - Percentual de cobertura e de uso para cada polígono de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo. ....	124

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Análise Hierárquica de Processos
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luis Roessler
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
LEAGEF	Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física
MapBiomas	Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
PCRS	Planície Costeira do Rio Grande do Sul
PPGEO	Programa de Pós Graduação em Geografia
SBCG	Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica
SEMPGEO	Seminário de Pós Graduação em Geografia
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SCieLO	Scientific Electronic Library Online
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	20
2.1	GEODIVERSIDADE: HISTÓRICO E CONCEITOS.....	20
2.2	AVALIAÇÃO DA GEODIVERSIDADE .....	22
2.2.1	<b>Avaliação qualitativa da geodiversidade</b> .....	24
2.2.2	<b>Avaliação quantitativa da geodiversidade</b> .....	28
2.2.3	<b>Avaliação qualitativa-quantitativa da geodiversidade.</b> .....	33
2.3	RELAÇÃO GEODIVERSIDADE X GEOPATRIMÔNIO .....	34
2.4	AMEAÇAS À GEODIVERSIDADE .....	37
2.5	ANÁLISE DA DINÂMICA DAS COBERTURAS E USOS DA TERRA PARA A COMPREENSÃO DAS AMEAÇAS ANTRÓPICAS À GEODIVERSIDADE .....	43
3	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	46
3.1	O MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL.....	46
3.1.1	<b>As distintas paisagens do Município de São Lourenço do Sul</b> .....	48
3.2	UNIDADE DA PAISAGEM PLANÍCIE .....	53
3.3	UNIDADE DA PAISAGEM PLANALTO .....	55
3.4	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS .....	58
3.5	PROCESSO DE OCUPAÇÃO E ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DE SÃO LOURENÇO DO SUL.....	60
3.6	PANORAMA ATUAL DAS UNIDADES DA PAISAGEM .....	62
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	64
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS.....	64
4.2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	66
4.3	LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SIG .....	66
4.4	OBTENÇÃO PRELIMINAR DO ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE .....	68
4.5	OBTENÇÃO DA DINÂMICA DE COBERTURAS E USOS DA TERRA... 71	
4.6	TRABALHOS DE CAMPO.....	76
4.7	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PÓS TRABALHO DE CAMPO	82
4.7.1	<b>Variáveis pedologia, geologia e geomorfologia</b> .....	82
4.7.2	<b>Variável hidrografia</b> .....	85
5	<b>RESULTADOS</b> .....	88
5.1	DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS ABIÓTICOS (VARIÁVEIS AMBIENTAIS) QUE COMPREENDEM O ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE .....	88

5.1.1	<b>Geologia</b> .....	88
5.1.2	<b>Geomorfologia</b> .....	91
5.1.3	<b>Pedologia</b> .....	94
5.1.4	<b>Recursos Hídricos</b> .....	96
5.2	<b>O ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL</b> .....	101
5.3	<b>COBERTURA E USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL</b> .....	112
5.4	<b>COBERTURA E USO DA TERRA PARA AS ÁREAS DE ELEVADO ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL</b> .....	118
5.5	<b>AMEAÇAS À GEODIVERSIDADE NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL</b> .....	125
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	131
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	134
	<b>APÊNDICES</b> .....	142

## 1 INTRODUÇÃO

A ação antrópica pode ser compreendida como a alteração provocada pela sociedade no meio. Esta alteração pode ocorrer em elementos bióticos (biodiversidade) e abióticos (geodiversidade). Entretanto, diferente da biodiversidade, que ao longo dos anos adquiriu reconhecimento aplicado aos meios científicos, econômicos e de gestão, a geodiversidade ainda se projeta de forma tímida enquanto campo do conhecimento científico, tendo nas últimas três décadas se estabelecido e ganhado visibilidade (MANOSSO; PELLITERO ONDICOL, 2012).

Para Gray (2004), o meio biótico muito se deve à geodiversidade, podendo então estabelecer uma relação sistêmica entre os elementos físico-biológicos. Ao encontro disso, Carcavilla et al. (2008) trazem que os elementos do meio físico são diretamente ligados à existência de vida, pois são considerados o substrato que permite a sustentação da biodiversidade na Terra. Diante destes aspectos, Gray (2004) afirma que a maior parte das ameaças à geodiversidade advém da ação antrópica.

Neste contexto, é impossível conservar toda a geodiversidade da Terra, assim, havendo a necessidade da identificação de locais de interesse. Para isso, existem métodos de avaliação da geodiversidade, seja qualitativo, quantitativo e quali-quantitativo. A partir do reconhecimento destes locais de interesse, torna-se possível a identificação das ameaças à geodiversidade. Entendendo que a maior parte das ameaças são resultado da ação humana, a identificação dos impactos na geodiversidade pode se dar a partir das mudanças nos padrões do uso da terra (GARCIA, 2019). Assim, torna-se necessário mais estudos que apliquem a identificação das ameaças à geodiversidade em locais que já tiveram algum tipo de avaliação.

Isto é corroborado por Forte et al. (2018), uma vez que o autor traz que ao se trabalhar a temática da geodiversidade no meio científico, os produtos podem auxiliar no processo de gestão territorial. Diante disso, a área de estudo da presente pesquisa se localiza na porção sul do estado do Rio Grande do Sul, sendo o Município de São Lourenço do Sul. Acredita-se que o município deve ser foco de estudos ligados à geodiversidade, a medida de que compreende, juntamente com os municípios de

Pelotas, Rio Grande, Arroio do Padre, Turuçu e São José do Norte, o território do Projeto Geoparque Paisagem das Águas. Os geoparques constituem-se como instrumentos que buscam a promoção do desenvolvimento sustentável através da geodiversidade. A área faz parte de uma região lagunar que compõe um grande complexo estuarino, o Estuário da Lagoa dos Patos. O estuário representa uma área singular no que se refere aos processos naturais, tanto bióticos quanto abióticos, frente as interações entre Oceano Atlântico e a Lagoa dos Patos. Ainda, a existência das interações entre rios, riachos, lagos, cachoeiras, áreas úmidas que alimentam este sistema.

Desta forma, torna-se ainda mais relevante estudos que propiciem a identificação de áreas de interesse a partir da avaliação da geodiversidade. Uma vez identificadas estas áreas, que anteriormente eram desconhecidas, tem-se então a possibilidade de verificar se está sendo afetada, quando e o quanto foi ou está sendo afetada. Isto, juntamente com estudos ainda mais aprofundados, seja a partir da avaliação e inventariação, a opção, se necessário, do estabelecimento de práticas ligadas à geoconservação.

Diante do exposto, a presente pesquisa tem como objetivo principal obter o Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul – RS e relacionar as áreas de elevado Índice de Geodiversidade com a dinâmica de coberturas e usos da terra a fim de identificar as ameaças à geodiversidade.

Para que o objetivo geral seja alcançado, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- I. Selecionar e espacializar as variáveis abióticas para obtenção do Índice de Geodiversidade;
- II. Identificar e caracterizar as áreas com elevado Índice de Geodiversidade;
- III. Analisar a dinâmica das coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul em um intervalo de tempo compreendido entre os anos de 1985 e 2020;
- IV. Compreender a dinâmica das coberturas e usos da terra no intervalo de tempo compreendido entre os anos de 1985 e 2020, nas áreas de elevados índices de geodiversidade a fim de identificar as ameaças à geodiversidade.

Para alcançar os objetivos, a estrutura da presente dissertação de mestrado está organizada da seguinte forma: (1) Introdução, (2) Fundamentação Teórica, (3) Caracterização da área de estudo, (4) Metodologia, (5) Resultados e discussões, (6) Considerações finais, e por fim, as Referências utilizadas.

A Fundamentação Teórica está organizada de maneira a apresentar a conceituação e contextualização da geodiversidade e suas áreas, como a avaliação da geodiversidade tanto qualitativa, quantitativa como quali-quantitativa. Ainda, demonstra-se a relação entre a avaliação quantitativa da geodiversidade com o geopatrimônio e as ameaças à geodiversidade. A caracterização da área de estudo busca evidenciar as principais características físicas, biológicas, climáticas e socioeconômicas do Município de São Lourenço do Sul, a fim de compreender os distintos processos de formação, pois os mesmos estão diretamente e indiretamente associados e influenciam o Índice de Geodiversidade. A Metodologia aborda todos os procedimentos metodológicos aplicados na pesquisa, desde os levantamentos bibliográficos e cartográficos, passando pela geração e adaptação do índice, como os trabalhos de campo realizados. Os resultados e discussões trazem de forma sistêmica a análise das variáveis que compreendem o índice, o próprio índice bem como os produtos derivados da dinâmica de cobertura e uso da terra para o município e para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade. As considerações finais, contextualizam todos os resultados obtidos na pesquisa. Por fim, apresenta-se todo o referencial teórico utilizado na redação da dissertação.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 GEODIVERSIDADE: HISTÓRICO E CONCEITOS

A diversidade ou variedade dos elementos abióticos em um sistema pode ser compreendida como a geodiversidade (BRILHA, 2005). O autor citado destaca ainda que sua utilização e aplicação são recentes em estudos referentes à conservação da natureza. Forte (2014), por sua vez, relata que a implementação deste novo conceito se configura como um desafio, onde sua integração auxilia o ordenamento e gestão territorial.

Para Carcavilla et al. (2008) o conceito de geodiversidade, desde seu princípio, caracteriza-se por diversas nuances, percorrendo diferentes significados ao longo do seu desenvolvimento. O termo surgiu, mais especificamente, na década de 1940 com o geógrafo argentino Frederico Alberto Daus, sendo nesta época definido de forma ampla como “a diversidade de espaços geográficos” (SERRANO; RUIZ-FLAÑO, 2007).

Ao ser retomado o termo, em meados de 1990, principalmente ligado à bibliografia europeia (CARCAVILLA et al., 2008; MANSUR, 2018; RODRIGUES; BENTO, 2018), verifica-se a analogia do termo geodiversidade à biodiversidade, entretanto, referindo-se à parcela abiótica da natureza. Para Sharples (1993), o conceito passa a se desenvolver com maior propriedade após a Convenção da Biodiversidade realizada na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro no ano de 1992 e se consolida na Conferência de Malvern sobre Conservação Geológica e Paisagística, no Reino Unido, em 1993 (BRILHA, 2005).

Na sua origem, tinha-se o conceito como restrito, pois se associava o prefixo “geo” da geodiversidade, estritamente à geologia. Contudo, atualmente são encontrados conceitos mais amplos, os quais englobam os aspectos dos elementos abióticos como pedologia, geomorfologia e hidrologia (RODRIGUES; BENTO, 2018).

Uma das primeiras definições foi a de Sharples (1993), que considera a geodiversidade como a diversidade de feições e sistemas de caráter abiótico do planeta Terra. Com isso, alguns autores como Brilha (2005) e Pereira (2010) trazem que uma das definições mais usuais e que iniciaram o processo de discussão, mais

especificamente na Conferência de Malvern, foi a da *Royal Society for Nature Conservation* do Reino Unido, que assume a geodiversidade como a “variedade de ambientes geológicos, fenômenos e processos ativos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos e outros depósitos superficiais que são o suporte para a vida na Terra” (BRILHA, 2005, p.17).

Alguns autores trazem a proposta de entender a geodiversidade para além dos materiais e processos naturais abióticos, englobando também os sistemas gerados a partir da ação antrópica. Para Nieto (2001) a geodiversidade é considerada como o número e variedade de estruturas (sedimentares, tectônicas, geomorfológicas, hidrológicas e petrológicas) e materiais geológicos (minerais, rochas, fósseis e solos) constituindo o substrato físico de determinada região, no qual se assenta a atividade orgânica, incluindo a antrópica. De uma forma integradora, Kozłowski (2004) afirma que a geodiversidade refere-se à variedade natural da superfície terrestre, englobando os aspectos geológicos, geomorfológicos, solos e as águas superficiais assim como os processos naturais endógenos e exógenos juntamente com a atividade humana.

Esta interação do Homem (sociedade) como agente modificador é corroborada por Von Ahn e Simon (2019) que destacam que as formas do relevo de origem antropogênicas possuem uma singularidade por serem formadas no tempo histórico, diferente dos processos da escala geológica. Assim, Von Ahn (2018) contribui demonstrando que estas novas formas possuem valores agregados, “as formas do relevo de origem antrópica possuem um valor singular do ponto de vista histórico, didático, científico e turístico.” (VON AHN, 2018, p.44). Esta singularidade se potencializa ao possibilitar compreender a capacidade do Homem em modificar e criar novas formas do relevo, sendo o ponto de partida para contar a história de diversos processos que ocorreram.

Neste contexto, Serrano e Ruiz-flaño (2007), também apontam que a geodiversidade é a variabilidade da natureza abiótica, incluindo elementos litológicos, tectônicos, geomorfológicos, edáficos, hidrológicos, topográficos tendo também os processos físicos da superfície terrestre, mares, oceanos, juntamente com processos naturais endógenos, exógenos e antrópicos, compreendendo a diversidade de partículas, elementos e lugares. Já Pereira (2010) relata que a geodiversidade é entendida como:

O conjunto de elementos abióticos do planeta Terra, incluindo os processos físico-químicos associados, materializados na forma de relevos, rochas, minerais, fósseis e solos, formados a partir das interações entre os processos das dinâmicas interna e externa do planeta e que são dotados de valor intrínseco, científico, turístico e de uso/gestão (PEREIRA, 2010, p. 17).

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), em 2006, definiu a geodiversidade como:

[...] a natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, solos, águas, fósseis e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, científico, o educativo e o turístico (CPRM, 2006 p.4).

Ainda, conceito adotado na presente pesquisa, Gray (2004; 2013) caracteriza a geodiversidade a partir da diversidade natural dos elementos geológicos (rochas, minerais, fósseis), geomorfológicos (paisagem, topografia e processos físicos), pedológicos e hidrológicos, juntamente com suas associações, estruturas, sistemas e contribuições para a paisagem. O autor citado relata que existem valores associados à geodiversidade e que devem ser levados em consideração quando a análise ocorre de forma qualitativa.

Visto isso, além das conceituações, devem existir investigações da geodiversidade, culminando em técnicas que permitam identificar a variabilidade dos elementos da geodiversidade bem como os seus valores associados. A principal forma para isto é denominada de avaliação da geodiversidade. Esta avaliação possui diferentes linhas metodológicas que auxiliam no processo de identificação, valoração e valorização, conforme tratam os itens da sequência.

## 2.2 AVALIAÇÃO DA GEODIVERSIDADE

A exploração do meio natural (biótico e abiótico) intensificou-se à medida que a ocupação territorial potencializou as atividades que utilizam os recursos naturais para suprir demandas da sociedade. A geodiversidade, sendo o substrato que permite a vida na Terra, condiciona diversos processos que possibilitam o desenvolvimento das sociedades. Citam-se processos como disponibilidade de áreas para agricultura, existência de condições climáticas favoráveis, existência de locais para abrigo

humano bem como a utilização para construções de infraestruturas (BRILHA, 2005). Brilha (2005) ainda destaca que

O desenvolvimento tecnológico, do qual hoje estamos reféns, só foi possível recorrendo à disponibilidade de rochas e minerais a partir dos quais se extraem os elementos químicos essenciais à produção de todo o tipo de materiais (BRILHA, 2005, p.18).

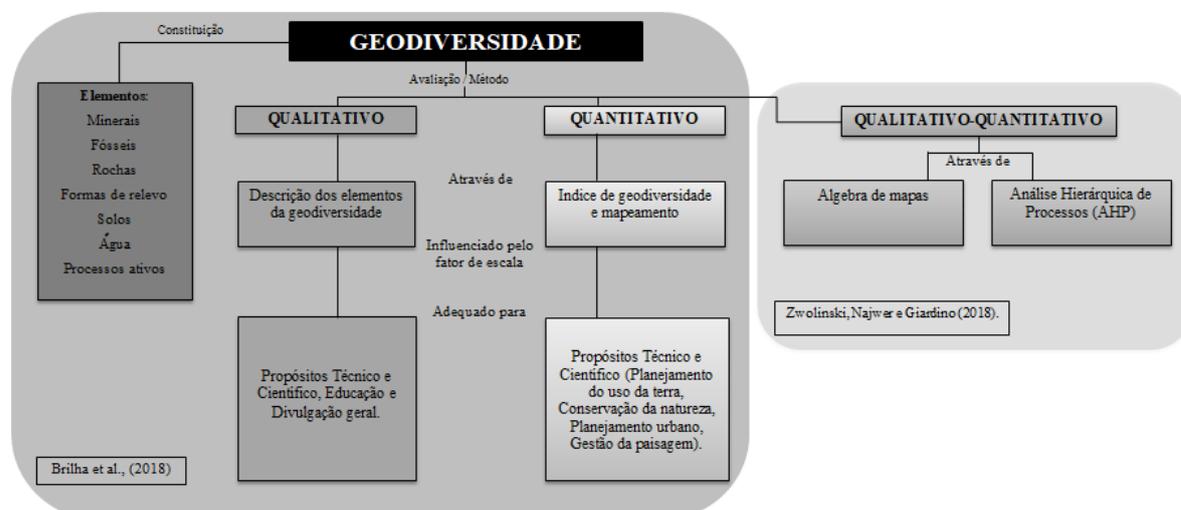
Intrínseco a essa exploração, advêm os possíveis impactos que as diversas atividades ocasionam tanto no meio biótico quanto no abiótico. Contudo, a geodiversidade ainda é pouco considerada em estudos que almejam a gestão territorial. Esta defasagem na sua utilização em propostas que visam o desenvolvimento sustentável se dá à medida que o estudo da geodiversidade muito priorizou o desenvolvimento teórico, porém poucos destes estudos acompanharam o desenvolvimento de métodos de avaliação e de aplicação do espectro teórico-conceitual da geodiversidade (CARCAVILLA et al., 2007).

Atualmente não existe apenas um conceito e modelo padronizado, uniforme, para se trabalhar a geodiversidade (RODRIGUES; BENTO, 2018, FORTE, 2014). Isto é evidenciado, por exemplo, quando há diferentes métodos para se avaliar a geodiversidade, como a atribuição de valores, descrição dos elementos ou até mesmo aplicações de índices.

De forma a compreender os métodos de avaliação da geodiversidade, Brilha et al. (2018) indicam que existem duas formas de avaliar a geodiversidade: a abordagem qualitativa e a abordagem quantitativa. Estes dois tipos de avaliação, segundo os autores, devem ser apoiados em três principais questões, sendo elas: “O quê?” (ligada ao tipo de elemento da geodiversidade em uma determinada área e sua distribuição espacial); “Por quê?” (referindo-se aos objetivos para a sua caracterização, como educação, planejamento territorial, divulgação entre outros); e “Como?” (tendo como cerne a seleção de metodologias e critérios para caracterizar e avaliar a geodiversidade).

Ainda no contexto de avaliação da geodiversidade, Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) apontam uma terceira tipologia, a avaliação híbrida, qualitativa-quantitativa. A Figura 1 ilustra as tipologias citadas, as quais são tratadas na sequência.

Figura 1 - Rede de relações dos métodos quantitativo, qualitativo e qualitativo-quantitativo da geodiversidade.



Fonte: Adaptado de Brilha et al. (2018) e Zwolinski, Najwer e Giardino (2018).

### 2.2.1 Avaliação qualitativa da geodiversidade

A avaliação qualitativa da geodiversidade geralmente é baseada no arcabouço do conhecimento de especialistas. Brilha et al. (2018) definem que este método de avaliação permite identificar especificidades da área estudada que a avaliação quantitativa não aborda. O método qualitativo demonstra a distribuição espacial dos elementos da geodiversidade, bem como a descrição destes elementos de forma não numérica.

Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) relatam que na literatura, os principais autores que abordaram a geodiversidade na sua investigação qualitativa, utilizaram métodos específicos nas suas análises, como o descritivo, a classificação de especialistas e os valores e benefícios.

O método descritivo aborda a avaliação tanto verbal/escrita quanto registros fotográficos, croquis, mapas entre outros que permitam identificar a área de estudo, não incluindo a sua classificação. Panizza (2009) em seu trabalho *“The geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): a key of geoheritage assessment”* descreve especificidades das Dolomitas, localizadas nos Alpes do Sul, utilizando a geomorfologia como aspecto principal para a análise descritiva. O autor citado utiliza o termo “Geomorfodiversidade”, conceituando a mesma como “a avaliação crítica e

específica das feições geomorfológicas de um território, comparando-as de forma extrínseca e intrínseca, tendo em conta a escala da investigação, o objetivo da investigação e o nível de qualidade científica” (PANIZZA, 2009, p.33). Com a descrição, o autor conclui que a área se constitui em um laboratório a céu aberto, onde é possível utilizá-la para o desenvolvimento de pesquisas.

Já na classificação de especialistas, um indivíduo ou um grupo de indivíduos toma por base suas experiências com a temática e oferecem sua própria escala de classificação. Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) explicam que o estudo de Bradbury (2014) é um exemplo desta variação do método, na qual o autor criou e aplicou uma classificação dos elementos da geodiversidade em grupos e subgrupos, juntamente com uma análise matricial em que o objetivo foi uma inventariação para propor a geoconservação no território da Tasmânia (Austrália).

Ainda, outro método citado por Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) para se avaliar qualitativamente a geodiversidade, é a atribuição de valores, referidos por Gray (2004) como valores da geodiversidade, onde o mesmo traz que existem os valores intrínseco, cultural, estético, econômico e científico-educacional, conforme demonstra o Quadro 1.

Quadro 1 - Valores da geodiversidade e sua descrição.

<b>VALOR</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Valor Intrínseco	Refere-se às particularidades dos elementos da geodiversidade, tendo seu valor pelo que são, independentes da atribuição dada pelo ser humano.
Valor Cultural	Atribuição que determinada sociedade dá para os aspectos físicos (geodiversidade) a partir de um significado e reconhecimento em comum.
Valor Estético	Refere-se aos aspectos visuais frente às características da geodiversidade.
Valor Econômico	O valor que os recursos possuem diante de seu uso nas necessidades humanas.
Valor Funcional	Refere-se ao próprio valor utilitário para a sociedade e as funções no contexto natural fornecendo subsídio aos processos físicos e ecológicos.
Valor Científico e Educacional	Está ligado à investigação dos aspectos da geodiversidade permitindo reconhecer a história da Terra e prognosticar possíveis futuros cenários.

Fonte: Adaptado de Gray (2004).

Esta atribuição é importante direta e indiretamente na geodiversidade, pois visa contribuir no processo de valoração, ou seja, atribuir um determinado valor a algo, bem como na valorização, sendo o processo de elevar o valor, dar maior importância a algo. Dentro desta perspectiva dos valores de Gray (2004), Gray (2013) em “*Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature*” apresenta mudanças, trazendo um único valor para a geodiversidade, o valor intrínseco, o qual compreende cinco serviços e vinte e cinco bens e processos que advêm da geodiversidade, conforme a Figura 2.

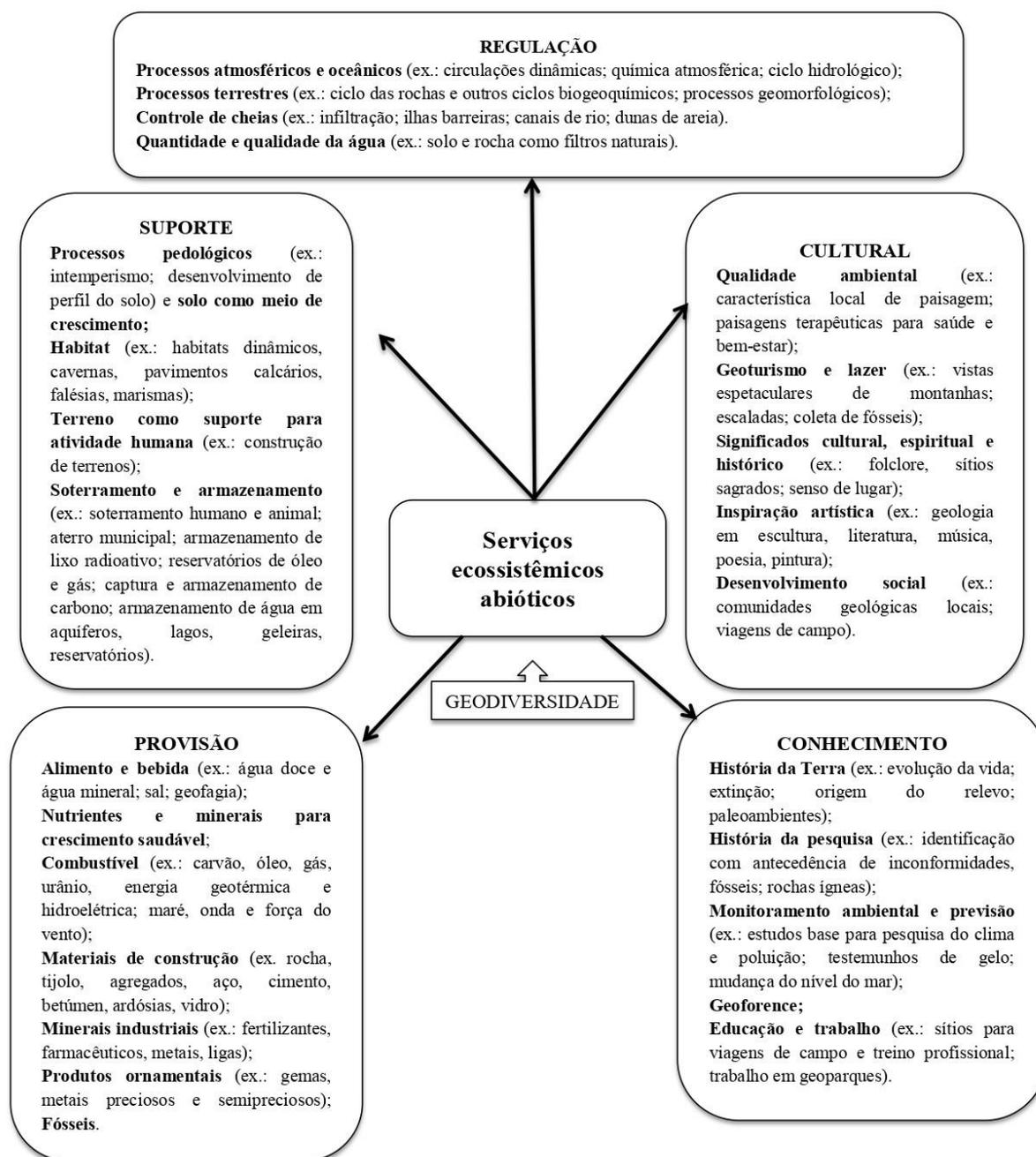
Segundo Gray (2013), este único valor da geodiversidade possui características filosóficas, onde o simples fato de existir já agrega valor à geodiversidade, independente da finalidade que as sociedades atribuem a ela. A partir da apreensão deste valor, é possível compreender que a geodiversidade é responsável ou presta uma série de serviços inerentes à sua integração sistêmica na natureza, denominados de serviços ecossistêmicos da geodiversidade, que são caracterizados por: serviços de regulação, de suporte, provisão, culturais e de conhecimento.

Os serviços de regulação detêm os processos que controlam naturalmente as condições ambientais. Gray (2013) aponta que os serviços de regulação abrangem os processos atmosféricos e oceânicos, os processos terrestres, o controle de cheias e a quantidade e qualidade da água nos sistemas em distintas escalas.

Os serviços de suporte possuem por finalidade o sustento para o desenvolvimento das atividades humanas e para a natureza. Abrangem processos pedológicos e o solo como meio de crescimento, de disponibilização de habitats, terrenos como suporte para atividade humana e soterramento e armazenamento.

Já os serviços de provisão são responsáveis pela disponibilização dos bens materiais. “São aqueles em que o ambiente físico fornece bens que são valorizados pelas sociedades humanas” (GRAY, 2013, p. 182). Dentre os bens, destaca-se a alimentação e bebida, nutrientes e minerais para um crescimento saudável, combustíveis, materiais de construção, minerais industriais e metálicos, produtos ornamentais e fósseis

Figura 2 - Serviços ecossistêmicos da geodiversidade, segundo Gray (2013).



Fonte: Traduzido de Gray (2013).

Os serviços culturais relacionam-se com o “valor atribuído pela sociedade a algum aspecto do ambiente físico em razão de seu significado social ou comunitário” (GRAY, 2013, p.186), como a qualidade ambiental, o geoturismo e atividades de lazer, desenvolvimento social, inspiração artística bem como significados culturais, espirituais e históricos (ligados a folclores e religiões). Os serviços de conhecimento estão relacionados com a utilização do meio abiótico como laboratório para o

desenvolvimento de pesquisas científicas e para fins educacionais. Gray (2013) cita cinco processos advindos deste serviço, são eles a história da terra, história da pesquisa, monitoramento ambiental, geoforenses e educação e trabalho.

Todavia, no que tange à utilização da avaliação qualitativa, pode-se encontrar certo grau de subjetividade nas análises, impossibilitando uma comparação ou verificação dos resultados (BRILHA et al., 2018). Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) vão ao encontro desta ideia, quando descrevem que não é possível comparar distintas áreas de estudo, principalmente quando apresentam diferenças na energia do relevo, sendo que essas diferenças influenciam na avaliação da geodiversidade e podem ser supridas por avaliações pautadas em métodos quantitativos.

### **2.2.2 Avaliação quantitativa da geodiversidade**

Enquanto a avaliação qualitativa prevê a distribuição espacial dos elementos da geodiversidade, para Carcavilla et al. (2007), a avaliação quantitativa mensura a variabilidade espacial destes elementos. Em sua maioria, as avaliações quantitativas são realizadas a partir de: medições de campo, monitoramentos, mapeamentos e interpretações de imagens, operações matemáticas e modelagens estatísticas (ZWOLINSKI; NAJWER; GIARDINO, 2018).

Essas análises são baseadas em um conjunto de parâmetros numéricos e indicadores para detectar a diversidade de características dos elementos da geodiversidade de uma determinada área (BRILHA et al., 2018). Os elementos a serem avaliados ficam a critério do proponente do estudo, podendo abranger geomorfologia, pedologia, paleontologia, recursos hídricos entre outros. Desta forma, ao analisar os componentes que definem a geodiversidade de determinado território, é possível o estabelecimento de índices que expressam número e que definem frequências e distribuição das variáveis, assim manifestando áreas, como por exemplo, com baixo, médio e elevado Índice de Geodiversidade.

Estes índices possibilitam verificar a intensidade de determinados componentes abióticos (isolados ou em conjunto) em uma dada área. Desta forma, Rodrigues e Bento (2018) explicam que a geodiversidade é um fenômeno representável espacialmente, assumindo, assim, variações espaciais.

Segundo Brilha et al. (2018), diversos estudos e metodologias recentes utilizam e discutem o Índice de Geodiversidade a partir de técnicas no ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Ao encontro disto, Simon e Trentin (2018) trazem que o desenvolvimento de novas tecnologias vem promovendo mudanças nas metodologias de análise e de mapeamento dos componentes abióticos do espaço geográfico. Visto isso, a implementação do SIG apresentou uma gama de possibilidades de ferramentas para o apoio à análise espacial da geodiversidade (FORTE, 2014).

Atualmente, a maior parte dos estudos referentes à avaliação quantitativa da geodiversidade utilizam técnicas aliadas ao SIG para a elaboração de índices e mapas, onde os dados de entrada podem ser em formato de pontos, linhas e/ou polígonos. Estes dados são variáveis abióticas que buscam representar a realidade de uma dada área de forma cartográfica.

Com isso, destaca-se que a avaliação a partir dos índices de geodiversidade já foi desenvolvida em nível de país, estado, município e região, com intuito de quantificar a geodiversidade, sendo alguns exemplos os estudos desenvolvidos por Serrano e Ruiz-flaño (2007), Hjort e Luoto (2010), Pereira et al. (2013), Silva et al. (2013) e Forte et al. (2018). Estes estudos utilizaram como uma das principais ferramentas o SIG.

Serrano e Ruiz-flaño (2007) criaram e aplicaram uma metodologia na região de Caracena, na província de Sória, na Espanha. Os autores estabeleceram um índice que relaciona a variedade dos elementos físicos com a rugosidade do relevo e as áreas das unidades geomorfológicas. Consideraram que, quanto maior for a quantidade de elementos, maior será a geodiversidade. Para isso, propuseram a seguinte equação:

$$Gd = \frac{EgR}{InS}$$

Onde  $Gd$  é o Índice de Geodiversidade;  $Eg$  é o Número dos diferentes elementos físicos das unidades (geológicas, geomorfológicas, hidrológicas e pedológicas);  $R$  o Coeficiente de rugosidade da unidade; e por fim o  $S$  sendo a Área superficial da unidade ( $\text{km}^2$ ). O algoritmo matemático multiplica o número de

elementos físicos pelo coeficiente de rugosidade, dividindo o produto pelo logaritmo natural da área.

Para classificar a geodiversidade, os autores utilizaram uma escala com cinco categorias, sendo muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Até chegar à equação de obtenção do índice, os autores passaram por duas etapas anteriores, caracterizadas pela análise dos elementos e características abióticas e a determinação de unidades geomorfológicas que constituíram a área de estudo. Assim, os autores concluem que incorporar técnicas de quantificação da geodiversidade em estudos de planejamento ambiental auxilia no processo de tomada de decisão, tanto de educação ambiental quanto da prática de geoconservação.

Hjort e Luoto (2010) desenvolveram seus estudos na Finlândia, em uma área de 285km<sup>2</sup>. Os autores quantificaram a variação espacial da geodiversidade utilizando quatro etapas na pesquisa, basearam-se em um sistema de grade espacial com tamanho de 500 x 500 metros, a qual totalizou 1137 células.

Na primeira etapa do estudo foi calculada a totalidade dos diferentes elementos (geodiversidade total) da área. Em um segundo momento, os elementos geomorfológicos foram classificados pela sua gênese, no intuito de determinar a variabilidade dos processos na área de estudo. Na terceira fase, os elementos que compõem a geodiversidade foram classificados a partir do seu tempo de formação, para determinar a variabilidade temporal. Para isso, foram classificados seis grupos: (i) formação do tipo de rocha (Pré-Cambriano), (ii) fase de erosão e denudação de longa duração (Pré-Cambriano-Pleistoceno), (iii) glaciação Pleistocênica, (iv) deglaciação do manto de gelo continental (glaciação de *Weichselian*), (v) Holoceno e (vi) atividade atual ou muito recente (HJORT; LUOTO, 2010).

Por último, foi calculado o Índice de Geodiversidade a partir da fórmula de Serrano e Ruiz-flaño (2007). Os autores concluíram que o método utilizado foi eficiente e descreveu a variabilidade dos elementos abióticos. Contudo identificaram a necessidade de mais aprofundamentos nos estudos de geodiversidade-biodiversidade para compreender as relações entre si.

Pereira et al. (2013) desenvolveram seu estudo no estado do Paraná, Brasil. Os autores propuseram elaborar cinco índices numéricos parciais, abrangendo as informações sobre geologia, geomorfologia, paleontologia, pedologia e ocorrências minerais. A partir destes índices numéricos parciais foi realizada uma soma para obter

o Índice de Geodiversidade, o qual resulta no produto da soma de unidades e ocorrências em uma área de grade, cujo tamanho definido pelos autores, compreendeu 25 x 25 km, totalizando 371 quadros. O produto foi classificado em cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Em sua conclusão, os autores destacaram que o Índice de Geodiversidade obtido pode ser útil para definir áreas prioritárias para conservação tanto quanto possuem um grande potencial educacional e turístico.

Silva et al. (2013) aplicaram o método quantitativo de Pereira et al. (2013) na área da Bacia do Xingu, na Amazônia, Brasil. O método baseou-se em quantificar e integrar as feições abióticas em mapas com escalas que variaram de 1:250.000 a 1:2.500.000, sobrepostos por uma grade de 1:25.000, que totalizou 2.462 quadros. Foram elaborados cinco índices parciais, sendo: geologia, geomorfologia, solo, paleontologia e ocorrência de minerais.

Para obter o Índice de Geodiversidade foi realizada a soma dos índices numéricos parciais, que foram posteriormente interpolados utilizando o método *Inverse Distance Weighting* (IDW). Os autores justificam que o mesmo assume uma influência da variável que é mapeada, diminuindo com a distância do local amostrado, diferentemente de outros métodos que podem aumentar a influência a partir de seu distanciamento. A conclusão do estudo é de que o método utilizado permite sua aplicação em extensas áreas, como a da Bacia do Xingu, e, ainda, que os resultados do índice contribuem para a gestão territorial, principalmente focando na preservação ambiental.

De forma distinta de metodologias de avaliação quantitativa da geodiversidade apresentadas, onde o índice se dá a partir da contagem das variáveis sobrepostas em um sistema de *grid* (quadrante pré-determinado), independentemente de alguns elementos se repetirem e/ou sua localização no quadrante, Forte et al. (2018) apresentam um método derivado do cálculo de densidade de pontos, buscando diminuir ainda mais a interferência e possível subjetividade que os demais métodos possam apresentar. Os autores desenvolveram seu estudo em duas áreas distintas: uma no Município de Mafra na região central de Portugal e outra no Município de Morro do Chapéu no estado da Bahia, região nordeste do Brasil.

O objetivo foi analisar e comparar regiões com diferentes superfícies e contextos geológicos, em diferentes escalas, bem como utilizar uma nova abordagem

de análise espacial, considerando o valor de densidade de um centroide. Os autores apontam que existem diversas propostas para calcular o Índice de Geodiversidade, contudo em sua maioria, atrelado a um sistema de grades que permite contar as ocorrências de diferentes elementos da geodiversidade em cada quadro.

O método utilizado consiste em uma operação de sobreposição de diferentes dados, como os de geologia, geomorfologia, hidrografia e solos, combinando-os em um conjunto de dados de polígonos. A partir destes polígonos são criados pontos centroides, que permitem obter a *Densidade de Kernel*, na qual os dados pontuais são amostrados em uma nova camada matricial ou *raster*. Após isto, é realizada uma reclassificação, sendo o produto uma expressão numérica do Índice de Geodiversidade.

Forte et al. (2018) concluem que, diferente do sistema de grade, que não permite entender em detalhes o número, frequência e distribuição das variáveis constituintes, este método viabiliza maior compreensão uma vez que o mesmo não se limita ao *grid*, possibilitando analisar as diferentes interações sem a interferência dos quadrantes na área de estudo.

Alguns trabalhos abordaram a metodologia criada por Forte et al. (2018), como Soares Filho (2019) e Fernandes e Costa (2021). Soares Filho (2019) realizou a avaliação quantitativa da geodiversidade do Parque Estadual da Pedra Branca no Rio de Janeiro, e considerou a metodologia coerente e aplicável para a área. Já Fernandes e Costa (2021) desenvolveram seu trabalho no Parque Estadual Cunhambebe no Rio de Janeiro. Os autores argumentaram que a metodologia para obtenção do Índice de Geodiversidade mostrou-se satisfatória, permitindo identificar que mais de 50% da área possui classes de média a muito alta geodiversidade.

Sendo o método quantitativo baseado em um conjunto de parâmetros numéricos e indicadores, o mesmo visa minimizar a subjetividade que o método qualitativo apresenta. Desta forma, é possível afirmar que a avaliação quantitativa possui suas restrições e potencialidades enquanto método de análise. Destaca-se sua potencialidade quanto à repetibilidade dos resultados e objetividade na avaliação (ZWOLINSKI, NAJWER; GIARDINO, 2018).

Contudo, Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) ressaltam que a análise possui uma limitação no que se refere à escala dos dados ou até mesmo a existência dos mesmos em determinadas áreas. Isto é importante salientar quando destacado que a

precisão e detalhamento dos dados são fundamentais para avaliar a geodiversidade, quando aplicado, por exemplo, em áreas menores, para não ocorrer generalizações (BRILHA et al., 2018).

### 2.2.3 Avaliação qualitativa-quantitativa da geodiversidade.

A avaliação quali-quantitativa demonstrada na Figura 2 é destacada por Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) como um método híbrido. Os autores explicam que os métodos são baseados em uma análise combinatória entre dados quantitativos, ou seja, dados principalmente numéricos digitais, e dados de causa-efeito, ou seja, relacional e explicativo. A avaliação possui duas variações de aplicação: (a) a soma digital de características, tendo como base a álgebra de mapas e, (b) a Análise Hierárquica de Processos (AHP), que consiste em uma decisão hierárquica com base em critérios estabelecidos por especialistas.

A vantagem de utilizar o método quali-quantitativo para avaliar a geodiversidade segundo Zwolinski, Najwer e Giardino (2018), é a possibilidade de integrar diferentes fontes de dados de forma combinada com o conhecimento e julgamento de um ou mais especialistas. A AHP é utilizada como um método hierárquico de tomada de decisões complexas, com base no critério de especialistas quanto ao estabelecimento de dados qualitativos e quantitativos na construção da avaliação de uma determinada área.

Najwer et al. (2016) em seus estudos avaliam a geodiversidade de acordo com o método qualitativo-quantitativo, sendo o ponto de partida da pesquisa uma hipótese pré-estabelecida (ZWOLINSKI; NAJWER; GIARDINO, 2018). Esta hipótese é que determinados componentes, como os parâmetros geomorfométricos utilizados, devem, pelas características da área, possuir uma maior interferência nos resultados do Índice de Geodiversidade (método quantitativo), quando comparado com os demais parâmetros da área de estudo, Bacia Hidrográfica de *Dejbnica*, localizada na Alemanha.

Com isso, a AHP é utilizada à medida em que se pondera cada variável, atribuindo valores de importância (método qualitativo), a partir de critérios definidos por especialistas, que no caso do estudo, foi atribuído maior significância para os

parâmetros geomorfométricos, por estabelecer previamente, antes da aplicação do índice, que são estes parâmetros que moldam a paisagem na área.

Najwer et al. (2016) reforçam que o trabalho de campo auxilia na compreensão dos dados de entrada, o que permite uma maior validação e ponderação na aplicação do Índice de Geodiversidade. Assim, os autores obtiveram como resultado as regiões com elevados índices de geodiversidade da área de estudo.

Visto isto, Zwolinski, Najwer e Giardino (2018) destacam que este método de avaliação híbrido, possui um combo de limitações. Como o método é uma combinação entre o qualitativo e o quantitativo, as fraquezas residem na dificuldade de replicabilidade (parcela qualitativa do método) e na disponibilidade, bem como na precisão dos dados de entrada (parcela quantitativa do método) que tangenciam sua aplicação.

Com base no que foi apresentado, compreende-se que para se avaliar a geodiversidade, é necessário levar em consideração quais tipos de variáveis irão ser utilizadas, qual o objetivo da sua aplicação bem como quais métodos e critérios serão escolhidos. Partindo disto, baseando-se na presente pesquisa, os objetivos associados aos materiais cartográficos disponíveis bem como as escalas destes materiais, permitem que seja assumida uma perspectiva metodológica de avaliação da geodiversidade pautada na aplicação de métodos quantitativos.

### 2.3 RELAÇÃO GEODIVERSIDADE X GEOPATRIMÔNIO

Uma vez apresentados os métodos de avaliação da geodiversidade, cabe a compreensão da necessidade da aplicação destas avaliações para estratégias de geoconservação e para a compreensão de locais de interesse geopatrimonial. Brilha (2005) relata que é impossível conservar a geodiversidade como um todo, sendo necessário definir locais de interesse da geodiversidade, a partir de sua inventariação, avaliação e quantificação, do seu interesse, relevância e vulnerabilidade.

Desta forma, Brilha (2005) define que o geopatrimônio se caracteriza pelo conjunto dos geossítios inventariados e caracterizados em uma dada área ou região. Para Carcavilla et al. (2007) o geopatrimônio possui diversos valores, podendo ser: científicos, técnicos, culturais, econômicos, estratégicos, recreativos e sociais. O autor ainda relata que pode conter até mesmo um viés ético e filosófico, pois no momento

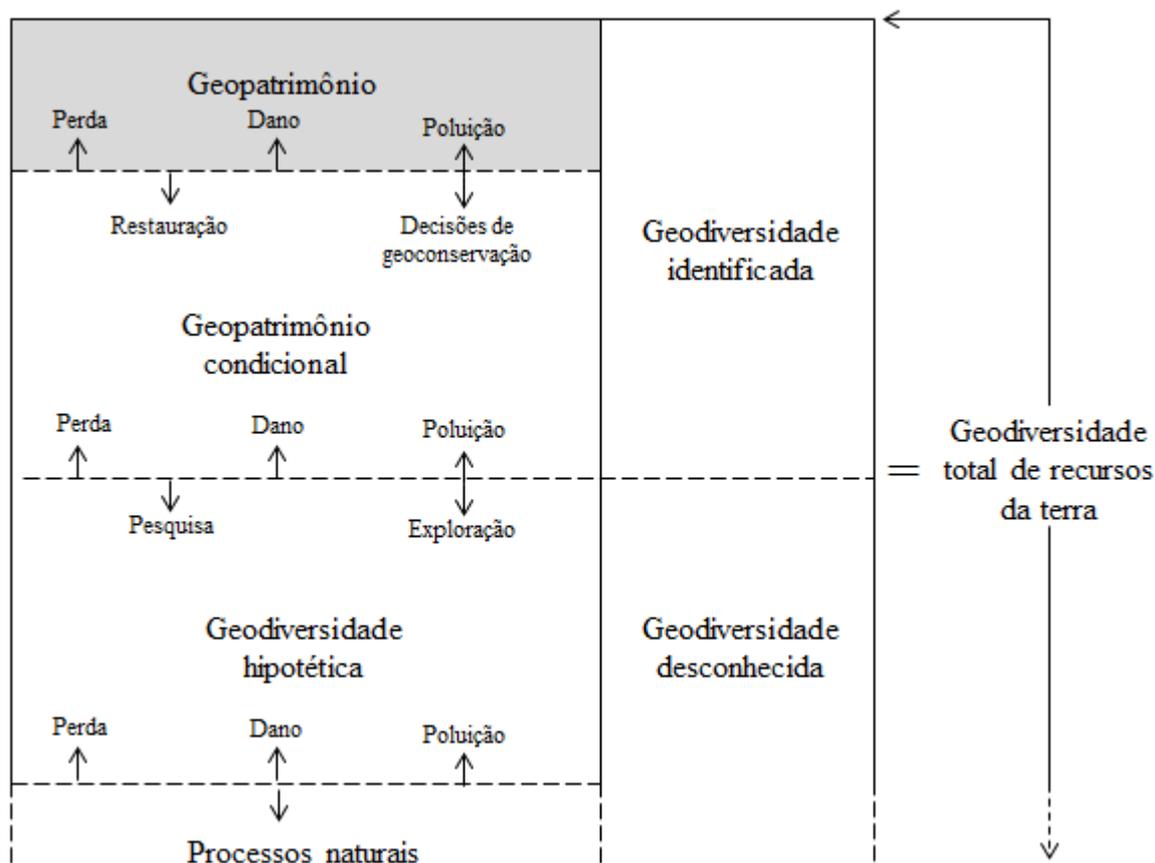
da relação de conservação, tem-se um fundo ético e um importante desenvolvimento filosófico, o qual se faz necessário para compreender o seu significado.

Borba (2011) prioriza o termo geopatrimônio ao invés da utilização da terminologia patrimônio geológico, mesmo compreendendo ambos como sinônimos, pois entende que o termo, mesmo subjetivamente, integra uma gama interdisciplinar maior de conhecimentos das geociências no estudo dos elementos abióticos. Diante disto, para Borba (2011), o geopatrimônio é o conjunto de geossítios em um dado território, seja ele país, estado, município, unidade de conservação, entre outros locais de relevância em termos de valor científico, estético, cultural, funcional/ecológico e/ou educativo. Com isso, o geopatrimônio integra todos os elementos notáveis da geodiversidade, englobando o patrimônio paleontológico, mineralógico, geomorfológico, hidrogeológico, entre outros (BRILHA, 2005; RODRIGUES; BENTO, 2018).

Há de se destacar que o estudo do geopatrimônio compreende a seleção dos aspectos mais significativos dos elementos da geodiversidade de determinada região, enquanto a avaliação da geodiversidade busca analisar a variabilidade e o número de elementos que a compõe. Dessa forma, a avaliação da geodiversidade não leva em consideração o seu valor patrimonial, mas enfatiza a localização espacial dos arranjos de elementos da geodiversidade que podem ter seus estudos aprofundados para fins de identificação dos valores geopatrimoniais (CARCAVILLA et al., 2008). A Figura 3 apresenta a relação entre geodiversidade e geopatrimônio conforme Gray (2018).

Gray (2018) exemplifica que a geodiversidade total, ou seja, a totalidade dos elementos abióticos existentes, se divide em dois grandes campos: a geodiversidade identificada e a desconhecida. A geodiversidade identificada é a parcela que já sofreu um processo de avaliação e inventariação, ou seja, trata-se da parcela da geodiversidade que já está apta a ser conservada, julgada de valor e/ou interesse, podendo ou não ser definida como geopatrimônio. Este geopatrimônio pode aumentar à medida que são implementados novos sítios, ou diminuir quando os mesmos são danificados. Dentro da perspectiva da geodiversidade dotada de valor, o autor aborda a existência do geopatrimônio condicional, o qual detém a condicionalidade de implementar a geoconservação em áreas, como por exemplo, de antigas pedreiras, que não detém mais o valor econômico ditando a parcela desta área, mas sim as ameaças, valores e decisões de conservação sobre ela.

Figura 3 - Relação entre geodiversidade e geopatrimônio.



Fonte: Traduzido de Gray (2018).

Apesar dos avanços das investigações no campo do conhecimento da avaliação da geodiversidade, a mesma ainda não é plenamente compreendida, identificada e descrita. Dessa forma, a parcela não descoberta ou identificada da geodiversidade é denominada por Gray (2018) de geodiversidade hipotética. Mesmo que não identificada, a mesma está presente em diferentes graus, podendo possuir valores excepcionais ou não. Gray (2018) define que o planeta está em constante desenvolvimento e assim a geodiversidade hipotética pode apresentar fragilidades. Essa geodiversidade pode estar sendo poluída, danificada e até mesmo perdida enquanto não é identificada, estudada e/ou tendo seus valores definidos. Gray (2013; 2018) aponta que o principal vetor destes impactos é a ação antrópica, a partir de atividades como expansão urbana, exploração mineral, agricultura entre outras.

Brilha (2005) relata que a maior parte das ameaças à geodiversidade é provinda direta ou indiretamente da ação antrópica. Ao encontro dessa ideia, Gray

(2018) também indica que a principal ameaça à geodiversidade e ao geopatrimônio é fruto da ação antrópica, e acrescenta ainda que a característica que leva a isto é a ignorância (GRAY, 2004). Esta ignorância pode ser entendida em seu significado literal, sendo o desconhecimento da existência ou da funcionalidade de algo, no caso da geodiversidade, seus elementos e processos, como cerne.

Com isto, estas ameaças podem se apresentar em diferentes escalas e com graus distintos de impacto. Isto pode ocorrer antes mesmo de serem identificadas, reforçando a proposta que a identificação de áreas com elevados índices de geodiversidade pode ser um fator importante para ações de gestão territorial (FORTE et al., 2018). Carcavilla et al. (2008), por sua vez, relatam que a avaliação quantitativa da geodiversidade ilustrará a variabilidade dos elementos que a compõe, auxiliando na identificação de locais dotados de valor, dignos de estratégias de inventariação e geoconservação.

## 2.4 AMEAÇAS À GEODIVERSIDADE

Ao contrário da biodiversidade, a maior parte dos elementos que compõem a geodiversidade não são renováveis na escala de tempo histórico (BÉTARD, 2017). Gray (2004) relata que muitas das ameaças enfrentadas pela biodiversidade afetam igualmente a geodiversidade. Estas podem ser a partir da agricultura, expansão urbana, extração de recursos entre outras atividades que impactam o ambiente direta ou indiretamente como um todo, ou seja, relacionando as porções biótica e abiótica.

Estas ameaças podem ocasionar deteriorações, algumas irreversíveis, ou até mesmo sua perda total (BÉTARD, 2017). Gray (2004) e Brilha (2005) apontam diversas ameaças que quando efetivadas ocasionam impactos, sendo estes elencados por Gray (2004) como:

- Perda total de um elemento da geodiversidade;
- Perda parcial ou dano físico;
- Perda de visibilidade ou intervisibilidade;
- Perda de acesso;
- Interrupção dos processos naturais na área afetada e externamente;
- Poluição;

- Impacto visual.

Como supracitado, estes impactos elencados por Gray (2004) derivam de ameaças, que advêm tanto da dinâmica natural como da influência antropogênica. Com isso, Gray (2004) define uma série de ameaças geradas pelo homem, sendo elas: a) Extração mineral; b) Restauração de aterros e pedreiras; c) Desenvolvimento de obras e expansão urbana; d) Erosão e proteção costeira; e) Gestão fluvial, hidrológica e engenharia; f) Pressões de recreação e turismo; g) Mudanças climáticas e do nível do mar; h) Atividade militar; i) Silvicultura, crescimento de vegetação e desmatamento; j) Agricultura; k) Falta de informação. Na sequência as principais ameaças definidas por Gray (2004) são qualificadas.

#### **a) Extração mineral**

A extração mineral é uma atividade atualmente essencial, contudo há uma perda de geodiversidade à medida que tanto a paisagem quanto a topografia são intensamente modificadas (GRAY, 2004). A atividade pode levar a uma alteração irreversível dos sistemas geomorfológicos e pedológicos associados e, em alguns casos, ser acompanhada por uma perda do interesse científico, social e econômico dos sítios, atuando ainda na mudança do equilíbrio da dinâmica geomorfológica, com uma nova sensibilidade a deslizamentos, alterações hidrodinâmicas e morfossedimentares (BÉRTARD, 2017).

#### **b) Aterros e restauração de áreas**

Gray (2004) relata que em alguns países as pedreiras, após perderem seus usos econômicos, são preenchidas com diversos tipos de resíduos oriundos da sociedade, como resíduos domésticos, industriais, agrícolas, de construção entre outros. Ainda, Bétard (2017) cita que muitas pedreiras quando desativadas, recebem uma grande quantidade de resíduos, transformando a área como se fosse um aterro sanitário. Estes depósitos são considerados uma grande ameaça à medida que ocultam os interesses geológicos e geomorfológicos expostos após a atividade de extração mineral. Além da ameaça à própria geodiversidade, estas áreas levam riscos à população, visto a instabilidade destes locais a medida que quedas de blocos, afundamentos entre outras possibilidades possam ocorrer. Gray (2004) utiliza o

exemplo do aterro de *Kirkill Quarry* na Escócia, no qual o aterramento impediu as pesquisas em um dos mais importantes sítios quaternários da região.

**c) Desenvolvimento de obras e expansão urbana**

Segundo Gray (2004) o desenvolvimento de infraestruturas pode levar a grandes mudanças paisagísticas e pedológicas. O exemplo que o autor aborda é a construção de rodovias e ferrovias bem como aterros, barragens e reservatórios que são inerentes ao processo de urbanização. A expansão urbana bem como suas obras pode levar a processos erosivos, à artificialização e impermeabilização dos solos, à degradação e transformação das formas do relevo ou até mesmo à perda de sítios de interesse geológico (BÉTARD, 2017).

**d) Erosão e proteção costeira**

A dinâmica natural também pode impactar a geodiversidade. Gray (2004) aborda que a erosão costeira pode destruir a integridade geológica e geomorfológica dos sítios. Contudo, a construção de barreiras de defesa pode afetar e até mesmo destruir o interesse geológico e geomorfológico das linhas de costa, que podem descrever a dinâmica natural, assim contando a história da Terra. Esse barramento pode ser considerado uma forma que contraria a evolução natural do litoral. Além do barramento, destaca-se a construção de residências, abertura de vias, infraestruturas em geral, em áreas como falésias, cordões arenosos, restingas entre outros ambientes característicos, que ameaçam a geodiversidade e potencializam o risco à vida humana, visto o dinamismo destes locais.

**e) Gestão fluvial, hidrológica e obras de engenharia**

Existem ameaças advindas da ação antrópica a partir da alteração de canais de drenagem e do uso da terra, como por exemplo, a retirada de vegetação nativa e a intensificação do processo erosivo que afeta direta e indiretamente um rio. Gray (2004) utiliza exemplos de obras que modificaram as características de rios, no que tange a rugosidade, os leitos e as planícies aluviais. Uma das ameaças mais evidentes são as construções de barragens, diques e canais que alteram diversos aspectos, sobretudo hidrogeomorfológicos (GRAY, 2004; BRILHA, 2005).

Ainda, Gray (2004) relata que o desmatamento também pode ser uma ameaça para a geodiversidade. A remoção de árvores pode resultar no aumento dos processos erosivos, pois à medida que ocorre o processo de desmatamento a cobertura vegetal de determinada área diminui, e inversamente proporcional, a taxa de erosão aumenta.

#### **f) Pressões da recreação/turismo**

A atividade turística quando não desenvolvida com sustentabilidade pode ser considerada uma ameaça à geodiversidade. Em parques, além da erosão intensificada em trilhas e pisoteio fora delas, ainda, tem-se casos de coleta de espécimes tanto de rochas como de minerais considerados raros. Brilha (2005) relata que a utilização de veículos também se constitui em ameaça, englobando a pressão de recreação e turística “A utilização de veículos todo-o-terreno em locais com solos frágeis, como as dunas ou zonas montanhosas, pode romper o delicado equilíbrio destas estruturas geológicas, promovendo a sua destruição” (BRILHA, 2005, p. 48 ).

Um exemplo de dano, segundo Gray (2004), pode ser verificado em *Yellowstone* nos Estados Unidos, onde pelo menos uma árvore petrificada foi perdida devido às remoções de pedaços pelos visitantes. Até mesmo os impactos de martelos dos estudantes geram danos, pois criam cicatrizes em locais que são considerados testemunhos do desenvolvimento geológico.

#### **g) Mudanças climáticas e do nível do mar**

O aquecimento global se caracteriza como uma ameaça à geodiversidade visto a influência na distribuição e variabilidade da ocorrência de precipitações. Isto implica em impactos nos sistemas físicos, como o aumento da precipitação em um curto espaço de tempo podendo elevar a taxa de erosão bem como ocasionar inundações (GRAY, 2004). Potencializado pelas mudanças climáticas, a variação do nível do mar, pode alterar processos costeiros, como as formas do relevo, inundações de ilhas, entrada de água salgada em ambientes com água doce, entre outros processos.

#### **h) Atividade militar**

Outra ameaça que Gray (2004) considera é a atividade militar, pois treinamentos em áreas consideradas sensíveis podem alterar a paisagem e sua

dinâmica. O autor cita exemplos de abertura de trincheiras e tuneis durante as guerras, que modificaram o espaço físico. Ainda, a possível perda de sítios arqueológicos, o efeito das bombas, o empobrecimento do solo entre outros impactos presentes neste tipo de atividade.

#### **i) Silvicultura, crescimento de vegetação e desmatamento**

A silvicultura mostra-se como uma grande ameaça à geodiversidade. Ao considerar que a atividade é baseada no plantio de espécies de árvores (exóticas) para futura comercialização, a mesma constitui-se como um processo que pode ocultar as características geológicas e geomorfológicas de uma determinada região (GRAY, 2004; BRILHA, 2005). Além de encobrir as características geológicas e geomorfológicas, a atividade pode promover uma intensificação de erosões e compactações do solo (DEDECEK, 2008). Outras ameaças à geodiversidade relacionam-se com a presença de serapilheira bem como o crescimento de líquens, uma vez que os mesmos podem cobrir a superfície, escondendo assim os minerais de um determinado afloramento rochoso. Mesmo que seja um processo da dinâmica natural do ambiente, este recobrimento pode esconder, como por exemplo, áreas com interesse científico, assim sendo considerado por Gray (2004) como ameaça à geodiversidade. Isto demonstra que existem ameaças à geodiversidade na perspectiva natural, entretanto, salienta-se que em sua maioria advém da ação antrópica.

Bétard (2017) classifica em três categorias os efeitos negativos da atividade de silvicultura, sendo elas:

1. impactos hidrológicos e geomorfológicos, como o aumento da evapotranspiração, redução da vazão de base dos rios e o possível desencadeamento de deslizamentos em determinadas áreas;
2. impactos físico-químicos, os quais dependerão da espécie plantada, podendo elevar a acidificação do solo;
3. impactos visuais e paisagísticos, tendo a cobertura vegetal atuado como “máscara”, termo utilizado pelo autor, o que gera uma perda muitas vezes da visualização de sítios geológicos ou geomorfológicos notáveis.

### **j) Agricultura**

Locais que possuem rotação de cultura, em áreas favoráveis, que mantiveram a fertilidade do solo e evitaram os processos de erosão apresentam baixa probabilidade de gerar elevado impacto à geodiversidade (GRAY, 2004; BRILHA, 2005). Entretanto, áreas que não praticam a agricultura sustentável, que são dotadas do uso agrícola intensivo, são consideradas grandes ameaças à geodiversidade.

Gray (2004) indica vários exemplos de degradação do solo a partir da agricultura, como compactação, alteração na distribuição de matéria orgânica, alteração química do solo a partir da aplicação de fertilizantes ou pesticidas, a redução da diversidade natural entre outros impactos. A compactação pode diminuir a capacidade de infiltração do solo intensificando processos erosivos. Outra atividade que intensifica os processos erosivos é processo de aragem, prática que remobiliza o solo. A técnica de irrigação que pode estar presente na agricultura também impacta o solo, à medida que ocorre o processo de lixiviação dos nutrientes, transportando os fertilizantes e pesticidas usados na agricultura para os corpos hídricos, o que induz a eutrofização da água.

Contudo, um dos principais impactos da agricultura que modifica a paisagem é a construção de terraços com a função de obter áreas mais planas para a prática agrícola, reduzindo a erosão. Em algumas culturas, a necessidade de retenção de água exige muitas vezes a abertura de canais para a alteração do fluxo de determinado curso hídrico, também impactando a dinâmica original. Estes impactos descritos resultam na perda do relevo natural e na mudança das características dos solos.

### **k) Falta de informação**

Segundo Gray (2004), uma das principais ameaças à geodiversidade é a falta de informação. Brilha (2005) relata que a limitação tanto de pesquisas como da utilização delas por gestores, potencializam os impactos nos mais diversos níveis. Gray (2004) indica que a falta de pesquisas em diferentes níveis, inventários e identificação de geopatrimônio, resultou e resulta na degradação de diversos sítios e paisagens. Destaca-se aqui a potencialidade das pesquisas em geodiversidade e sua contribuição para a gestão ambiental, considerando que a equipe gestora efetivamente as utilize.

## 2.5 ANÁLISE DA DINÂMICA DAS COBERTURAS E USOS DA TERRA PARA A COMPREENSÃO DAS AMEAÇAS ANTRÓPICAS À GEODIVERSIDADE

A pressão das ameaças à geodiversidade intensifica os impactos negativos na natureza. De acordo com Von Ahn et al. (2016), dependendo da forma de utilização do espaço, podem-se desencadear alterações no meio físico, sendo alterações intensas e contínuas, manifestando-se na morfodinâmica e morfogênese dos ambientes. Ao se abordar a forma de utilização do espaço, invariavelmente adentra-se na abordagem de cobertura e uso da terra.

A denominação “cobertura e o uso da terra” pode ser considerada um conceito híbrido, onde a *cobertura* diz respeito aos atributos físicos da superfície da Terra, como campos, florestas e áreas úmidas. O termo *uso* se caracteriza como a parcela que o ser humano insere e ou maneja sobre a superfície, como utilização do espaço para mineração, a expansão urbana, práticas agrícolas dentre outras formas de exploração (MCCONNELL; MORAN, 2000 apud ALVES, 2004).

Adotando a mesma ideia de Simon (2007, p.23), que utiliza o termo uso da terra para “identificar as transformações ocorridas em um determinado espaço, em um dado período de tempo”, verifica-se a importância de identificar a dinâmica de cobertura e uso da terra quando abordada a temática do ambiente físico. Da mesma forma relata o IBGE (2006, p.22) “o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra é fundamental para orientar a utilização racional do espaço”.

Assim, os dados de cobertura e uso da terra possibilitam a compreensão da relação entre a sociedade e os recursos naturais. Existem diferentes métodos para obtenção destes dados, a partir de imagens de satélites, onde o usuário pode tratá-las de forma supervisionada ou não supervisionada em ambiente SIG ou, como destacam Sena-Souza et al. (2022, p.2) “nas últimas décadas surgiram esforços governamentais e redes de pesquisa para o mapeamento da dinâmica de uso e cobertura da terra no Brasil em escala espacial e temporal detalhadas”. Neste segundo caso pode-se citar os dados disponibilizados pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias).

O MapBiomias é um projeto que envolve universidades, empresas e organizações não governamentais, e assim, promove um mapeamento anual de todo

o território do Brasil, com dados de cobertura e uso da terra, monitoramento de queimadas, dados de infraestruturas entre outros (SOUZA et al., 2020). Especificamente para a cobertura e uso da terra, salienta-se a disponibilidade de dados desde o ano de 1985, com atualizações anuais, sendo que o último registro disponível corresponde ao ano de 2021. Com um total de sete coleções, em cada uma delas são realizadas alterações nos períodos de abrangência dos mapas anuais, mudanças na legenda ou correções em relação às versões anteriores (MAPBIOMAS, 2022).

A importância de bases de dados como do MapBiomass, corrobora com Simon et al. (2010). Os autores mencionam que tais informações de usos da terra são fundamentais, pois permitem visualizar os elementos-chaves para a identificação da gênese das intervenções antrópicas nos ambientes. Estas intervenções antrópicas, quando não planejadas, são consideradas ameaças à geodiversidade.

Desta forma, o correlacionar áreas obtidas através da avaliação quantitativa da geodiversidade, especificamente locais com grande variabilidade dos elementos abióticos, com informações espaço-temporais de cobertura e uso da terra, como são os dados do MapBiomass, auxiliam no processo de identificação das possíveis ameaças presentes em uma dada área. Corroborando com isto, Garcia (2019) relata que os impactos à geodiversidade estão diretamente relacionados ao uso da terra, muito potencializados pelo desenvolvimento desenfreado da exploração dos recursos naturais.

Ao considerar os usos da terra como uma possível ameaça, Simon (2007) explica que a análise da dinâmica das coberturas e usos da terra tem o papel de identificar áreas em que a ocupação e apropriação dos recursos naturais estão ocorrendo de forma indiferente a sua capacidade de regeneração. Partindo disto, ao se identificar as ameaças em áreas de elevado Índice de Geodiversidade, são obtidos produtos que podem auxiliar em proposta de planejamento territorial, pois à medida que uma área possua uma elevada geodiversidade, até então desconhecida, hipotética, sendo ela descoberta, caberá à decisão se a mesma deverá ser conservada ou não. Se estiver apta a ser conservada, aplicam-se então os princípios da geoconservação.

A caracterização de um ambiente natural bem como as organizações socioeconômicas possibilitam compreender a conjuntura da relação sociedade e

natureza. Desta forma, o capítulo a seguir especifica tanto o quadro natural quanto o quadro social do Município de São Lourenço do Sul, RS, a fim de compreender os distintos processos de formação da área de estudo.

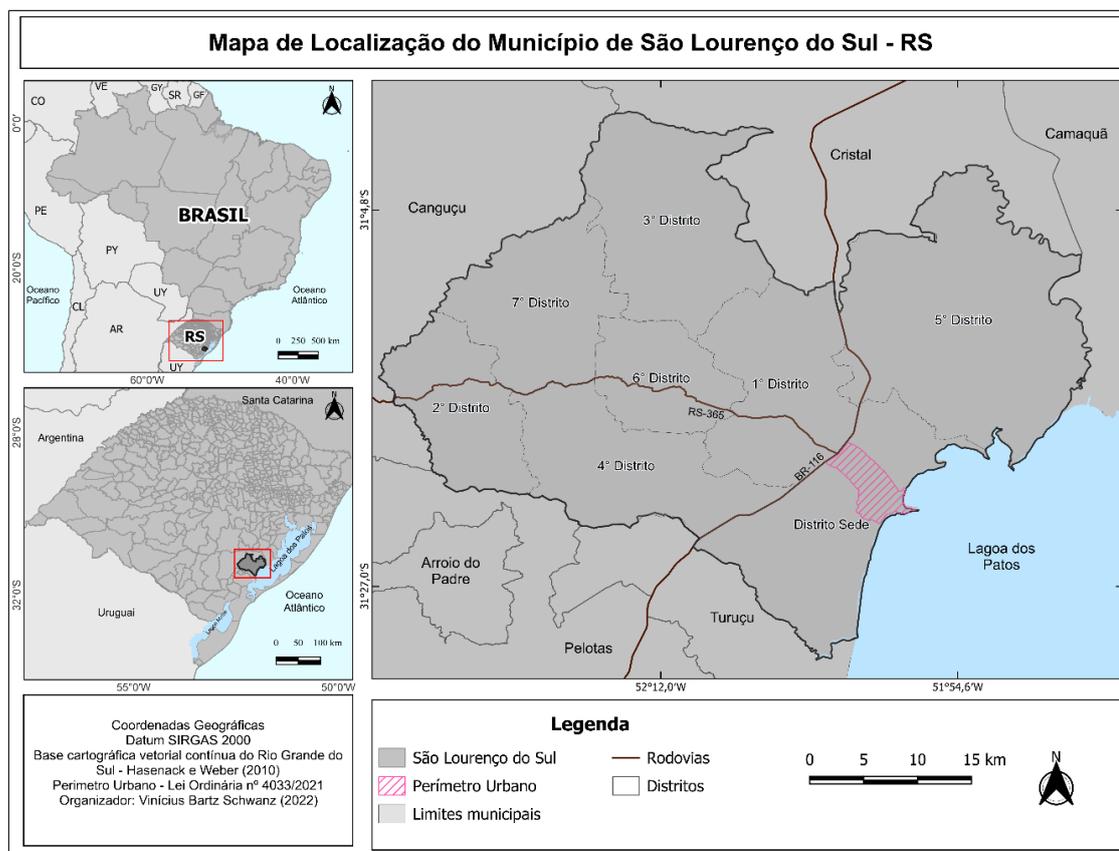
### **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

Como esta pesquisa trata da avaliação quantitativa da geodiversidade, os elementos abióticos caracterizados pela geologia, geomorfologia, pedologia e hidrografia (que se antecipam como principais componentes do quadro físico-natural da área de estudo e são tradicionalmente descritos no tópico da caracterização geral da área de estudo) serão apresentados como resultados da pesquisa. Assim, o presente capítulo abordará, de forma sistêmica, as características do quadro físico-natural e da formação territorial do Município de São Lourenço do Sul. Estas características demonstram a organização das distintas paisagens locais e revelam as condições particulares da geodiversidade e da cobertura e uso da terra que se estabeleceu ao longo do processo de ocupação e formação territorial do Município de São Lourenço do Sul.

#### **3.1 O MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL**

O Município de São Lourenço do Sul situa-se na região centro sul do Estado do Rio Grande do Sul, a aproximadamente 200 quilômetros da capital do Estado, Porto Alegre. Localizado na margem oeste da Lagoa dos Patos, o município possui uma área de 2.036km<sup>2</sup>. Os municípios limítrofes são: Camaquã, Cristal, Canguçu, Turuçu e Pelotas, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: O autor (2023).

Segundo levantamento do IBGE (2010), São Lourenço do Sul possui 43.111 habitantes, sendo que cerca de 50% da população total está inserida no perímetro urbano do município (localizado no distrito sede) enquanto o restante está distribuído na zona rural, isto é evidenciado quando visualizado na Tabela 1 a distribuição da população por distrito.

Tabela 1 - Distribuição da população por distrito no Município de São Lourenço do Sul.

DISTRITOS	POPULAÇÃO	POPULAÇÃO %
1° - Boqueirão	3.298	7,65
2° - Taquaral	2.853	6,62
3° - Esperança	2.502	5,80
4° - Harmonia	3.319	7,70
5° - Prado Novo	1.478	3,43
6° - Boa vista	2.674	6,20
7° - Faxinal	3.073	7,13
Distrito Sede	23.914	55,47
<b>TOTAL</b>	<b>43.111</b>	<b>100</b>

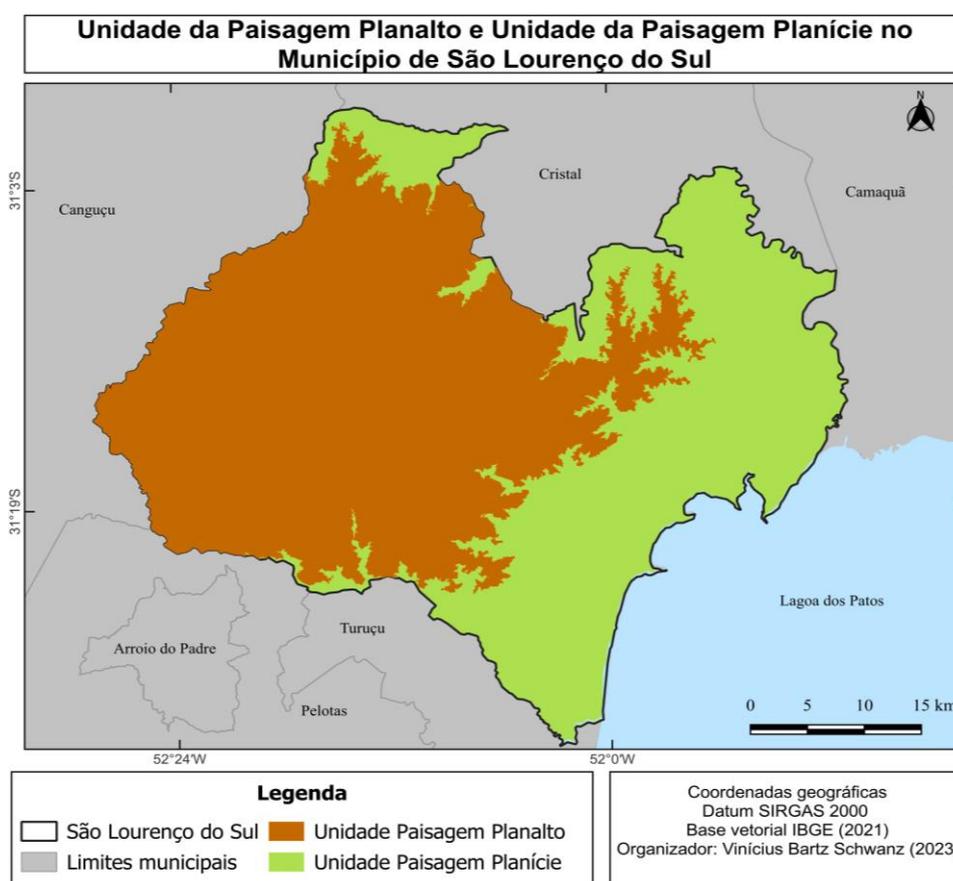
Fonte: IBGE (2010)

### 3.1.1 As distintas paisagens do Município de São Lourenço do Sul

Segundo Lima (2006), o Município de São Lourenço do Sul está assentado sobre duas grandes estruturas geomorfológicas: a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) e o Escudo Sul-Rio-Grandense. A autora denomina e delimita quatro unidades específicas da paisagem para o território do município: (i) a Unidade da Paisagem Planície, (ii) a Unidade da Paisagem Colinas, (iii) a Unidade da Paisagem Colinas/Domos e (iv) a Unidade da Paisagem Domos/Platôs.

Partindo das definições de Lima (2006), o presente estudo assumirá duas unidades da paisagem, a Unidade da Paisagem Planície e a Unidade da Paisagem Planalto, sendo que a última agregará as demais denominações para região do Escudo Sul-rio-grandense citadas anteriormente (Unidade da Paisagem Colinas, Unidade da Paisagem Colinas/Domos e Unidade da Paisagem Domos/Platôs). Estas duas unidades da paisagem podem ser visualizadas no mapa da Figura 5.

Figura 5 - Mapa das Unidades da Paisagem assumidas para a área de estudo.



Fonte: O autor (2023)

Com isto, o Quadro 2 demonstra as Unidades da Paisagem agregadas, que formam as duas unidades assumidas, Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planalto.

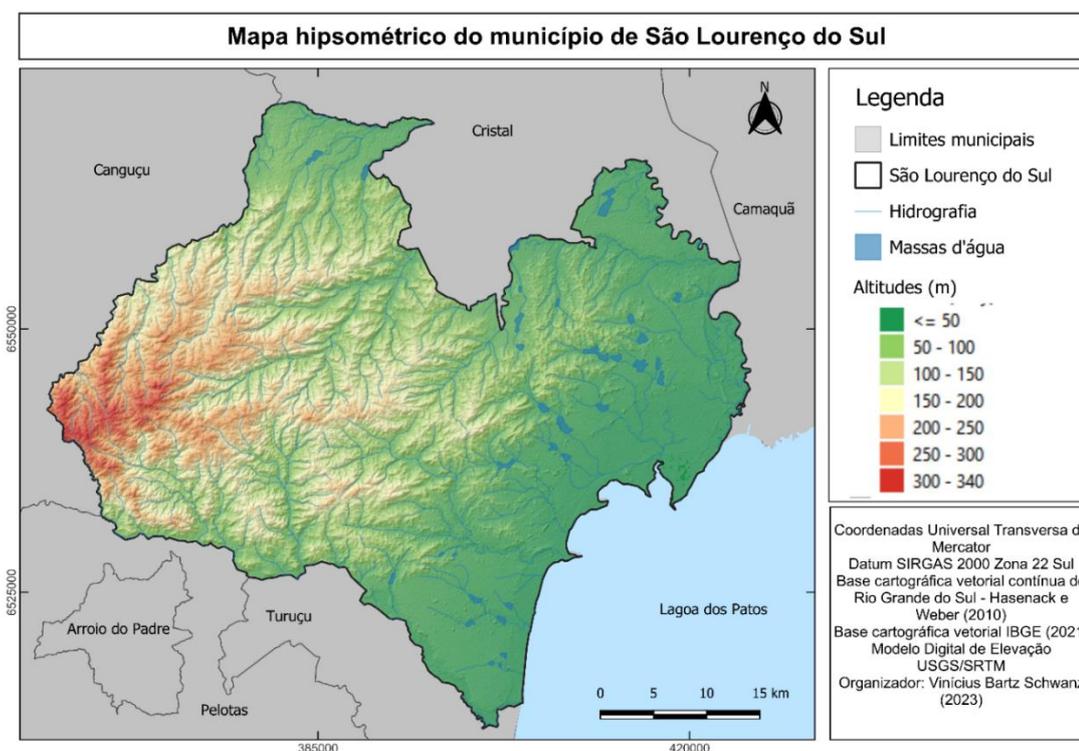
Quadro 2 - Resumo das Unidades da Paisagem assumidas para a área de estudo com base na proposta de Lima (2006).

<b>UNIDADE DA PAISAGEM PLANALTO</b>	(i) Unidade da Paisagem Colinas (ii) Unidade da Paisagem Colinas/Domos (iii) Unidade da Paisagem Domos/Platôs
<b>UNIDADE DA PAISAGEM PLANÍCIE</b>	(iv) Unidade da Paisagem Planície

Fonte: O autor (2023)

A Unidade da Paisagem Planície é representada pelas menores altitudes da área em estudo, com valores iguais ou menores a 50 metros, enquanto a Unidade da Paisagem Planalto corresponde às classes altimétricas mais elevadas, que alcançam aproximadamente 340 metros conforme demonstra a Figura 6.

Figura 6 - Mapa hipsométrico da área de estudo.



Fonte: O autor (2023).

As características tanto bióticas quanto abióticas auxiliam na compreensão dos distintos aspectos do ambiente que direcionam o processo de ocupação. A área de estudo encontra-se em uma área considerada como Bioma Pampa. Entretanto, há a influência da zona de transição, que apresenta com características, principalmente na Unidade da Paisagem Planalto, do Bioma Mata Atlântica.

Silva (2012, p. 217) o caracteriza o Bioma Pampa como

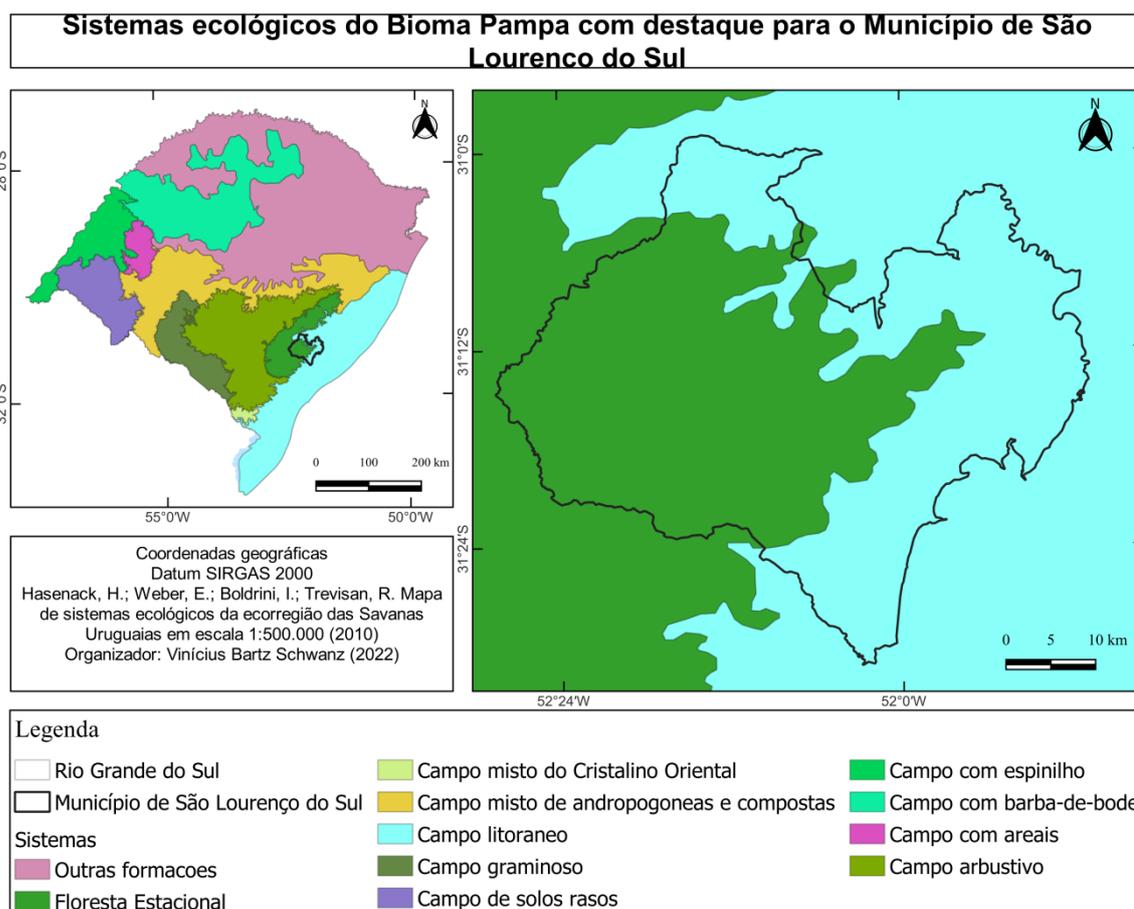
[...] um conjunto vegetal campestre relativamente uniforme sobre relevo de planícies onde predomina a cobertura vegetal do tipo estepe, e da campanha. Ao longo dos cursos d'água e nas encostas há a ocorrência de vegetação mais densa, arbustiva e arbórea.

Ainda, é possível destacar a vasta presença de áreas úmidas no Bioma Pampa, principalmente na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), onde regionalmente são denominados como banhados, sendo influenciados, como relatam Figueiró e Sell (2020), pelo fato do lençol freático estar sempre próximo à superfície, desta forma aflorando-se nestes “banhados” em vários pontos da região. Figueiró e Sell (2020) ainda destacam a influência dos elementos bióticos e abióticos no processo histórico de formação do Bioma Pampa.

A grande geodiversidade do Pampa Uruguaio Sul-Rio-Grandense, forjada por uma riqueza de processos orogenéticos e distintos e sucessivos paleoambientes na escala geológica de tempo, é responsável por sustentar uma riquíssima biodiversidade atual e uma cultura humana que moldou e foi moldada pela paisagem no processo histórico de transformação da natureza (FIGUEIRÓ; SELL, 2020, p. 19-20).

Visto esta riqueza de geodiversidade e biodiversidade do Bioma Pampa, na busca de uma maior compreensão das diferentes relações sistêmicas entre o ambiente físico e o biótico presentes na região, Hasenack et al. (2010) elaboraram um mapa delimitando sistemas ecológicos para a região das savanas uruguaias, compreendendo a área do Bioma Pampa como demonstra a Figura 7. A delimitação destes sistemas tomou como base variáveis de altitude, declividade, solo, vegetação e uso da terra.

Figura 7 - Mapa dos sistemas ecológicos do Bioma Pampa com destaque para a área de estudo.

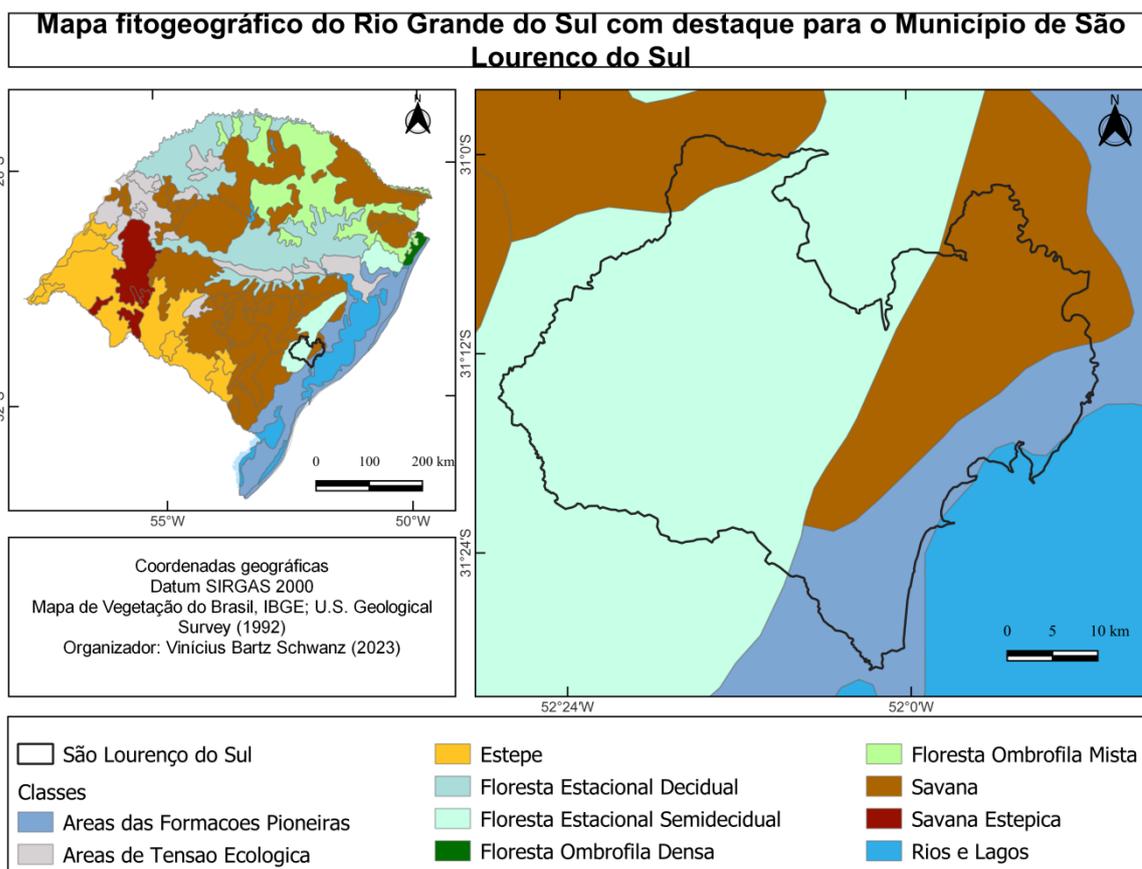


Fonte: Modificado de Hasenack et al. (2010).

O Município de São Lourenço do Sul detém dois sistemas ecológicos, o campo litorâneo (localizado predominantemente na Unidade da Paisagem Planície) e a floresta estacional (localizada predominantemente na Unidade da Paisagem Planalto). Ambos os sistemas que abrangem o Município de São Lourenço do Sul serão retomados nos itens que tratarão das Unidades da Paisagem da área de estudo.

De acordo com o mapeamento com ênfase na distribuição regional das fitofisionomias de vegetação natural do IBGE (1992), integrante do Projeto RADAMBRASIL, a área de estudo encontra-se sobre três classes: áreas de formações pioneiras, savana e floresta estacional semidecidual (Figura 8).

Figura 8 - Mapa fitogeográfico do Rio Grande do Sul com destaque para a área de estudo.



Fonte: Modificado de IBGE (1992).

Ainda, o Bioma Mata Atlântica, contemplado na área de estudo como transição, tem sua denominação pela proximidade e dinâmica influenciada pelo Oceano Atlântico, possui formações florestais nativas como Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual (presente na área de estudo) e Floresta Estacional Decidual. Ainda, possui seus ecossistemas associados, como manguezais, vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encraves florestais do Nordeste (BRASIL, 2006).

As características que compreendem o Bioma Pampa, o Bioma Mata Atlântica, os Sistemas ecológicos (Hasenack et al., 2010) e Fitogeográficos (IBGE, 1992), são resultados de diversos processos de formação tanto geológica como das relações entre os elementos bióticos, que ao longo do tempo moldaram as distintas Unidades da Paisagem. Estas características influenciam no processo de ocupação, pois dependendo da tipologia do relevo, tipo de solo, vegetação, disponibilidade hídrica, dentre outros fatores, se estabelece condicionantes para o desenvolvimento de

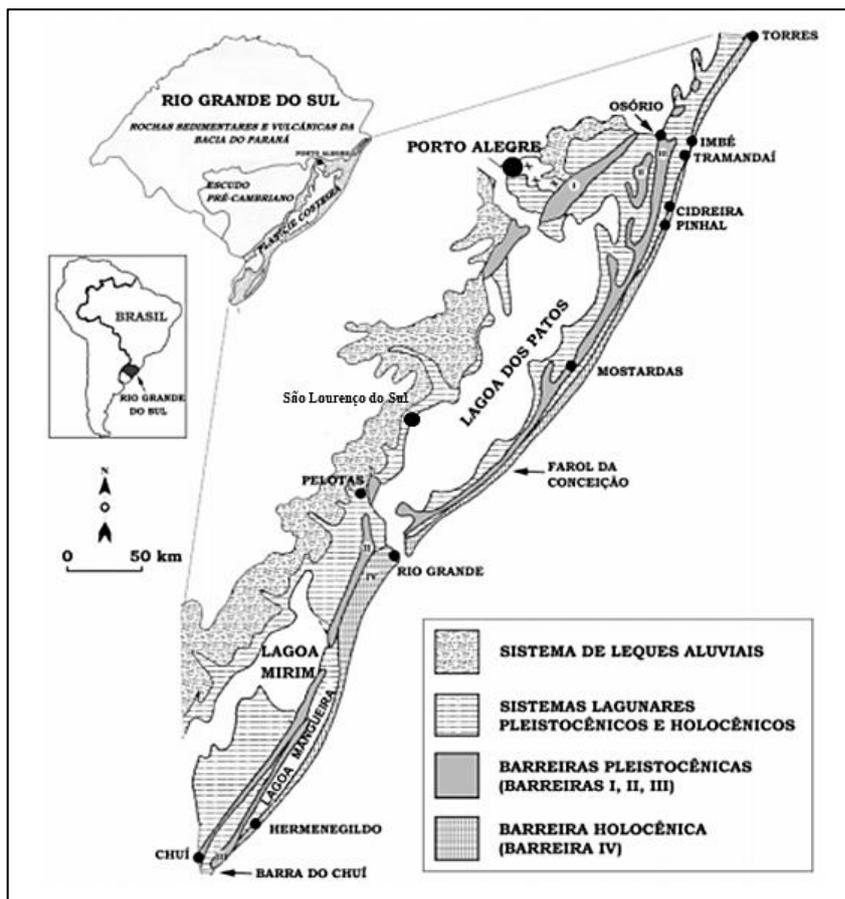
práticas que utilizam os recursos naturais. Desta forma, passa-se à apresentação com mais detalhes de cada uma das Unidades da Paisagem.

### 3.2 UNIDADE DA PAISAGEM PLANÍCIE

A Unidade da Paisagem Planície faz parte da grande região geomorfológica denominada Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). A PCRS é caracterizada por sua morfologia de terrenos baixos e declives suaves. A gênese da região é definida a partir de eventos geotectônicos que fragmentaram o continente de *Gondwana* e resultou na abertura do Oceano Atlântico. Os sedimentos erodidos das terras mais altas, nos períodos Cretáceo e Cenozóico, acumularam-se e formaram os sistemas deposicionais que deram origem a PCRS. No Município de São Lourenço do Sul os sedimentos são provenientes de rochas ígneas e metamórficas do Escudo Sul Rio-grandense (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

A área da PCRS moldou-se durante o Quaternário, quando se desenvolveu um sistema de leques aluviais e quatro tipos de sistemas deposicionais denominados laguna-barreira (DILLENBURG et al., 2009), como ilustra a Figura 9. As barreiras se instalaram quando foram atingidos os denominados “máximos transgressivos”, sendo que estes foram responsáveis pela gênese dos corpos lagunares presentes na região, como a Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e Lagoa Mangueira (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000).

Figura 9 - Localização da Planície Costeira do Rio Grande do Sul e seus sistemas.



Fonte: Modificado de Tomazelli e Villwock (2000).

A Unidade da Paisagem Planície compreende como demonstra a Figura 7 o sistema ecológico campo litorâneo. Este sistema, segundo Hasenack et al. (2010), possui características arenosas, desta forma, detém espécies selecionadas, principalmente de vegetações rasteiras como as gramíneas de porte baixo, radicantes<sup>1</sup> e que promovem uma boa cobertura do solo.

Nas unidades fitogeográficas assumidas pelo IBGE (1992), conforme a Figura 8, visualiza-se na Unidade da Paisagem Planície duas classes: as áreas de formações pioneiras e a savana. Segundo o IBGE (2012) as áreas de formações pioneiras caracterizam-se por terrenos instáveis, possuem uma vegetação em constante

<sup>1</sup>Vegetação que produz ou é capaz de produzir raízes.

sucessão, de terófitos<sup>2</sup>, criptófitos (geófitos e hidrófitos)<sup>3</sup>, hemicriptófitos<sup>4</sup> e caméfitos<sup>5</sup>. Ainda, na faixa de transição entra a Unidade da Paisagem Planície para a Unidade de Paisagem Planalto, verifica-se a área de savana, a qual caracteriza-se, de modo geral, pelo predomínio das plantas herbáceas, havendo pequenos aglomerados de árvores dispersas.

Para toda a área da Unidade da Paisagem Planície, Lima (2006) relata características da vegetação presente.

Aparece também as matas ciliares, com estreita faixa de vegetação arbustiva, algumas de copas larga e grande número de coqueiros. Na região alagadiça do litoral da laguna aparecem ainda aguapés, gravatás, banana do mato, salso, figueiras, gramíneas e ciperáceas (Lima, 2006, p. 76).

Ainda neste contexto, Sodré et al. (2021) indicam que à medida em que ocorre o processo de transição, no caso das duas unidades da paisagem ligadas às características físicas, a vegetação também se modifica. Enquanto na Unidade da Paisagem Planície ocorrem formações herbáceas, vegetação rasteira com a presença de arbustos e árvores de pequeno porte, a Unidade da Paisagem Planalto se caracteriza pelas matas mistas.

### 3.3 UNIDADE DA PAISAGEM PLANALTO

A Unidade da Paisagem Planalto compreende parte da região geomorfológica do Escudo Cristalino Sul-rio-grandense (Figura 10).

---

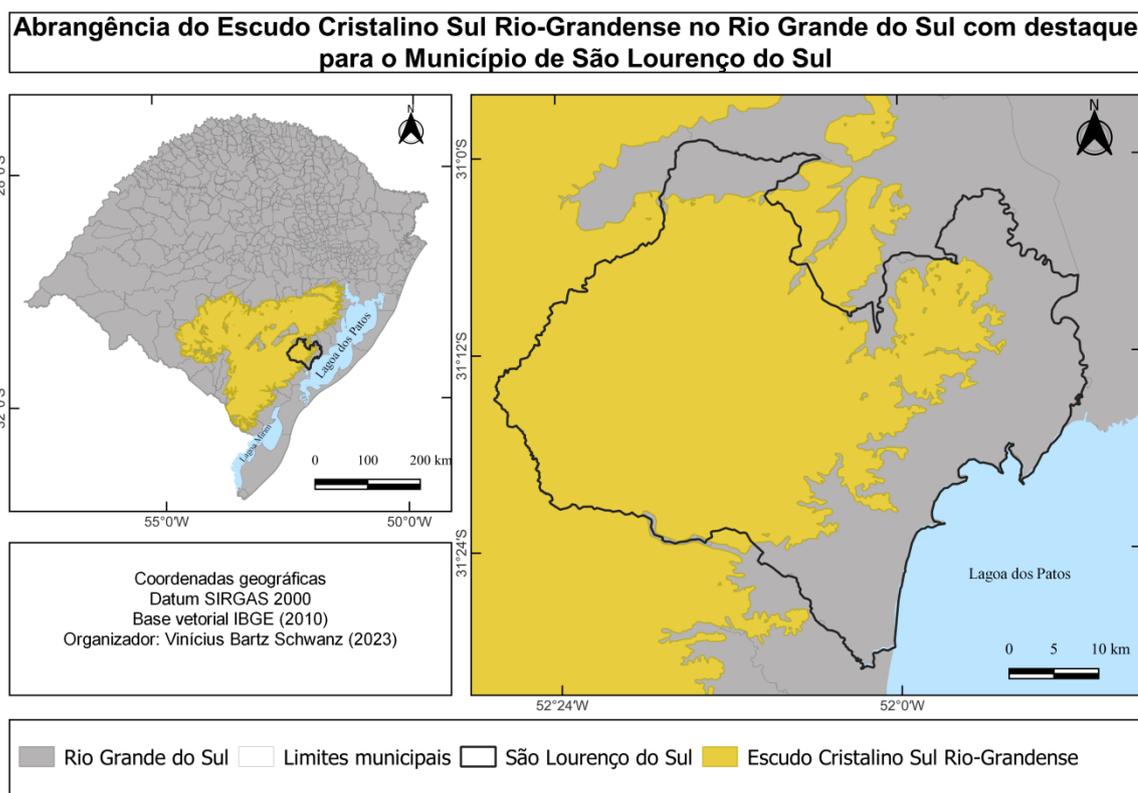
<sup>2</sup>“São vegetais que completam seu ciclo de vida, desde a germinação até a maturação de seus frutos, dentro de uma mesma estação favorável e cujas sementes sobrevivem à estação desfavorável protegidas pelo substrato” (MARTINS; BATALHA, 2011, p.55).

<sup>3</sup>Apresentam gemas vegetativas no sistema subterrâneo (solo ou água) (MARTINS; BATALHA, 2011).

<sup>4</sup>Apresentam gemas vegetativas também no sistema subterrâneo, contudo no nível do solo e não abaixo dele (MARTINS; BATALHA, 2011).

<sup>5</sup>Apresentam gemas vegetativas no sistema aéreo, sendo acima da superfície do solo (MARTINS; BATALHA, 2011).

Figura 10 - Área de abrangência do Escudo Cristalino Sul Rio-Grandense.



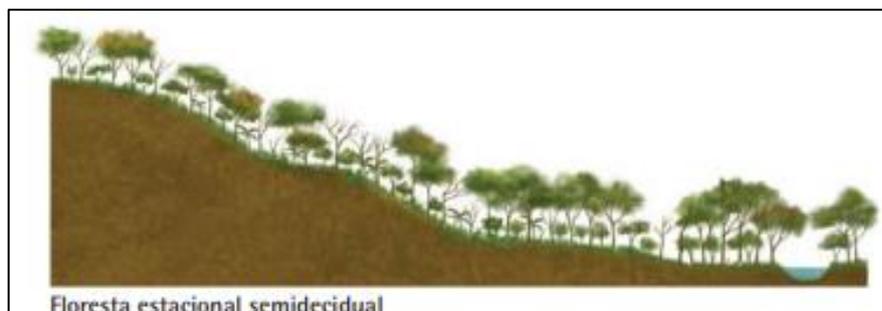
Fonte: Modificado de IBGE (2010)

O Escudo Cristalino Sul Rio-Grandense é formado por rochas do período geológico Pré-cambriano, correspondendo a um núcleo localizado após a formação da bacia do Paraná, sobretudo posterior ao evento efusivo basáltico na Era Mesozoica, também classificado como núcleo catiônico Uruguaio-Rio-grandense (SODRÉ et al., 2021). A área do Escudo Sul-rio-grandense constitui a estrutura mais antiga do estado do Rio Grande do Sul. Segundo Suertegaray e Guasselli (2012) apresenta variações de altitude de 100 a 400 metros, com intensos processos de dissecação e uma grande heterogeneidade de relevos. Sobre isto, os autores mencionam que

o relevo é formado por superfícies extensas, conservadas pela resistência ao intemperismo das rochas graníticas (espigões), contrastando com superfícies altamente disseçadas em virtude das alternâncias dos minerais das rochas (SUERTEGARAY; GUASSELLI, 2012, p. 35).

Segundo o mapeamento de Hasenack et al. (2010) e do IBGE (1992), a Unidade da Paisagem Planalto contempla a floresta estacional semidecidual, característico do bioma Mata Atlântica, conforme demonstra a Figura 11.

Figura 11 - Demonstração das características da Floresta estacional semidecidual.



Fonte: Adaptado de IBGE (2007).

É possível verificar diferentes características, sobretudo uma cobertura considerada mais densa, com fisionomias florestais, bem como uma parcela pequena de espécies com fisionomias campestres (CORDEIRO; HASENACK, 2009). Corroborando com isto, Suertegaray e Guasselli (2012) relatam que a área é caracterizada pela presença de uma mata mista, possuindo cobertura vegetal considerada densa. Identifica-se que esta cobertura vegetal densa, predominantemente arbórea, é resultado de um relevo altamente dissecado, onde é possível individualizar setores bem definidos de cristas alinhadas e vales entalhados

Ainda, Lima (2006) indica que o conceito ecológico desta unidade está associado a uma dupla estacionalidade climática,

uma tropical, com época de intensas chuvas de verão seguida por estiagens acentuadas, e outra subtropical sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio do inverno, com temperaturas inferiores a 15°C (LIMA, 2006, p.77).

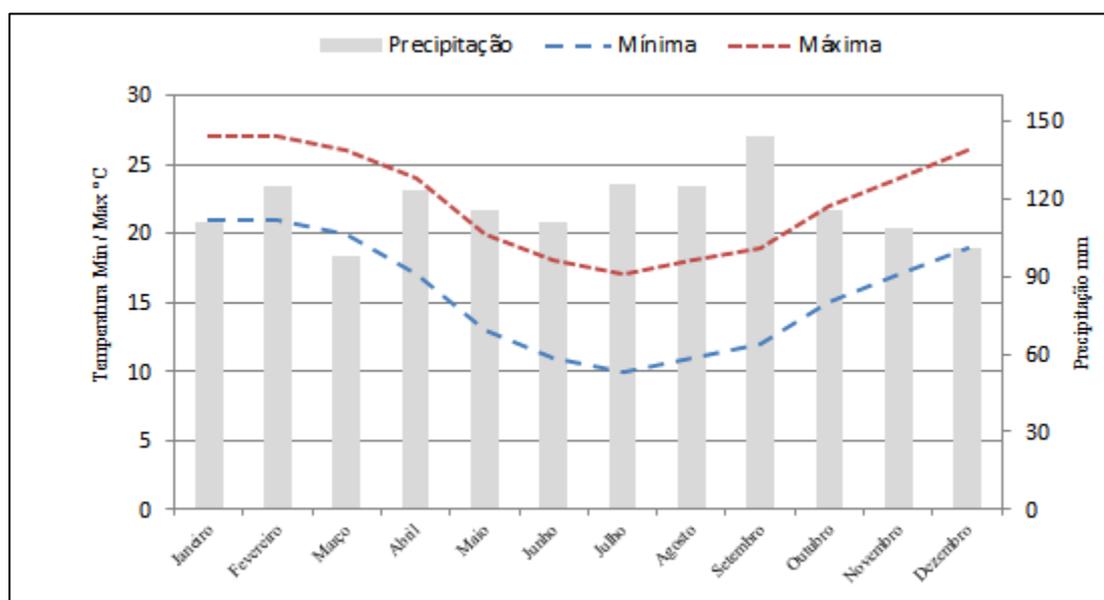
Visto isso, considera-se que as condições climáticas estão diretamente associadas às características tanto bióticas quanto abióticas e assim, analisar a conjuntura destas condições subsidiam a melhor compreensão da área de estudo.

### 3.4 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

De forma geral, ambas as unidades da paisagem que compreendem a área de estudo encontram-se sob iguais condições climatológicas, conforme a classificação de Köppen. A área é caracterizada como subtropical úmida, inserida na classificação Cfa (temperado, com chuvas bem distribuídas e verões suaves).

O município possui estações do ano bem definidas. A Figura 12 demonstra as condições de precipitação e temperatura média mensal para o Município de São Lourenço do Sul. Identifica-se que o verão apresenta temperaturas médias entre 20 e 26°C, o inverno com médias entre 11 e 18°C e as duas estações consideradas intermediárias, outono e primavera, ambas com uma temperatura média entre 15 e 22°C. O regime de chuvas se mantém uniforme ao longo do ano, oscilando entre 1.300 a 1.400mm.

Figura 12 - Temperatura e precipitação média ao longo de 30 anos no Município de São Lourenço do Sul - RS.



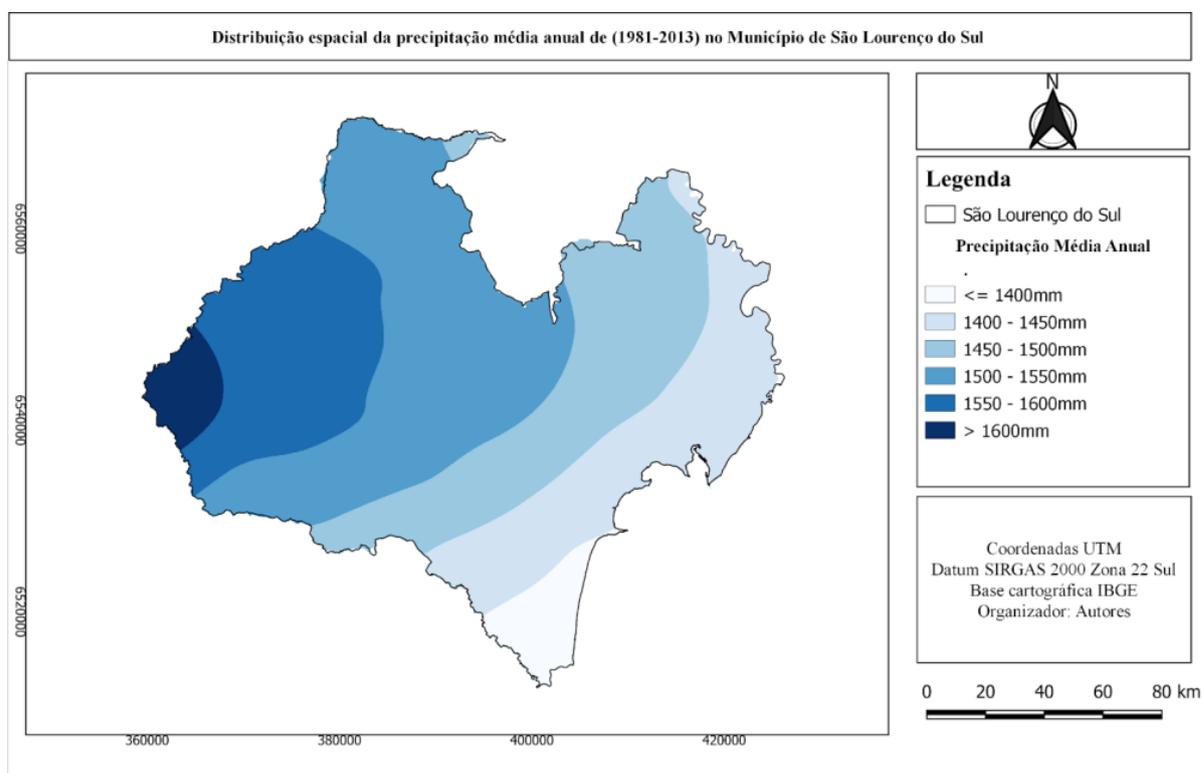
Fonte: Modificado de CLIMATEMPO (2022).

As variabilidades interanuais da precipitação no sul do Brasil têm sido associadas ao fenômeno do *El Niño Oscilação Sul* (ENOS) em suas fases *El Niño*, mais chuvoso, e *La Niña*, com menor precipitação e ocorrência de estiagens (BERLATO; FONTANA, 2003). Com isto, Schwanz et al. (2023) observam que no Município de São Lourenço do Sul, a gênese das precipitações pluviais pode estar tanto associada ao contraste entre duas massas de ar quanto às características

barométricas, térmicas e higrométricas da própria massa de ar. Ainda, localmente contribuem para a distribuição espaço temporal do total precipitado, os sistemas frontais, mas também o efeito convectivo (ou térmico) alimentado pelo processo de evaporação sobre a Lagoa dos Patos bem como o relevo (SCHWANZ et al., 2023).

É possível visualizar a partir da distribuição espacial da precipitação média anual em uma normal climatológica (Figura 13), que a precipitação na área de estudo está muito condicionada ao relevo. Percebe-se que na Unidade da Paisagem Planalto ocorre a concentração de maiores valores de precipitação, enquanto na Unidade da Paisagem Planície, observa-se uma queda nos valores. Esta influência do relevo na distribuição da precipitação é denominada de chuva orográfica, a qual se origina quando uma massa de ar úmida, proveniente em sua maioria do oceano, choca-se com as áreas mais elevadas impulsionando-a e ganhando altitude, assim ao encontrar uma massa de ar frio, acaba se condensando e precipitando majoritariamente na encosta de uma serra.

Figura 13 - Distribuição espacial média de precipitação na área de estudo (1981 – 2013).



Fonte: Schwanz e Collischonn (2022).

### 3.5 PROCESSO DE OCUPAÇÃO E ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DE SÃO LOURENÇO DO SUL

Ambas as Unidades da Paisagem Planície e Planalto apresentaram distintos processos de ocupação do território. Esta diferenciação em muito foi influenciada pelos elementos do quadro natural, tendo o processo de exploração dos recursos naturais, pecuária e agricultura, como os principais vetores para sua ocupação.

De modo similar à área de estudo, o estado do Rio Grande do Sul também apresentou diferentes processos de ocupação. Moreno (1972) relata que “no Rio Grande do Sul a posição da cobertura vegetal campo-mata influenciou na ocorrência de diferentes fases de povoamento e numa dicotomia das formas de ocupação” (MORENO, 1972, p.47). Destaca-se que a gênese de ocupação do Município de São Lourenço do Sul data do final do século XVIII, quando militares luso-brasileiros receberam do governo imperial grandes extensões de terras denominadas “sesmarias” (COSTA, 1984).

Estas sesmarias estavam localizadas na planície do município, pois o principal objetivo destes colonizadores era a prática da pecuária, onde necessitavam de amplas áreas planas, que possibilitassem a existência de grandes pastagens para tal prática, “Nas Terras planas e de pastagens ricas, desenvolveram-se as estâncias, predominando o homem luso-brasileiro, dedicando-se à criação de gado e a sua exploração através das charqueadas<sup>6</sup>” (COSTA, 1984, p. 41).

A prática da pecuária logo se consolidou na região, assim ampliou-se ainda mais um desinteresse pela região do planalto, principalmente pela dificuldade de acessos, suas pequenas áreas de campo e suas grandes e densas zonas florestais. Costa (1984) destaca que a área de “terras dobradas”, caracterizando a heterogeneidade do relevo da Unidade da Paisagem Planalto, não era explorada pela impossibilidade de criar gado em áreas de vegetação densa e não compensava desmatá-la para a realização de tal prática.

Já com o desenvolvimento avançado das charqueadas bem como de outras atividades ligadas ao comércio, que tiveram seu início com o povoamento das fazendas na Unidade da Paisagem Planície, a região tornou-se um marco portuário.

---

<sup>6</sup> Propriedades rurais de produção de charque (carne salgada e seca ao sol), que segundo Pinheiro (2014) era baseada no escravismo.

Lima (2006) destaca que a área abrigava a maior frota de veleiros de carga do Rio Grande do Sul. Entretanto, em meados de 1850, o governo imperial introduziu uma nova perspectiva política, tendo como intenção para a região, a colonização focada em iniciativas de atividades agrícolas (MACHADO, 2011).

Este fomento muito foi potencializado pela baixa produção agrícola da região, havendo a necessidade de introduzir a figura de um homem do campo, designado à produção de gêneros alimentícios para o desenvolvimento do mercado interno (SIMON, 2007). Com isto, quase um século após a ocupação da planície (COSTA, 1984), a região da Unidade da Paisagem Planalto, antes esquecida pelos luso-brasileiros, pelas suas limitações naturais frente à prática da pecuária, começou a ser ocupada com o *start* dado pelo alemão Jacob Rheingantz.

Assim, em 1856, Jacob Rheingantz assinou junto ao governo imperial a obtenção de oito léguas de terras devolutas na área do planalto com a promessa de medi-las e povoa-las com colonos alemães, suíços e belgas (COSTA, 1984). Desta forma, em 1858, o alemão juntamente com o Coronel José Antônio de Oliveira Guimarães, firmaram um contrato no qual embarcaram 88 imigrantes, os quais em sua maioria eram da região da Pomerânia.

Corroborando com esta diferenciação na ocupação entre ambas as unidades da paisagem aqui descritas, Salamoni e Waskiewicz (2013, p.81) descrevem que

Até 1909 esse processo de colonização influenciou a organização da estrutura fundiária, fracionando os latifúndios e caracterizando a região montanhosa pela implantação da produção familiar em pequenas propriedades por imigrantes europeus não portugueses e, nas áreas de relevo plano, a ocupação por grandes proprietários luso-brasileiros.

Com a vinda dos imigrantes para a Unidade da Paisagem Planalto, as terras adquiridas por Jacob Rheingantz foram sendo divididas em pequenas propriedades. Estas propriedades contaram com o fomento à agricultura por parte do governo e ainda, o fato de que os imigrantes trouxeram consigo um *background* que refletiu nas relações de uso do solo, principalmente relacionado à produção agrícola. Desta forma, a região se tornou uma das maiores exportadoras de batata inglesa do Brasil (COSTA, 1984).

Além da produção e exportação da batata, a região do planalto destacava-se por produtos como feijão, batata doce, hortaliças e milho (COSTA, 1984; SALAMONI; WASKIEWICZ, 2013). Esta produção de diversos produtos serviu como vetor para a expansão do porto localizado na foz do arroio São Lourenço, que ocorre na Lagoa dos Patos. Maltzahn (2011) cita que os colonos transportavam em carroças, desde a serra até as proximidades do porto, onde havia se estabelecido um aglomerado de casas de exportações, comerciantes e moradores que ali trabalhavam, e que futuramente se constituiria na área urbana do município.

De acordo com Maltzahn (2011), a região de serra foi essencial quando somada com a posição do arroio São Lourenço para o fortalecimento da exportação e intensificação do comércio local. Pode-se afirmar então que o território despertou economicamente com a junção tanto da agricultura da Unidade da Paisagem Planalto quanto com a pecuária da Unidade da Paisagem Planície.

### 3.6 PANORAMA ATUAL DAS UNIDADES DA PAISAGEM

O dinamismo das duas unidades da paisagem evidencia os diferentes processos de relação sociedade e natureza na área em estudo. Kalikoski e Asmus (1996) trazem que a diferenciação destas duas unidades da paisagem assumidas para o quadro natural da área de estudo, juntamente com os fatores socioeconômicos, definiram os padrões que refletem distinções no que tange ao processo de ocupação e uso da terra da área até o presente momento.

Esta diferença étnica na ocupação do território influencia, ainda na atualidade, uma diferenciação na organização espacial das duas porções de relevo dos municípios de Pelotas e São Lourenço do Sul. Ou seja, grandes propriedades nas terras de planície, ocupada pelos portugueses, e as pequenas propriedades na Serra dos Tapes, ocupada pelos colonos. Ainda, marcada pela presença da produção de arroz e gado de corte nas terras baixas da Planície e uma maior diversidade produtiva na região serrana, de base familiar, com produção de milho, batata, hortaliças, feijão, entre outros produtos agrícolas (SALAMONI; WASKIEWICZ, 2013, p.81).

Lima (2006), por sua vez, indica que até o momento, ambas as Unidades da Paisagem mantiveram suas características históricas herdadas, a Unidade da Paisagem Planície, com grandes áreas sendo ocupadas por atividades de rizicultura

e pecuária, tendo mais particularmente na área urbana, o desenvolvimento de atividades voltadas ao turismo. A Unidade da Paisagem Planalto, por sua vez, caracterizada pelas atividades agrícolas voltadas ao cultivo de soja, milho, batata, fumo e gado leiteiro. O resultado de todo o processo distinto de ocupação de São Lourenço do Sul, em suas duas unidades da paisagem, reflete suas características atuais.

Costa (1984) indica a relação social que o ser humano possui com a paisagem, esta relação está presente no contexto histórico da área de estudo, onde é possível visualizar marcas geográficas ainda presentes. Essas marcas geográficas podem ser percebidas tanto na dinâmica ambiental, como supracitado no que se refere à cobertura e uso da terra, assim como em toponímias locais. Neste contexto, a Unidade da Paisagem Planalto possui localidades com denominações que envolvem o ambiente físico e histórico. Alguns exemplos podem ser citados, como Serra Velha, Coxilha Alta, Coxilha do Barão, Coxilha Negra, Cerro dos Negros, Cerro Chato, Cerro Alegre, Cerro da Cascavel, Monte Alegre. O mesmo ocorre na Unidade da Paisagem Planície, pode-se citar o Banhado Grande, Banhado do Caipira e Sesmaria.

Desta forma, ao se abordar as características do quadro ambiental e social, partindo da premissa de que existem duas Unidades da Paisagem para a área de estudo, permite evidenciar diferentes processos que caracterizam a relação humana com a natureza. Esta relação possui diferenciações entre as unidades, desta forma, buscar metodologias que possam reconhecer e explorar tais relações perpassa pela compreensão da dinâmica de coberturas e usos da terra bem como pela avaliação da geodiversidade. Para isto, o próximo capítulo abordará os materiais e métodos utilizados na presente pesquisa que permitiram a obtenção dos resultados.

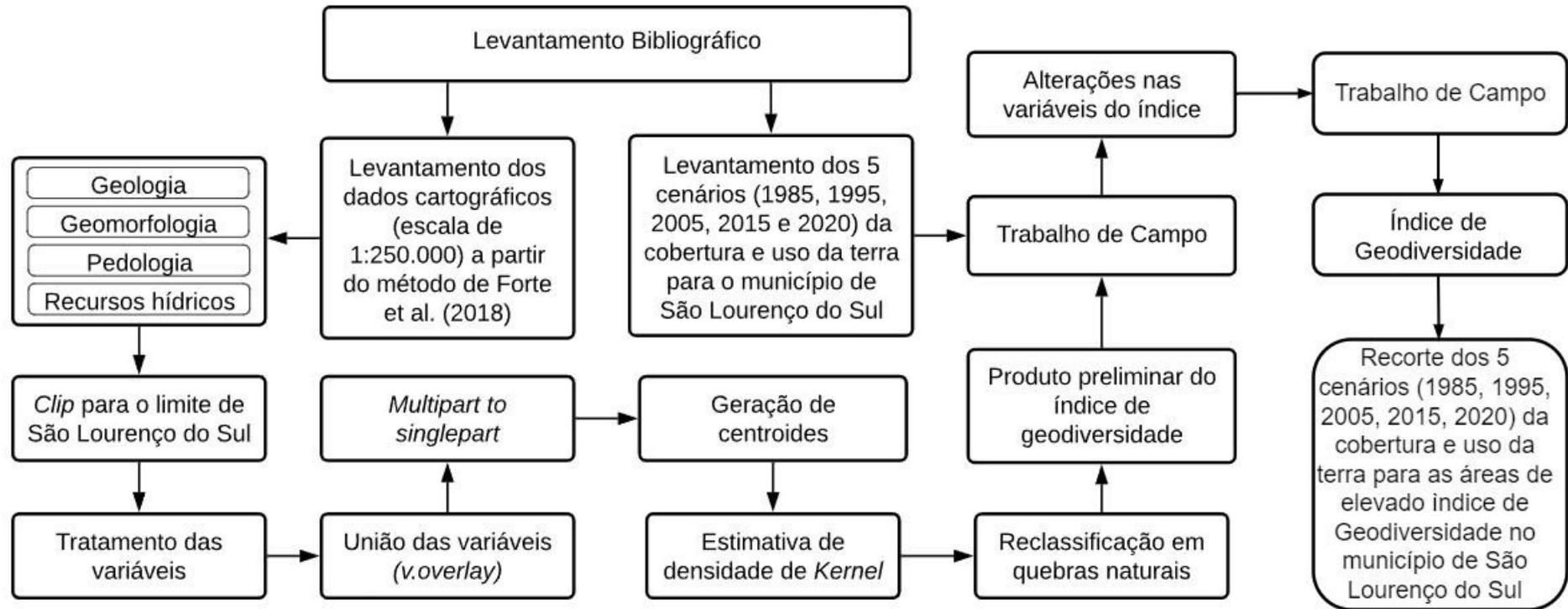
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente cabe destacar que não existe um único procedimento metodológico para a avaliação quantitativa da geodiversidade, como demonstrado no Capítulo 2. Forte (2014), afirma que “qualquer método trata sempre uma parte de um todo, naturalmente representativa e fundamental para a compreensão deste mesmo território” (FORTE, 2014, p. 195). Partindo disto, os materiais e métodos aplicados nesta pesquisa buscaram avaliar quantitativamente a geodiversidade no Município de São Lourenço do Sul por meio da obtenção de um Índice de Geodiversidade com base na proposição de Forte et al. (2018).

Tendo em vista os objetivos definidos para a pesquisa, o presente capítulo apresenta, na sequência, os materiais e procedimentos metodológicos desenvolvidos, desde o levantamento bibliográfico e cartográfico até a aplicação dos procedimentos para obtenção do Índice de Geodiversidade, a obtenção dos dados da dinâmica de coberturas e usos da terra tanto para o município quanto para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade, os trabalhos de campo e os procedimentos realizados após os trabalhos de campo (fundamentais para a avaliação da proposta metodológica e adaptações necessárias). De forma resumida, o fluxograma na Figura 14 ilustra como a pesquisa se desenvolveu.

Figura 14 - Síntese dos procedimentos metodológicos empregados na pesquisa.



Fonte: O autor (2023).

## 4.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esta etapa procurou analisar literaturas para compreender as relações entre a geodiversidade e as coberturas e usos da terra, para a caracterização da área de estudo, identificação e aplicação de métodos bem como para auxiliar na análise dos resultados. As pesquisas foram realizadas em portais de periódicos eletrônicos, tanto nacionais quanto internacionais, como Google Acadêmico, CAPES, SCieLO bem como em livros físicos do acervo pessoal e da Biblioteca Municipal de São Lourenço do Sul. Os conceitos utilizados para as buscas nesta etapa teórico-metodológica compreenderam: geodiversidade, geopatrimônio, análise quantitativa com auxílio do geoprocessamento, avaliação da geodiversidade, ameaças à geodiversidade e coberturas e usos da terra.

Para caracterizar a área de estudo, foram utilizados livros, artigos e teses com foco na historicidade da distribuição social e econômica. Para o quadro físico-natural buscou-se compreender a partir de uma perspectiva mais ampla, partindo de sua formação no tempo geológico, bem como na identificação das características de formação no tempo histórico. Ainda, verificou-se distintos trabalhos, referentes aos elementos abióticos, bióticos que versavam sobre a temática, a fim de subsidiar os procedimentos metodológicos aplicados na pesquisa. Por fim, para construção dos resultados foram utilizados artigos, dissertações, teses e livros que auxiliassem na construção das análises.

## 4.3 LEVANTAMENTO CARTOGRÁFICO E ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS EM SIG

Para o levantamento cartográfico, considerando os objetivos da pesquisa, tomou-se por base a orientação metodológica para obtenção do Índice de Geodiversidade a partir de Forte et al. (2018). Para isto, os dados cartográficos que constituíram a base de dados espaciais da pesquisa foram obtidos em *sítes* governamentais e não governamentais nacionais, conforme listados no Quadro 3. No decorrer do texto serão detalhados os procedimentos relacionados à utilização do material cartográfico.

Quadro 3 - Materiais cartográficos utilizados na pesquisa.

	<b>Material</b>	<b>Escala</b>	<b>Fonte</b>	
Índice de Geodiversidade	<b>Geologia</b>	Litologia	1:250.000	IBGE
		Falhas/lineamentos	1:250.000	IBGE
	<b>Geomorfologia</b>	Unidades do Relevo	1:250.000	IBGE
		Curvas de Nível/Altimetria	1:250.000	FEPAM/RS
	<b>Pedologia</b>	Unidades de Solos	1:250.000	IBGE
	<b>Recursos Hídricos</b>	Hidrografia	1:250.000	FEPAM/RS
		Massas d'água	1:250.000	FEPAM/RS
		Áreas Úmidas	1:250.000	FEPAM/RS
		Hidrogeologia	1:250.000	IBGE
	<b>Cobertura e uso</b>	Cenários de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020	30m	MapBiomas
	<b>Limites</b>	Federal	1:250.000	IBGE
		Estadual	1:250.000	IBGE
Município de São Lourenço do Sul		1:250.000	IBGE	
Perímetro Urbano de São Lourenço do Sul		<sup>7</sup> -	Lei Municipal 4033/2021	

Fonte: O autor (2023).

Como foi adotada a base cartográfica na escala de 1:250.000, todas as variáveis utilizadas seguiram a mesma escala para garantir o mesmo nível de detalhamento. As técnicas cartográficas e de geoprocessamento foram realizadas em ambiente SIG, utilizando o *software* de código aberto QGIS 3.22. Na entrada dos dados no ambiente, foi feita uma revisão do sistema de referência espacial dos dados, adotando-se o Sistema de Referência SIRGAS 2000, Zona 22 Sul e a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

Todas as variáveis utilizadas (Quadro 2) passaram pelo procedimento de ajuste ao limite da área de estudo. Para isto utilizou-se a ferramenta *clip*, que visa delimitar uma camada de entrada considerando outra camada, que neste caso refere-se ao limite territorial do Município de São Lourenço do Sul. Os produtos do procedimento de recorte (*clip*) foram as variáveis geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos contemplando a área de estudo.

<sup>7</sup> O dado não possui escala pois sua delimitação se deu a partir da plotagem das coordenadas a partir da Lei N.º 4.033/2021, a qual propôs a ampliação do perímetro urbano.

Ao visualizar as camadas de informação que compreendem as variáveis ambientais citadas, identificou-se que para a geologia, geomorfologia e pedologia os polígonos de massas d'água ficaram sobrepostos nas mesmas áreas. Para eliminar estas inconsistências, foi realizado o procedimento de exclusão destes polígonos, uma vez que este atributo está contemplado na variável “massas d'água” do grupo Recursos hídricos de forma independente.

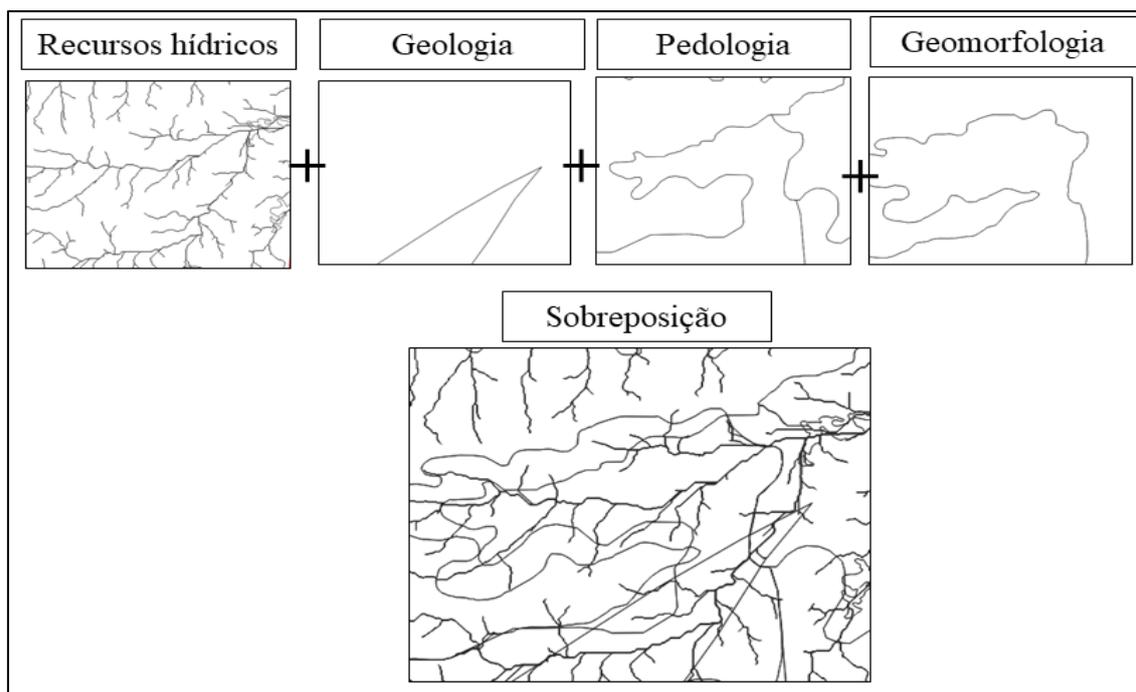
Diferentemente das demais variáveis, a hidrografia foi obtida inicialmente a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Para isto, foi utilizada a ferramenta *Channel Network and Drainage Basins* do software QGIS, que permitiu extrair a rede hidrográfica da área de estudo juntamente com a hierarquização dos canais a partir do modelo de classificação de Strahler. Para a área de estudo obteve-se hierarquia fluvial até a quinta ordem. Na sequência utilizou-se a ferramenta *buffer* para cada ordem hierárquica, isto porque o produto resultante está no formato de linhas e para a obtenção do Índice de Geodiversidade são necessários dados em polígonos. Assim, utilizou-se 5 metros para a classe 1, 10 metros para classe 2, 15 metros para classe 3, 20 metros para classe 4 e 25 metros para a classe 5. A definição destes valores de *buffer* derivaram de amostragens, realizadas no *Google Earth Pro*, da largura real dos canais para cada classe.

#### 4.4 OBTENÇÃO PRELIMINAR DO ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE

O método utilizado para obtenção do Índice de Geodiversidade tomou por base a proposição de Forte et al. (2018), indicado pelos autores para a gestão territorial em nível municipal, fato que corrobora a sua aplicação na área de estudo. A aplicação deste método perpassa pela compreensão da distribuição e variabilidade espacial dos elementos abióticos indicados no Quadro 2 na área em estudo.

O método é baseado na sobreposição de um conjunto de dados (*layers*), sendo eles recursos hídricos, geologia, pedologia e geomorfologia. O procedimento iniciou-se com a união dos *layers* em formato de polígonos através da ferramenta *v.overlay*. A ferramenta permite a sobreposição de polígonos que, quando agrupados, criam novas geometrias como demonstra a Figura 15.

Figura 15 - Resultado da sobreposição (união) das variáveis recursos hídricos, geologia, pedologia e geomorfologia.



Fonte: O autor (2023).

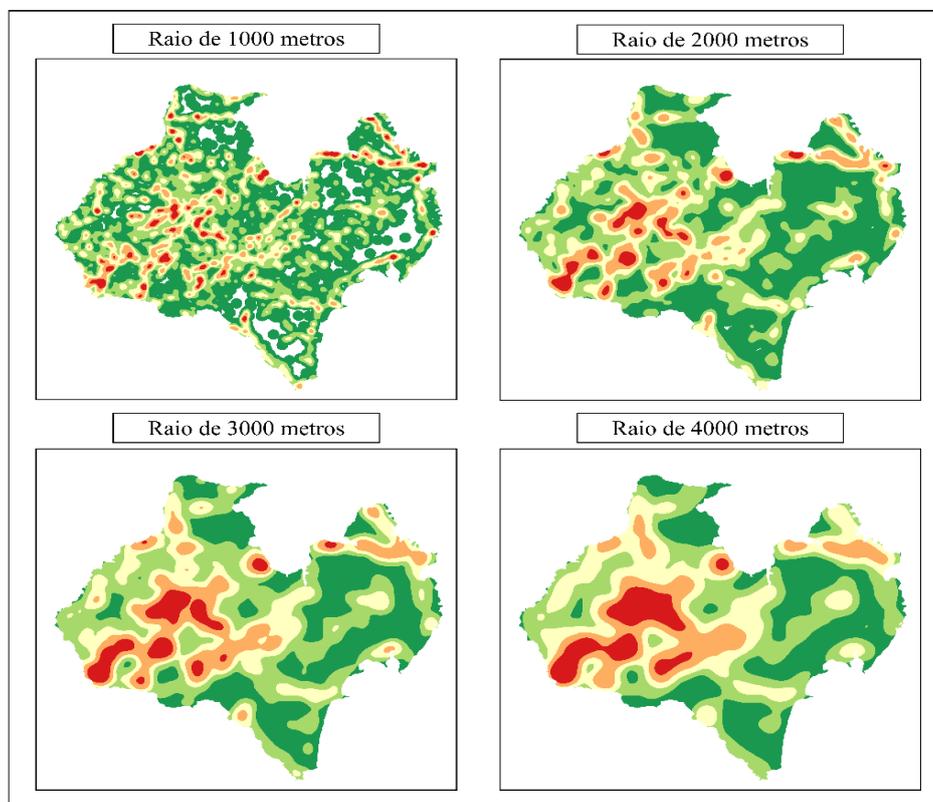
Posteriormente à criação destas novas geometrias, realizou-se o procedimento de obtenção de um centroide para cada polígono gerado na união das variáveis. Para isto, foi utilizada a ferramenta “*multipart to singleparts*” para separar diferentes polígonos que tenham os mesmos atributos, contudo localizações diferentes. Assim, considera-se que cada polígono está presente por si próprio e não como um grupo de polígonos com os mesmos atributos. Logo após, possibilitou a aplicação da ferramenta “*centroides*” para criar uma camada pontual que representa o centroide de uma geometria de entrada. Com o produto pontual gerado, os centroides de cada geometria, foi realizado o procedimento de “*estimativa de densidade de Kernel*”. Este procedimento permitiu obter uma camada *raster* que indica as áreas de concentração a partir das feições pontuais.

A *estimativa de densidade de Kernel* consiste em uma interpolação dos dados vetoriais, sendo que quanto mais próximos os centroides estiverem espacialmente um do outro, proporcionalmente será maior o valor de densidade (diversidade dos elementos abióticos), indicando os locais com elevada geodiversidade. Para este procedimento foi necessário definir parâmetros que nortearam os resultados. O usuário necessita definir o raio de influência da feição

pontual para a interação com seus vizinhos, como ressalta Borges (2013, p.124) “Na prática, o usuário poderá, também, arbitrar valores, procurando a melhor suavização dessa superfície de densidade, e a que melhor represente a realidade estudada.”.

No caso da presente pesquisa, foram realizados testes para definir o raio a ser utilizado na obtenção da superfície contínua que representa o Índice de Geodiversidade. Forte et al. (2018), em seu estudo com escalas de 1:200.000, aplicaram um raio de 2.000 metros. A partir deste exemplo, foram testados outros valores, sendo definido para a área de estudo, considerando a escala de 1:250.000 dos dados utilizados, o valor de 2.500 metros de raio. Os outros testes realizados compreenderam valores de raio menores, entre 1.000 e 2.000 metros, que resultaram na ocorrência de áreas vazias na área de estudo e raios maiores, entre 3.000 e 4.000 metros, que incorreram em maiores generalizações no que tange à densidade, evidenciando grandes manchas conforme demonstra a Figura 16.

Figura 16 - Valores testados para aplicação do raio de Densidade de Kernel para obtenção do Índice de Geodiversidade.



Fonte: O autor (2023).

O produto de densidade obtido foi reclassificado a partir do método de *quebras naturais*, uma vez que Forte et al. (2018) afirmam que esta representação dos dados permite maximizar as diferenças entre as classes para melhor representá-las. Para isso, os resultados obtidos para o Índice de Geodiversidade foram transportados para o *software* ArcGis 10.2, licenciado pelo Laboratório de Estudos Aplicados em Geografia Física (LEAGEF) da Universidade Federal de Pelotas. Assim, em *Layers Properties – Classified – Range*, obteve-se os valores atribuídos para cada intervalo de classe. A partir dos valores que representam os limites de cada classe no ArcGIS, realizou-se a reclassificação do produto em *quebras naturais* no QGIS utilizando a ferramenta *Reclassificar por tabela*, onde podem ser realizadas alterações nos valores numéricos do produto *raster*, atribuindo os valores para cada intervalo de classe. Foram definidas cinco classes para o Índice de Geodiversidade: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta como demonstra o Quadro 4.

Quadro 4 - Classes atribuídas ao Índice de Geodiversidade e seus respectivos códigos em RGB.

CLASSE	RGB
Muito baixa	R: 26 G: 152 B: 80
Baixa	R: 145 G: 207 B: 96
Média	R: 255 G: 255 B: 191
Alta	R: 252 G: 141 B: 89
Muito alta	R: 215 G: 48 B: 39

Fonte: O autor (2023).

#### 4.5 OBTENÇÃO DA DINÂMICA DE COBERTURAS E USOS DA TERRA

A partir do projeto MapBiomias foram obtidos os dados de coberturas e usos da terra considerando uma série histórica de 35 anos, compreendendo os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2020. A definição por estes cenários se deu pela disponibilidade dos mesmos na plataforma do projeto, onde o primeiro registro disponibilizado é para o ano de 1985, intercalando os quatro primeiros

cenários a cada dez anos e o último um intervalo de cinco anos, sendo o ano 2020.

O projeto produz mapeamentos anuais da cobertura e uso da terra bem como o monitoramento da superfície aquática e do fogo. O mapeamento é produzido a partir da classificação de imagens do satélite *Landsat*. Para isso, os especialistas do projeto aplicam diferentes camadas de informações, integrando-as a partir de filtros espaciais e temporais a fim de produzir os mapeamentos para cada ano (SOUZA et al., 2020). A Figura 17 demonstra o processo de geração dos dados do projeto MapBiomas.

Figura 17 - Diagrama do processo de geração dos dados do MapBiomas.



Fonte: MapBiomas (2022)

O MapBiomas tem sido uma das fontes de informações espaciais mais significativas para os estudos ambientais no território brasileiro, possuindo diversas aplicações em estudos de gestão territorial. Uma das grandes potencialidades é a disponibilidade de dados anualmente, trazendo a possibilidade de compreender a dinâmica de cobertura e uso da terra para uma dada área.

A obtenção da cobertura e uso da terra nos cinco cenários foi realizada por meio da plataforma do *Google Earth Engine* a partir de linhas de códigos pré-determinadas pelo próprio projeto, havendo a possibilidade da escolha quanto aos diferentes atributos para ser realizado o *download*. Estes atributos são o tipo de dado, a área de estudo e a coleção do produto. Assim, foi determinado o atributo do tipo de dado como *coverage*, a área de estudo como o Município de São Lourenço do Sul e o nível da coleção, a Coleção 7 do MapBiomas, que no momento da obtenção dos dados era a mais atualizada.

Após determinar os atributos, foi realizado o *download* dos arquivos *raster* de cada ano selecionado em formato *GeoTIFF*. Lançados os dados no *software*

QGIS 3.22, assumiu-se a classificação e a paleta de cores utilizada pelo MapBiomias, conforme demonstra a Figura 18.

Figura 18 - Classificação do MapBiomias para legenda, código e paleta de cores.



**Codes of the legend classes and color palette used in MapBiomias Collection 7**

COLEÇÃO 7 - CLASSES	COLLECTION 7 CLASSES	NEW ID	Color number	
<b>1. Floresta</b>	<b>1. Forest</b>	1	#129912	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#006400	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#00ff00	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#687537	
1.4. Restinga Arborizada	1.4. Wooded Sandbank Vegetation	49	#6b9932	
<b>2. Formação Natural não Florestal</b>	<b>2. Non Forest Natural Formation</b>	10	#bbfcac	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#45c2a5	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	#b8af4f	
2.3. Apicum	2.3. Salt Flat	32	#968c46	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#ff8C00	
2.5 Restinga Herbácea	2.5. Herbaceous Sandbank Vegetation	50	#66ffcc	
2.6. Outras Formações não Florestais	2.5. Other non Forest Formations	13	#bdb76b	
<b>3. Agropecuária</b>	<b>3. Farming</b>	14	#ffffb2	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#ffd966	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#e974ed	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#d5a6bd	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#c59ff4	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#c27ba0	
3.2.1.3. Arroz (beta)	3.2.1.3. Rice	40	#982c9e	
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	#660066	
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.5. Other Temporary Crops	41	#e787f8	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#f3b4f1	
3.2.2.1. Café	3.2.2.1. Coffee	46	#cca0d4	
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	#d082de	
3.2.1.3. Outras Lavouras Perenes	3.2.1.3. Other Perennial Crops	48	#cd49e4	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#935132	
3.4. Mosaico de Usos	3.4. Mosaic of Uses	21	#fff3bf	
<b>4. Área não Vegetada</b>	<b>4. Non vegetated area</b>	22	#ea9999	
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	#dd7e6b	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#af2a2a	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#8a2be2	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	#ff99ff	
<b>5. Corpo D'água</b>	<b>5. Water</b>	26	#0000ff	
5.1. Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#0000ff	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#29eee4	
6. Não observado	6. Non Observed	27	#D5D5E5	

Fonte: MapBiomias (2022).

Para a área de estudo foram identificados seis grandes grupos a partir das classes obtidas do primeiro cenário (ano de 1985): 1. Florestas (formação florestal e restinga arborizada), 2. Formação Natural não Florestal (campo alagado e área pantanosa, formação campestre, afloramento rochoso e restinga arborizada), 3. Agropecuária (silvicultura, mosaico de usos, outras lavouras temporárias e soja) 4. Área não vegetada (área urbana, praia, duna e areal e

outras áreas não vegetadas), 5. Corpos D'água (rio, lago ou oceano) e 6. Não Observado.

A utilização das classes a partir do primeiro cenário se justifica por ser considerado o primeiro registro para a área de estudo. Este primeiro registro apresenta um panorama geral para a área de estudo, assumindo-se que qualquer alteração tanto de cobertura ou uso, seja passível de identificação quando comparado com os demais cenários, mais recentes.

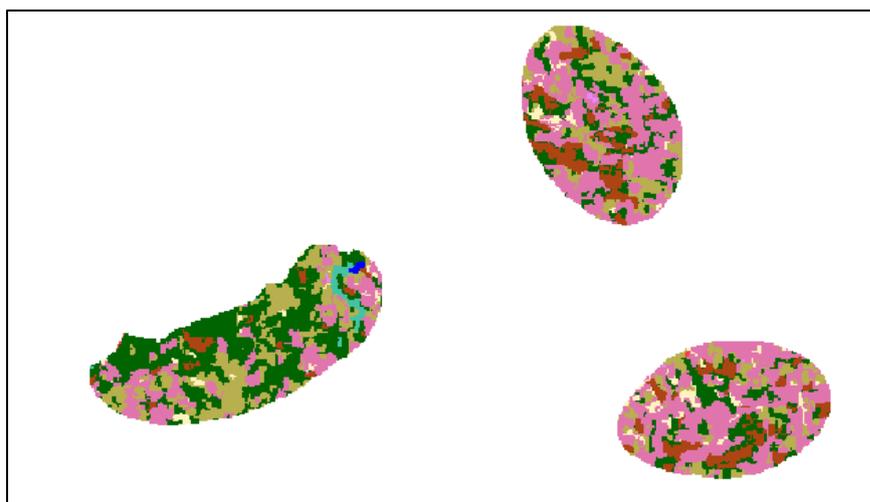
No grupo Agricultura, foi realizado um agrupamento das classes de “Outras Lavouras Temporárias” juntamente com a classe “Arroz” pelo fato do mapeamento da rizicultura ser recente no MapBiomias, ou seja, nos anos anteriores esta classe não estava identificada, ademais sua identificação é um procedimento ainda considerado *beta*, ou seja, ainda em fase de testes pelo próprio projeto (MAPBIOMAS, 2022). Ainda, o MapBiomias (2022, p.3) considera as áreas de “Outras lavouras Temporárias” como “Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir”. Desta forma, é possível afirmar também que a definição da classe “Outras Lavouras Temporárias” abrange a prática da rizicultura, com isto justifica-se o agrupamento realizado para Agricultura. Este agrupamento facilita a análise quantitativa considerando os cinco cenários adotados.

Com os cinco cenários organizados na base de dados espacial em SIG para a área de estudo, obteve-se os quantitativos de área ocupada pelas coberturas e usos da terra para o Município de São Lourenço do Sul. As informações de área foram obtidas para cada cenário *raster* do MapBiomias, utilizando-se a ferramenta *r.report* do QGIS, o qual gerou um relatório com os valores de área, em km<sup>2</sup>, para cada cobertura e uso de cada um dos cinco cenários. Após a obtenção dos valores de área, os arquivos foram tabulados para criar os gráficos que mostram a dinâmica dos valores de coberturas e usos da terra na área de estudo. Além de subsidiarem a compreensão do panorama geral da dinâmica das coberturas e usos da terra para o município, essas informações temporais também auxiliam a análise coberturas e usos da terra para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade.

Para a obtenção da cobertura e uso da terra para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade, foi realizado em um primeiro momento o procedimento de conversão para o formato vetorial o produto matricial derivado do Índice de Geodiversidade. Este procedimento transforma os dados de um arquivo *raster* para um arquivo *vetorial*. Para selecionar as áreas com elevado índice, assumiram-se as duas maiores classes, Alta e Muito alta. Para separá-las das classes restantes, foi realizado o procedimento de “*exportar feições selecionadas*”, onde o resultado compreende os polígonos de elevado Índice de Geodiversidade. Ressalta-se que os polígonos de elevado Índice de Geodiversidade foram ordenados de forma aleatória a fim de classificá-los, sem agregar nenhuma ponderação, com o objetivo de analisar, posteriormente, os percentuais de cobertura e uso da terra para estas áreas.

Após isso, foram extraídos os dados de cobertura e uso da terra (*raster*) para as áreas delimitadas. Para isso, utilizou-se a ferramenta “*Recortar raster pela camada de máscara*”, onde o resultado eliminou os dados fora do limite e manteve as informações para os polígonos de elevado Índice de Geodiversidade, conforme a Figura 19 ilustra.

Figura 19 - Recorte ilustrativo da Cobertura e uso da terra em áreas com elevado Índice de Geodiversidade.



Fonte: O autor (2023).

Posteriormente, foram calculadas as áreas de cada classe a partir da ferramenta *r.report* do QGIS, gerando relatórios em km<sup>2</sup>, para cada cobertura e

uso de cada polígono de elevado Índice de Geodiversidade para os cinco cenários (1985, 1995, 2005, 2015 e 2020).

#### 4.6 TRABALHOS DE CAMPO

Após as etapas de levantamento cartográfico, organização da base de dados em SIG, ajustes das variáveis que compuseram o mapa do Índice de Geodiversidade e ainda a obtenção e organização dos cenários de coberturas de usos da terra, foi realizado o trabalho de campo. A atividade buscou observar, avaliar e validar o Índice de Geodiversidade considerando a variabilidade e distribuição das variáveis utilizadas em sua obtenção. Para isto foi organizado um roteiro de campo, onde a escolha dos pontos se pautou na avaliação prévia do Índice de Geodiversidade. Em conjunto, esquematizou-se uma série de informações neste roteiro para alcançar estes objetivos.

O roteiro construído para a atividade de campo totalizou 17 pontos conforme ilustra o Quadro 5.

Quadro 5 - Quadro dos pontos e suas respectivas coordenadas e classificação a partir do produto preliminar do Índice de Geodiversidade.

PONTO	COORDENADAS	ÍNDICE	DATA
1	-31.271032, -52.346317	Alta geodiversidade	19/12/2022
2	-31.224435, -52.218890	Alta geodiversidade	20/12/2022
3	-31.135269, -52.132076	Muito alta geodiversidade	19/12/2022
4	-31.093853, -52.298591	Muito baixa geodiversidade	19/12/2022
5	-31.040833, -52.262766	Muito alta geodiversidade	19/12/2022
6	-31.252275, -52.398786	Muito baixa geodiversidade	19/12/2022
7	-31.126324, -51.811368	Muito alta geodiversidade	20/12/2022
8	-31.111619, -51.931279	Muito alta geodiversidade	20/12/2022
9	-31.251349, -51.972993	Alta geodiversidade	20/12/2022
10	-31.154463, -51.993399	Muito alta geodiversidade	20/12/2022
11	-31.086454, -51.874226	Muito alta geodiversidade	20/12/2022
12	-31.288245, -51.867713	Muito alta geodiversidade	Sem acesso
13	-31.368873, -52.008599	Muito alta geodiversidade	20/12/2022
14	-31.350813, -52.280267	Muito baixa geodiversidade	21/12/2022
15	-31.355496, -52.282787	Baixa geodiversidade	21/12/2022
16	-31.348283, -52.063352	Muito alta geodiversidade	21/12/2022
17	-31.365198, -51.964770	Alta geodiversidade	21/12/2022

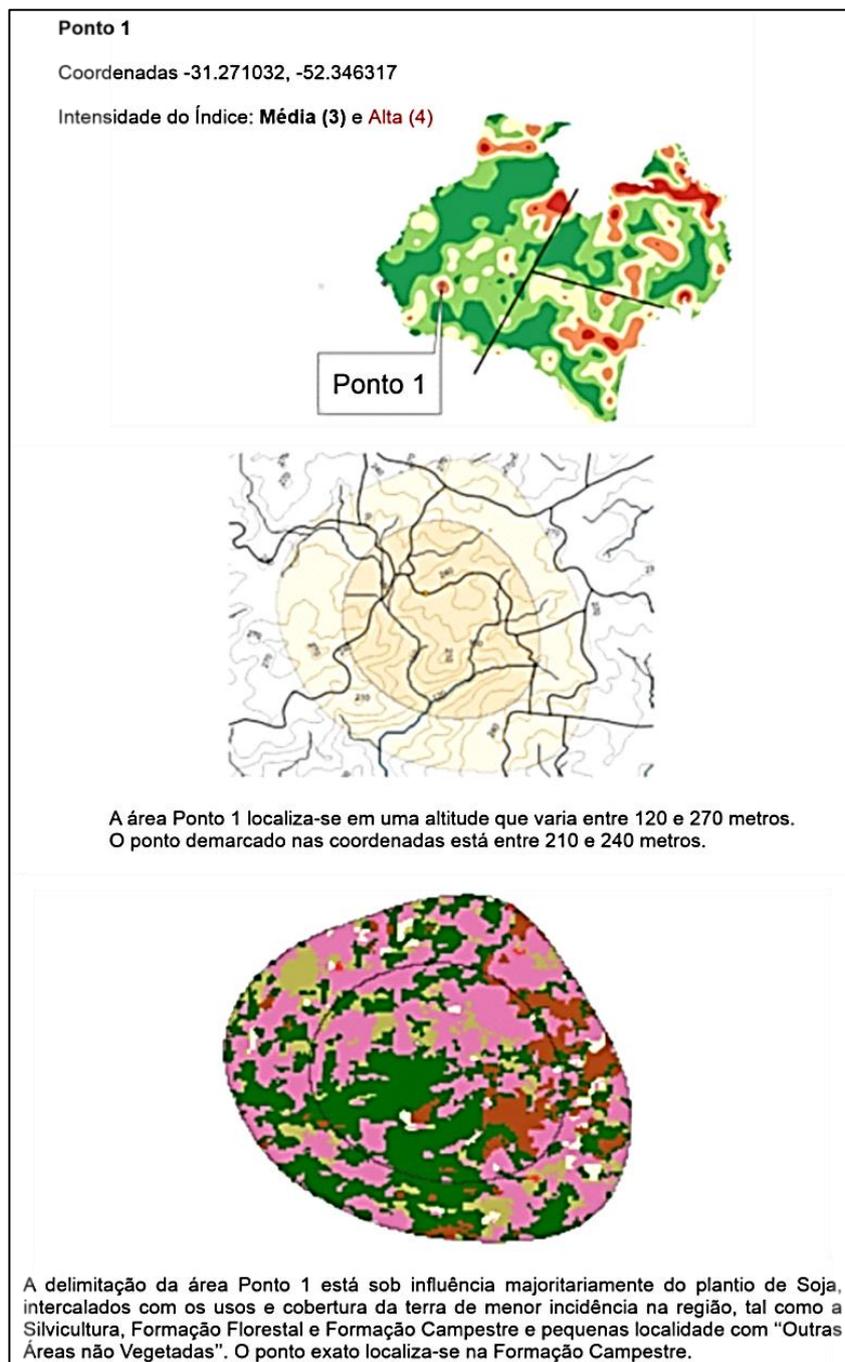
Fonte: O autor (2023).

O roteiro proporcionou uma síntese de cada ponto a ser investigado, à medida que as informações referentes às características da área possibilitaram uma identificação prévia bem como uma compreensão da organização espacial, seja da hidrografia, da altimetria e da cobertura e uso da terra.

Estes pontos ou locais visitados em campo derivaram da interpretação inicial do mapa do Índice de Geodiversidade obtido. Os pontos foram definidos de forma a priorizar as áreas com elevado Índice de Geodiversidade. Entretanto, para fins de verificação e compreensão da dinâmica espacial, definiram-se também pontos de campo para áreas com baixos Índices de Geodiversidade e locais reconhecidos como pontos de interesse, ou seja, áreas reconhecidas, a partir do senso comum, pela sua relevância paisagística, principalmente estética, como a denominada Cachoeira do Salto Bonito, Pedra Guardiã e o Cerro da Cascavel. Considerando a extensão territorial do Município de São Lourenço do Sul, de 2.036km<sup>2</sup>, foram necessários três dias de campo, 19, 20 e 21 de dezembro de 2022, para atender o roteiro pré-definido.

O *software Google Earth Pro* foi utilizado para realizar previamente a plotagem dos pontos e o percurso a ser realizado, para posterior navegação em campo. Como supracitado, o roteiro de campo reuniu informações que nortearam as análises *in loco*, como por exemplo, o percurso, as distintas vias de acesso, o mapa do Índice de Geodiversidade, a hidrografia e as curvas de nível das áreas selecionadas. Além disso, compreendeu o resultado prévio e uma análise das coberturas e usos da terra (Figura 20).

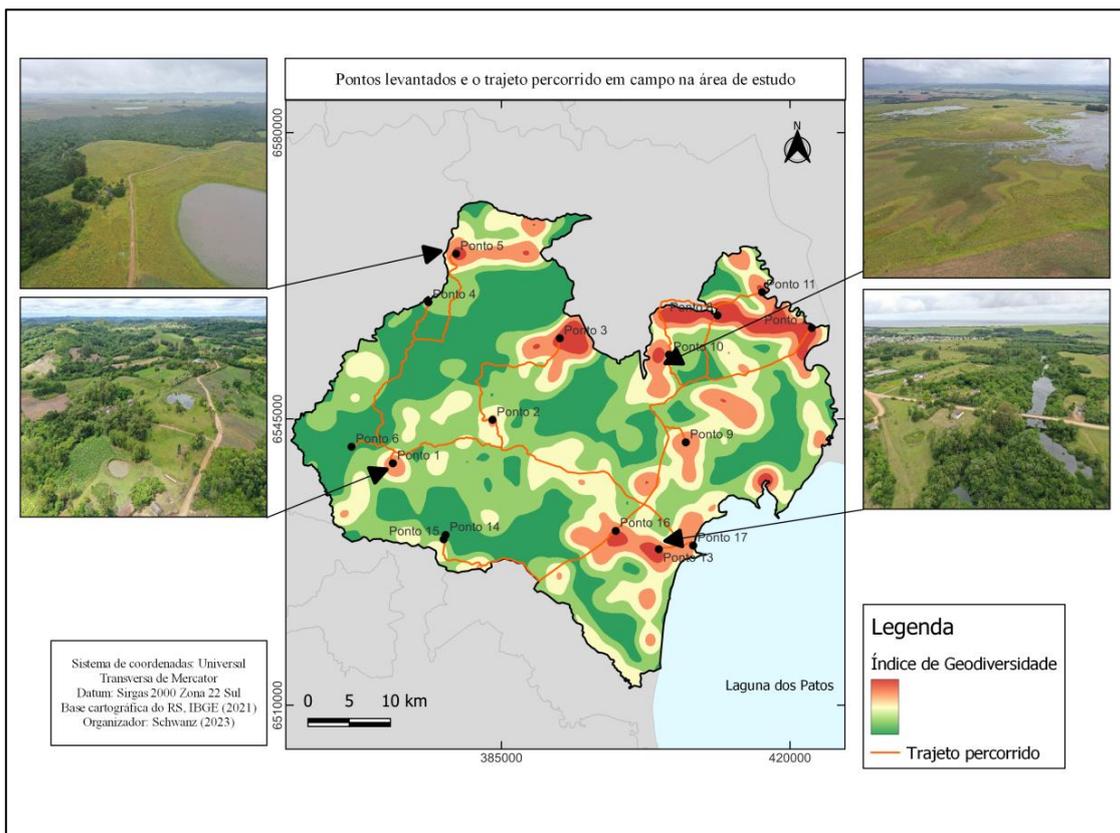
Figura 20 - Exemplo de informações disponíveis para o Ponto 1 do roteiro de campo demonstrando o Índice de Geodiversidade, altitude, hidrografia, as vias e a cobertura e uso da terra.



Fonte: O autor (2023).

Para a navegação durante a atividade de campo foi utilizado o aplicativo para *smartphone* *Google Earth Pro*. A atividade de campo, considerando os três dias, totalizou 625 quilômetros percorridos a fim de visitar os pontos definidos no roteiro. A Figura 21 ilustra o roteiro de campo com os pontos visitados durante o trabalho de campo.

Figura 21 - Distribuição espacial dos pontos do primeiro campo e trajeto percorrido.



Fonte: O autor (2023).

No primeiro dia de campo, 19/12/2022, foram visitados os pontos 1, 3, 4, 5 e 6. O segundo dia, 20/12/2022, abrangeu os pontos 7, 8, 9, 10, 11, e 13. No último dia, 21/12/2022, foram realizados os pontos 14, 15, 16 e 17. Ressalta-se que os pontos foram numerados apenas para distinguir os locais a serem visitados sem agregar nenhuma ponderação. Ainda, destaca-se a impossibilidade de acesso ao ponto 12, sendo inviável o acesso terrestre

A fim de refinar as informações bem como validar os dados obtidos em laboratório, foram utilizadas câmeras dos smartphones para os registros fotográficos nas áreas dos pontos. Para uma visão ampla da área, possibilitando a visualização das interações físico-ambientais, obtiveram-se registros a partir de um Veículo Aéreo Não-tripulado (VANT). O VANT utilizado foi o DJI MAVIC 2, o qual foi pilotado a partir do aplicativo de smartphone DJI GO 4.0. A captura dos registros se deu aproximadamente a uma distância média vertical entre 60 e 120 metros. Já horizontalmente, o VANT deslocava-se em um raio de até 300 metros do ponto de partida.

Além das capturas de imagens a partir de um VANT, para cada ponto investigado foram realizadas anotações que permitissem sintetizar as informações obtidas bem como correlacionar os dados do roteiro de campo com a análise *in loco* para posteriores ajustes metodológicos e suporte à análise dos resultados da pesquisa. Estas considerações tangenciam um dos objetivos do trabalho de campo, o qual para além da validação do Índice de Geodiversidade e reconhecimento da área de estudo, relaciona-se com a possibilidade de identificar e propor possíveis alterações ao método utilizado, fato que se revelou adequado e fundamental para a área de estudo.

No decorrer do trabalho de campo foi possível identificar que a variável hidrografia se destacava das demais variáveis do índice, sendo que a mesma se manifestou na maioria dos pontos investigados onde o resultado preliminar do Índice de Geodiversidade se mostrava elevado. Ainda em campo, ao visitar pontos que não obtiveram elevado Índice de Geodiversidade, constatou-se que o método não abarcou áreas que potencialmente teriam uma grande variabilidade dos elementos abióticos, onde ocorriam importantes feições geomorfológicas. Isto, possivelmente foi ocasionado pelo nível de detalhamento dos produtos obtidos no levantamento cartográfico. A partir destas constatações foram realizadas alterações metodológicas buscando ajustar o produto obtido de forma a melhor representar a realidade do município.

Destaca-se ainda a realização de um segundo trabalho de campo, que da mesma forma que o anterior, teve o objetivo observar, avaliar e validar o produto do Índice de Geodiversidade e as características da área de estudo. Para isso, foram selecionadas seis áreas com a classe de Média Geodiversidade a fim de observar as características bióticas e abióticas bem como verificar como se comportava a paisagem frente a transição das classes de Baixa, Média e Alta geodiversidade. Diferentemente do campo anterior, neste o produto do Índice de Geodiversidade já possuía as adaptações em variáveis que compõem o índice (descrição no próximo subitem), ou seja, já compreendendo o resultado final.

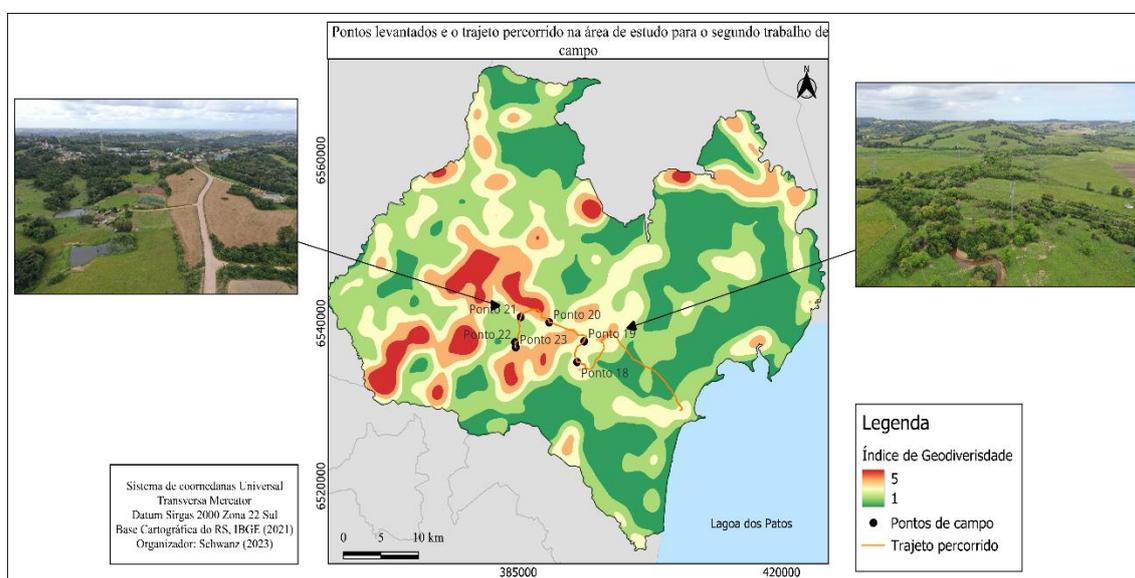
O campo foi realizado no dia 20/10/2023. O Quadro 6 demonstra as coordenadas dos pontos e a Figura 22 ilustra seu trajeto.

Quadro 6 - Quadro dos pontos e suas respectivas coordenadas e classificação a partir do Índice de Geodiversidade.

PONTO	COORDENADAS	ÍNDICE	DATA
18	-31.312438, -52.126444	Média geodiversidade	20/10/2023
19	-31.289612, -52.116233	Média geodiversidade	20/10/2023
20	-31.268155, -52.164803	Média geodiversidade	20/10/2023
21	-31.261879, -52.204671	Média geodiversidade	20/10/2023
22	-31.289825, -52.212903	Média geodiversidade	20/10/2023
23	-31.295342, -52.211936	Média geodiversidade	20/10/2023

Fonte: O autor (2023).

Figura 22 - Distribuição espacial dos pontos do segundo campo e trajeto percorrido.



Fonte: O autor (2023).

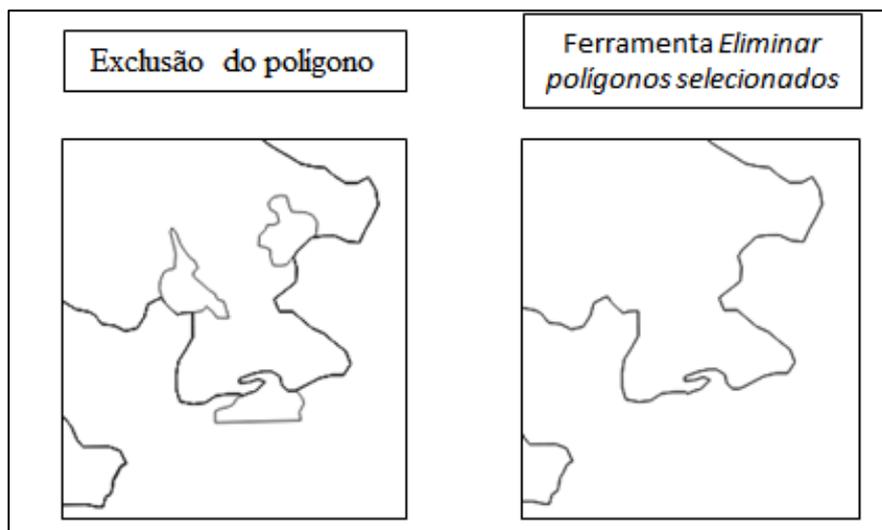
Assim como no primeiro trabalho de campo, foi utilizado o *software Google Earth Pro* para realizar previamente a plotagem dos pontos e o percurso a ser realizado, para posterior navegação em campo. Ainda, foi utilizado o VANT para captura das imagens em cada ponto.

## 4.7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PÓS TRABALHO DE CAMPO

### 4.7.1 Variáveis pedologia, geologia e geomorfologia

No decorrer do primeiro trabalho de campo foram constatadas necessidades de readequações nos procedimentos metodológicos aplicados para a geração do Índice de Geodiversidade. O produto levado a campo continha áreas vazias relacionadas com a exclusão das massas d'água das variáveis geologia, geomorfologia e pedologia. Após o campo modificou-se o procedimento à medida que os polígonos foram preenchidos com os atributos limítrofes dos elementos abióticos supracitados. Assim estas áreas que anteriormente estavam vazias pela exclusão dos polígonos, agora contemplam o atributo vizinho, considerando cada variável, geologia, geomorfologia e pedologia, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23 - Exemplo da eliminação das áreas vazias que correspondiam aos polígonos de massas d'água e incorporação das áreas às classes correspondentes para as variáveis pedologia, geologia e geomorfologia.



Fonte: O autor (2023).

Para o procedimento, utilizou-se a ferramenta *Eliminar polígonos selecionados*, onde o algoritmo do *software* combina polígonos selecionados de uma camada com polígonos adjacentes, eliminando seus limites comuns.

Ainda, como assumido na caracterização da área de estudo, o município caracteriza-se pelas duas Unidades da Paisagem, a Unidade da Paisagem

Planalto: (a) uma área de planalto, com um relevo movimentado e de altas altitudes, e a Unidade da Paisagem Planície: (b) uma extensão de planície lagunar, com pouca variação altimétrica do terreno, marginal à Lagoa dos Patos. Esta diferenciação físico-ambiental possibilitou identificar e propor mudanças metodológicas quando analisados os pontos visitados em campo.

Como destacado nas considerações de campo, determinadas áreas na Unidade da Paisagem Planalto não possuíram um detalhamento suficiente que representasse a realidade dos aspectos geológicos e geomorfológicos. Desta forma, foram incorporadas as variáveis de falhas/lineamentos e as curvas de nível, pois as mesmas possuem influência nas formas, nos processos e nas paisagens verificadas em campo, portanto concedendo uma maior assertividade e refinamento dos dados utilizados na obtenção do Índice de Geodiversidade para esse compartimento da área em estudo.

Assim como a hidrografia, as falhas/lineamentos possuem característica de “linha”, desta forma, tem-se a necessidade de transformá-las em polígonos. Para isso, a aplicação da ferramenta *buffer* se torna necessária. Para determinar a largura deste *buffer*, utilizou-se a perspectiva de Guerra (1972), onde o mesmo menciona que uma queda d’água pode estar ligada ao ruído transversal que as falhas/lineamentos representam no perfil longitudinal do canal de drenagem “a queda d’água no curso de um rio, ocasionada pela existência de um degrau no perfil longitudinal do mesmo. As causas da existência dessas diferenças de nível no leito do rio podem estar ligadas a falhas, dobras, erosão diferencial, diques, etc” (GUERRA, 1972, p.63). Assim, para definir a largura a ser utilizada para a obtenção do índice de geodiversidade, tomou-se como base o estudo de Paganotto (2022), quando a autora relata que as áreas de articulação de quedas d’água, para uma região similar à área deste estudo, os municípios vizinhos de Pelotas e Arroio do Padre, se estendem em torno de 100 metros do curso d’água. Desta forma, utilizou-se um *buffer* de 50 metros, ou seja, um total de 100 metros de largura, para a formação do polígono.

Como supracitado, além das falhas/lineamentos, verificou-se em campo a necessidade de adicionar a variável altimetria. Dessa forma, adicionou-se à base de dados da pesquisa as classes altimétricas na mesma escala dos demais

dados, 1:250.000. Para a área de estudo, a altimetria a partir da escala 1:250.000 apresentou quatro classes como demonstra o Quadro 7.

Quadro 7 - Classes altimétricas utilizadas na geração do Índice de Geodiversidade.

<b>Limite inferior</b>	<b>Limite superior</b>
0 metros	101 metros
101 metros	200 metros
201 metros	300 metros
300 metros	>

Fonte: O autor (2023).

Visto que a altimetria não possui um grande detalhamento na variação dos valores, justamente pela escala de 1:250.000, destaca-se as sinuosidades destas cotas, a retração e a expansão dos limites em contato com as distintas Unidades da Paisagem, Planalto e Planície, evidenciando as reentrâncias das linhas e demarcando a rugosidade do processo de transição do nível altimétrico. Estas relações permitiram melhor representar a realidade, o que trouxe uma grande interação com as demais variáveis do índice, com interseccionamentos que potencializaram a formação de centroides, base para a geração do Índice de Geodiversidade. Como para os demais dados lineares, hidrografia e falhas, a altimetria necessitou de um *buffer* para possibilitar a sobreposição dos dados. Assim assumiu-se uma distância de 2,5 metros, totalizando 5 metros de largura total, visto que o objetivo desta variável é compreender as dinâmicas de transição entre as classes altimétricas e a interação com as demais variáveis.

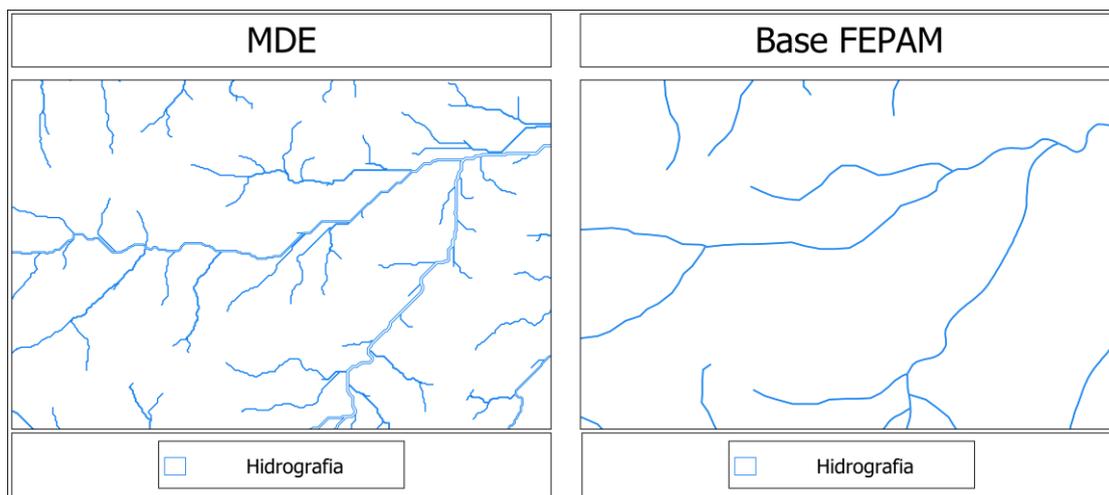
Ainda, em campo verificou-se que as áreas de contato entre a Lagoa dos Patos e o território possuíam cruzamentos de diferentes limites, ou seja, das distintas variáveis, geologia, geomorfologia e pedologia. Esta diferenciação quando cruzado com as demais variáveis ocasionava a geração de centroides que induziam áreas com maiores índices de geodiversidade do que se representava a realidade. Com isto, assumiu-se a utilização de um *layer* como limite da área de estudo, sendo escolhida a pedologia. Assim, com a ferramenta

*clip* foram delimitadas todas as demais camadas vetoriais com base na pedologia.

#### 4.7.2 Variável hidrografia

É possível visualizar nas imagens do mapa dos pontos levantados em campo e suas rotas (Figura 21), que majoritariamente os pontos do roteiro que se encontram em elevados Índices de Geodiversidade possuem a influência da variável hidrografia. Destaca-se que este superdimensionamento da variável é resultado do maior detalhamento que o produto gerado a partir do MDE apresentou para a área de estudo conforme ilustra o recorte da Figura 24.

Figura 24 - Comparação da variável hidrografia gerada pelo MDE e da base de dados da FEPAM.



Fonte: O autor (2023).

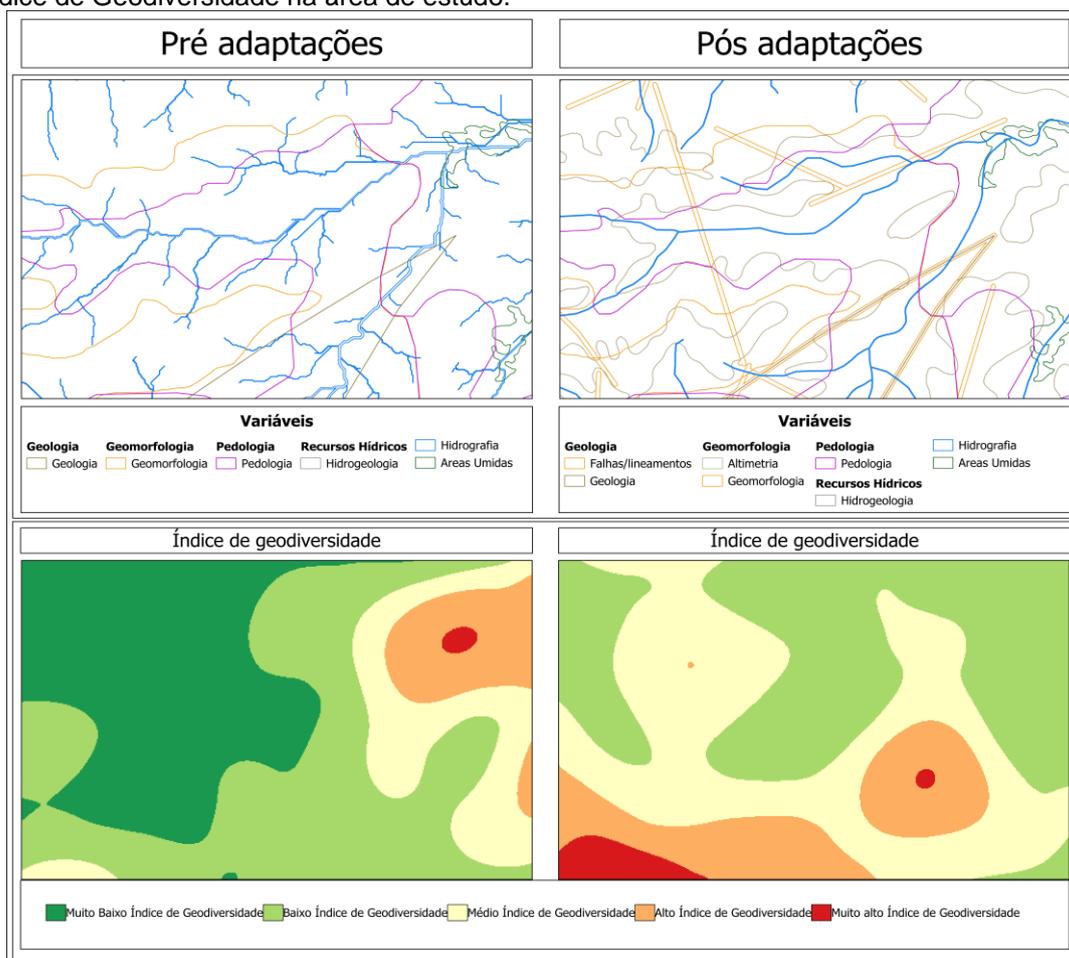
Desta forma, entendeu-se que seria relevante readequar a variável hidrografia para atender à escala dos demais produtos cartográficos utilizados para a geração do índice. Optou-se então por utilizar como base para a variável hidrografia o *layer* produzido pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luis Roessler (FEPAM), de mesma escala dos demais dados, 1:250.000.

Para se obter o Índice de Geodiversidade é necessário que todos os *layers* estejam em formato poligonal, sendo necessário um procedimento na rede hidrográfica, pois a mesma compreende o formato de linha. Ao se utilizar este dado vetorial para a variável hidrografia, base da FEPAM, perde-se a possibilidade de classificá-la a partir de Strahler de forma automatizada. Desta

forma, para se criar o polígono da hidrografia, partiu-se da compreensão de que a área de abrangência da hidrografia é influenciada pela incisão do talvegue do curso hídrico, sendo possível afirmar que o raio da área de influência da mesma limita-se ao leito maior deste curso. Após constatar em campo que na área de estudo segue-se uma média geral no padrão de largura no que tange ao leito maior da hidrografia, foi assumida uma distância total de 20 metros de largura, utilizando à ferramenta *buffer* para criar um raio de 10 metros para cada lado da linha.

Desta forma, as considerações observadas e oportunizadas pelo trabalho de campo permitiram a readequação metodológica das variáveis que compõem o Índice de Geodiversidade. Após todos os ajustes, conforme descrito, realizou-se novamente a sobreposição das variáveis no *software* QGIS gerando o produto da união conforme a Figura 25.

Figura 25 - Comparação dos cenários pré e pós adaptações das variáveis que compuseram o Índice de Geodiversidade na área de estudo.



Fonte: O autor (2023).

A partir da nova sobreposição das variáveis foram criados os centroides para cada nova geometria e então gerada a superfície contínua a partir da *densidade de Kernel* para obter o Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul. As adaptações se mostraram válidas no que tange à aplicação do método na área de estudo, principalmente para melhor representar a realidade.

Com base nestes procedimentos metodológicos, foram obtidos os produtos que compreendem o mapa do Índice de Geodiversidade, a cobertura e uso da terra para o Município de São Lourenço do Sul e na sequência sua individualização para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade.

## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos serão apresentados em três subitens de forma a abordar, inicialmente, a caracterização das variáveis ambientais que compreendem o Índice de Geodiversidade, e a apresentação e análise do Índice de Geodiversidade. Por fim, será apresentada a análise da dinâmica das coberturas e usos da terra para a área de estudo e sua relação com as áreas onde predominam os maiores valores do Índice de Geodiversidade.

### 5.1 DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS ABIÓTICOS (VARIÁVEIS AMBIENTAIS) QUE COMPREENDEM O ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE

As variáveis que compõem o Índice de Geodiversidade (geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos) são os pontos cruciais para a compreensão da dinâmica físico-ambiental da área de estudo, pois controlam a variabilidade abiótica da área, influenciando o Índice de Geodiversidade. Nesta linha, pode-se afirmar que quanto maior a geodiversidade de um local, mais complexo serão os arranjos espaciais e as interações entre estas variáveis. Desta forma, o presente subitem abordará cada variável de forma a caracterizar o município de São Lourenço do Sul visto os aspectos físicos.

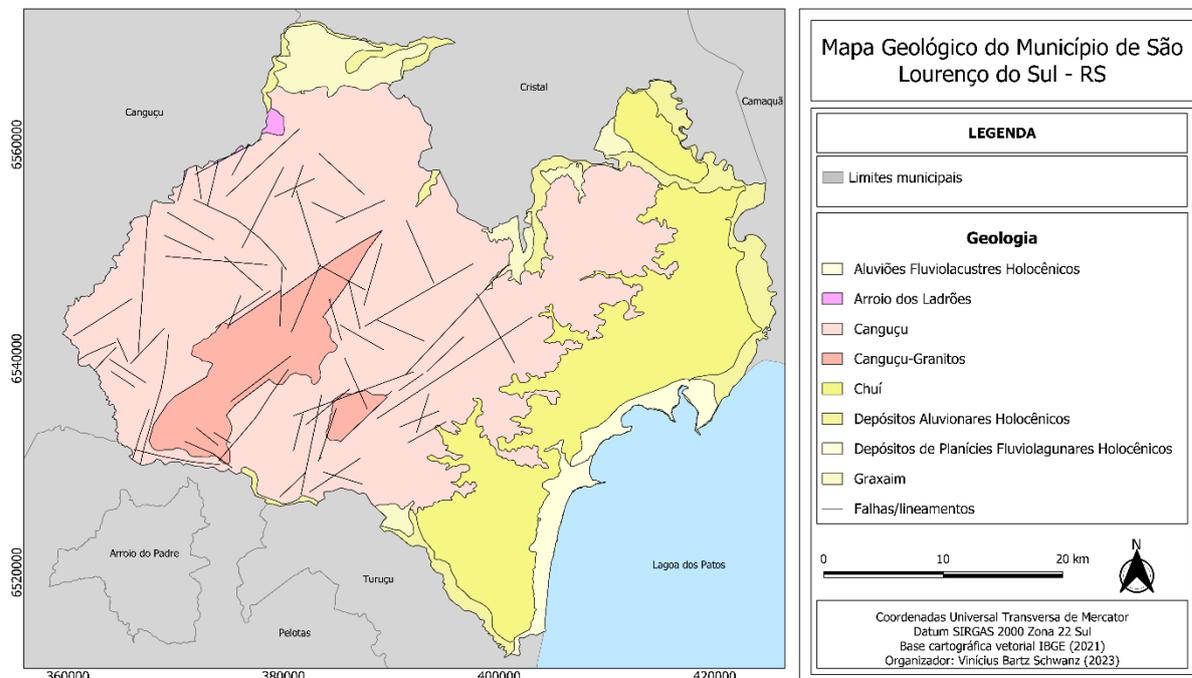
#### 5.1.1 Geologia

A partir da geologia, por exemplo, é possível compreender os processos responsáveis pela evolução geotectônica da área de estudo (CPRM, 2010). Além disso, a mesma possibilita identificar tanto a estrutura, composição e os processos que moldaram e moldam as características do ambiente. Com isso, a geologia é uma das variáveis que compreende o Índice de geodiversidade, visto que pode fornecer informações importantes sobre a dinâmica e estrutura da área de estudo.

Os dados de entrada da variável geologia assumidos para a área de estudo foram obtidos do IBGE. A Figura 26 permite visualizar as unidades geológicas que compreendem a área de estudo, sendo elas: Aluviões Fluvio-lacustres Holocênicos, Arroio dos Ladrões, Complexo Canguçu, Canguçu-

Granitos, Formação Chuí, Depósitos Aluvionares Holocênicos, Depósitos de Planícies Fluviolagunares Holocênicos e a Formação Graxaim.

Figura 26 - Mapa geológico da área de estudo.



Fonte: IBGE (2021). Organizado pelo Autor (2023).

A área que compreende a Unidade da Paisagem Planalto abrange as unidades geológicas: Complexo Canguçu, Canguçu-Granitos e Arroio dos Ladrões. Ainda, integra totalmente a variável falhas/lineamentos. A área é considerada geologicamente como a mais antiga do estado do Rio Grande do Sul, sendo constituída por um conjunto de rochas ígneas, com predomínio da composição granítica. A CPRM (2010) define a área como

associações de rochas ígneas de composição predominantemente granítica, as quais, normalmente, são intrusivas em um conjunto de rochas metamórficas, representadas por extenso complexo de gnaisses ortoderivados, rochas máfico-ultramáficas de assoalho oceânico, xistos e mármore de composição metapelítica, que, por sua vez, estão recobertas por um pacote com cerca de 5.000 m de espessura de rochas sedimentares intercaladas a rochas vulcânicas, cujas afinidades variam entre magmas básicos a ácidos na forma de lavas e rochas piroclásticas que compõem a Bacia do Camaquã (CPRM, 2010, p.18).

A unidade Complexo Canguçu é constituída por uma extensa e complexa assembleia de rochas metamórficas, com fácies de anfibolito predominantes e granulitos localizadas, englobando uma grande quantidade de granitoides co-genéticos (RADAMBRASIL, 1986). Ainda, verifica-se afloramentos graníticos constituintes da Suíte Intrusiva Tabuleiro, que por sua vez deu formação para a intrusão Canguçu-Granitos. Ainda na Unidade da Paisagem Planalto encontra-se o Granito Arroio dos Ladrões, que segundo Ohara (1982), são granitos com características subalcalinas hololeucocráticas<sup>8</sup>, grosseiros ou pegmatóides, com biotita.

Para a Unidade da Paisagem Planície, encontra-se predominantemente a Formação Chuí, composta por areias quartzosas e siltico-argilosas bem como areias quartzos siltico-argilosas com laminação plano-paralela. Sua deposição deu-se em ambientes marinho de águas rasas e lacustre, durante o Pleistoceno Superior (KAUL, 1990). Essa deposição se deu pela ação sequencial transgressivo-regressivo, demonstrando fácies arenosas de águas rasas. Segundo Villwock (1972) as fácies arenosas mais profundas (areias de submersão) correspondem à fase de transgressão enquanto a mais superficial é resultado do gradativo recuo da linha de praia no estágio regressivo.

A Formação Graxaim também se encontra na Unidade da Paisagem Planície, tendo sua gênese a partir da sedimentação mal consolidada, a qual é composta por silte, cascalhos e argilas. A mesma foi originada pela decomposição das rochas graníticas e a partir disto unidas mecanicamente (RADAMBRASIL, 1986). Segundo Villwock (1972), estes sedimentos inconsolidados possuem cores que vão do vermelho, ao cinza e amarelo, com sua textura e minerais imaturos, podem ter duas fáceis, conglomerática e arenosíltica.

Ainda, identifica-se na Unidade da Paisagem Planície depósitos relacionados às barreiras-holocênicas. Os Aluviões Fluviolacustres Holocênicos, que são depósitos sedimentares formados durante o Holoceno. A área possui sua gênese da combinação do transporte de sedimentos, tanto de uma dinâmica de rios quanto de lagos, que no caso da área de estudo, a influência é a Lagoa

---

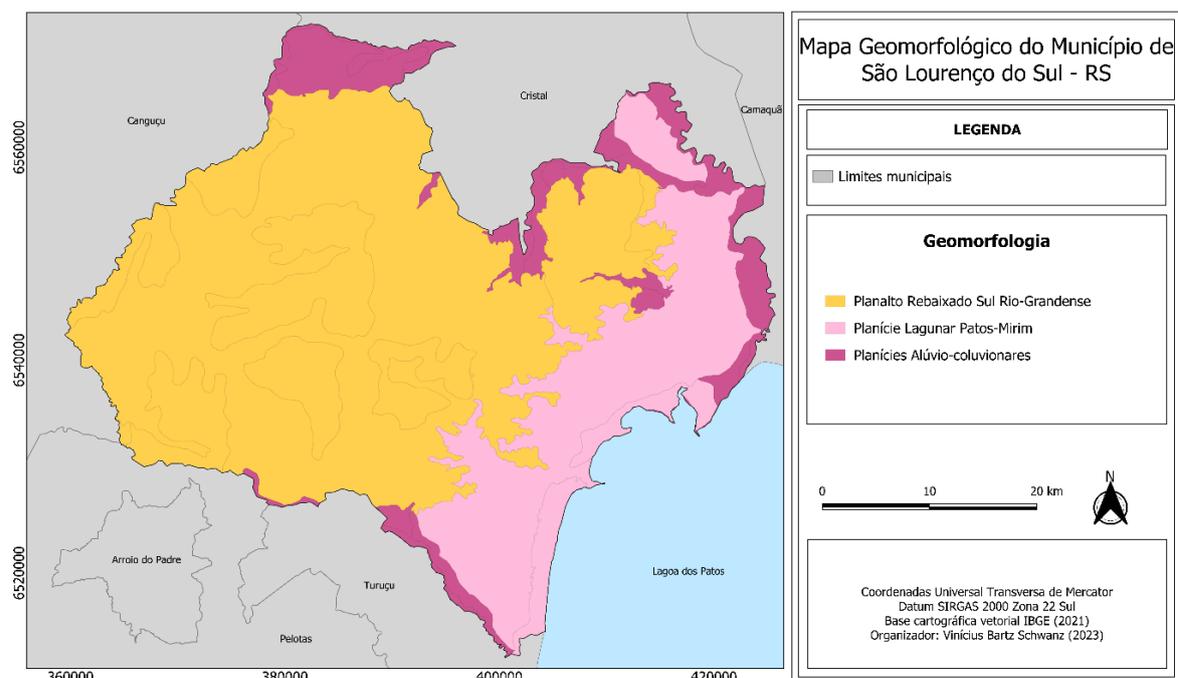
<sup>8</sup> Rocha em que predominam as cores claras.

dos Patos. Já a classe de Depósitos Aluvionares Holocênicos representa uma área onde depositou-se os sedimentos advindos principalmente por processos fluviais, também no período mais recente, o Holoceno. O mesmo possui desde areias grossas a finas, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos, em calhas de rios e planícies de inundação. Os Depósitos de Planícies Fluviolagunares Holocênicos são caracterizados pelo acúmulo de sedimentos advindos de uma dinâmica entre um rio e um corpo lagunar, mais especificamente no Holoceno. O mesmo possui areia quartzosa muito fina a média, bem arredondada e selecionada, rara laminação plano-paralela (CPRM, 2006).

### 5.1.2 Geomorfologia

A geomorfologia fornece informações das formas do relevo bem como dos processos que atuaram ou atuam moldando essas formas. Estas informações permitem a compreensão das características da área de estudo, desta forma compondo o Índice de Geodiversidade. Os dados de entrada da variável geomorfologia assumidos para a área de estudo foram obtidos do IBGE (Figura 27) e da FEPAM (Figura 28).

Figura 27 - Mapa das unidades geomorfológicas da área de estudo.



Fonte: IBGE (2021). Organizado pelo Autor (2023).

Conforme representado na Figura 27, na área de estudo encontram-se três unidades geomorfológicas: (1) na Unidade da Paisagem Planalto, o Planalto Rebaixado Sul Rio-grandense e (2) na Unidade da Paisagem Planície verifica-se a presença da Planície Lagunar Patos-Mirim e Planícies Alúvio-colvionares.

O mapeamento do IBGE (2021) apresenta variações mais detalhadas que representam os modelados do relevo, ou seja, “padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais” (IBGE, 2009. p. 31).

Desta forma, verifica-se, mais especificamente na Unidade de Paisagem Planalto, o Planalto Rebaixado Sul Rio-Grandense que apresenta associações de formas do relevo de tipo convexo, sendo que o IBGE (2009) define como

geralmente esculpidas em rochas ígneas e metamórficas e eventualmente em sedimentos, às vezes denotando controle estrutural. São caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009, p.44).

Ainda, verifica-se áreas de dissecação homogênea aguçada, que são conjuntos de formas de relevo de topos estreitos e alongados, normalmente esculpidas em rochas metamórficas e eventualmente em ígneas e sedimentares (IBGE, 2009).

Na Unidade da Paisagem Planície, encontra-se uma maior diversidade de formas. A unidade é caracterizada pelos processos recentes de formação, possuindo sua gênese nos materiais erodidos das terras mais altas que foram se acumulando, assim formando os sistemas deposicionais.

Na Planície Lagunar Patos-Mirim encontra-se a forma de planície lagunar, que segundo o IBGE (2009) é uma área que pode ter sido formada por diversos fatores.

Área plana resultante da combinação de vários processos formadores dos corpos lagunares associados às barreiras costeiras. A natureza dos sedimentos é bastante variada, podendo as planícies ser constituídas por sedimentos eólicos, fluviais, praias ou mesmo conter camadas de lama orgânica ou turfa (IBGE, 2009, p.35).

Ainda na Planície Lagunar Patos-Mirim, verifica-se a forma de terraço lagunar, sendo caracterizada como uma área de acumulação lagunar de forma plana, podendo ser suavemente inclinada, onde apresenta “ressalto em relação

à laguna e/ou à planície localizada em nível inferior, devido a variações eustáticas” (IBGE, 2009, p.35). Por fim, a Planície Lagunar Patos-Mirim contempla ainda a planície fluvial, a qual o IBGE (2009) define como uma área plana que resultou da acumulação dos sedimentos fluviais, e ainda, caracteriza a área como sujeita a inundações periódicas, podendo ser definida como uma área de várzea.

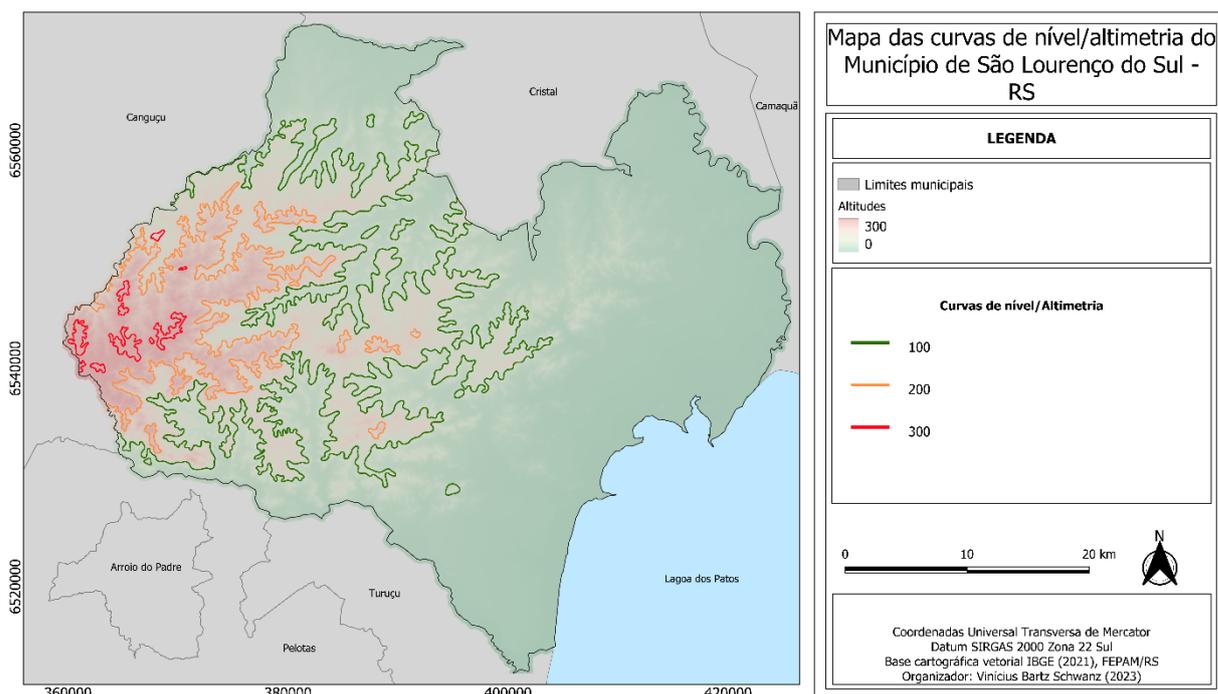
Já nas Planícies Alúvio-coluvionares, verifica-se a presença da forma rampa de colúvio. O IBGE (2009) define a rampa de colúvio como um fundo de vale suavemente inclinado.

associadas à coalescência de depósitos coluviais provenientes das vertentes que se interdigitam e/ou recobrem os depósitos aluvionares. Ocorre em setores de baixa encosta, em segmentos côncavos que caracterizam as reentrâncias (hollows) ou depressões do relevo (IBGE, 2009, p.36).

Outra forma identificada na área de estudo é o terraço fluvial, que pode ser definido como uma área de acumulação fluvial com características planas, apresentando uma ruptura de declive entre o leito de um rio e as áreas de várzea localizadas em um nível inferior (IBGE, 2009). Ademais, verifica-se a forma terraço fluviolacustre. Esta forma é caracterizada pela acumulação de sedimentos, em uma área considerada plana, formada a partir da interação de um rio e um corpo lagunar. Na área de estudo, esta forma é localizada no “Delta do Camaquã”, local onde as águas de um importante corpo hídrico, o Rio Camaquã, deságuam na Lagoa dos Patos.

Adicionalmente, as curvas de nível desempenharam um importante papel na representação da realidade da área de estudo, conforme descrito nos procedimentos metodológicos. Sua distribuição e representação na área ocorrem principalmente na transição entre a Unidade da Paisagem Planície para a Unidade da Paisagem Planalto. Pela escala utilizada, a equidistância das curvas é de 100 metros. Na área de estudo inicia-se em 100 metros, tendo sua cota final, a curva de 300 metros, conforme ilustra a Figura 28.

Figura 28 - Mapa das curvas de nível/altimetria da área de estudo.



Fonte: FEPAM (2021). Organizado pelo Autor (2023).

As curvas de nível/altimetria demonstram as diferenças entre ambas Unidades da Paisagem (Planalto e Planície), onde a Unidade da Paisagem Planalto, por característica, apresenta uma grande variação da altitude quando comparada à totalidade da área de estudo. Já a Unidade da Paisagem Planície, caracterizada por uma baixa movimentação do relevo, possui uma uniformidade frente à variação da altitude (relevo plano), assim, nesta porção não há representação desta variável.

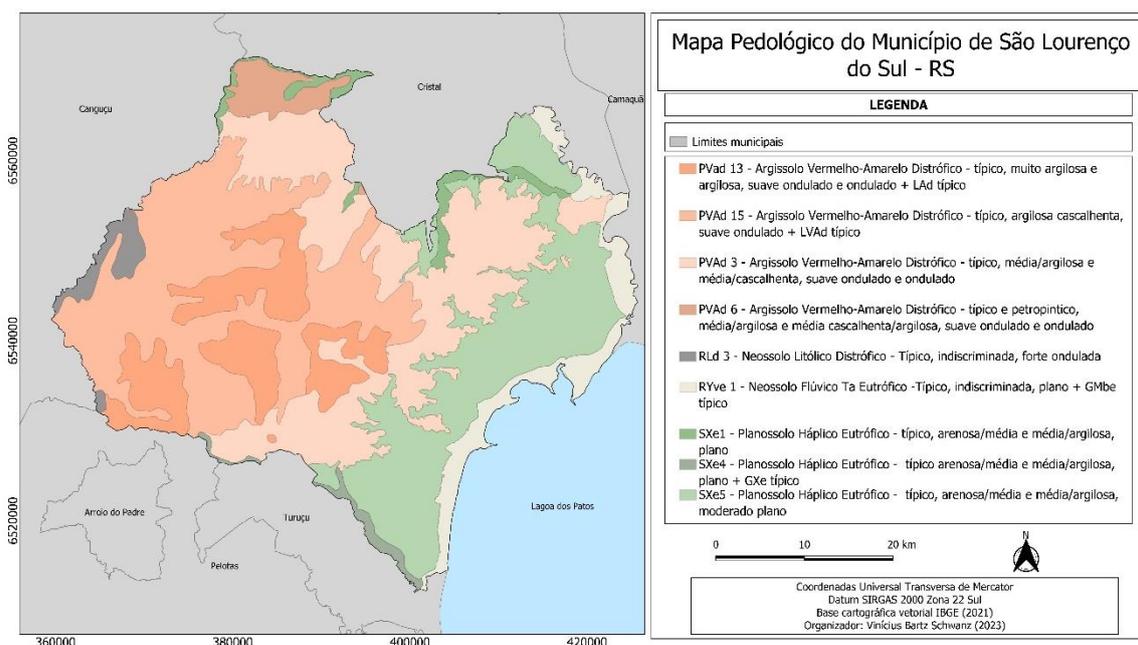
### 5.1.3 Pedologia

O solo possui grande importância visto o seu papel na interface entre as rochas (litosfera), o ar (atmosfera), a água (hidrosfera) e os seres vivos (biosfera) (BRADY; WEIL, 2009). A análise da geodiversidade necessita visão de forma sistêmica, considerando os distintos elementos abióticos. Com isto, Brady e Weil (2009) trazem um exemplo de uma análise sistêmica, destacando a interação e complexidade que os ambientes podem ter.

Um estuário, onde as águas pouco profundas estão lado a lado com a terra e o ar, é um exemplo desse tipo de ambiente. Sua produtividade e complexidade ecológica superam em muito, por exemplo, os de uma fossa profunda do oceano (onde a hidrosfera é bastante isolada), ou a da alta atmosfera (onde as rochas e a água têm pouca influência sobre ela) (BRADY; WEIL, 2009, p.10).

Desta forma, ciente de que o solo possui relevância para a compreensão de distintos processos naturais e antrópicos, foi selecionada esta variável para compor o Índice de Geodiversidade. Com isto, ao utilizar o dado do IBGE para a área de estudo, verificou-se a presença de quatro tipos de solo. O Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, o Neossolo Litólico Distrófico, o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico e o Planossolo Háptico Eutrófico, conforme a Figura 29.

Figura 29 - Mapa pedológico da área de estudo.



Fonte: IBGE (2021). Organizado pelo Autor (2023).

Na Figura 29, a variável pedologia é apresentada a partir do mapeamento do IBGE (2021), cujas informações agregadas compreendem a ordem, subordem, grupo, subgrupo, textura e a característica do relevo, na respectiva ordem. Assim, verifica-se uma distribuição uniforme no município, onde o Argissolo Vermelho-Amarelo está presente na Unidade da Paisagem Planalto. O

Argissolo Vermelho-Amarelo possui como característica a discrepância da quantidade de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B, caracterizado como tipo textural (Bt). Sua profundidade em geral possui grande variação, entretanto, de forma generalizada, é caracterizado como pouco profundo e profundo. Segundo Lepsch (2016), este tipo de solo é característico de regiões montanhosas, com fortes declives, onde as condições favorecem processos erosivos.

Já o Neossolo, são solos que possuem pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais. O solo é formado por materiais quase inertes e sem argilas. O Neossolo Litólico Distrófico, localizado na Unidade da Paisagem da Planalto, possui seu predomínio em áreas com relevo movimentado, onde as rochas podem se situar em pouca profundidade, dificultando determinadas atividades produtivas. O Neossolo Flúvico Ta Eutrófico é derivado de sedimentos aluviais, sendo característico situar-se em relevos planos, ainda, ao contrário do Neossolo Litólico Distrófico, o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico possui uma espessura que suporta determinadas atividades, permitindo uma maior diversidade de culturas (LEPSCH, 2016).

O Planossolo Háplico Eutrófico possui horizontes superficiais com texturas arenosas sobre o horizonte subsuperficial constituído de argila densa. Este tipo de solo é caracterizado, segundo Lepsch (2016), pela ocorrência em “baixadas do Rio Grande do Sul”, sendo um solo de baixa permeabilidade. Ainda segundo o autor, este tipo de solo é muito utilizado para a prática de rizicultura.

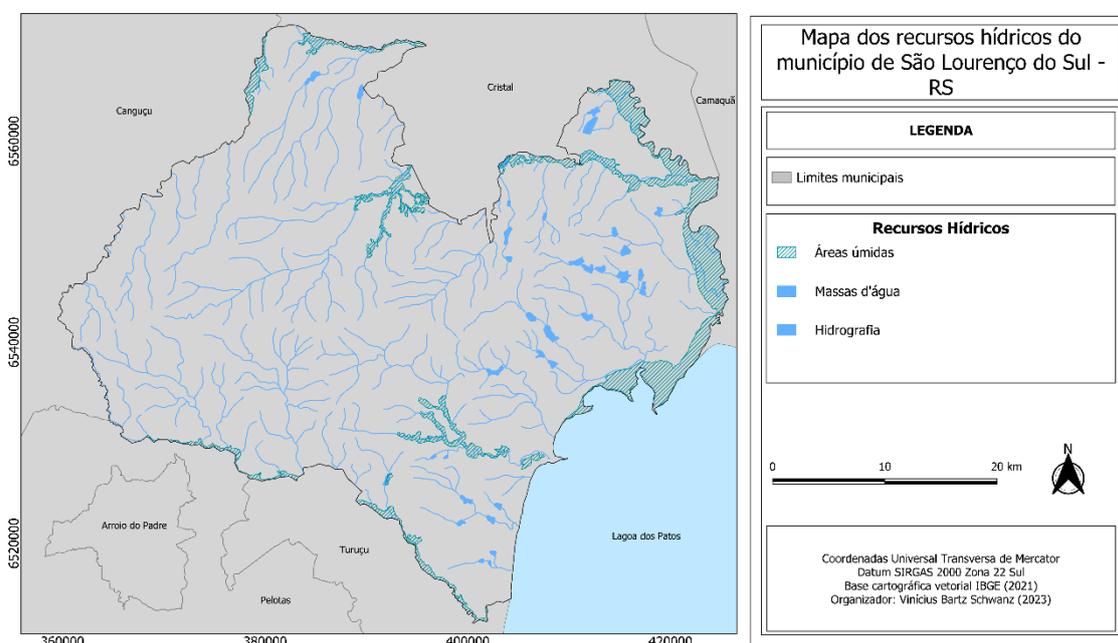
#### **5.1.4 Recursos Hídricos**

Os recursos hídricos de uma dada área possuem grande relevância no que tange processos de gestão territorial, pois são diretamente relacionados com as questões econômicas e culturais, especialmente quando houver atividades relacionadas à pesca, agricultura irrigada, questões turísticas ou outras atividades que dependam do elemento “água”. A água pode ser considerada um dos principais elementos da geodiversidade, pois possui relação direta com a gênese bem como com as sucessivas transformações nas paisagens.

Rudzewicz e Simon (2021, p.193) afirmam que a “a água, enquanto elemento da geodiversidade, tem seu valor geralmente associado aos demais componentes abióticos como quedas d’água, cavernas, áreas úmidas, deltas e ilhas, onde desempenha importante papel hidrológico”.

A variável Recursos Hídricos, segundo o método utilizado, compreende os seguintes elementos: áreas úmidas, massas d’água, hidrografia e hidrogeologia. A Figura 30 apresenta o mapa abrangendo as áreas úmidas, massas d’água e a hidrografia para a área de estudo.

Figura 30 - Mapa dos recursos hídricos para a área de estudo.

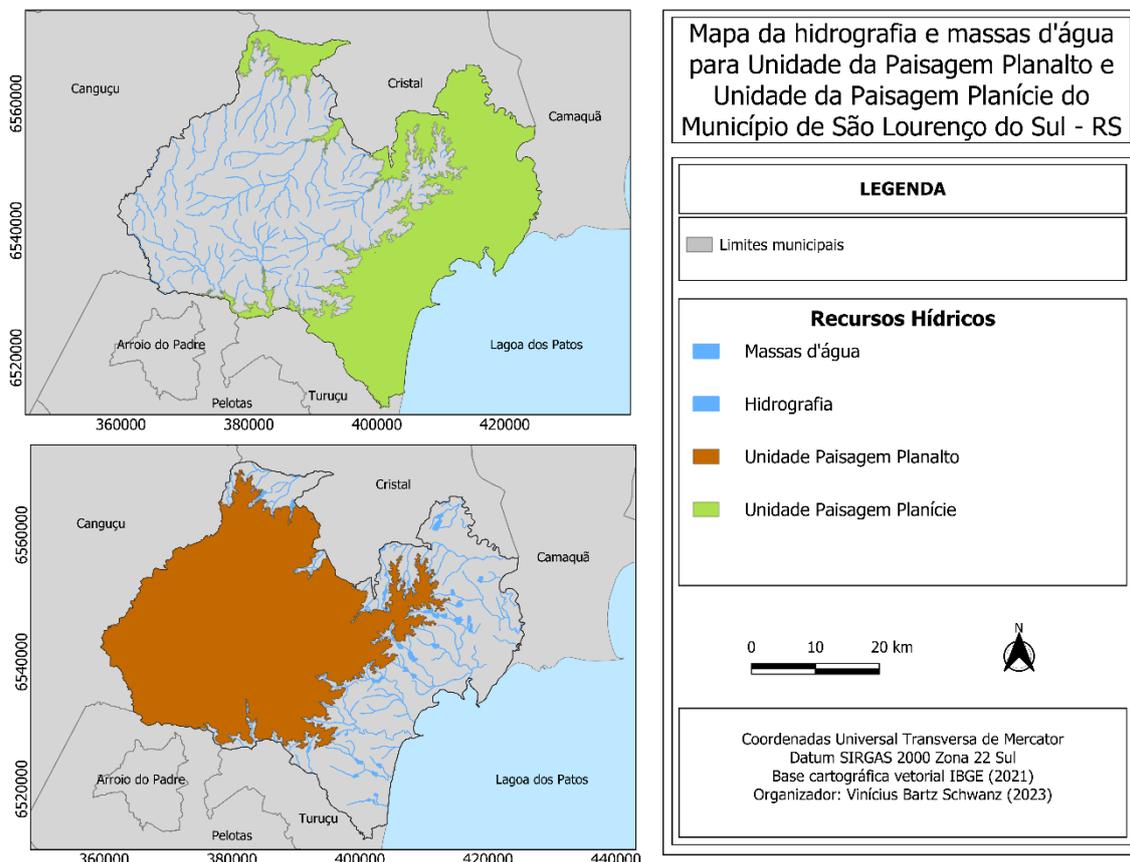


Fonte: IBGE (2021). Organizado pelo Autor (2023).

Segundo Schwanz et al. (2022), o Município de São Lourenço do Sul possui uma grande área de várzea bem como uma vasta rede de drenagem. Isto é corroborado quando visualizado a Figura 30, onde percebe-se que a Unidade da Paisagem Planalto, que caracteriza as maiores altitudes da área de estudo, detém a maior parte dos canais considerados de primeira ordem. Entretanto, sua distribuição ao longo da área de estudo é uniforme, abrangendo boa parte do território. Enquanto isto, a Unidade da Paisagem Planície possui uma maior concentração de massas d’água, o que está diretamente relacionado ao relevo pouco movimentado e a presença de planossolos, o que facilita a concentração

destas áreas. A Figura 31 demonstra esta distribuição para cada Unidade da Paisagem assumida, Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície.

Figura 31 - Mapa da hidrografia e massas d'água para a Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.



Fonte: IBGE (2021). Organizado pelo Autor (2023).

Em questões quantitativas, a partir do dado da hidrografia, o município possui 1.072km de comprimento da rede de drenagem. A Unidade da Paisagem Planalto apresenta 56% (605km) da hidrografia, enquanto a Unidade da Paisagem Planície possui 44% (467km).

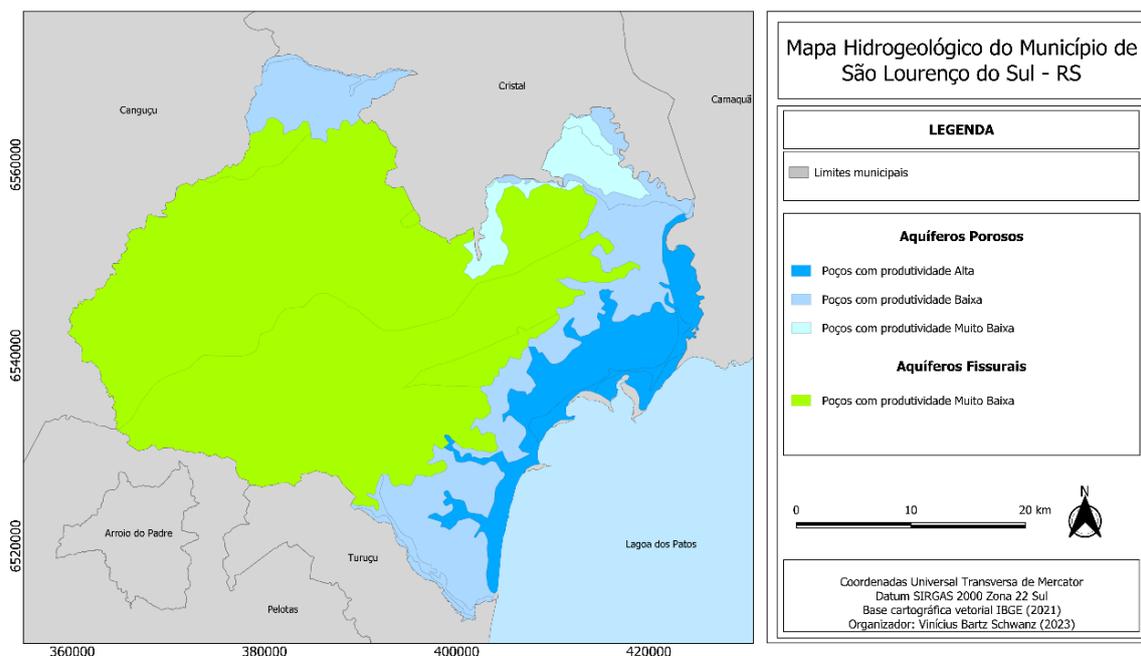
Outro elemento compreendido na variável recursos hídricos, são as áreas úmidas, que podem ser consideradas “ecossistemas que permanecem inundados durante um tempo suficiente para ocorrer o estabelecimento de solos encharcados e de plantas aquáticas” (CARVALHO; OSORIO, 2007, p. 85). Ainda, segundo os autores, estas áreas possuem características em comum, onde normalmente têm a presença de água rasa ou o solo saturado, grande

presença de material orgânico resultado da decomposição vegetal e a presença de elementos bióticos, tanto plantas quanto animais, adaptados a estes ambientes. No Rio Grande do Sul, estas áreas costumam ser denominadas como “banhados”.

A distribuição das áreas úmidas ao longo da área de estudo se dá principalmente da Unidade da Paisagem Planície, pelas características propícias para sua presença, por possuir um relevo plano, com uma vasta rede de drenagem e um considerável número de massas d’água. Além destas características, relaciona-se ainda os tipos de solos que facilitam a ocorrência destes ambientes. Na Figura 30 é possível visualizar a distribuição destas áreas úmidas ao longo da área de estudo. A maior concentração destes ambientes está a leste e nordeste do município, cabendo destacar a presença de um grande corpo hídrico, o Rio Camaquã, cuja foz está na Lagoa dos Patos.

Ainda, a Figura 32 ilustra a hidrogeologia, variável que compõe o Índice de Geodiversidade. O dado representa a produtividade dos poços localizados na área do município, evidenciando a vazão dos aquíferos. Para a área de estudo, verifica-se dois tipos de aquíferos, os aquíferos porosos e os aquíferos fissurais.

Figura 32 - Mapa hidrogeológico da área de estudo.



Fonte: IBGE (2021). Organizado pelo Autor (2023).

Os aquíferos fissurais, localizados na Unidade da Paisagem Planalto, possuem somente uma variação para a área de estudo, os poços de produtividade muito baixa, com vazões entre 40m<sup>3</sup>/h e 100m<sup>3</sup>/h. Segundo o IBGE (2015) estes poços possuem características como

O meio aquífero está representado por fraturas e diáclases que, em alguns locais, conferem a determinados conjuntos litológicos potencial hidrogeológico fraco. Em certos trechos, a baixa densidade de fraturas interconectadas e as condições topográficas desfavoráveis (porções mais elevadas do escudo cristalino) reduzem as possibilidades hidrogeológicas ao ponto de inviabilizar a perfuração de poços tubulares - até para baixas vazões (IBGE, 2015, p.1).

Já os aquíferos porosos, localizados na Unidade da Paisagem Planície, possuem três variações, poços com produtividade alta, baixa e muito baixa. Poços com produtividade alta possuem vazões superiores a 40m<sup>3</sup>/h. Já os poços com produtividade baixa possuem vazões entre 10 e 40m<sup>3</sup>/h, muito influenciado pelo posicionamento estratigráfico bem como pela maior presença de litologias psamíticas<sup>9</sup> (IBGE, 2015).

Na zona de transição entre a Unidade da Paisagem Planície e Unidade da Paisagem Planalto, mais especificamente a norte e nordeste do município, estão localizados os poços com muita baixa produtividade, com vazão menor que 3m<sup>3</sup>/h. Segundo o IBGE (2015), estas áreas estão localizadas nas bordas das escarpas do planalto basáltico, onde ocorrem arenitos com características endurecidas, o quê combinado com as cotas topográficas em transição, tendem a ter um desfavorecimento no armazenamento subterrâneo.

Os elementos apresentados neste capítulo são fundamentais para a avaliação da geodiversidade, visto que estas variáveis são os parâmetros responsáveis por controlar a variabilidade dos elementos abióticos na área de estudo. Com isto, o próximo capítulo apresentará o produto advindo destas variáveis aqui apresentadas, o Índice de Geodiversidade.

---

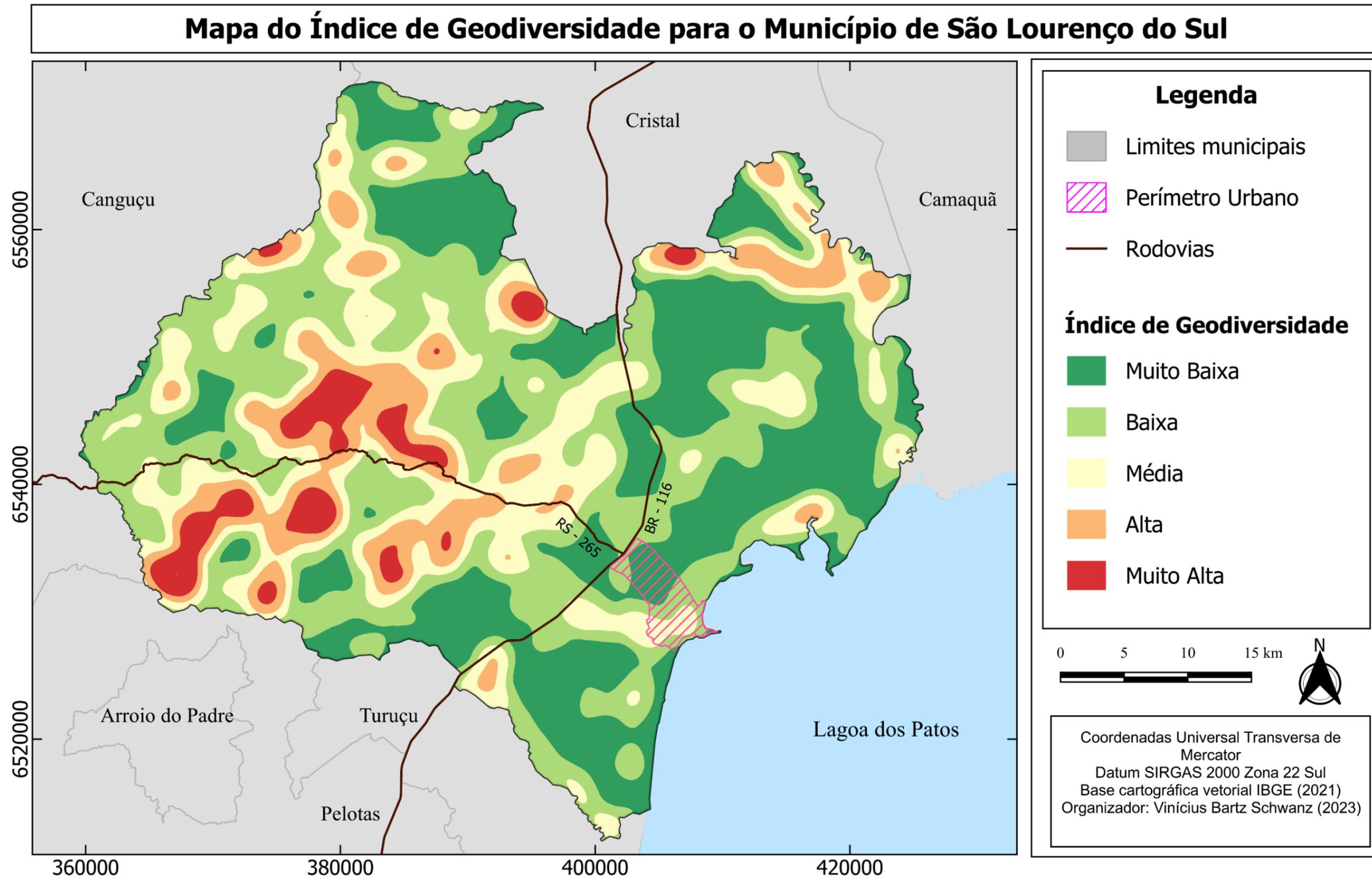
<sup>9</sup> Rochas sedimentares compostas principalmente por partículas de areia.

## 5.2 O ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE DO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL

Ao adotar o conceito de geodiversidade, bem como buscar uma avaliação quantitativa para sua ocorrência, foram selecionados os elementos que caracterizam a variabilidade abiótica da área de estudo. Com isso, para a obtenção do Índice de Geodiversidade foi seguido o método de Forte et al. (2018). A primeira versão do produto, ao ser verificada em campo para fins de validação, indicou a necessidade de ajustes e adaptações metodológicas em variáveis que compreendem o índice a fim de melhor representar a realidade da área de estudo. Após realizar as adaptações, conforme mencionado nos procedimentos metodológicos, foi gerado novamente o mapa do Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul, o qual está representado na Figura 33.

Como destacado nos procedimentos metodológicos, a escolha da aplicação do método quantitativo objetiva a compreensão da distribuição e variabilidade espacial dos elementos abióticos a partir das variáveis utilizadas. Desta forma, o produto obtido é resultado de uma série de sobreposições de variáveis na escala 1:250.000 juntamente com técnicas que possibilitaram espacializar e assim evidenciar o índice. Assim, salienta-se que os resultados do Índice de Geodiversidade para uma dada área possui dependência direta da escolha das variáveis e suas escalas.

Figura 33 - Mapa do Índice de Geodiversidade para a área de estudo.

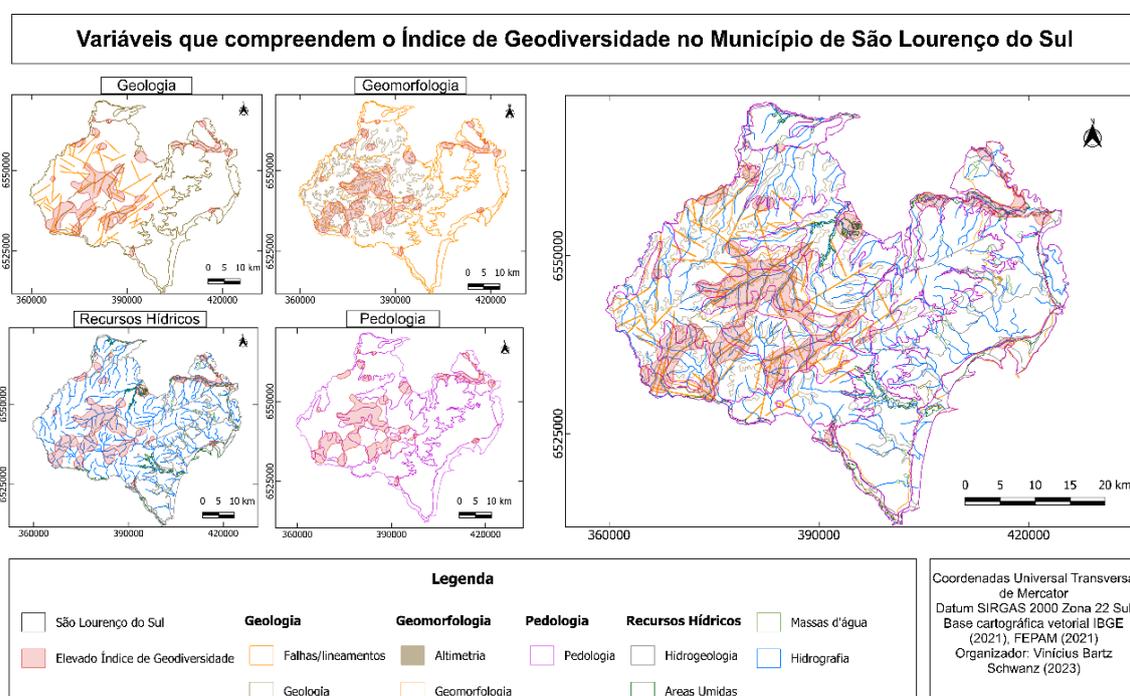


Fonte: O Autor (2023).

O Índice de Geodiversidade gerado para o município de São Lourenço do Sul apresenta as classes de Muito Baixa, Baixa e Média geodiversidade como predominantes no município. Enquanto isso, as classes de Alta e Muita Alta geodiversidade se apresentam de forma fragmentada ao longo da área de estudo, possuindo majoritariamente manchas de pequenas dimensões.

Mais especificamente nestas áreas de elevado Índice de Geodiversidade, classes Alta e Muito alta, verifica-se a grande interação das variáveis que compõe o índice, geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos (Figura 34).

Figura 34 - Variáveis que contribuíram para o mapa do Índice de Geodiversidade e as áreas de elevado Índice de Geodiversidade para a área de estudo.



Fonte: O Autor (2023).

Conforme os procedimentos metodológicos, todas as variáveis contribuíram para a geração do Índice de Geodiversidade. A variável geologia permitiu reconhecer as características que moldaram e moldam a área de estudo. Os cruzamentos de suas informações se fizeram presentes ao longo da área bem como nas áreas de elevado Índice. A articulação, sobretudo das falhas/lineamentos, também mostra-se presente nas áreas de elevado índice. O mesmo ocorre para a geomorfologia, com destaque para a altimetria presente

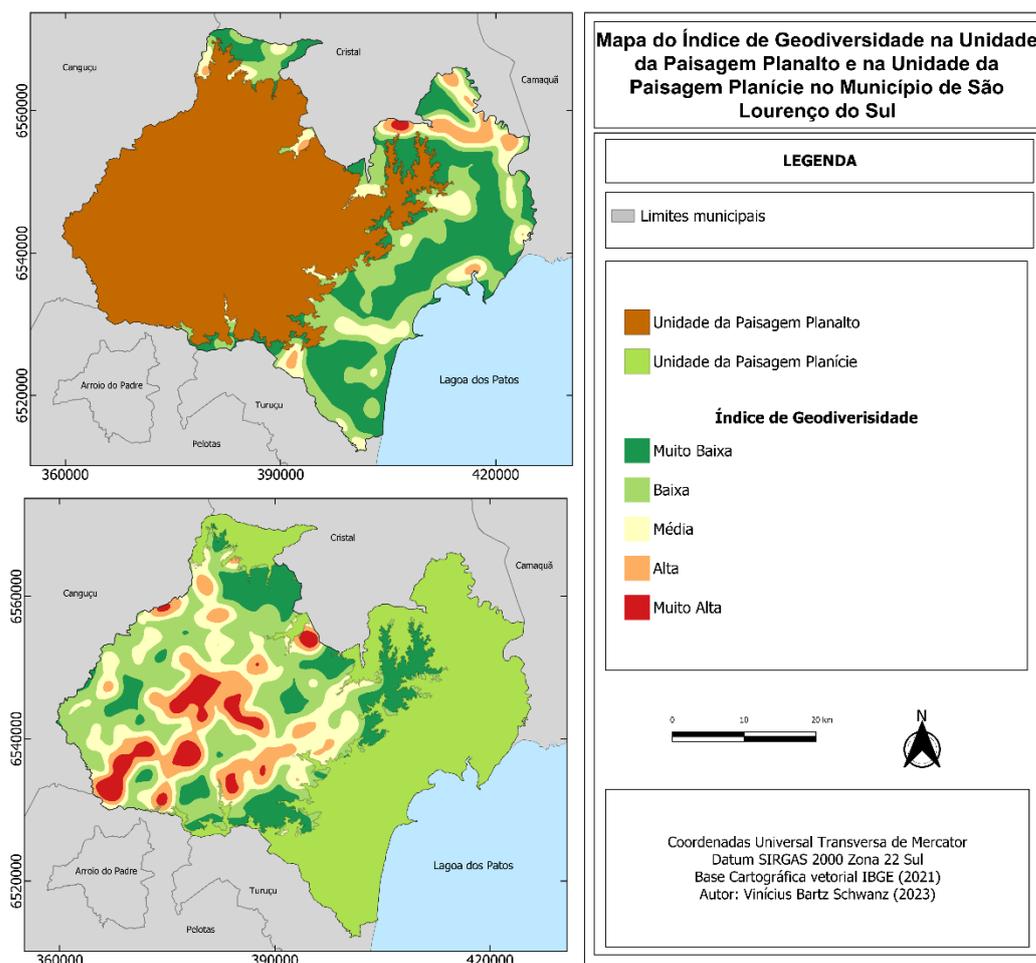
nestas áreas, onde as curvas de nível, com suas reentrâncias, interagiram com as demais classes. A situação é similar para a pedologia, que se mostrou com maior presença das diferentes características do solo nas manchas consideradas de maior índice.

Ainda, a variável recursos hídricos mostrou-se uniforme na sua distribuição no município, entretanto as ramificações da hidrografia, principalmente dos canais de primeira ordem, juntamente com as áreas úmidas, se mostraram presentes nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade. Estas constatações, onde as variáveis contribuíram, a partir da sua interação, para a identificação das áreas consideradas de elevado Índice de Geodiversidade, corroboram com o objetivo do método aplicado no estudo, a identificação da variabilidade dos elementos abióticos na área.

Como proposto na Caracterização da Área de Estudo, Capítulo 3, a análise do Índice de Geodiversidade também respeitou a divisão da área de estudo a partir das Unidades de Paisagem, sendo elas Unidade da Paisagem Planalto e Unidade da Paisagem Planície (Figura 35).

A Figura 35 permite observar a predominância das classes de elevado índice, Alta e Muito Alta, na região assumida como Unidade da Paisagem Planalto da área de estudo. Sua espacialização se apresenta heterogênea, sendo possível visualizar grandes áreas de elevado índice se conectando na região centro-oeste do município, enquanto na região norte e noroeste há presença de pequenas manchas. Ainda, verifica-se em um contexto geral, que as áreas que possuem maior concentração de elevados índices se dispõem nas regiões com maiores altitudes no município, localizadas na Unidade da Paisagem Planalto.

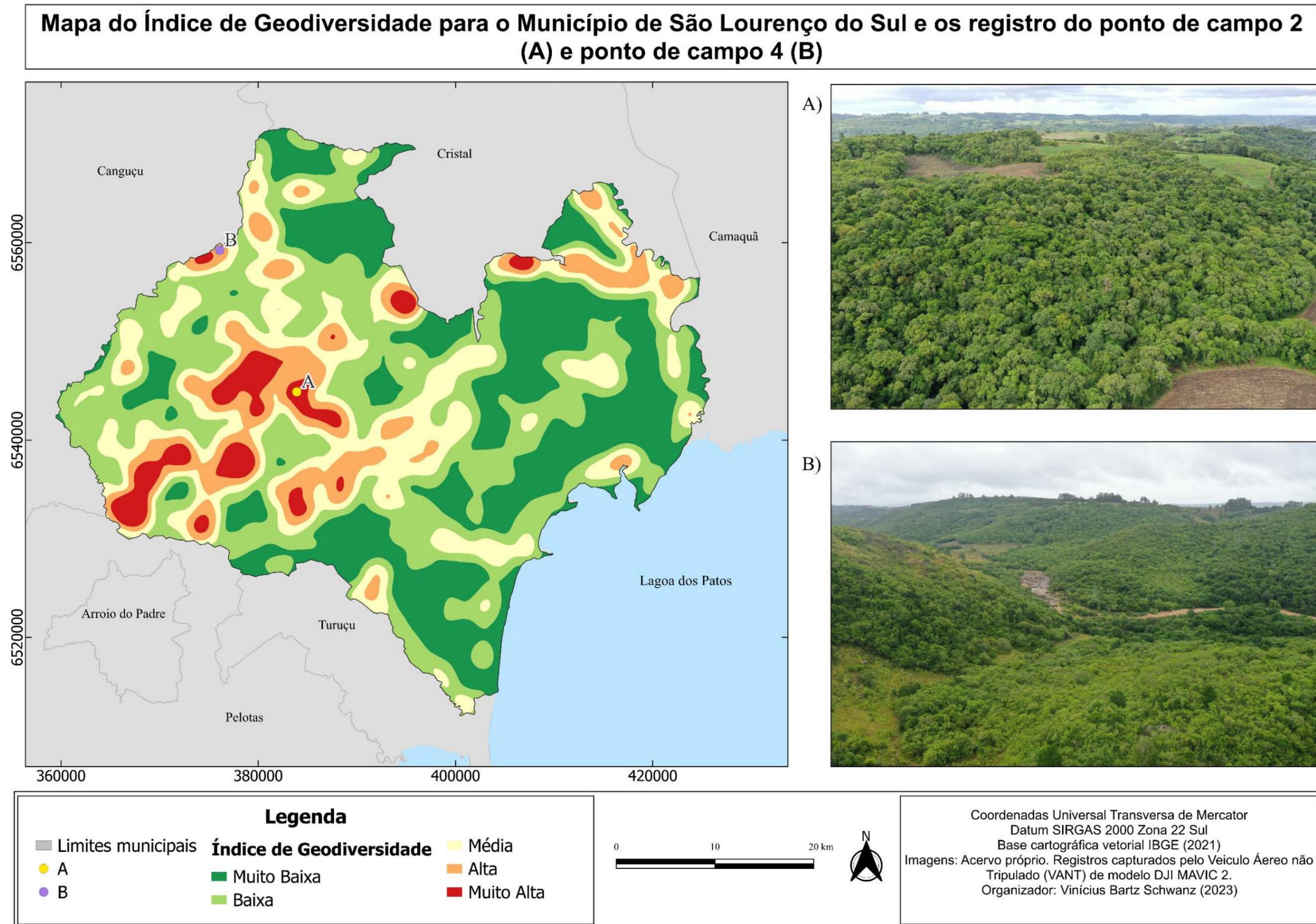
Figura 35 - Mapa do Índice de Geodiversidade para a Unidade da Paisagem Planalto e para a Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.



Fonte: O Autor (2023).

Já na Figura 36 observam-se registros de campo para dois pontos nesta unidade. Ambos os pontos, A e B, (respectivamente Pontos 2 e 4 do roteiro de campo) da Figura 21, localizados em áreas de elevado índice, destacam-se por possuírem um relevo considerado movimentado, o qual é característico da Unidade da Paisagem Planalto. No ponto A, observa-se mata nativa densa intercalada com práticas agrícolas. Já no ponto B, ocorre a interação entre a mata nativa com a formação campestre. Ainda, é possível visualizar pequenas formações rochosas em um curso hídrico, sendo característico a ocorrência de atividades ligadas à prática turística neste local, a exemplo de caminhadas em trilhas. Estas constatações podem indicar que, dentre as variáveis que mais se destacaram para a Unidade da Paisagem Planalto, foram a geologia e geomorfologia.

Figura 36 - Mapa do Índice de Geodiversidade e os registros de campo para Unidade da Paisagem Planalto da área de estudo.



Fonte: O Autor (2023).

O Quadro 8 apresenta a distribuição das classes do Índice de Geodiversidade de forma quantitativa para a Unidade da Paisagem Planalto, de forma a demonstrar a área e o seu respectivo percentual.

Quadro 8 - Valores de área ocupada pelas classes do Índice de Geodiversidade para a Unidade da Paisagem Planalto.

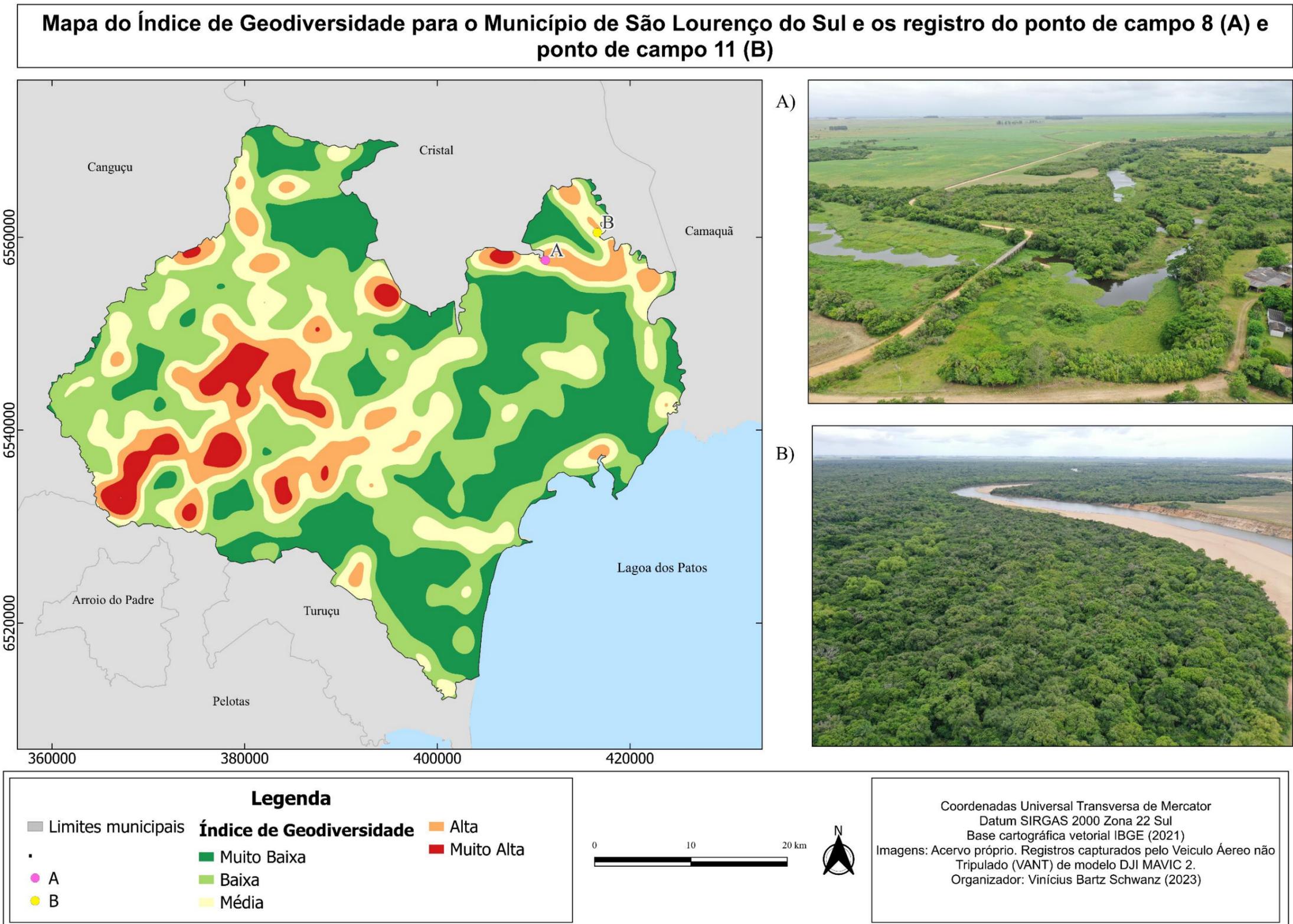
<b>Classes que compõe a Unidade da Paisagem Planalto</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Classes agrupadas</b>
Muito Baixa	234,86	11,54%	Classes Muito Baixa, Baixa e Média do Índice de Geodiversidade
Baixa	407,43	20,01%	
Média	286,37	14,07%	
Alta	168,17	8,26%	Elevado Índice de Geodiversidade
Muito Alta	80,42	3,95%	
Área total da Unidade da Paisagem Planalto	1.177,25	57,84%	
Área total do município	2.036,13	100%	

Fonte: O Autor (2023).

A partir do Quadro 8 é possível verificar que 12,21% (248,59km<sup>2</sup>) da área Unidade da Paisagem Planalto apresenta classes de Alta ou Muito Alta geodiversidade. Dentre as classes que compõem o grupo considerado de Elevado Índice de Geodiversidade, destaca-se a classe Alta, com 8,26% (168,17km<sup>2</sup>). Já as demais classes da Unidade da Paisagem Planalto somam 45,62% (928,66km<sup>2</sup>) da área total do município, evidenciando o predomínio das classes de Baixa geodiversidade com 20,01% (407,43km<sup>2</sup>) e Média geodiversidade com 14,07% (286,37km<sup>2</sup>).

Já na região da Unidade da Paisagem Planície, é possível verificar uma maior homogeneidade na distribuição dos elevados índices, localizados na região nordeste do município. A leste e sul da área de estudo, também se encontram pequenas áreas de elevado índice. A Figura 37 ilustra os registros para dois pontos desta unidade.

Figura 37 - Mapa do Índice de Geodiversidade e registros de campo para Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.



O ponto A (Ponto 8 do roteiro de campo) se encontra sob características atreladas à hidrografia com destaque para a presença de áreas úmidas na região. O Ponto B (Ponto 11 do roteiro de campo) possui características comuns a matas ciliares, onde se verifica a influência de um grande curso hídrico, o Rio Camaquã. Ambos os registros demonstram a homogeneidade do relevo, constituindo a Unidade da Paisagem Planície. Estas constatações indicam que, diferente da Unidade da Paisagem Planalto, onde as variáveis que mais se sobressaíram para a geração do produto do Índice de Geodiversidade, foram a geologia e geomorfologia, para a Unidade da Paisagem Planície os recursos hídricos se destacaram frente às demais.

O Quadro 9 demonstra a área ocupada pelas classes que compõem a Unidade da Paisagem Planície.

Quadro 9 - Valores de áreas ocupada pelas classes do Índice de Geodiversidade para a Unidade da Paisagem Planície.

<b>Classes que compõe a Unidade da Paisagem Planície</b>	<b>Área/km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Classes agrupadas</b>
Muito Baixa	377,15	18,52%	Classes Muito Baixa, Baixa e Média do Índice de Geodiversidade
Baixa	303,39	14,90%	
Média	134,5	6,61%	
Alta	40,44	1,99%	Elevado Índice de Geodiversidade
Muito Alta	2,89	0,14%	
<b>Área total da Unidade da Paisagem Planície</b>	<b>858,37</b>	<b>42,16%</b>	
São Lourenço do Sul	2.036,13	100%	

Fonte: O Autor (2023).

É possível verificar que 2,13% (43,33km<sup>2</sup>) da área da Unidade da Paisagem Planície compreende as classes de Alta ou Muito Alta geodiversidade. Destas classes que compõem o grupo considerado de Elevado Índice de Geodiversidade, destaca-se a classe Alta, com 1,99% (40,44km<sup>2</sup>). Já as demais classes da Unidade da Paisagem Planície possuem 40,03% (815,04km<sup>2</sup>) da área total do município, sendo predominantes as classes de Muito Baixa geodiversidade com 18,52% (377,15km<sup>2</sup>) e Baixa geodiversidade com 14,90% (303,39km<sup>2</sup>) de área ocupada.

Conforme os Quadros 8 e 9, o Município de São Lourenço do Sul possui 14,31% (291,92km<sup>2</sup>) da área com elevados índices de geodiversidade, enquanto 85,69% (1743,70km<sup>2</sup>) do município possui classes de Muito Baixa, Baixa e Média geodiversidade. O Quadro 10 demonstra o quantitativo de todas as classes do Índice de Geodiversidade para o município.

Quadro 10 - Valores de áreas ocupada pelas classes do Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul.

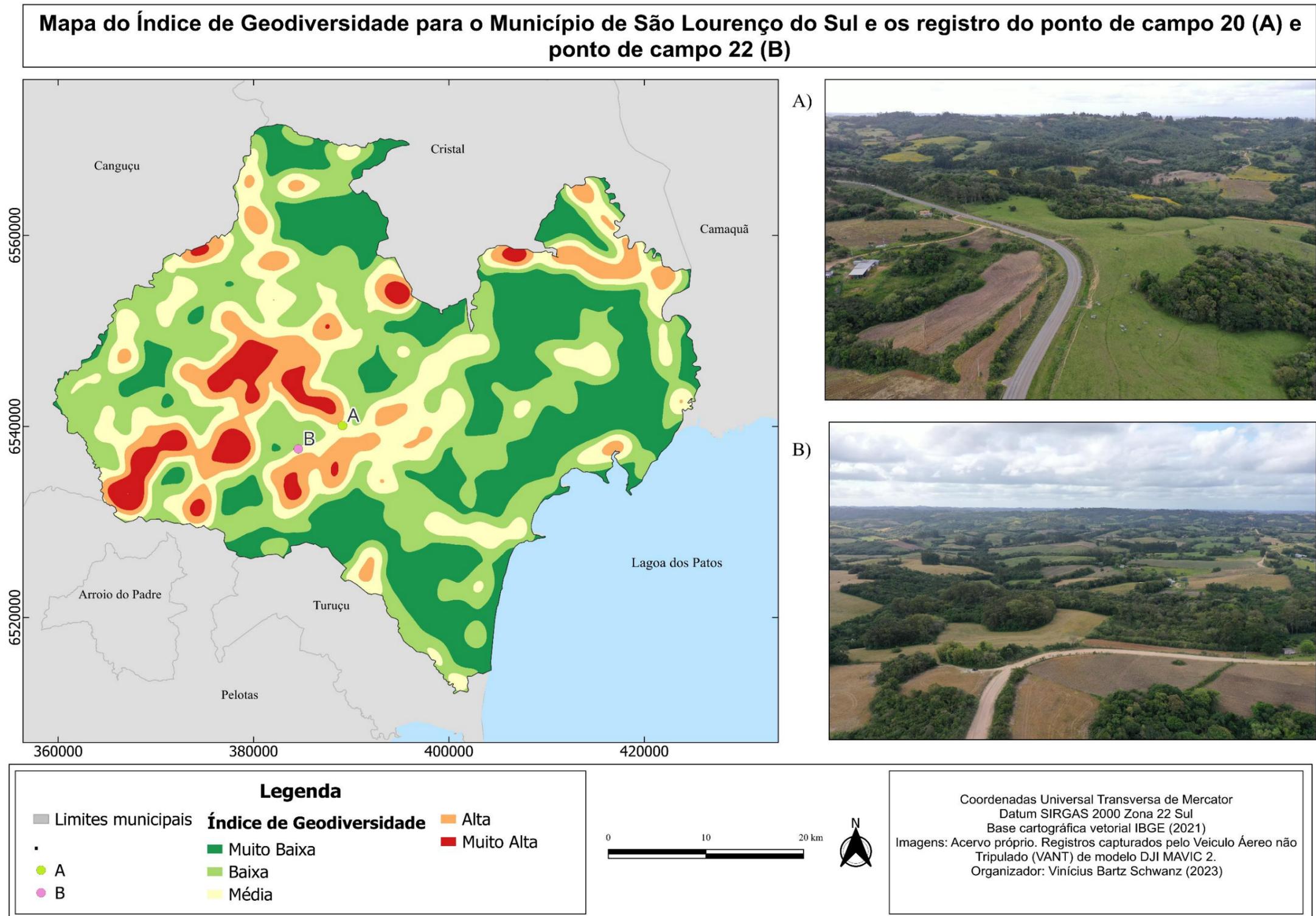
<b>Classes do Índice de Geodiversidade que compõe o Município de São Lourenço do Sul</b>	<b>Área/km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Classes agrupadas</b>
Muito Baixa	612,01	30,06%	Classes Muito Baixa, Baixa e Média do Índice de Geodiversidade
Baixa	710,82	34,91%	
Média	420,87	20,68%	
Alta	208,61	10,25%	Elevado Índice de Geodiversidade
Muito Alta	83,31	4,09%	
São Lourenço do Sul	2.036,13	100%	

Fonte: O Autor (2023).

Destaca-se ainda, frente a estas análises, a classe de Média geodiversidade. Embora a classe não componha a faixa de geodiversidade de elevado Índice de Geodiversidade desta pesquisa, a mesma desempenha um papel importante no panorama geral do Índice. A classe encontra-se posicionada, majoritariamente, entre as classes de Baixa e Alta geodiversidade. Nos pontos de campo 20 e 22 (Figura 38), foi observado que estas áreas de Média geodiversidade possuem uma dinâmica de interconexão entre as demais classes, podendo ser visualizado a transição entre áreas de Baixa com as classes de Alta e Muito Alta geodiversidade.

Nos pontos A (ponto 20 do campo) e B (ponto 22 do campo), foi verificado que inicialmente os complexos abióticos, destacando a geomorfologia, possuíam um início de expressão de sua variabilidade na paisagem, porém ainda com certa limitação, visto a pouca variação do relevo. Entretanto, nas áreas mais afastadas (classes de elevado Índice de Geodiversidade), identificou-se uma maior complexidade, destacando a variação das formas do relevo.

Figura 38 - Mapa do Índice de Geodiversidade e registros de campo para Unidade da Paisagem Planície da área de estudo.



Fonte: O Autor (2023).

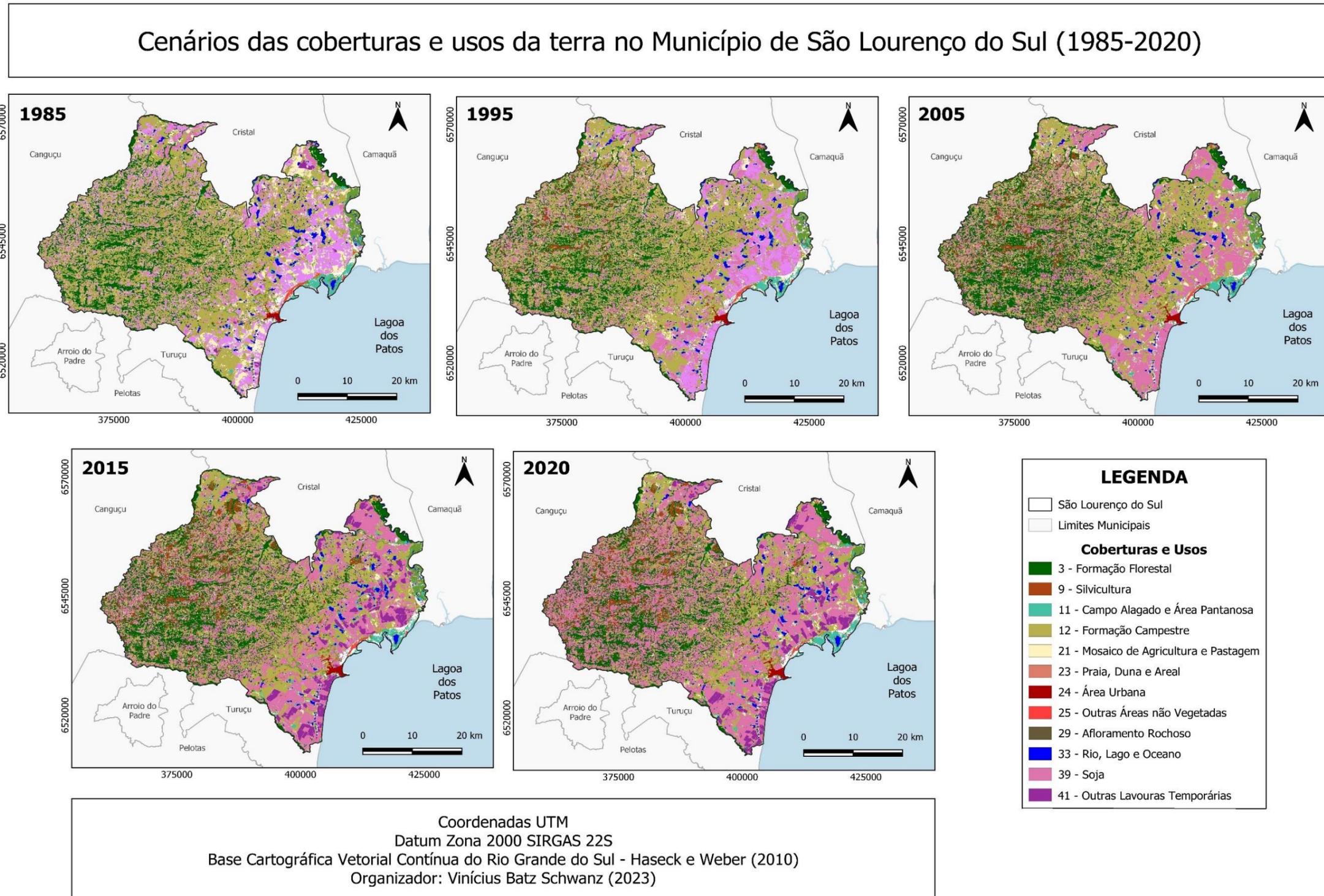
Diante disso, de acordo com Gray (2004), Brilha (2005) e até mesmo Bétard (2017), a geodiversidade está suscetível a impactos, e muitos destes impactos advém das ameaças que o uso de uma dada área possui, o próximo capítulo abordará de forma qualitativa e quantitativa as ameaças à geodiversidade no Município de São Lourenço do Sul a partir da análise da cobertura e uso da terra para o município e para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade.

### 5.3 COBERTURA E USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL

A partir da metodologia de obtenção dos dados de cobertura e uso da terra através do projeto MapBiomas, foi possível analisar sua espacialização bem como a quantificação das 15 classes temáticas que compreendem o Município de São Lourenço do Sul. Estas classes, como descrito no capítulo dos procedimentos metodológicos, são formadas por seis grandes grupos: 1. Florestas (formação florestal e restinga arborizada), 2. Formação Natural não Florestal (campo alagado e área pantanosa, formação campestre, afloramento rochoso e restinga arborizada), 3. Agropecuária (silvicultura, mosaico de usos, outras lavouras temporárias e soja) 4. Área não Vegetada (área urbana, praia, duna e areal e outras áreas não vegetadas), 5. Corpos D'água (rio, lago ou oceano) e 6. Não Observado.

Na Figura 39 é possível verificar a organização e evolução espacial das classes de cobertura e uso da terra ao longo do período analisado (1985 a 2020).

Figura 39 - Cenários das coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul entre 1985 e 2020.



Fonte: O autor (2023).

A análise espacial da cobertura e uso da terra, a partir dos cenários para os anos de 1995, 2005, 2015 e 2020 para o Município de São Lourenço do Sul, permite identificar uma fragmentação da classe de Formação Florestal e Formação Campestre. Frente a esta fragmentação, ocorre um crescimento das classes de Silvicultura e Soja.

Por suas características naturais, como descrito na caracterização da área de estudo, a Unidade da Paisagem Planalto possui uma heterogeneidade maior nas características de cobertura e uso da terra, visto a predominância no primeiro cenário (1985), da classe formação florestal, que apresenta de forma entremeada pequenos fragmentos de outras lavouras temporárias juntamente com áreas de soja. Já no último cenário (2020), tem-se, para toda a área de estudo, uma grande fragmentação da cobertura vegetal. Este processo pode ser explicado pela influência das classes de Outras Lavouras Temporárias, Silvicultura e a classe que mais se destaca na análise, a Soja, cujo aumento é discrepante ao ser comparado com as demais coberturas e usos da terra.

A Unidade da Paisagem Planície possui uma maior homogeneidade em relação aos usos, tendo como destaque as classes de Soja e Outras Lavouras Temporárias, que neste caso, predominantemente corresponde à prática da rizicultura. Ainda, observa-se a diferença na Formação Campestre, cobertura característica da Unidade da Paisagem Planície, do primeiro cenário (1985) para o último (2020), no qual ocorre uma supressão das áreas para a classe de Soja e de Outras Lavouras Temporárias.

Posto isto, a Tabela 2 evidencia a dinâmica das coberturas e usos da terra no Município de São Lourenço do Sul a partir da análise quantitativa.



Observou-se que no decorrer dos anos, de 1985 a 2020, ocorreu o desenvolvimento das regiões antropizadas como as Áreas Urbanas (+83,2%) e práticas agrícolas, especialmente o crescimento exponencial da Silvicultura (+2.959%) e da cultura de Soja (+762%) no Município de São Lourenço do Sul. Foi verificado também o decréscimo das coberturas vegetais nativas do Bioma Pampa, como é o caso da Formação Campestre (-47,9%).

Quanto às demais classes de cobertura e uso da terra, não demonstraram tamanha discrepância quanto às classes supracitadas, como os exemplos da Formação Florestal (+2,4%), Restinga Arborizada (-12,1%), Campo Alagado e Área Pantanosa (+22,9%), as Praias, Dunas e Areais (+26,0%) e Lagos, Rios e Oceano (-21,9%).

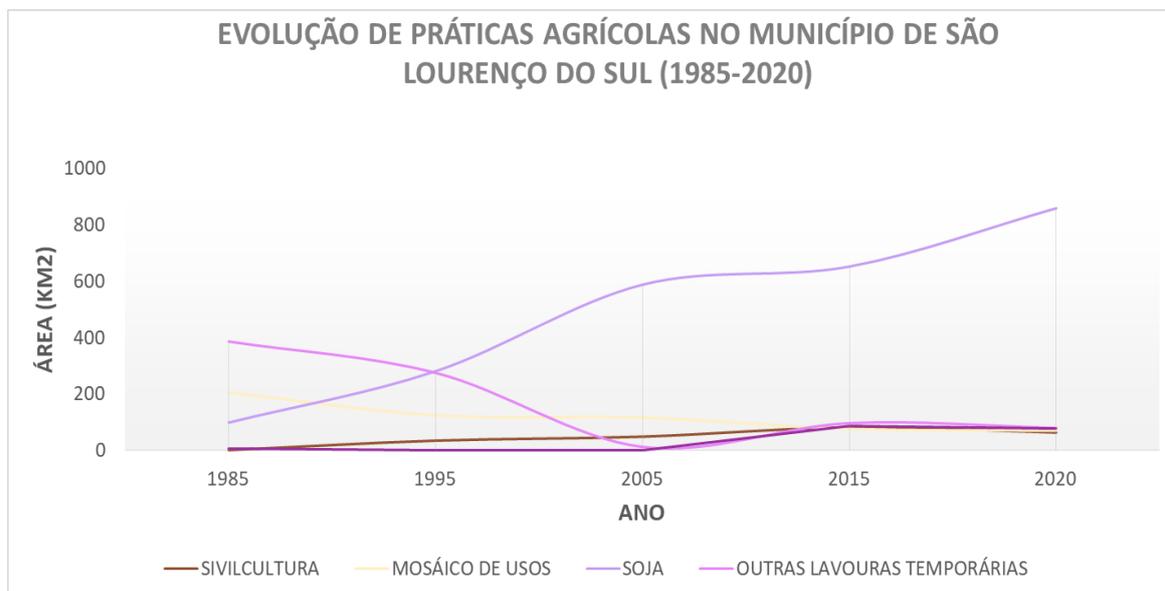
Cabe destacar que o Município de São Lourenço do Sul possui área total de 2.036km<sup>2</sup> e deste total, a prática agrícola da cultura da soja ocupa aproximadamente 859km<sup>2</sup>. A Figura 40 representa o ponto 16 do trabalho de campo (Figura 21 do trabalho de campo), onde se manifesta uma grande área do cultivo da soja. Ainda, segue o Gráfico 1, que apresenta este crescimento do cultivo da soja no município em relação às outras práticas agrícolas durante o período analisado.

Figura 40 - Extensa área da prática de sojicultura no ponto 16 do campo realizado na área de estudo.



Fonte: O autor (2023).

Gráfico 1 - Evolução de práticas agrícolas no Município de São Lourenço do Sul (1985-2020).



Fonte: O autor (2023).

Este crescimento da soja frente as demais práticas agrícolas, está relacionado ao processo de transformação econômica, cujo objetivo final da produção está ligado à exportação de *commodities*. Esta transformação econômica está ligada a priorização da monocultura, caracterizada pela produção de apenas uma cultura geralmente em grande escala. Com isso, as medidas derivadas do Plano real resultaram no beneficiamento do setor agrícola, impulsionando a aplicação de novas tecnologias que contribuiriam para o aumento da produção e produtividade das culturas (SOUZA; BITTENCOURT, 2020).

Ao encontro disto, Simon e Trentin (2009) relatam que as fases, tanto social quanto econômica, determinam as características das modificações nos sistemas ambientais. Assim, ao analisar os dados qualitativos e quantitativos da cobertura e uso da terra para a área de estudo, afirma-se que a soja está ditando as características da paisagem no Município de São Lourenço do Sul.

#### 5.4 COBERTURA E USO DA TERRA PARA AS ÁREAS DE ELEVADO ÍNDICE DE GEODIVERSIDADE NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL

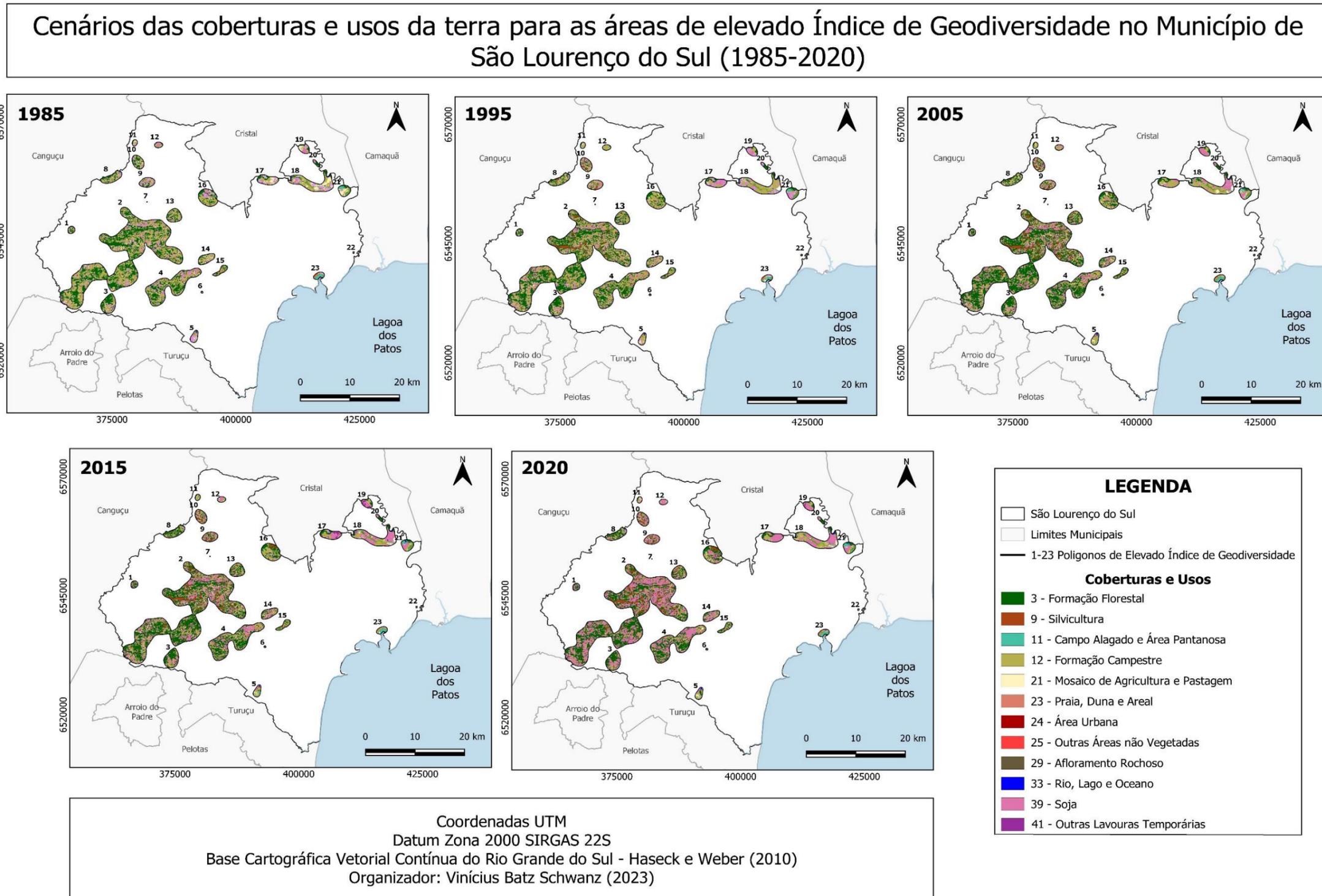
Conforme Gray (2004), Brilha (2005) e Bétard (2017), as principais ameaças à geodiversidade advém da ação antrópica. Considerando a ação humana como um fator de ameaça à geodiversidade, torna-se necessário analisar a dinâmica de cobertura e uso da terra para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade (Figura 41) para a compreensão da relação da sociedade para com os recursos naturais, assim identificando as possíveis ameaças.

Ao longo do período de análise da dinâmica das coberturas e usos da terra (1985-2020) identifica-se o aumento considerável de áreas com práticas antrópicas tanto de silvicultura (eucalipto, pinus e acácia) quanto de monoculturas, especialmente com o plantio de grãos (soja e arroz irrigado). Tais práticas antrópicas estão presentes também nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade.

Na Unidade da Paisagem Planalto as áreas referentes ao elevado índice de geodiversidade encontram-se nas porções centro, noroeste e sudoeste. Nestas áreas, é observado o aumento das práticas agrícolas voltadas para a sojicultura bem como para a silvicultura. Ainda, verifica-se uma supressão da Formação Campestre nestas áreas, seja pelo avanço da Formação Florestal, seja pelo avanço da Silvicultura e principalmente pela Soja.

Já a área compreendida pela Unidade da Paisagem Planície, as áreas de elevado Índice de Geodiversidade estão no setor nordeste, onde nota-se o aumento da classe Soja. No ano de 1985 existiam espaços utilizados para Outras Lavouras Temporárias, capitaneadas pelo plantio de arroz irrigado. A prática da rizicultura para a área era comum, visto as características físicas, como a baixa altimetria, terrenos sobretudo planos com uma vasta disponibilidade de massas d'água, que por sua vez tendem a facilitar o cultivo do arroz.

Figura 41 - Cenários das coberturas e usos da terra para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade no Município de São Lourenço do Sul entre 1985 e 2020.

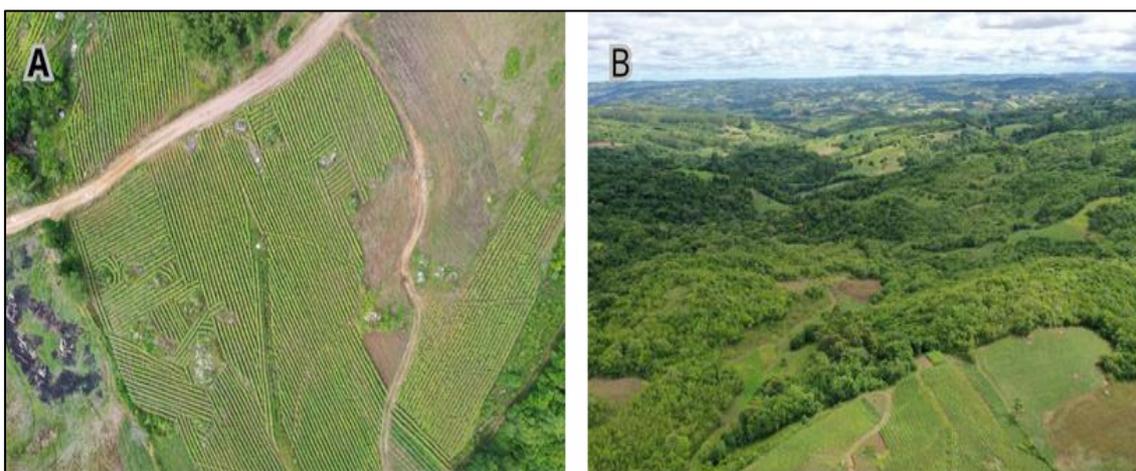


Fonte: O autor (2023).

Ainda nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade, conforme descrito na caracterização da área de estudo, Capítulo 3, e corroborado com os resultados de cobertura e uso da terra, a classe de Formação Florestal está majoritariamente na Unidade da Paisagem Planalto. Enquanto isso a Unidade da Paisagem Planície tem a predominância da classe Formação Campestre, característico da Unidade.

Frente a estas análises, a Figura 42, ponto de campo 2 (Figura 21 do campo) ilustra a transição entre uma cultura que foi identificada na Unidade da Paisagem Planalto, a fumicultura, com a classe de Formação Florestal, em uma área de elevado Índice de Geodiversidade classificada como Polígono 2 da Figura 41.

Figura 42 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na Unidade da Paisagem Planalto (Ponto 2 do campo).



Fonte: O autor (2023).

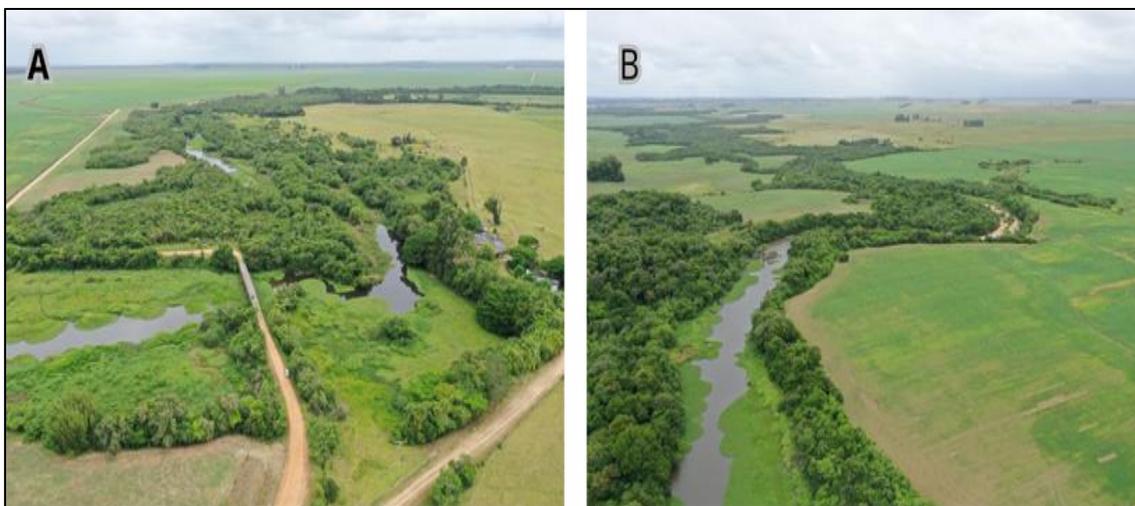
No registro A, é possível verificar a prática da fumicultura, sendo a mesma muito difundida na área, uma vez que não necessita um grande maquinário para o cultivo, o que facilita sua prática por parte dos pequenos agricultores. No registro B, observa-se a Formação Florestal, sendo intercalada com a fumicultura e sojicultura.

A partir das constatações em campo, verifica-se que as áreas de silvicultura são compostas, em sua maioria, por diversos fragmentos dispersos em pequenas propriedades, que podem estar relacionados com seu uso como apoio nas etapas de preparação de outras culturas, como por exemplo a

fumicultura. Em uma das etapas da cultura do fumo, o eucalipto é utilizado como fonte energética, ocorrendo a queima para aquecimento de estufas que armazenam o produto.

Já a Figura 43, ponto de campo 8 (Figura 21 figura do campo) demonstra as características da cobertura e uso da terra em uma área de elevado Índice de Geodiversidade, na Unidade da Paisagem Planície, classificada como Polígono 18 (Figura 41), onde é possível observar a presença de áreas úmidas (área de várzea) e um curso hídrico.

Figura 43 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na Unidade da Paisagem Planície (Ponto 8 do campo).



Fonte: O autor (2023).

No registro A, observa-se uma área de mata ciliar, considerada Formação Florestal, interagindo com um complexo de área úmida derivado da dinâmica do corpo hídrico, considerado pelo MapBiomias como a classe de Campo Alagado e Área Pantanosa. Ainda, no registro B é verificada a interação entre uma área que está em processo de preparo (sistema de plantio direto) para a cultura da Soja, com as classes de Formação Florestal e Campo Alagado e Área Pantanosa.

Frente a estes aspectos, em termos quantitativos, a Tabela 3 demonstra os valores de área ocupada, em quilômetros quadrados e o respectivo percentual, pelas classes de cobertura e uso da terra em cada cenário nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade.

Tabela 3 - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO OU REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	93,1	32,0	96,8	33,3	118,9	40,9	108,1	37,2	95,9	33,0	3,00
49	RESTINGA ARBORIZADA	2,9	1,0	3,2	1,1	3,5	1,2	3,5	1,2	3,2	1,1	-9,10
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	2,1	0,7	5,1	1,7	2,0	0,7	2,6	0,9	2,7	0,9	-22,20
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	125,4	43,1	111,5	38,3	72,4	24,9	65,1	22,4	45,1	15,5	-64,00
29	AFLORAMENTO ROCHOSO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
50	RESTINGA HERBÁCEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA	0,3	0,1	9,0	3,1	12,2	4,2	16,1	5,5	16,9	5,8	5533,30
21	MOSÁICO DE USOS	18,5	6,4	11,0	3,8	13,9	4,8	12,2	4,2	8,1	2,8	-56,20
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	34,1	11,7	1,3	0,4	19,82	6,8	3,2	1,1	0,8	0,3	-97,70
39	SOJA	11,5	4,0	31,9	11,0	64,9	22,3	78,0	26,8	116,7	40,1	914,80
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
23	PRAIA, DUNA E AREAL	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	1,9	0,7	1,3	0,5	1,0	0,3	0,9	0,3	0,8	0,3	-57,90
<b>5. CORPOS D'AGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,9	0,3	0,8	0,3	0,7	0,2	0,9	0,3	0,8	0,3	12,50
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0

Fonte: O autor (2023).

A partir da Tabela 3, é possível afirmar que nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade ocorre um exponencial acréscimo da silvicultura (+5.533%) e também da sojicultura (+914%) no período analisado. Determinadas classes de cobertura e uso da terra como Rio, Lago e Oceano, Área Urbana e Formação Florestal não sofreram acréscimos ou decréscimos significativos de áreas como as demais classes. Cabe destacar a dinâmica da classe Campo Alagado e Área Pantanosa (-22,20%), a qual no ano de 1995, possuía 5,1km<sup>2</sup> de área, enquanto no ano de 2020, sua área foi reduzida para 2,7km<sup>2</sup>.

Em comparação com as demais classes, a cobertura que obteve uma redução mais significativa foi a Formação Campestre (-64,00%). Em termos de área, a Formação Campestre no primeiro cenário (1985), detinha 125,4km<sup>2</sup>, tendo 45,1km<sup>2</sup> após decorrerem 35 anos, no último cenário analisado (2020).

A classe de Formação Florestal possui a segunda maior área quando comparada à totalidade dos polígonos de elevados Índice de Geodiversidade, possuindo 95,9km<sup>2</sup>, tendo no período de 1985 a 2020 um acréscimo de 3% de área. Já a classe de Silvicultura, que em um primeiro momento possuía 0,3km<sup>2</sup> e no cenário atual possui 16,9km<sup>2</sup> de área. Cabe destacar que a distribuição da Silvicultura não é homogênea, ou seja, a mesma não ocorre em grandes hortos, mas sim em pequenos fragmentos ao longo da área de elevado Índice de Geodiversidade.

Como supracitado, a classe da Soja é a que mais se destaca em questões de área ocupada e percentual de evolução. No primeiro cenário (1985), a classe ocupava 11,5km<sup>2</sup> de área, tendo no último cenário (2020) área de 116,7km<sup>2</sup>. A classe possui o maior protagonismo quando comparado com a área total do elevado Índice de Geodiversidade, abrangendo cerca de 40% de toda a área.

A Tabela 4 apresenta a diferença percentual entre a cobertura e o uso do primeiro cenário (1985) e o último (2020) analisado.

Tabela 4 - Percentual de cobertura e de uso para cada polígono de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

POLIGONO	1985		2020		ÁREA km <sup>2</sup>	UNIDADE DA PAISAGEM
	COBERTURA	USO	COBERTURA	USO		
1	76%	24%	54%	46%	1,76	U.P Planalto
2	83%	17%	48%	52%	160	U.P Planalto
3	80%	20%	58%	42%	8,98	U.P Planalto
4	79%	21%	56%	44%	36,4	U.P Planalto
5	41%	59%	62%	38%	2,8	U.P Planície
6	74%	26%	84%	16%	0,14	U.P Planalto
7	83%	17%	66%	34%	0,13	U.P Planalto
8	80%	20%	73%	27%	6,21	U.P Planalto
9	58%	42%	33%	67%	4,99	U.P Planalto
10	75%	25%	40%	60%	5,28	U.P Planalto
11	55%	45%	49%	51%	1,09	U.P Planície
12	55%	45%	13%	87%	1,58	U.P Planície
13	84%	16%	61%	39%	6,64	U.P Planalto
14	74%	26%	47%	53%	5,32	U.P Planalto
15	85%	15%	83%	17%	2,78	U.P Planalto
16	72%	28%	60%	40%	10,86	U.P Planalto
17	47%	53%	42%	58%	6,72	U.P Planície
18	57%	43%	47%	53%	17,5	U.P Planície
19	34%	64%	37%	63%	2,22	U.P Planície
20	67%	33%	62%	38%	0,28	U.P Planície
21	66%	34%	67%	33%	4,23	U.P Planície
22	91%	9%	100%	0%	0,1	U.P Planície
23	61%	39%	75%	25%	1,8	U.P Planície

Fonte: O autor (2023).

No ano de 1985, majoritariamente as coberturas da terra se sobressaiam frente aos usos nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade. Isto é destacado quando apenas os polígonos 5, 17 e 19 possuíam mais usos, 59%, 53% e 64% respectivamente. No entanto, no último cenário, no ano de 2020, os polígonos 2, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 18 e 19 já possuem um percentual maior para os usos da terra. Como já destacado, estes usos são capitaneados pelas classes de Silvicultura e sobretudo, a Soja. Nos demais polígonos, mesmo que não majoritariamente, os usos obtiveram um acréscimo, desta forma ocasionando o decréscimo no percentual das coberturas. A cobertura que mais foi influenciada por este acréscimo da Soja, possuindo a diminuição de sua área, foi a Formação Campestre.

Ainda, é possível verificar em um cenário inicial (1985), que a grande parte dos polígonos inseridos na Unidade da Paisagem Planalto possuíam um maior percentual de cobertura do que de usos. Na Unidade da Paisagem Planície, observa-se uma maior homogeneidade, possuindo divisão entre os percentuais de cobertura e uso dos polígonos. Já em um cenário final (2020), na Unidade da Paisagem Planalto, é possível verificar a variação, onde o uso possui um aumento e a cobertura uma diminuição dos percentuais em cada polígono.

Destaca-se que determinados polígonos possuem áreas, em um contexto geral, com pequenas dimensões, que majoritariamente estão inseridos na Unidade da Paisagem Planície. A medida que um polígono tenha uma pequena dimensão, maior a probabilidade da homogeneidade de uma classe, seja cobertura, seja uso.

## 5.5 AMEAÇAS À GEODIVERSIDADE NO MUNICÍPIO DE SÃO LOURENÇO DO SUL

A partir da compreensão dos elementos abióticos que compõem a área de estudo, da avaliação quantitativa por meio do Índice de Geodiversidade, da análise da cobertura e uso da terra para o Município de São Lourenço do Sul quanto para as áreas de elevado índice, verificou-se que a principal ameaça, enquanto uso da terra, que modifica, altera, danifica, polui e até mesmo perde elementos da geodiversidade, é a cultura da soja.

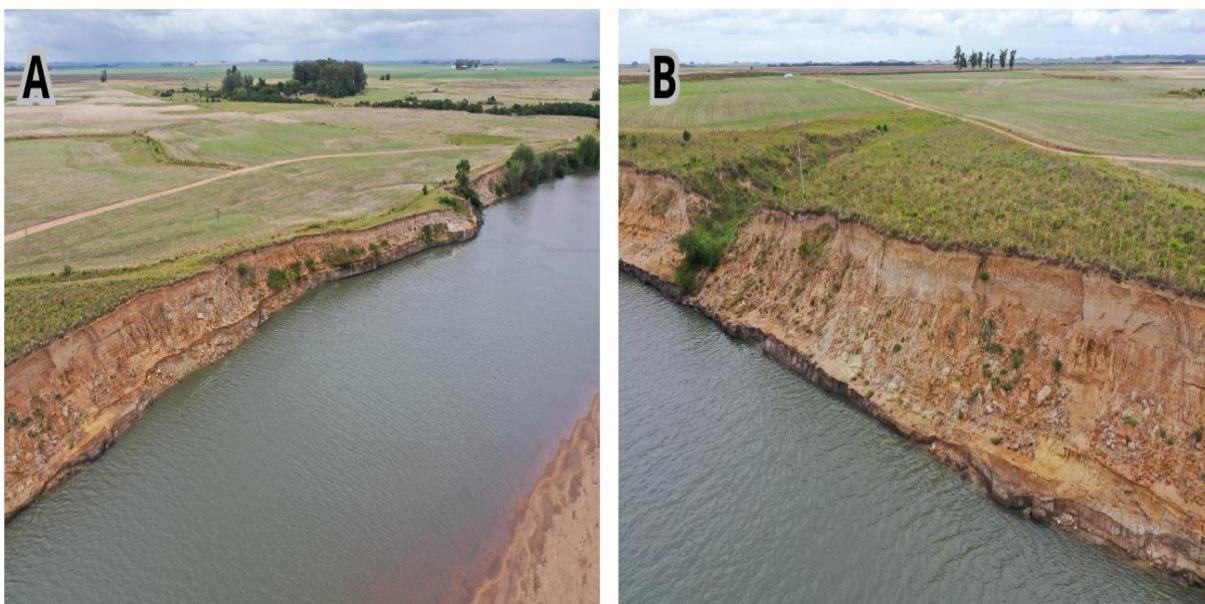
Ao analisar a dinâmica da sojicultura, a mesma apresentou significativa alteração, sendo que parte do cenário ocupado de apenas 5% de área total do município, para aproximadamente 43%, ou seja, de forma geral, cerca da metade do

Município de São Lourenço do Sul está sob a influência da cultura da soja. Visto isto, Gray (2004) relata que a agricultura é uma ameaça à geodiversidade a medida em que a mesma potencializa a compactação e altera quimicamente as propriedades do solo, intensifica os processos erosivos bem como altera a morfologia dos terrenos. Além disto, ocorre também a poluição de corpos hídricos a partir da lixiviação tanto de agrotóxicos quanto de fertilizantes.

A Unidade da Paisagem Planalto possui, frente a ameaça que a sojicultura representa nas áreas de Elevado Índice de Geodiversidade, características importantes. Tem-se para a área uma grande variabilidade dos elementos abióticos, sendo a Unidade com maior presença das áreas de elevado Índice de Geodiversidade na área de estudo. Assim, com o exponencial aumento da classe da Soja (914%), a Unidade está suscetível à ocorrência tanto da remobilização do solo, da alteração das morfologias do terreno, recobrimento das características geológicas bem como alteração da morfohidrografia. Estes impactos podem resultar tanto na degradação da geodiversidade quanto na perda dela. Ressalta-se ainda que a prática só não se intensifica na área da Unidade, pela dificuldade quanto ao uso de maquinário agrícola, visto a dimensão das propriedades e a limitação que o relevo implica, principalmente ligada à declividade dos terrenos.

Já a Unidade da Paisagem Planície possui certo favorecimento para implementação dos grandes maquinários agrícolas, principalmente por possuir um relevo plano. Com isto, a intensificação da produção também aumenta, onde já se verifica alguns impactos da sojicultura. A Figura 44, ponto 11 de campo (Figura 21) ilustra a pressão que a sojicultura realiza frente aos elementos da geodiversidade em uma área que possui grande variabilidade dos elementos abióticos.

Figura 44 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na Unidade da Paisagem Planície demonstrando a cultura da soja avançando sobre áreas de proteção permanente (APP) (ponto 11 do campo).



Fonte: O autor (2023).

Em ambos os registros do mesmo local, A e B, a área já está sofrendo o impacto da sojicultura. Em um primeiro momento, verifica-se o descumprimento da Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências, como a delimitação das Áreas de Preservação Permanente. O Art. 4° da mesma lei, dispõe que as faixas marginais de cursos hídricos devem respeitar uma largura mínima em relação à largura do canal. Assim, ao realizar a medição no *software* QGIS da menor área do canal no ponto 11 do campo (Figura 45), verificou-se a largura de 140 metros. Ao se respeitar a legislação prevista, o mínimo que deveria estar protegido seria de 100 metros de largura a partir da borda da calha do leito regular.

Figura 45 - Largura do corpo hídrico no ponto 11 do campo na área de estudo.



Fonte: O autor (2023).

Entretanto isso não é respeitado, uma vez que a sojicultura está pressionando o corpo hídrico, pois a distância da prática agrícola não respeita o valor mínimo estabelecido pela legislação. Isto acarreta, como supracitado, na intensificação de processos erosivos, identificados tanto nos Registro A e B, como no processo de contaminação do recurso hídrico a medida em que os compostos químicos utilizados são lixiviados.

Já a Figura 46 ilustra outra ameaça à geodiversidade presente na área de estudo, a silvicultura.

Figura 46 - Registros capturados por VANT para uma área de elevado Índice de Geodiversidade localizado na em uma área de transição entre Unidade da Paisagem Planície e Unidade da Paisagem Planalto, demonstrando a classe de uso da terra Silvicultura (ponto 3 de campo).



Fonte: O autor (2023).

A silvicultura, assim como a sojicultura, é considerada uma ameaça à geodiversidade, Gray (2004) traz que a mesma pode ocultar as características tanto pedológicas, geomorfológicas e geológicas de uma dada área. Ao encontro disto, Bétard (2017) ressalta que a cultura impacta tanto os sistemas hidrológicos, as características físico-químicas quanto visuais da paisagem.

Isto demonstra a necessidade da avaliação da geodiversidade, pois a partir da identificação dos arranjos dos elementos da geodiversidade, assim verificando sua variabilidade, tem-se a identificação de áreas que possam ter seus estudos aprofundados a fim de identificar, seja seus valores geopatrimoniais, seja os serviços ecossistêmicos que a geodiversidade provem. Por fim, ao identificar as áreas com grande variabilidade dos elementos abióticos bem como verificar quais são as ameaças a estes locais, no presente estudo, a agricultura, possibilita a decisão de aplicar os princípios da geoconservação. Estes princípios vão desde o aprofundamento de pesquisas que serviriam de subsídio na promoção do conhecimento geocientífico, na abordagem da geoeducação bem como na implementação da prática do geoturismo.

A partir destas abordagens de geoeducação e o geoturismo, tem-se a possibilidade do fomento ao desenvolvimento sustentável, base para a geoconservação. Estas abordagens vão ao encontro da perspectiva dos geoparques. Os geoparques utilizam a geodiversidade, principalmente aquela que possui uma excepcionalidade, que foi avaliada e/ou inventariada, constituindo-se geopatrimônio, para fomentar a conscientização da população, buscando assim, o desenvolvimento sustentável. Com o engajamento dos atores sociais frente a estas questões, as ameaças à geodiversidade tendem a diminuir, uma vez que o aproveitamento dos recursos naturais sejam utilizados, sem mais a perspectiva produtivista da monocultura, mas sim aproveitando as particularidades do território e suas potencialidades, visando atividades econômicas menos impactantes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, constata-se que a presente dissertação de mestrado teve êxito em alcançar o seu principal objetivo, que era a obtenção do Índice de Geodiversidade para o Município de São Lourenço do Sul e relacionar as áreas de elevado Índice de Geodiversidade com a dinâmica de coberturas e usos da terra a fim de identificar as ameaças à geodiversidade.

Para a obtenção destes resultados, realizou-se uma avaliação da geodiversidade a partir do método quantitativo proposto por Forte et al. (2018), no qual estabelece um cruzamento de variáveis abióticas, entre outros tratamentos em ambiente SIG, para a geração de um mapa indicando o Índice de Geodiversidade. Enquanto análise crítica ao método, observou-se que o mesmo não foi suficiente para a adequada representação dos elementos abióticos da área de estudo. Isto, pois verificou-se em campo que o método inicial não abarcou determinadas características da área de estudo, como por exemplo, as quedas d'água e feições geomorfológicas bem como superestimou outra, a hidrografia. Visto isso, houve a necessidade de adaptações que possibilitassem a devida representação considerando a manifestação paisagística dos elementos identificados em trabalho de campo.

Desta forma, considera-se muito importante a proposição de estudos de campo, pois os mesmos possibilitam identificar novos elementos e processos que não haviam sido considerados em uma avaliação inicial, em gabinete. Ainda, auxilia no fornecimento de informações mais detalhadas sobre a complexidade abiótica, assim, podendo representar estes elementos em um ambiente SIG de acordo com as características da área de estudo. Salienta-se também que o estudo utilizou dados de entrada (variáveis abióticas) com escalas de 1:250.000, ou seja, o Índice de Geodiversidade possui dependência direta à escala utilizada, pois são as variáveis que irão ditar a variabilidade abiótica da área.

Compreende-se ainda, que todos os elementos abióticos utilizados contribuíram para a geração do índice, onde as áreas de elevado Índice de Geodiversidade mostraram uma grande interação entre as variáveis geologia, geomorfologia, pedologia e recursos hídricos. O produto do Índice de Geodiversidade demonstrou distinções na distribuição espacial de suas classes, Muito Baixa, Baixa,

Média, Alta e Muito Alta geodiversidade no município. Observou-se que as classes de elevado Índice de Geodiversidade representaram suficientemente as interações entre as variáveis utilizadas, onde ao longo da área de estudo, mostraram-se heterogêneas. Na região centro-oeste, foram identificados os polígonos com as maiores dimensões, enquanto na região nordeste, os de menores. Isto muito provavelmente está relacionado as diferenças físicas entre as Unidades da Paisagem.

A maior concentração de áreas com elevado índice (classes de Alta e Muito Alta Geodiversidade) estão presentes na Unidade da Paisagem Planalto, com 12,21% da área total do município. Estas classes estão concentradas principalmente nas regiões centro-oeste, norte e noroeste. Para a Unidade da Paisagem Planície, encontram-se majoritariamente a nordeste do município, ocupando 2,13% da área de estudo.

Já a dinâmica de cobertura e uso da terra para São Lourenço do Sul indicou que os cultivos agrícolas, sobretudo a sojicultura e a silvicultura, se sobressaíram em relação às demais classes. No ano de 1985, a soja tinha 4,89%, 99,54km<sup>2</sup> de área ocupada no município, tendo evoluído em 2020, para 42,18%, isto representa 858,94km<sup>2</sup>. Já a silvicultura possuía 0,10% de área ocupada, o que representa 2,1km<sup>2</sup> em 1985. Entretanto, no ano de 2020 apresentou-se com 3,16%, 64,24km<sup>2</sup>, ou seja, teve um aumento de 2.959% de área ocupada. Enquanto isso, a classe considerada cobertura, Formação campestre, obteve uma redução de 47,87%. Desta forma, identificam-se como ameaças para o Município de São Lourenço do Sul as práticas da sojicultura e da silvicultura, uma vez que são atividades modificadoras do ambiente.

O mesmo ocorre para as áreas de elevado Índice de Geodiversidade, onde há uma diminuição da classe de Restinga Arborizada (-9,10%), Campo alagado e área pantanosa (-22,20%) e Formação campestre (-64,00%). Enquanto isto, a classe Soja obteve um aumento de 914,80% e a Silvicultura um aumento de 5.533,30% de área ocupada.

Estas constatações indicam a sojicultura e a silvicultura como principais ameaças à geodiversidade em áreas com elevada variabilidade dos elementos abióticos. Estas práticas invariavelmente influenciam nas morfologias do terreno, no solo, nos aspectos geológicos e hidrográficos. Nesta perspectiva, adotar práticas que contribuam para minimizar os impactos derivados destas ameaças são necessárias.

Em um primeiro momento, são necessários estudos aprofundados nas áreas de elevado Índice de Geodiversidade que apresentaram aumento dos usos frente as coberturas. Destaca-se as áreas dos polígonos de elevado Índice de Geodiversidade identificados como 9, 10, 12, 17 e 19. Estas áreas apresentaram redução da cobertura e aumento dos usos quando comparados os cenários de 1985 e 2020. Ainda, são locais onde há mais área ocupada pelas classes de uso do que de cobertura.

Além de estudos para estes locais, torna-se necessária a devida aplicação das legislações vigentes, seja frente aos elementos abióticos ou bióticos. Esta medida contribuiria para a redução do avanço das ameaças à medida em que sejam respeitadas, por exemplo, as áreas de Reserva Legal e as Áreas de Preservação Permanente.

O Projeto Geoparque Paisagem das Águas também é um instrumento que possibilita, em torno da geodiversidade, aliado com medidas de geoconservação, a promoção do desenvolvimento sustentável a partir de ações como de geoeducação e o geoturismo para o território. Estas práticas incentivarão a perspectiva do desenvolvimento econômico aliado à preservação ambiental. O resultado do Índice de Geodiversidade pode balizar e orientar o inventário do geopatrimônio no município. Ainda, torna-se importante a replicabilidade do seu método para os demais municípios do Projeto Geoparque Paisagem das Águas.

Produtos como o Índice de Geodiversidade, podem orientar tomadas de decisões na gestão territorial, seja a partir da identificação das ameaças à geodiversidade, de locais suscetíveis a impactos, na seleção de áreas prioritárias para conservação ou na identificação de locais com interesses geopatrimoniais. Por fim, estabelecer diálogos com o poder público frente a estas áreas, propondo estratégias para a devida aplicação das políticas públicas que permeiem o uso sustentável dos recursos naturais, seja incentivando a agroecologia, o geoturismo ou a geoeducação.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, H. P. F. Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto. **Textos Nepo**, v. 47, 2004. Disponível em: <<https://www.nepo.unicamp.br/publicacao/nepo-47/>>.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 110p, 2003.
- BÉTARD, F. Géodiversité, biodiversité et patrimoines environnementaux. **De la connaissance à la conservation et à la valorisation. Mémoire d’Habilitation à Diriger des Recherches**, Université Paris-Diderot, v. 1, p. 270, 2017.
- BORBA, A. W. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 38, n. 1, p. 3 – 13, 2011.
- BORGES, U. DA N. **Proposta de representação gráfica de dados da geodiversidade utilizando cartografia temática e tecnologias da geoinformação**. Recife, 2013. 187 p. Tese (doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências, 2013.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.
- BRADBURY, J. A keyed classification of natural geodiversity for land management and nature conservation purposes. **Proceedings of the Geologists’ Association**, v. 125, n. 3, p. 329–349, 2014.
- BRASIL. Lei 4771/1965. Código Florestal Brasileiro [on line] <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/leis/L4771.htm>.
- BRILHA, J. **Patrimônio Geológico e Geoconservação**: a Conservação da Natureza na sua Vertente Geológica. Coimbra: Palimage Editores, 2005.
- BRILHA, J.; GRAY, M.; PEREIRA, D. I.; PEREIRA, P. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 86, p.19-28, 2018
- CARCAVILLA, L.; LÓPEZ-MARTINÉZ, J.; DURÁN, J.J. **Patrimonio geológico y geodiversidad**: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Cuadernos del Museo Geominero, No. 7, IGME, Madrid. 2007.

CARCAVILLA, L.; DURÁN, J. J.; LÓPEZ-MARTINEZ, J. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. **Geo-Temas**, 10, In: CONGRESO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 7. Las Palmas de Gran Canaria, v 10 p.1299-1303, 2008.

CARVALHO, A B P; OZORIO, C P. Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 83-95, 2007.

CLIMATEMPO. **Climatologia de São Lourenço do Sul**. 2022 Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/1586/saolourencodosul-rs>>. Acesso em: out 2022.

CORDEIRO, José L; Heinrich Hasenack. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 285-299, 2009.

COSTA, J. S. et al. **São Lourenço do Sul, cem anos 1884–1984**. Edição comemorativa. São Lourenço do Sul: Prefeitura Municipal, 1984.

CPRM. **Mapa Geodiversidade do Brasil**. Escala 1:2.500.000. Brasília: SGM-MME/CPRM, 2006. CD-ROM [legenda expandida]

CPRM. **Geodiversidade Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 212 p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.

DEDECEK, A, R., Meio Físico para o Crescimento de Pinus: Limitações e Manejo in: SHIMIZU, Jarbas Yukio. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

DILLENBURG, S.R et al. The Holocene Coastal Barriers of Rio Grande do Sul. In: DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. (eds). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, p.53-91, 2009.

FERNANDES, R,O ; COSTA, V, C. Mapeamento do Índice de Geodiversidade no Parque Estadual Cunhambebe (PEC)-RJ a partir do Método Kernel em Sistema de Informação Geográfica (SIG). In: **Encontro Nacional da ANPAGE**, n. XIV. Anais eletrônicos. Realize Editora. 2021. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/78214>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C. Paisagem e Geoconservação nos Territórios do Pampa Brasil-Uruguaí – reflexões para uma política transfronteiriça. **Ciência e Natura**, v. 42, p. e47–e47, 2020.

FORTE, J. P. **Avaliação quantitativa da geodiversidade: desenvolvimento de instrumentos metodológicos com aplicação ao ordenamento do território**. Braga (Portugal), 2014. 347f. Tese de Doutorado - Especialidade de Geologia, Universidade do Minho, 2014.

FORTE, J. P.; J, BRILHA; D, PEREIRA; M, NOLASCO. Kernel density applied to the quantitative assessment of geodiversity. **Geoheritage**, v. 10, n. 2, p. 205-217, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0282-3>.

GARCIA, M. G. M. Ecosystem Services Provided by Geodiversity: Preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the state of São Paulo, Southeastern Brazil. **Geoheritage**, v. 11, p. 1257–1266, 2019.

GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. Chichester (U.K.): John Wiley & Sons, 2004.

GRAY, M. Geodiversity and Geoconservation: What, Why, and How? **The George Wright Forum**, v. 22, n. 3, p. 4–12, 2005.

GRAY, M. **Geodiversity: Valuing and Conserving Abiotic Nature**. 2nd ed. edição ed. Chichester, West Sussex, UK: Wiley-Blackwell, 2013.

GRAY, M.; GORDON, J. E.; BROWN, E. J. Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. **Proceedings of the Geologists' Association**, Geoconservation for science and society. v. 124, n. 4, p. 659–673, 2013.

GRAY, M. Geodiversity: The Backbone of Geoheritage and Geoconservation. In: REYNARD, E.; BRILHA, J. **Geoheritage**. [s.l.] Elsevier, p. 13–25, 2018.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Ed. 4. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia, 1972.

HASENACK, H.; Weber, E.(org.) **Base cartográfica digital da Serra Gaúcha – escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010.

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I.; Trevisan, R. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia, 2010.

HJORT, Jan; LUOTO, Miska. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, v. 115, n. 1-2, p. 109-116, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Série Manuais Técnicos em Geociências**, n. 1, 92 p. Rio de Janeiro, 1992.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 2ed.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Hidrogeológico do Sul do Brasil**. 2015.. Escala 1:700.000. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geologia/levantamento\\_hidrogeolo](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeolo)

gico\_e\_hidroquimico/mapas/regionais/sul\_hidrogeologico.pdf. Acesso em: 12 maio 2023.

IBGE, Instituto Demográfico de Geografia e Estatística. Censo Demográfico, 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/sao-lourenco-do-sul/panorama>>. Acesso em: nov. 2022.

IBGE. **Manual técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2009.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas e procedimentos para mapeamentos. 2012 Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=263011>>..

KAUL, P.F.T. Geologia. In: MESQUITA, O. V. (Coord.). **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. v. 2, p. 29-54.

KALIKOSKI, D. C; ASMUS, M. L. Análise sistêmica de ambientes agrícolas na Região Costeira Sul Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, ano**, v. 58, 1996.

KORMANN, T. C.; ROBAINA, L. E. S. Interface entre Geodiversidade e Biodiversidade na Reserva Biológica do Ibirapuitã, Rio Grande do Sul. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 79, p. 112–126, 2021.

KOZLOWSKI, S. Geodiversity: the concept and scope of geodiversity. **Przegląd Geologiczny**, v.52, n.8, p.833-837, 2004.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2016.

LIMA, M. I. F. **Paisagem, terroir e sistemas agrários : um estudo em São Lourenço do Sul**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2006.

MACHADO, S. E. G. **Turismo rural e resgate cultural no roteiro Caminho Pomerano em São Lourenço do Sul, RS**. Trabalho de Conclusão de Graduação (Planejamento e Gestão para o desenvolvimento Rural). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2011.

MALTZAHN, P.C. **A construção da Identidade Étnica teuto-brasileira em São Lourenço do Sul (década de 1980 até os dias atuais)**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em História, Florianópolis, 2011

MANOSSO, F. C.; PELLITERO, R. Geodiversidade: Considerações Sobre Quantificação e Avaliação da Distribuição Espacial. In: **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Rio de Janeiro: UFRJ. v. 35, n. 1 p. 90-100, 2012.

MANSUR, L .K. **Geoturismo, Geodiversidade e Geoconservação**: Abordagens Geográficas e Geológicas. Capítulo 1, p. 1. Oficina de Textos, 2018. 256 p.

MAPBIOMAS. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**,. Disponível em <[https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR)> Acessado em 31 de agos de 2022

MAPBIOMAS. **Descrição da Legenda Coleção 7.0**. 4 p, 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/codigos-de-legenda>. Acesso em: 8 set. 2022.

MAPBIOMAS. **MapBiomias General “Handbook”**: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). 52 p, 2022 Disponível em: [https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD\\_Collection\\_7\\_v2.pdf](https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_7_v2.pdf).

MAPBIOMAS. **Visão Geral da Metodologia**. MapBiomias. 2022. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia>. Acesso em: 07 set. 2022

MARTINS, FR; BATALHA MA. Formas de vida, espectro biológico de Raunkiaer e fisionomia da vegetação. In FELFILI, JM, et al (Eds.) **Fitossociologia no Brasil: Métodos e Estudos de Caso**. UFV. Viçosa, Brasil. pp. 44-85, 2011.

MORENO, J. A. Uso da Terra: Vegetação Original e Atual do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 15, p. 45–51, 1972.

MORERO, A. M. S. F. Planejamento ambiental de areas verdes, estudo de caso: distrito sede do município de Campinas-SP. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. 1996.

NAJWER, A. et al. Geodiversity and Biodiversity of the Postglacial Landscape (Dębnica River Catchment, Poland). **Quaestiones Geographicae**, v. 35, n. 1, p. 5–28, 2016.

NASCIMENTO, M.; AZEVEDO, Ú.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, Geoconservação e Geoturismo: trinômio importante para a proteção patrimônio geológico**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia. p. 82, 2008.

NIETO, L. M. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. **Boletín Geológico y Minero**, v. 112, n. 2, p. 3 - 12, 2001.

PAGANOTTO, V. D. **As quedas d’água enquanto geopatrimônio dos municípios de Pelotas e Arroio do Padre**: contribuições ao geoturismo na Costa Doce do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2022.

PANIZZA, M. The Geomorphodiversity of the Dolomites (Italy): A Key of Geoheritage Assessment. **Geoheritage**, v. 1, n. 1, p. 33–42, 2009.

PEREIRA, R. G. F. DE A. **Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)**. Tese de Doutorado. (Doutorado em Patrimônio Geológico e Geoconservação). Univeridade do Minho (Portugal). 2010.

PEREIRA, D.I; PEREIRA, P.; BRILHA, J. SANTOS, L. Geodiversity Assessment of Parana State (Brazil): An Innovative Approach. **Environmental Management**, v.52, n.3, p. 541-552, setembro. 2013.

PINHEIRO, P. S. Comunidades quilombolas na região das antigas charqueadas: territórios negros e políticas públicas no município de São Lourenço do Sul, RS. **Cadernos do LEPAARQ (UFPEL)**, v. 11, n. 22, p. 322–341, 2014.

PORTO, D. T. Avaliação em escala regional da geodiversidade da Aglomeração Urbana do Sul e seus municípios, litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. **Terra Plural**, v. 16, p. 1–18, 2022.

Projeto MapBiomias – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado em 10 de outubro de 2022 através do link: <http://mapbiomas.org>

RADAMBRASIL, BRASIL. Rio de Janeiro/Vitória. Brasília: Ministério das Minas e Energia – Secretaria Geral, v.32. 1986. (Projeto RADAMBRASIL – Levantamento de Recursos Naturais)

RUDZEWICZ, L.; SIMON, A.L.H. Paisagens das Águas: o patrimônio hídrico e as perspectivas para o (geo) turismo na Costa Doce Gaúcha. In: VERDUM, R.; VIEIRA, L. F. S.; SILVA, L. A. P.; GASS, S. L. B. (org.). **Paisagem: leituras, significados, transformações**. Porto Alegre: Editora Letra 1, 2021. v. 2, p. 189 – 203. Disponível em: <https://doi.org/10.21826/9786587422114-11>

RODRIGUES, S. C; BENTO, L. C. M. Cartografia da Geodiversidade: Teorias e Métodos. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira. **Geoturismo, geodiversidade e geoconservação**: Abordagens geográficas e geológicas. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, 2018. 256 p. cap. 5, p. 137-162.

SALAMONI, G.; WASKIEVICZ. Serra dos Tapes: espaço, sociedade e natureza. **TESSITURAS: Revista de Antropologia e Arqueologia**, [s.l.], v.1, n.1, p. 73 -100, 2013.

SCHWANZ, V. B; COLLISCHONN, E. Distribuição da precipitação média mensal e anual média no município de São Lourenço do Sul (1981- 2013). In: **Seminário de Pós-Graduação em Geografia: PPGE 10 Anos: Representatividades e Reflexos na Sociedade**, n. IX. Anais eletrônicos, 2022.

SCHWANZ, V. B; COLLISCHONN, E. OLIVEIRA. E. V. Distribuição da Precipitação Média Atual e Futura para o Município de São Lourenço do Sul. In: **Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica (SBCG)**: Climatologia,

Crises Socioambientais e Justiça Climática: ações e desafios da sustentabilidade. 2023.

SCHWANZ, V B et al. Abrangência Espacial das Licenças Ambientais no Município de São Lourenço do Sul entre 2018 e 2021. **5CONRESOL, Gramado**, v. 5, p. 7. **2022**

SENA-SOUZA, J. P. et al. Influência do Relevo na Dinâmica Temporal do Uso e Cobertura da Terra no Norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2475–2485, 2022.

SERRANO, H; RUIZ-FLAÑO, Purificación. Geodiversity: a theoretical and applied concept. **Geographica helvetica**. 62, p. 140-147, 2007.

SHARPLES C. A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for conservation purposes. **Report to forestry commission, Tasmania**. 1993

SILVA, J. P. et al. Geodiversity assessment of the Xingu drainage basin. **Journal of Maps**, v. 9, n. 2, p. 254–262. 2013.

SILVA, M. D. DA. Os Cultivos Florestais do Pampa, no Sul do Rio Grande do Sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Revista Floresta**, v. 42, n. 1, p. 215–226, 2012.

SIMON, A. L. H. **A dinâmica do uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da Bacia do Arroio Santa Bárbara - Pelotas (RS)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007.

SIMON, A. L. H.; TRENTIN, G. A representação espacial da geodiversidade e do geopatrimônio: instrumentos para a geoconservação. In: VIEIRA, A. et al. (Org.) **GEOPATRIMÔNIO**. Geoconhecimento, Geoconservação e Geoturismo: experiências em Portugal e na América Latina. Guimarães, UNMINHO, 2018, p. 147-160.

SIMON, A. L. H.; TRENTIN, G.; CUNHA, C. M. L. da. Avaliação da dinâmica do uso da terra na Bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (Brasil), no período de 1953 a 2006. Scripta Nova. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2010, vol. XIV, nº 327

SOARES FILHO, A.R. **Contribuições do geoprocessamento para avaliação quantitativa da geodiversidade: Parque Estadual da Pedra Branca (RJ)**. Monografia, Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SODRÉ, M. T. et al. **A Geografia da Serra dos Tapes: natureza, sociedade e paisagem**. Ed. UFPel. Pelotas. n. 1, 140p, 2021.

SOUZA, K A; BITTENCOURT, G.M. Avaliação do crescimento das exportações brasileiras de soja em grão. **Revista de Política Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 48, 2020.

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.

STANLEY, M. Geodiversity and why weneedit. **Earth Heritage**, Gwynedd n. 14, p. 15-18, 2000.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A. Paisagens (imagens e representações) do Rio Grande do Sul. 2012. In: **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. 2. ed. p. 27-38, 2012.

TOMAZELLI, L. J. & VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M. & De Ros, L. F. (eds). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Edição CIGO/UFRGS, 2000.

VILLWOCK, Jorge Alberto. **Contribuição a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul-Brasil**. 1972.

VON AHN, M. M.; SANTOS, F, C, A.; SIMON, A. L. H. Mapeamento das coberturas e usos da terra na Área de Proteção do Geossítio Guaritas do Camaquã – RS – Brasil. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v.43, n. 1. 2016.

VON AHN, M. M.; SIMON, A. L. H. Geodiversidade e Antropogeomorfologia: possibilidades para a conservação do geopatrimônio em áreas de mineração. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v. 20, n. 72, p. 118–135, 2019. DOI: 10.14393/RCG207242579. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/42579>>.

VON AHN, Maurício. **Análise Antropogeomorfológica em Geossítio da história da mineração: estudo nas Minas do Camaquã–RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. 2018.

Weber, E.; Hasenack, H. (org.) **Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul – escala 1:250.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010.

ZWOLINSKI, Z.; NAJWER, A.; GIARDINO, M. Methods for Assessing Geodiversity. In: REYNARD, E. BRILHA, J. **Geoheritage: Assessment, Protection, and Management**. Elsevier, p.27 – 52, 2018.

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 1 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,8	44,9	0,9	51,1	1,0	58,1	1,0	54,2	0,9	49,4	10,00
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA											
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,6	31,6	0,5	28,3	0,2	10,1	0,2	9,1	0,1	4,0	-87,38
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA							0,0	1,7	0,0	1,7	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,1	4,4	0,0	1,8	0,1	5,4	0,1	3,3	0,0	0,4	-91,35
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,3	17,6	0,2	9,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	-100,00
39	SOJA	0,0	1,2	0,2	9,3	0,5	25,8	0,6	31,5	0,8	44,6	3527,51
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,00
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE B - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 2 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	60,8	38,0	63,4	39,6	77,1	48,2	69,6	43,5	59,5	37,2	-2,03
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	72,6	45,4	58,1	36,3	31,2	19,5	28,4	17,8	17,1	10,7	-76,47
29	AFLORAMENTO ROCHOSO			0,0	0,0							-
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA	0,2	0,1	7,3	4,6	10,1	6,3	12,4	7,7	13,2	8,3	5668,75
21	MOSÁICO DE USOS	5,1	3,2	5,2	3,2	6,1	3,8	7,4	4,6	2,6	1,6	-48,46
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	15,5	9,7	8,3	5,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	-99,94
39	SOJA	5,0	3,1	17,2	10,7	35,0	21,9	41,6	26,0	67,2	42,0	1235,82
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,8	0,5	0,6	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,4	0,2	-55,92
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0			0,00
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE C - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 3 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
9	FORMAÇÃO FLORESTAL	3,7	41,6	4,2	46,3	4,7	52,4	4,3	47,7	3,9	43,3	4,03
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA							0,0	0,1	0,0	0,0	-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	3,5	38,4	2,5	27,5	1,9	20,7	2,0	22,2	1,4	15,1	-60,67
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,0	0,3	0,0	0,2	0,2	1,9	0,2	2,1	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,5	5,1	0,6	6,7	0,5	5,2	0,3	3,7	0,1	1,4	-72,82
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	1,0	11,5	0,4	4,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-100,00
39	SOJA	0,3	2,9	1,3	14,4	1,9	21,0	2,2	24,2	3,4	37,9	1199,72
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	0,5	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	0,00
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE D - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 4 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
9	FORMAÇÃO FLORESTAL	11,7	32,3	13,1	36,1	16,5	45,6	14,5	40,0	13,7	37,7	16,65
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA			0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,1	-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	16,8	46,4	16,3	45,1	9,7	26,7	9,2	25,4	6,4	17,7	-61,74
29	AFLORAMENTO ROCHOSO	0,0	0,0									-100,00
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA	0,1		0,2	0,5	0,2	0,4	0,4	1,0	0,4	1,0	309,68
21	MOSÁICO DE USOS	1,1	3,1	0,9	2,4	1,1	3,0	1,2	3,2	1,3	3,5	11,94
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	4,6	12,6	1,4	3,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	-99,89
39	SOJA	1,6	4,5	4,1	11,4	8,6	23,7	10,8	29,7	14,3	39,4	780,91
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,3	0,8	0,3	0,7	0,1	0,4	0,2	0,5	0,2	0,5	-42,11
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE E - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 5 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,1	2,1	0,1	2,0	0,1	3,4	0,1	4,0	0,4	13,7	545,00
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA			0,0	0,5	0,1		0,3	11,0	0,1	4,8	-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	1,0	34,8	1,7	59,3	1,8	62,7	1,5	51,8	1,2	42,9	
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											23,35
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											-25,00
21	MOSÁICO DE USOS	0,4	14,1	0,5	17,4	0,3	11,6	0,3	10,6	0,3	10,5	
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	1,2	42,4	0,2	5,8			0,0	0,6			
39	SOJA	0,0	1,7	0,3	10,1	0,4	15,0	0,5	16,7	0,7	23,2	1306,45
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											-70,21
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	1,3	0,0	1,2	0,0	0,6	0,1	2,0	0,0	0,4	
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,1	3,7	0,1	3,8	0,1	4,2	0,1	3,4	0,1	4,4	17,99
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE F - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 6 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,1	52,2	0,1	52,2	0,1	54,9	0,1	62,1	0,1	62,6	20,00
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA											0,00
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,0	21,4	0,0	30,8	0,1	38,5	0,0	31,3	0,0	21,4	
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											-
21	MOSÁICO DE USOS			0,0	7,7					0,0	3,8	
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,0	14,8									
39	SOJA	0,0	11,5	0,0	9,3	0,0	6,6	0,0	6,6	0,0	12,1	4,76
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE G - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 7 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,1	83,3	0,0	22,2	0,1	88,9	0,1	66,7	0,1	66,7	-20,00
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,1	72,2									-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE											
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA							0,0	22,2	0,0		-
21	MOSÁICO DE USOS											
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,0	16,7	0,0	5,6							-
39	SOJA					0,0	11,1	0,0	11,1	0,0	11,1	-
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE H - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 8 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	1,9	30,8	2,0	31,6	2,6	41,7	3,0	47,6	2,8	44,7	45,16
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,0	0,7	0,0		0,0		0,1	1,5	0,1	2,4	260,00
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	3,0	48,1	2,8	44,5	1,9	30,8	2,0	31,5	1,6	26,0	-45,91
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,4	6,3	0,3	5,1	0,2	3,6	0,2	3,6	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,4	6,0	0,3	4,6	0,6	9,7	0,1	2,2	0,1	2,2	-64,34
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,8	13,1	0,4	6,0	0,0	0,2			0,0		-99,08
39	SOJA	0,1	0,8	0,4	6,4	0,7	11,4	0,8	13,2	1,3	20,5	2411,76
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	-73,08
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,0	0,1			0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,4	240,00
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE I - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 9 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,9	18,4	0,7	13,3	1,1	22,7	1,3	25,8	0,9	18,3	-0,57
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA					0,0	0,0					-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	2,0	40,1	2,3	47,0	1,4	28,6	1,0	20,3	0,7	14,4	-64,01
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,3	6,8	0,4	8,1	0,7	14,0	0,7	13,1	
21	MOSÁICO DE USOS	0,3	5,2	0,2	4,6	0,3	6,9	0,2	4,5	0,2	4,9	-4,91
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	1,5	30,1	0,7	13,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-99,85
39	SOJA	0,2	5,0	0,7	13,9	1,7	33,1	1,7	34,6	2,5	49,1	884,13
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,1	1,3	0,1	1,2	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	-91,67
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE J - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 10 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	1,9	35,1	1,2	22,6	1,4	27,5	1,3	25,6	1,1	20,9	-40,59
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA											
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	2,1	39,7	1,8	33,7	1,3	24,7	1,2	23,3	1,0	19,0	-52,10
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,6	10,5	0,6	11,1	0,8	14,6	0,7	13,7	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,4	7,6	0,3	5,3	0,4	6,9	0,3	5,8	0,2	2,9	-62,24
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,9	16,2	0,6	11,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	-98,52
39	SOJA	0,1	1,3	0,9	16,6	1,6	29,6	1,6	30,6	2,3	43,4	3307,78
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0			-
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO					0,0	0,1					-
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE K - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 11 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/RE DUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,2	14,9	0,1	12,8	0,2	16,5	0,1	12,2	0,1	12,8	-13,76
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,0	1,0	0,0	4,0	0,0	58,8	0,1	6,6	0,0	3,8	273,33
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,4	38,6	0,5	49,6	0,6	58,8	0,7	65,9	0,4	32,1	-16,81
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS	0,2	21,2	0,2	18,2	0,2	16,7	0,1	7,5	0,3	24,0	13,55
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,2	21,4	0,1	13,1	0,0	1,1	0,0	0,8			-100,00
39	SOJA	0,0	2,9	0,0	2,3	0,1	4,6	0,1	7,0	0,3	27,2	847,62
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE L - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 12 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/RE DUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,0	2,7	0,0	1,4	0,1	4,8	0,0	2,1	0,0	1,9	-28,07
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,0	1,8	0,0	2,9	0,0	1,2	0,0	2,1	0,0	1,9	5,26
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,7	45,8	1,4	88,2	0,8	52,7	0,6	39,9	0,1	8,8	-80,72
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA					0,0	0,8	0,0	0,5	0,0		-
21	MOSÁICO DE USOS	0,1	5,4	0,1	3,2	0,1	8,9	0,2	10,1	0,2	11,7	116,67
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,1	6,7	0,0	0,4			0,0	0,3			-100,00
39	SOJA	0,5	32,8			0,5	28,8	0,7	43,2	1,2	73,8	124,89
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,1	4,8	0,1	3,9	0,0	2,2	0,0	1,0	0,0	1,9	
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE M - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 13 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	2,0	29,8	2,3	34,0	2,6	39,1	2,5	38,4	2,4	36,3	21,83
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA			3,1	46,5							-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	3,6	53,7			2,2	32,5	2,1	32,3	1,6	24,7	-54,09
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,1	0,8	0,3	5,2	0,4	6,4	0,5	7,2	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,1	0,8	0,1	2,2	0,2	3,3	0,1	2,1	0,1	2,1	163,89
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,7	11,0	0,2	2,6	0,0	0,1	0,0	0,6			-100,00
39	SOJA	0,3	4,6	0,9	13,8	1,3	19,6	1,3	20,1	1,9	29,3	544,20
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	0,1			0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	71,43
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE N - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 14 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	1,1	20,8	1,2	22,2	1,7	32,5	1,5	28,1	1,4	26,0	25,37
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA											
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	2,8	52,7	2,5	46,3	1,4	26,3	1,6	29,9	1,1	21,5	-59,21
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,7	12,7	0,5	8,6	0,5	9,6	0,3	6,2	0,2	3,6	-71,73
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,6	10,7	0,4	6,7	0,0	0,1	0,0	0,1			-100,00
39	SOJA	0,1	1,9	0,8	15,0	1,7	31,3	1,9	35,4	2,6	48,6	2467,41
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,1	1,1	0,1	1,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	-82,50
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE O - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 15 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	1,0	35,4	0,9	31,8	1,1	39,1	0,9	32,1	1,0	37,0	4,47
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA											
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	1,4	50,0	1,5	54,3	1,3	48,3	1,6	56,3	1,3	45,5	-8,96
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA	0,0	0,3	0,0	1,6	0,0	1,2	0,0	1,0	0,0	1,0	184,62
21	MOSÁICO DE USOS	0,1	3,0	0,1	2,6	0,1	3,8	0,0	0,7	0,1	2,3	-22,52
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,2	6,1	0,0	1,3							-100,00
39	SOJA	0,0	1,4	0,1	4,7	0,1	4,0	0,2	5,6	0,3	11,0	675,47
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,1	3,8	0,1	3,8	0,1	3,6	0,1	4,2	0,1	3,2	-15,00
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE P - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 16 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	3,1	28,2	3,2	29,1	4,1	38,2	3,8	35,2	3,7	34,5	22,33
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,1		0,1		0,1	1,2	0,1	0,7	0,1	1,0	-9,76
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	4,7	43,5	6,0	55,0	4,0	37,1	5,0	45,7	2,7	24,5	-43,71
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,1	0,8	0,3	2,5	0,9	8,7	0,9	8,4	-
21	MOSÁICO DE USOS	0,6	5,5	0,5	4,5	0,7	6,6	0,2	1,4	0,6	5,4	-0,88
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	1,6	14,3	0,3	2,4	0,3	2,4	0,3	2,4	0,2	1,8	-87,32
39	SOJA	0,8	7,4	0,8	7,5	1,6	14,5	0,6	5,3	2,6	24,3	229,12
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE Q - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 17 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	1,2	17,2	1,0	15,5	1,2	18,5	1,3	19,2	1,2	18,4	6,99
49	RESTINGA ARBORIZADA											
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	0,6	92,86
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	1,9	28,5	1,7	25,4	3,9	57,9	1,8	27,4	1,6	23,1	-18,84
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA			0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	
21	MOSÁICO DE USOS	1,9	28,0	0,4	6,0	0,3	5,0	0,0	0,6	0,1	1,8	-93,49
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	1,4	21,2	1,5	21,9	0,2	2,8	1,4	19,9	0,1	0,8	-96,28
39	SOJA	0,3	3,9	2,0	30,1	1,0	14,8	2,1	32,0	3,7	55,0	1309,40
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,0	0,1			0,0	0,1					
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,1	0,8	0,1	0,9	0,0	0,7	0,0	0,3	0,0	0,3	-68,92
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE R - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 18 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	1,1	5,8	0,9	4,9	1,4	7,5	1,1	6,0	1,0	5,5	-6,52
49	RESTINGA ARBORIZADA	1,8	10,0	1,8	10,2	2,0	11,3	2,1	11,4	1,9	10,3	2,39
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,3	1,6	0,4	2,1	0,4	2,0	0,5	2,6	0,4	2,1	30,83
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	6,7	36,9	9,9	54,7	7,2	39,8	4,2	23,5	5,0	27,6	-25,37
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS	4,4	24,4	0,7	3,7	1,4	7,9	1,1	6,2	1,4	7,5	-69,11
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	2,7	14,7	2,9	16,1	0,2	1,0	0,3	1,5	0,0	0,3	-98,20
39	SOJA	0,6	3,2	0,8	4,2	5,0	27,8	8,3	46,2	8,3	46,1	1359,76
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,1	0,7	0,1	0,3	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	-
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,4	2,3	0,3	1,9	0,2	1,3	0,3	1,7	0,3	1,6	-
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE S - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 19 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/RE DUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,6	17,0	0,6	17,2	0,6	18,1	0,6	17,1	0,6	16,9	-5,00
49	RESTINGA ARBORIZADA	0,0	15,9	1,1	33,4	0,7	21,4					-100,00
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,5	15,9	1,2	33,4	0,7	21,4	0,5	16,2	0,6	19,3	20,86
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS	0,8	25,0	0,1	1,8	0,1	1,7	0,1	3,5	0,1	2,3	-90,83
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,4	12,0	1,0	29,5			0,8	24,6	0,3	8,5	-28,68
39	SOJA	1,0	29,2	0,6	17,4	1,9	57,7	1,3	37,3	1,7	51,9	77,55
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS							0,0	0,2	0,0	0,0	-
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,0	0,9	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,1	19,35
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE T - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 20 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/RE DUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,6	60,3	0,6	61,0	0,6	61,6	0,6	61,2	0,6	60,4	0,17
49	RESTINGA ARBORIZADA					0,0	0,6	0,0	0,9	0,0	0,8	-
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA		0,0					0,0	1,4	0,0	0,5	-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,1	6,5	0,0	4,5	0,1	6,0	0,0	1,4	0,0	0,5	-92,19
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS	0,1	5,5	0,0	3,0	0,0	1,1	0,0	1,6	0,0	1,4	-74,07
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,0	1,9	0,2	22,7			0,0	0,4			-100,00
39	SOJA	0,3	25,7	0,1	8,9	0,3	30,7	0,3	33,0	0,4	36,3	41,11
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO									0,0	0,1	-
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE U - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 21 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL	0,5	10,4	0,5	11,7	0,5	10,6	0,5	10,9	0,5	10,2	-2,53
49	RESTINGA ARBORIZADA	1,0	22,8	1,1	24,6	1,1	23,9	1,2	25,4	1,0	22,5	-1,83
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	0,6	13,7	0,6	12,7	0,6	12,1	0,6	12,9	0,8	17,6	28,00
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,8	17,2	0,4	8,8	0,5	12,0	0,7	14,7	0,6	13,8	-23,27
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS	1,3	29,6	0,2	3,7	0,5	9,9	0,1	3,0		3,8	-100,00
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,2	4,1	0,9	20,2	0,0	0,3			0,2		-4,26
39	SOJA			0,7	15,8	1,2	26,5	1,3	29,1	1,3	29,2	-
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS			0,1	0,1	0,0	0,4					-
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,1	2,0	0,1	1,7	0,1	2,8	0,2	3,8	0,1	3,0	50,54
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE V - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 22 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
3	FORMAÇÃO FLORESTAL											
49	RESTINGA ARBORIZADA	0,0	55,3	0,0	39,5	0,1	77,2	0,1	65,8	0,1	66,7	21,28
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA								0,0			-
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,0	36,0	0,0	33,3	0,0	21,1	0,0	32,5	0,0	31,6	-12,90
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS			0,0	26,3							-
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,0	8,8			0,0	1,8	0,0	0,9			-100,00
39	SOJA											
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS											
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO											
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)

APÊNDICE W - Área ocupada pelas classes de cobertura e uso da terra no polígono 23 de elevado Índice de Geodiversidade da área de estudo.

ID	CLASSE	ÁREA										AUMENTO/REDUÇÃO (%)
		1985		1995		2005		2015		2020		
		KM <sup>2</sup>	%									
<b>1. FLORESTA</b>												
9	FORMAÇÃO FLORESTAL											
49	RESTINGA ARBORIZADA			0,3	11,5	0,3	11,5	0,3	11,8	0,3	13,2	-
<b>2. FORMAÇÃO NATURAL NÃO FLORESTAL</b>												
11	CAMPO ALAGADO E ÁREA PANTANOSA	1,0	43,5	0,8	34,9	0,8	34,9	0,9	50,6	0,3	43,1	-69,58
12	FORMAÇÃO CAMPESTRE	0,3	12,8	0,3	12,2	0,3	12,2	0,7	29,3	0,6	24,1	87,76
29	AFLORAMENTO ROCHOSO											
50	RESTINGA HERBÁCEA											
<b>3. AGROPECUÁRIA</b>												
9	SIVILCULTURA											
21	MOSÁICO DE USOS	0,0	2,1	0,3	13,3	0,3	13,3	0,0	0,6	0,2	1,0	358,33
41	OUTRAS LAVOURAS TEMPORARIAS	0,2	10,0	0,3	14,2	0,3	14,2			0,2	8,1	-19,21
39	SQJA	0,3	12,6					0,2	6,7	0,0	0,4	-96,98
<b>4. ÁREA NÃO VEGETADA</b>												
24	ÁREA URBANA											
23	PRAIA, DUNA E AREAL											
25	OUTRAS ÁREAS NÃO VEGETADAS	0,3	14,3	0,2	8,5	0,2	8,5			0,1	5,1	-64,63
<b>5. CORPOS D'ÁGUA</b>												
33	RIO, LAGO E OCEANO	0,1	4,7	0,1	4,4	0,1	4,4	0,0	7,8	0,1	3,8	-18,69
<b>6. NÃO OBSERVADO</b>												
27	NÃO OBSERVADO											

Fonte: O Autor (2023)