



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais



**Análise espaço-temporal da cobertura das marismas
do estuário da Lagoa dos Patos, no sul do Brasil, a
partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra**

Josué Lucas Costa Barcellos

Orientadora: Sonia Marisa Hefler

Coorientadora: Simone Emiko Sato

Rio Grande

2025



Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Ciências Biológicas
Pós-graduação em Biologia de
Ambientes Aquáticos Continentais



Análise espaço-temporal da cobertura das marismas do estuário da Lagoa dos Patos, no sul do Brasil, a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra

Aluno: Josué Lucas Costa Barcellos

Orientadora: Sonia Marisa Hefler

Coorientadora: Simone Emiko Sato

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

Rio Grande

2025

B242a

Barcellos, Josué Lucas Costa

Análise espaço-temporal da cobertura das marismas do estuário da Lagoa dos Patos, no sul do Brasil, a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra. /Josué Lucas Costa Barcellos – 2025.

52 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais, 2025.

Orientadora: Sonia Marisa Hefler

Coorientadora: Simone Emiko Sato

1. Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais.. 2. Áreas úmidas. 3. Banhados. 4. NDVI. 5. Planície costeira. 6. Vegetação litorânea I. Hefler, Sonia Marisa. II. Sato, Simone Emiko. III. Título.

CDU 574.5(28)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE-FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES
AQUÁTICOS CONTINENTAIS - PPGBAC
Av. Itália s/n – Rio Grande/RS, Brasil. 96203-900 fone/fax: 53-3233.6848
e-mail: pgbac@furg.br
<https://ppgbac.furg.br>



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS – Nº 008/2025

Às 09:00 h (nove horas) do dia 31 (trinta e um) do mês de outubro de 2025 (dois mil e vinte e cinco), via webconferência, pelo link: <https://conferenciaweb.rnp.br/sala/bioinformatica-icb>, reuniram-se docentes, discentes e comunidade em geral, para a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado do acadêmico Josué Lucas Costa Barcellos. A Dissertação intitulada “**Análise espaço-temporal da cobertura das marismas do estuário da Lagoa dos Patos, no sul do Brasil, a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra**” foi avaliada pela Banca Examinadora composta pela Prof^a. Dra. Sonia Marisa Hefler (Orientadora e Presidente da banca); Prof^a. Dra. Ana Silvia Rolon (FURG) e Prof. Dr. Giovanni Nachtigall Maurício (UFPEL). Após a defesa e arguição pública, a Banca Examinadora reuniu-se, para deliberação final, e considerou o acadêmico APROVADO. Desta forma, o acadêmico concluiu mais uma das etapas necessárias para a obtenção do grau de **MESTRE EM BIOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS**. Nada mais havendo a tratar, às 11h50h (Onze horas e cinquenta minutos) foi lavrada a presente ata, que lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora, pela Acadêmica e pela Coordenação do Curso.

Documento assinado digitalmente



SONIA MARISA HEFLER

Data: 31/10/2025 12:04:13-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dra. Sonia Marisa Hefler

Documento assinado digitalmente



ANA SILVIA ROLON

Data: 02/11/2025 20:46:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dra. Ana Silvia Rolon

Documento assinado digitalmente



GIOVANNI NACHTIGALL MAURICIO

Data: 04/11/2025 08:46:51-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giovanni Nachtigall Maurício

Documento assinado digitalmente



JOSUE LUCAS COSTA BARCELLOS

Data: 04/11/2025 12:43:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Josué Lucas

Prof. Dr. Junior Borella

Coordenador Adjunto do PPGBAC

Documento assinado digitalmente



JUNIOR BORELLA

Data: 04/11/2025 13:19:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. À minha família, pelo apoio e incentivo; aos amigos, pelo companheirismo e estímulo; e aos colegas e professores, pelas orientações, críticas construtivas e compartilhamento de conhecimentos. À todos, deixo meu sincero agradecimento.

RESUMO

O bioma Pampa, presente na América do Sul, é caracterizado por ecossistemas campestres e áreas úmidas, como banhados e marismas, que desempenham funções ecológicas e socioambientais relevantes. As marismas e banhados do estuário da Lagoa dos Patos (RS) constituem ecossistemas herbáceos de elevada importância para a conservação da biodiversidade e para a regulação de processos ambientais. Este trabalho teve como objetivo analisar, espacial e temporalmente, a cobertura das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS) a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra, de modo a compreender a dinâmica desse ambiente e fornecer subsídios para a conservação e o monitoramento de áreas úmidas. O estudo avaliou variações espaciais e temporais de uso e cobertura da terra entre 2010 e 2020 e a cobertura vegetal das marismas entre 2005 e 2025, utilizando imagens de satélite Landsat. As análises sugerem que essas mudanças refletem pressões antrópicas, processos naturais de sucessão e resiliência ecológica, fortemente influenciados por eventos extremos, como as enchentes de 2024. A análise temporal dos mapeamentos de uso e cobertura da terra indicou que, entre 2010 e 2020, houveram perdas significativas de áreas naturais, especialmente dunas e banhados. As classes de banhados e marismas, distinguíveis por meio de interpretação visual em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), apresentaram, respectivamente, uma perda de 22% e um aumento de 7% em área. E as marismas foram analisadas por meio de mapeamentos de cobertura vegetal utilizando imagens Landsat e aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). enquanto as marismas apresentaram relativa estabilidade e até crescimento no período analisado. A análise espaço-temporal indicou que as variações na cobertura das marismas resultam principalmente de eventos climáticos, em especial os eventos extremos, embora pressões antrópicas indiretas também contribuam para alterações na paisagem, e a análise dos mapeamentos de NDVI reforçaram tanto a vulnerabilidade quanto a resiliência desses ecossistemas. Em conjunto, os resultados evidenciam a importância das marismas para a manutenção da biodiversidade, dos serviços ecossistêmicos e do carbono azul, destacando a relevância de sua conservação e gestão ambiental no âmbito do bioma Pampa.

Palavras-chave: Áreas úmidas; Banhados; NDVI; Planície costeira; Vegetação litorânea.

ABSTRACT

The Pampa biome, located in South America, is characterized by grassland ecosystems and wetlands, such as marshes and tidal marshes, which play relevant ecological and socio-environmental roles. The marshes and wetlands of the Lagoa dos Patos estuary (RS) are herbaceous ecosystems of high importance for biodiversity conservation and for the regulation of environmental processes. This study aimed to analyze, spatially and temporally, the vegetation cover of tidal marshes in the Lagoa dos Patos estuary (RS) based on land-use and land-cover mapping, in order to understand the dynamics of this environment and provide support for the conservation and monitoring of wetlands. The study evaluated spatial and temporal variations in land use and land cover between 2010 and 2020, and the vegetation cover of marshes between 2005 and 2025. The analyses suggest that these changes reflect anthropic pressures, natural processes of succession, and ecological resilience, strongly influenced by extreme events, such as the 2024 floods. Temporal analysis of land-use and land-cover mapping indicated that, between 2010 and 2020, there were significant losses of natural areas, especially dunes and wetlands. The classes of wetlands and marshes, distinguishable through visual interpretation in a Geographic Information System (GIS) environment, showed, respectively, a 22% decrease and a 7% increase in area. The marshes were further analyzed through vegetation-cover mapping using Landsat imagery and application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and they exhibited relative stability and even growth during the analyzed period. The spatiotemporal analysis indicated that variations in marsh cover result mainly from extreme climatic events, although indirect anthropic pressures also contribute to landscape change, and NDVI mapping reinforced both the vulnerability and resilience of these ecosystems. Overall, the results highlight the importance of tidal marshes for maintaining biodiversity, ecosystem services, and blue carbon, underscoring the relevance of their conservation and environmental management within the Pampa biome.

Keywords: Wetlands; Swamps; NDVI; Coastal plain; Coastal vegetation.

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Biologia de Ambientes Aquáticos continentais, e aborda a análise temporal e espacial da cobertura de marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS), no período de 2005 a 2025. O trabalho está estruturado em uma apresentação geral, um capítulo e considerações finais e perspectivas, organizados de forma a contemplar os aspectos teóricos, metodológicos, analíticos e conclusivos da pesquisa, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e as normas do periódico *Ocean and Coastal Research*.

A dissertação está organizada em um capítulo que abrange: contextualização teórica e caracterização da área de estudo; descrição dos procedimentos metodológicos; análise e discussão dos resultados obtidos; e considerações finais, destacando as contribuições científicas do trabalho e recomendações para futuras pesquisas.

O estudo teve como objetivo principal analisar espacial e temporalmente a cobertura das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS), a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra, a fim de compreender as dinâmicas destes ecossistemas e fornecer subsídios para a conservação da biodiversidade e o monitoramento de áreas úmidas.

A metodologia adotada fundamenta-se em técnicas de geotecnologias, utilizando imagens de satélite Landsat e processamento em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para mapeamentos temáticos e aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Esses procedimentos permitiram identificar alterações nos padrões de cobertura vegetal ao longo das duas décadas analisadas, incluindo o período crítico das enchentes de 2024.

Os resultados indicam dinâmicas distintas entre os municípios de Rio Grande e São José do Norte, revelando períodos de oscilações na extensão das marismas e na densidade de vegetação, bem como a redução de banhados em ambos os territórios. Estes padrões refletem uma combinação de fatores naturais, como variações hidrológicas e eventos climáticos, e fatores antrópicos, incluindo mudanças no uso da terra. Desta forma, os dados fornecem subsídio para o planejamento ambiental, gestão sustentável e desenvolvimento de estratégias que contribuam com a proteção de ecossistemas costeiros do Pampa.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
INTRODUÇÃO GERAL.....	10
OBJETIVOS.....	20
REFERÊNCIAS.....	21
 CAPÍTULO 1.....	 26
 RESUMO.....	 1
INTRODUÇÃO.....	2
METODOLOGIA.....	5
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	8
CONCLUSÕES.....	19
REFERÊNCIAS.....	21
CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa representando a Bacia Hidrográfica Patos-Mirim, no Rio Grande do Sul e Uruguai, no cone sul da América do Sul. Fonte: Lopes (2015).....	12
Figura 2: Localização do estuário Patos-Mirim (RS), com o limite definido pela linha entre a Ilha da Feitoria e a Ponta do Lençol. Fonte: Campello; Saraiva (2002).....	12
Figura 3: Mapa de uso e cobertura da terra do município do Rio Grande (2020), indicando a área de marismas associada aos banhados em uma única classe, campo alagado e área pantanosa. Fonte: Mapbiomas (2025) adaptado.....	17

CAPÍTULO 1..... 26

Figura 1: Mapa de localização do estuário Patos-Mirim, na região costeira do Pampa na América do Sul, entre os municípios do Rio Grande (RS) e São José do Norte (RS).....	6
Figura 2: Imagem de satélite (A), sobre a ilha dos marinheiros, Rio Grande (RS), com destaque para canais de marés (B), e para diferentes cores e texturas de marismas (C). Fonte: Earthexplorer.....	7
Figura 3: Mapas de uso da terra do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. À esquerda referente ao ano de 2010; e à direita, referente ao ano de 2020.....	9
Figura 4: Gráfico de áreas de marismas e variação de cobertura ao longo de 20 anos, nos municípios do Rio Grande (A) e de São José do Norte (B), Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil.....	13
Figura 5: Mapeamento das áreas de marismas no estuário da Lagoa dos Patos: Rio Grande (Oeste) e São José do Norte (Leste), Rio Grande do Sul, Brasil, entre os anos de 2005 e 2025...	13
Figura 6: Áreas de cobertura de marismas no estuário da Lagoa dos Patos (2005–2025), abrangendo os municípios de Rio Grande e São José do Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. As cores indicam a cobertura referente a cada ano analisado, com a sobreposição das camadas iniciando em 2005 (amarelo) e finalizando em 2025 (azul-escuro).....	15
Figura 7: Mapeamentos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sobre o estuário da Lagoa dos Patos (RS) dos anos de 2021 a 2025. As cores representam valores que variam da menor densidade vegetal (tons de vermelho) a maior (tons de verde).....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de espécies vegetais das Marismas do Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil.....	14
--	----

CAPÍTULO 1.....	26
------------------------	-----------

Tabela 1 - Áreas de uso e cobertura da terra e taxas de alteração das classes no município do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil nos intervalos de 2010 e 2020. Valores positivos representam ganho de área, enquanto valores negativos representam a perda de área de cobertura.....	10
--	----

Tabela 2: Áreas de Marismas em Rio Grande e São José do Norte, Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil.....	12
--	----

INTRODUÇÃO GERAL

As áreas úmidas, também conhecidas como wetlands, compreendem ecossistemas permanentes ou temporários caracterizados pela saturação ou inundação dos solos, condições que favorecem processos físicos, químicos e biológicos em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio, locais onde a presença de solos hidromórficos e de vegetação adaptada a tais condições constitui um dos principais indicadores destes ambientes, que se destacam entre os ecossistemas mais relevantes do planeta devido a elevada biodiversidade e funções ambientais que desempenham (Gomes; Magalhães Junior, 2018). E neste contexto, destaca-se o bioma Pampa, que abriga extensas áreas úmidas associadas à sua matriz campestre e a condições hidrogeomorfológicas específicas.

O Pampa, segundo Pillar (2009) e Figueiró et al., (2011) é um bioma de vegetação arbustiva e campestre, caracterizado por condições climáticas e geológicas singulares, que está presente em parte da Argentina, todo o Uruguai, e em 63% do território do Rio Grande do Sul, onde abrange uma mescla de ecossistemas, incluindo os campos de altitude e campos subtropicais, que ocupam áreas da Depressão Central, Serra do Sudeste e região da Campanha, caracterizando a maior parte do território.

Além de sua relevância para os processos naturais, bem como para o contexto histórico e cultural dos povos gaúchos e povos tradicionais que habitam os territórios sobre o Pampa (Barcellos, 2022). O Bioma Pampa apresenta uma grande variedade de fisionomias e abriga uma rica biodiversidade, e na contramão das expectativas, é extremamente negligenciado, onde a perda de habitats continua a se intensificar com a destruição das áreas remanescentes e a introdução de espécies exóticas (Overbeck et al., 2007).

De acordo com Overbeck et al. (2023), entre 1985 e 2020, a extensão dos ecossistemas campestres do Pampa, no Rio Grande do Sul diminuíram de 9,3 milhões para 6,6 milhões de hectares, redução que reflete a expansão de áreas agrícolas e de plantios de espécies arbóreas exóticas, evidenciando tanto a invisibilidade desses ecossistemas perante a sociedade quanto a falta de legislação específica voltada à proteção dos campos do Pampa.

A conservação do Pampa se faz necessária, como também é de interesse antrópico, tendo em vista a obtenção dos serviços ecossistêmicos provenientes dos seus sistemas. Neste sentido, Bilenca e Minarro (2004) colocam que o interesse ecológico do Pampa está profundamente conectado ao seu papel crucial na regulação dos ciclos biogeoquímicos, especialmente na ciclagem de carbono e oxigênio. Assim, os ecossistemas do bioma Pampa

desempenham um papel vital na absorção e decomposição de diversos poluentes orgânicos e minerais, contribuindo significativamente para a purificação da água, permitindo que muitos canais no Pampa sejam fontes essenciais de água potável para inúmeras cidades.

As superfícies planas com solos mal e parcialmente drenados do bioma Pampa, permitiram aos sistemas agrícolas e urbano-industriais encontrar nas áreas de Planície Lagunar, características que propiciaram a organização e expansão destes sistemas e o desenvolvimento das atividades agrícolas, principalmente o de arroz irrigado, que definiu o uso da terra dos sistemas antrópicos sobre os sistemas naturais, desencadeando alterações na morfohidrodinâmica, que afetam os ecossistemas e espécies de fauna e flora locais, e inclusive as necessidades básicas da sociedade (Simon; Silva, 2015).

A ocupação das regiões costeiras dos novos continentes, onde se instalaram os primeiros assentamentos, tiveram variados usos da terra ao longo da história, assim como no Rio Grande do Sul, quando a ocupação partiu do atual município do Rio Grande, que, desde o século XVII, produziu hortifrutigranjeiros e, no final do século XX e início do XXI, consolidou a silvicultura e as monoculturas de arroz irrigado e soja próximas ao canal São Gonçalo (Bonilha; Sato, 2020). No entanto, havendo, por um lado, necessidades econômicas e antrópicas, por outro, os múltiplos fins destinados ao uso da terra, suprimem os sistemas naturais e a cobertura vegetal. De forma que, múltiplas pressões, conflitos e modificações, trazem riscos potenciais aos ecossistemas e à qualidade ambiental (Costa; Sato, 2021).

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, se localiza a foz do sistema hídrico Patos-Mirim (Figura 1), o estuário da Lagoa dos Patos (Figura 2). Se apresenta no domínio da ecorregião do Pampa Uruguaio-sul-rio-grandense, especificamente, na ecoprovincia que se estende sobre a planície costeira desde o Rio Grande do Sul ao Uruguai, a ecoprovincia do Pampa Atlântico que, é a mais baixa, plana e jovem do Pampa, tendo se formado em resposta aos sucessivos sistemas laguna-barreira, que se caracterizam pela deposição de areia em praias e dunas eólicas frontais, protegendo as lagunas da ação do mar (Figueiró; Sell, 2020).

A Planície Costeira de cordões arenosos e de lagoas costeiras gaúchas, foi estruturada por meio do represamento das águas durante o Pleistoceno e Holoceno, resultando na formação da Lagoa Mirim, Canal São Gonçalo e Laguna dos Patos (Tomazelli; Villwock, 2005). Esta estrutura se deve a eventos de transgressão e regressão marinha que resultaram em uma ampla zona de sedimentação constituída de sedimentos oriundos das terras altas do Cinturão Dom Feliciano e do Cráton Rio de la Plata no Escudo Uruguaio-sul-rio-grandense (Silveira et al., 2020).

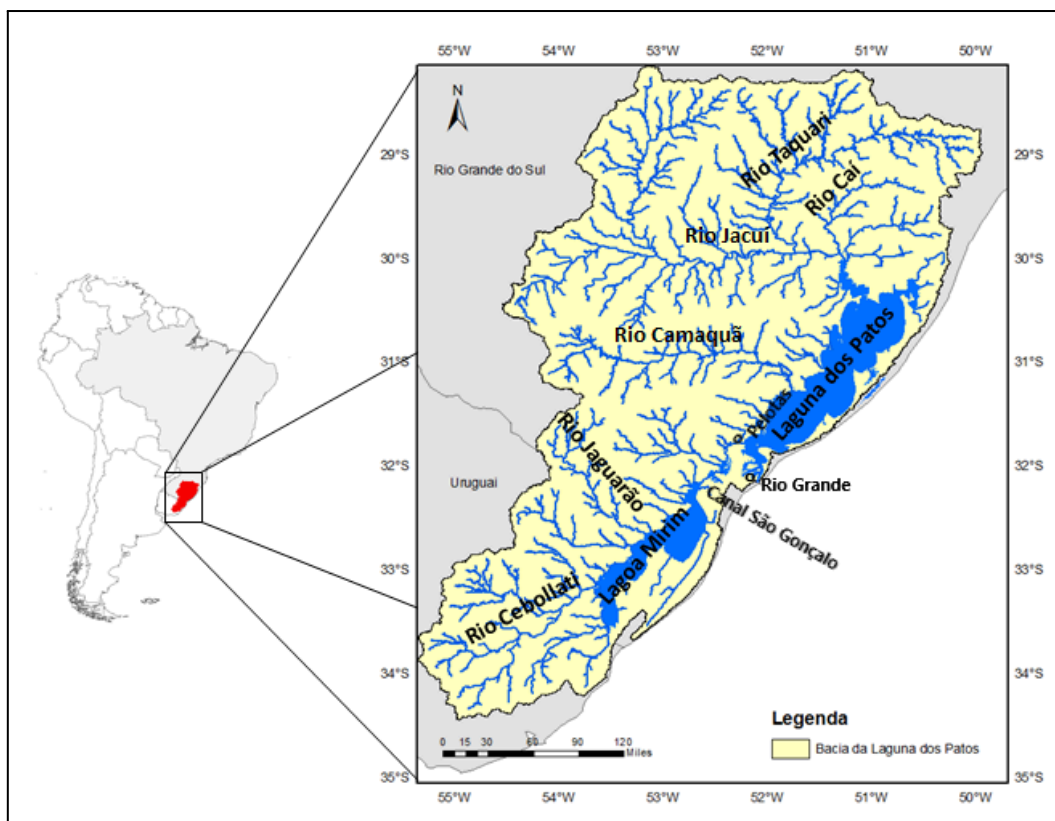


Figura 1: Mapa representando a Bacia Hidrográfica Patos-Mirim, no Rio Grande do Sul e Uruguai, no cone sul da América do Sul. Fonte: Lopes (2015).

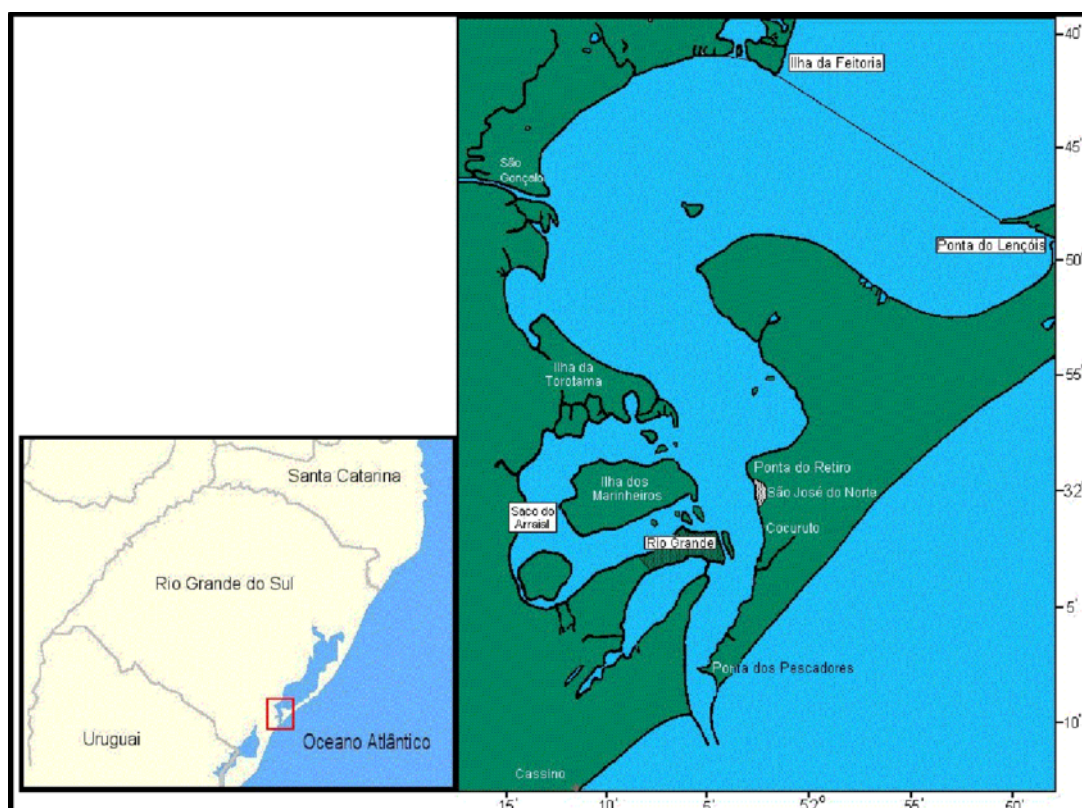


Figura 2: Localização do estuário Patos-Mirim (RS), com o limite definido pela linha entre a Ilha da Feitoria e a Ponta do Lençol. Fonte: Campello; Saraiva (2002).

Nas áreas de foz, também conhecidas como ambientes de transição terra-mar, onde ocorrem variações de troca entre águas doce e salina em faixas subtropicais, como no estuário da Lagoa dos Patos, podemos encontrar as marismas, que se destacam como os ecossistemas mais produtivos das zonas temperadas e subtropicais, e onde predominam espécies herbáceas halófitas (Silva et al., 2020).

As espécies vegetais das marismas constituem ecossistemas periodicamente alagados por água salgada, predominantes nas zonas entremarés de costas sedimentares, formadas, sobretudo, por espécies herbáceas, tanto perenes quanto anuais, podendo incluir também pequenos arbustos, que estão presentes em estuários, lagunas, baías e em áreas protegidas por ilhas-barreira ou promontórios, geralmente em extensas regiões de águas rasas e embora apresentem distribuição global, são especialmente predominantes em regiões de clima temperado e subtropical (Costa; Davy, 1992).

Do ponto de vista funcional, as marismas exercem papel central na produção primária, na proteção costeira e, especialmente, no armazenamento de carbono em longo prazo, contribuindo de forma significativa para o estoque e a dinâmica do carbono azul. Configurando-se como importantes hotspots, com relevância estratégica para políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, assim como manguezais e pradarias marinhas, outros ecossistemas costeiros vegetados. (Hatje et al. 2023).

Em relação às espécies que compõem as marismas do Estuário da Lagoa dos Patos, estudos anteriores realizados por Marangoni e Costa (2009), em 24 unidades, indicaram a ocorrência de 24 espécies sendo mais frequentes *Spartina alterniflora* Loisel., *Spartina densiflora* Brongn., *Juncus kraussii* Hochst. e *Scirpus olneyi* (= *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart) (tabela 1).

Segundo Cardoso et. al. (2024) a presença de 26 espécies aquáticas exóticas evidencia uma situação preocupante, que pode gerar impactos significativos sobre as espécies nativas, em um sistema de alta relevância ecológica e socioeconômica, como o estuário Patos–Mirim, onde a introdução e permanência de espécies exóticas representam uma ameaça substancial ao equilíbrio ecológico e à manutenção dos serviços ecossistêmicos em ambientes aquáticos de elevada biodiversidade. Estes organismos podem modificar a estrutura e o funcionamento das comunidades vegetais e faunísticas típicas das marismas, ao competir com espécies nativas, alterando a dinâmica destes ecossistemas.

Segundo Marangoni e Costa (2009) as marismas podem ser classificadas em inferiores e médias/superiores, de acordo com a frequência de inundação e a composição da vegetação. As marismas inferiores, situadas mais próximas ao nível da água, são alagadas por até 60% do

tempo e caracterizam-se pela presença de espécies como *Spartina alterniflora* e *Scirpus olneyi* (= *Schoenoplectus americanus*), que suportam maior instabilidade hídrica. Enquanto as marismas médias/superiores, localizadas em áreas mais elevadas, são alagadas em menor proporção, cerca de 25% do tempo, e apresentam como espécies dominantes *Scirpus maritimus* (= *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla), *Spartina densiflora* Brongn e *Juncus kraussii* Hochst. Essa diferenciação reflete gradientes de inundação e salinidade, que determinam a distribuição das comunidades vegetais nestes ecossistemas.

Tabela 1: Lista de espécies vegetais das Marismas do Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil

Unidade	Nome	Marisma Inferior	Marisma Média/Superior
1	Primeiro Pontal	-	<i>S. densiflora</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>Paspalum vaginatum</i> , <i>Fimbristylis spadicifera</i> , <i>Salicornia gaudichaudiana</i> , <i>Juncus acutus</i> , <i>Limonium brasiliense</i> , <i>Sesuvium portulacastrum</i> , <i>Phyla canescens</i>
2	Pontal Deprec	<i>S. alterniflora</i> , <i>Scirpus olneyi</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>J. acutus</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>F. spadicifera</i> , <i>P. vaginatum</i> , <i>Bacopa monnieri</i> , <i>S. gaudichaudiana</i> , <i>Imperata brasiliensis</i> , <i>Axonopus</i> sp.
3	Ponta dos Pescadores	<i>S. alterniflora</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>S. gaudichaudiana</i> , <i>L. brasiliensis</i> , <i>P. vaginatum</i> , <i>Acrostichum danaeifolium</i>
4	Farol	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. densiflora</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>J. acutus</i>
5	SJN Sul	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. densiflora</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>J. acutus</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. gaudichaudiana</i> , <i>S. olneyi</i>
6	Mendanha	<i>S. olneyi</i> , <i>P. vaginatum</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>P. vaginatum</i> , <i>B. monnieri</i> , <i>Apium</i> sp., <i>A. danaeifolium</i> , <i>S. californicus</i>
7	Ilha dos Ovos	<i>S. olneyi</i>	<i>S. maritimus</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>Senecio tweedii</i>
8	Ponta Rasa	<i>S. olneyi</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>Axonopus</i> sp., <i>P. vaginatum</i>
9	Molhe Oeste	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. densiflora</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>F. spadicifera</i> , <i>J. acutus</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. gaudichaudiana</i>
11	Mangueira Norte	<i>S. alterniflora</i> , <i>Typha domingensis</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>T. domingensis</i>
12	Lagoa Verde	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>J. acutus</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>Scirpus californicus</i>
13	Mangueira Sul	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>T. domingensis</i>
14	Rio Grande	<i>S. alterniflora</i>	<i>S. maritimus</i> , <i>T. domingensis</i>
15	Ilha das Pombas/Pólvora/Cavalos	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. maritimus</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>S. alterniflora</i> , <i>Myrsine parvifolia</i> , <i>S. tweedii</i> , <i>Rumex</i> sp.
16	Justino	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. olneyi</i>
17	Arraial	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>P. vaginatum</i> , <i>S. gaudichaudiana</i> , <i>A. danaeifolium</i> , <i>Apium</i> sp.
18	Quitéria	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>J. kraussii</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>A. danaeifolium</i>
19	Arraial	-	<i>J. kraussii</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>S. maritimus</i>
20	Ilha dos Marinheiros Norte	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>S. californicus</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>Myrsine parvifolia</i> , <i>J. acutus</i> , <i>A. danaeifolium</i> , <i>S. californicus</i> , <i>S. olneyi</i>
21	Ilha dos Marinheiros Sul	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>T. domingensis</i> , <i>S. alterniflora</i>
22	Ilha dos Carneiros/Cabras/Baicurus/Zumbi	-	<i>S. maritimus</i> , <i>S. densiflora</i> , <i>S. olneyi</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>S. gaudichaudiana</i> , <i>A. danaeifolium</i> , <i>L. brasiliensis</i> , <i>T. domingensis</i> , <i>Rumex</i> sp., <i>Cladium jamaicense</i> , <i>Myrsine parvifolia</i>
23	Ilha da Torotama	<i>S. olneyi</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>S. olneyi</i>
24	Pesqueiro	<i>S. alterniflora</i> , <i>S. olneyi</i>	<i>S. densiflora</i> , <i>J. kraussii</i> , <i>S. maritimus</i> , <i>J. acutus</i> , <i>P. vaginatum</i> , <i>Axonopus</i> sp., <i>Eryngium</i> sp., <i>B. monnieri</i> , <i>S. alterniflora</i>

Fonte: Marangoni e Costa (2009)

Além dos fatores naturais como o clima, temperatura das águas, salinidade, disponibilidade de sedimentos, há entre outros fatores determinantes para fixação das marismas, as ações da humanidade, que influenciam direta e indiretamente a existência destes ecossistemas (Costa et al., 1997).

As alterações humanas nos ambientes, interferem nos processos e na resiliência dos ecossistemas, e causam perturbações na biodiversidade, por vezes, causando a extinção de espécies. Isto reflete em consequências ecológicas e sociais, que prejudicam o equilíbrio ambiental e a capacidade de prestação dos serviços ecossistêmicos (Chapin et al., 2000).

Ecossistemas do Pampa, como as marismas, desempenham papel vital na absorção e decomposição de diversos poluentes orgânicos e minerais, contribuindo significativamente para a purificação da água. Além disso, muitos canais neste bioma são fontes essenciais de água potável para inúmeras cidades (Bilenca; Miñarro, 2004). Desta forma, podemos assumir que a humanidade tem além da necessidade ecológica de buscar o equilíbrio ambiental e coexistência com a Natureza, também interesses e necessidades próprias, que podem causar alterações em inúmeros aspectos do planeta Terra.

A influência humana nas mudanças climáticas; o despejo de poluentes nas águas; o uso e cobertura da terra; aterramento de marismas; ações de recuperação ambiental; pesca de espécies estuarinas; disponibilidade como pastejo para animais; entre outras relações do Homem com as marismas impactam o equilíbrio ambiental destes ambientes (Seeliger et al., 1998; Marangoni; Costa, 2009; Schaeffer-Novelli et al., 2016).

As marismas fornecem prestação de serviços ecossistêmicos de extrema importância para a humanidade e para a biodiversidade. Segundo Costa et al. (1997), as populações vegetais das marismas promovem áreas protegidas para perpetuação de espécies estuarinas e marinhas, e disponibilizam energia e matéria para a teia alimentar, portanto indispensáveis para as relações ecológicas. Além de promoverem áreas abrigadas e reduzirem o impacto das ondas, estes ecossistemas complexos, altamente resistentes e resilientes, se desenvolvem dependendo de diversos fatores, entre os quais se destacam a topografia local, a amplitude das marés e o aporte de água doce (Silva et al., 2020).

Marangoni e Costa (2009) ao estabelecerem indicadores de perturbação, concluíram que no estuário da Lagoa dos Patos, as marismas apresentaram perturbações tanto de origem natural, quanto antrópica. Desta forma, a intervenção antrópica se torna fator determinante na realidade da qualidade das águas e dos ecossistemas aquáticos, e interfere nas condições favoráveis para a ocorrência de marismas. Além disso, segundo Marangoni (2008) diversas perturbações naturais influenciam a dinâmica espacial e estrutural das marismas, entre as quais destacam-se: os processos erosivos que contribuem para a perda gradual de área desses ambientes; mudanças ambientais de escala regional, como a elevação do nível do mar, que intensificam a hidrodinâmica local, afetando a salinidade, sedimentação e distribuição de

espécies nas marismas; e o incremento de descarga de água doce na bacia hidrográfica, que reforça a vulnerabilidade dessas áreas a alterações hidrológicas e sedimentológicas naturais.

Souza et al. (2023), ao olharem para as comunidades pesqueiras da bacia do Rio Doce, após o desastre do fundão em Minas Gerais, verificaram a precariedade das condições de vida das pessoas que possuem a pesca como única renda, condições já prejudicadas e que se intensificaram negativamente, devido a lama contaminada e proibição da pesca. E sob a ótica da pesca artesanal no estuário da Lagoa dos Patos, Martins (1997), ao indicar que as relações do estuário com o Oceano Atlântico, se visibilizam também através das espécies marinhas que possuem parte de seu ciclo biológico no estuário, lista uma relação de espécies de valor econômico que são capturadas, como o camarão, corvina, tainha, savelha e peixe-rei. Neste sentido, no estuário da Lagoa dos Patos, as marismas, imprescindíveis para muitas espécies estuarinas, são também de grande importância para as comunidades pesqueiras, que devido a necessidade de captura de pescado, necessitam de uma boa qualidade destes ecossistemas que podem fornecer serviços ecossistêmicos para a biodiversidade, aumentando as chances de sobrevivência e perpetuação de espécies de valor econômico. Portanto, a alteração das marismas, pode levar à intensificação de situações de degradação ambiental e injustiça social.

Para Delamare et al. (2017) a desordem de uso e ocupação da terra e a degradação ambiental, é consequência direta do crescimento desordenado e da falta de planejamento de uso do espaço. E neste sentido, as cidades são sistemas onde a ação das sociedades se tornam marcantes, devido ao uso de recursos, como água e solo, onde o desenvolvimento urbano, desde sua gênese à evolução, ocorre de forma que se exigiram planejamentos que conduzam a estratégias que visem as boas relações com o meio ambiente, de forma a promover a sustentabilidade e o equilíbrio ambiental.

Em vista de que nem sempre há o correto planejamento de uso do espaço, uma das formas de atestarmos a qualidade ambiental é através de monitoramento. Grützmacher et al. (2008) e Albertoni et al. (2016), ao analisarem as águas do Canal São Gonçalo, que deságua na Lagoa dos Patos, por meio da identificação da presença de resíduos de agrotóxicos e de variabilidade na concentração de nutrientes, nitrogênio e fósforo, condições para eutrofização das águas, identificaram que neste importante recurso hídrico, vê-se a contaminação por químicos utilizados nas lavouras de arroz. Isso afeta a qualidade das águas, e portanto, a utilização antrópica do Canal e dos ecossistemas adjacentes.

Do mesmo modo, Vieira et al. (2019), ao realizarem o monitoramento das águas do Canal São Gonçalo e da Lagoa Mirim, identificaram uma notável disparidade entre os pontos

de coleta dos corpos hídricos estudados, destacando que as águas do Canal São Gonçalo carregam contaminantes para o estuário da Lagoa dos Patos, ameaçando o equilíbrio dos ecossistemas locais.

A técnica de uso e cobertura da terra, que consiste na identificação de diferentes classes de cobertura, a partir de unidades de paisagem, possui uma problemática, que é a falta de classes específicas, no caso, que separem as áreas úmidas de banhados das áreas de marismas em classes distintas, e não especificadas no Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). Do mesmo modo, tampouco identificadas pelo projeto de mapeamento anual do uso e cobertura da terra (MapBiomas), que apresenta uma classe mais abrangente, classificando as marismas e os banhados em uma mesma classe de cobertura, nomeada de campo alagado e área pantanosa (Figura 3).

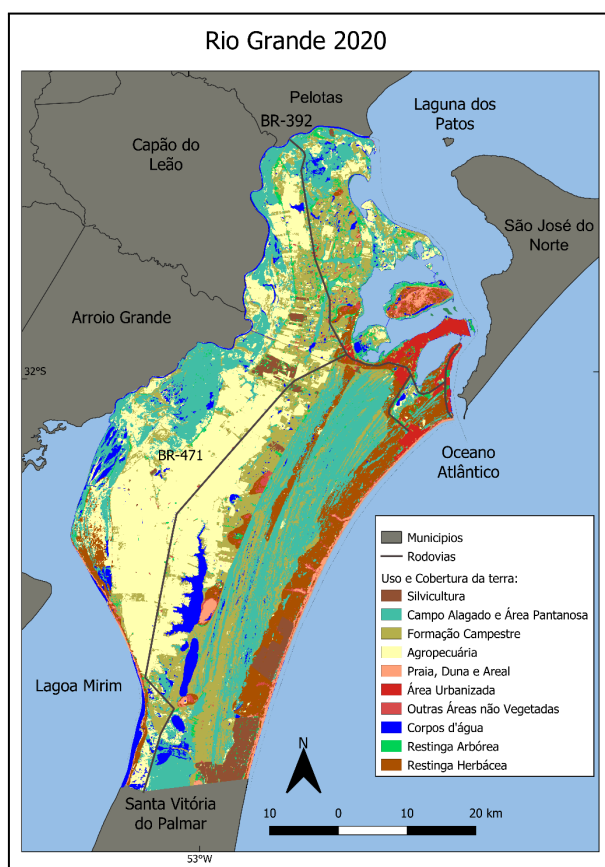


Figura 3: Mapa de uso e cobertura da terra do município do Rio Grande (2020), indicando a área de marismas associada aos banhados em uma única classe, campo alagado e área pantanosa. Fonte: Mapbiomas (2025) adaptado.

Neste estudo, para analisarmos as marismas em uma classe de fitocobertura, foi necessário a realização de mapeamentos com o foco nesta classe. Desta forma, é possível o monitoramento das marismas, a partir da análise da cobertura vegetal destes ecossistemas de relevante importância para no estuário Patos-Mirim.

Deste modo, com o advento da geotecnologia e avanços das teorias, técnicas e das tecnologias, se tornou possível classificar e registrar as modificações das paisagens terrestres, o que para Antunes (2018), ocorreu devido a preocupação por parte da Geografia Física geral ou Geografia da natureza, de investigar os processos de fluxos de energia e matéria, os fenômenos naturais e as inter-relações entre o antrópico e o natural, que são indissociáveis.

A Ecologia da Paisagem consolidou-se inicialmente voltada para análises do uso da terra por meio de fotografias aéreas e da interpretação das paisagens, com fins predominantemente econômicos ligados aos recursos naturais e às interações humanas com o espaço. No entanto, a partir da década de 1980, esse enfoque passou a ser influenciado pelas preocupações com a crise ambiental, direcionando-se à conservação da biodiversidade, ao manejo sustentável dos recursos e ao planejamento de áreas protegidas (Nucci, 2007).

A abordagem multidisciplinar impulsionou os estudos da paisagem sob uma perspectiva sistêmica fundamentada na Teoria Geral dos Sistemas, a partir do conceito de Ecossistema, oriundo da Biologia, e de Geossistema, da Geografia. Cunhando-se o termo Geoecologia, em que, por meio da regionalização natural nas pesquisas ambientais, houve a compartimentação em estruturas básicas, ou Unidades Naturais (Sperb et al., 2010).

A abordagem da Geoecologia de Paisagem, com o auxílio de Sistemas de Informação Geográficas (SIG's), permite a identificação e delimitação de áreas naturais ou alteradas, para a realização de mapeamentos de uso e ocupação/uso e cobertura da terra, através da identificação dos limites das unidades de paisagem homogêneas (Sperb et al., 2010). De forma que, estes mapeamentos, se tornam ferramentas de subsídio para um planejamento ambiental adequado, ordenamento lógico de uso e ocupação, manejo sustentável dos recursos e planejamento de ações e medidas de proteção ambiental (Sato, 2012).

A Geoecologia da Paisagem surge da necessidade de identificação das fronteiras ecológicas associadas à paisagem. Que através de um sistema de métodos, procedimentos e técnicas de investigação, objetiva a obtenção de um conhecimento sobre o meio natural. Desta forma, a Geoecologia da Paisagem surge não apenas como ferramenta base para o planejamento ecológico do território, mas oferece subsídios metodológicos e técnicos a estudos científicos e setores já consolidados das ciências ambientais (Rodriguez et al., 2017).

É possível que, através da identificação dos limites das unidades de paisagem homogêneas, sejam visualizadas as tensões no uso do espaço. Segundo Sato (2012) a abordagem da Geoecologia de Paisagem, com o auxílio de Sistemas de Informação Geográficas (SIG's), torna possível a identificação e delimitação de áreas naturais ou alteradas. O uso dos SIG's para a realização de análises espaciais, permite a realização de

mapeamentos de uso e ocupação/uso e cobertura da terra, ferramentas de subsídio para um planejamento ambiental adequado, ordenamento lógico de uso e ocupação, manejo sustentável dos recursos e planejamento de ações e medidas de proteção ambiental.

Os mapeamentos de uso e cobertura da terra permitem a visualização da coexistência dos espaços naturais, seminaturais e antrópicos. E tornam possível a análise do mosaico composto pelas diferentes unidades de paisagem nas áreas de estudo (Barcellos; Sato, 2020). Assim como, as análises temporais das dinâmicas de uso e cobertura da terra, se fazem presentes como técnica de base para elaboração de material para gestão e planejamento ambiental e estratégico (Sato; Bonilha, 2020). Portanto, é possível a colaboração destes mapeamentos temáticos em medidas de conservação e preservação dos ecossistemas e da biodiversidade, sendo assim, utilizados como ferramentas auxiliares no monitoramento de ecossistemas.

As alterações na área de cobertura dos ecossistemas de marismas observáveis através de imagens de satélite podem ser oriundos de fatores antrópicos e/ou naturais, e resultar no aumento de cobertura da vegetação; em equilíbrio/permanência de áreas já ocupadas; ou supressão de áreas ocupadas por marismas. Como constatado por Marangoni (2008), por meio de imagens áreas das marismas do Estuário da Lagoa dos Patos, que identificou influências antrópicas e naturais que contribuíram para as alterações na área de cobertura das marismas.

Deste modo, o presente trabalho surge como uma proposta de ampliação do estudo das áreas de marismas deste estuário, abrangendo as áreas de marismas dos municípios de São José do Norte e Rio Grande, permitindo compreender a distribuição e as variações espaciais e temporais da cobertura vegetal destes ecossistemas ao longo do período de 2005 até 2025, a partir de imagens satélites.

Tendo em vista estudos anteriores de Marangoni (2008), que mostram as áreas de marismas suscetíveis a variações espaciais em diferentes períodos de análise de sua cobertura vegetal, o presente estudo buscou a partir de mapeamento da cobertura vegetal por imagens satélites de todas as áreas de marismas deste estuário ao longo dos últimos 20 anos, responder às seguintes perguntas:

- 1) Estas áreas de marismas apresentarão variação espacial ao longo da análise temporal de 20 anos? E esta variação terá oscilações ao longo de escalas de tempo de cinco anos ou apresentarão aumento ou redução contínua?
- 2) A partir das variações dos valores do NDVI será possível evidenciar alterações espaciais significativas na cobertura vegetal das marismas em função das

enchentes de 2024, ao ser comparada com a cobertura dos anos que antecedem e sucedem este evento ambiental e extremo?

- 3) Os mapeamentos temporais e espaciais das áreas de marismas fornecerão elementos que possam subsidiar estratégias de conservação da biodiversidade e contribuir para o monitoramento e gestão sustentável das áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos?
- 4) As alterações observadas ao longo do período de estudo em comparação a estudos anteriores seguem as mesmas tendências observadas? Que fatores antrópicos ou da Natureza poderiam promover diferenças?

OBJETIVOS

Analisar espacial e temporalmente a cobertura das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS), a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra, a fim de compreender a dinâmica deste ambiente e fornecer subsídios para a conservação e o monitoramento de áreas úmidas.

Objetivos Específicos:

- a) Fazer uma análise de uso e cobertura da terra do município do Rio Grande, com foco nas áreas úmidas de marismas e banhados;
- b) Realizar análise temporal com mapeamentos da cobertura de marismas dos anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025, utilizando imagens de satélite, a fim de identificar variações espaciais na cobertura de marismas;
- c) Estimar a taxa de variação de área das marismas ao longo do período mapeado, visando compreender a dinâmica de expansão ou retração destes ecossistemas;
- d) Analisar a densidade da vegetação das marismas, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) dos anos de 2021, 2022, 2023, 2024 e 2025, a fim de avaliar alterações na cobertura, em decorrência da enchente de 2024.

REFERÊNCIAS

- ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C.; TRINDADE, C. R.; FURLANETTO, L. M.
Water quality of the São Gonçalo channel, urban and agricultural water supply in southern Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 22, n. 2, p. 1–10, 2017.
- BARCELLOS, J. L. C.; SATO, S. E. O uso da terra No Rio Grande do Sul e Uruguai e a preservação do patrimônio natural gaúcho: uma revisão teórica. *Anais do Seminário de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 7, 2020.
- BARCELLOS, J. L. Rio Grande, Pampa e Cultura Gaúcha: Fundamentos à uma proposta socioambiental para parques urbanos. 2022. 109 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia Bacharelado - Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2022.
- BILENCA, D.; MIÑARRO, F. Identificación de áreas valiosas de pastizal en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (AVPs). Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina, 2004.
- BONILHA, G.O.; SATO, S.E., Análise da dinâmica temporal do uso e cobertura da terra como subsídio ao planejamento do município do Rio Grande - RS. *Revista de Geografia - GeoUECE* (online), v. 09, n. 16, p. 165-180, 2020.
- CAMPELLO, F. D.; SARAIVA, J. M. B. Estudos de circulação atmosférica sobre o estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil) através de análise espectral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XII, 2002, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2002.
- CHAPIN III, F. S. et al. Consequences of changing biodiversity. *Nature*, v. 405, p. 234- 242, 2000.
- COSTA, C. S. B.; DAVY, A. J. Coastal salt marsh communities of Latin America. In: SEELIGER, U. (ed.). *Coastal plant communities of Latin America*. San Diego: Academic Press, 1992. p. 179-199.

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

COSTA, CSB, U SEELIGER, CPL OLIVEIRA & AMM MAZO. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da lagoa dos patos (RS, Brasil). *Atlântica*, 19:67-85, 1997.

DELAMARE, T.; SATO, S.; SIMON, A. Análise da cobertura e uso da terra da Colônia de Pescadores Z3 – Pelotas (RS): elementos para o zoneamento geoambiental. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (org.). *Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento*. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017.

FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C.; LOSEKANN, M. B.; DEGRANDI S. M. Compreensão da paisagem do Alto Camaquã: debate ambiental sobre o bioma pampa. *Mercator, Fortaleza*, v. 10, n. 23, p. 147-158, set./dez. 2011.

FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C. Paisagem e geoconservação nos territórios do Pampa Brasil-Uruguai – reflexões para uma política transfronteiriça. *Revista Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 42, 2020.

GRÜTZMACHER, D. D.; GRÜTZMACHER, A. D.; AGOSTINETTO, D.; LOECK, A. E.; ROMAN, R.; PEIXOTO, S. C.; ZANELLA, R. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 632-637, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de uso da terra*. 3ª Ed. Brasília: IBGE, p. 91, 2013.

LOPES, V. A.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; PONTES, P. R. M.; SIQUEIRA, V. A. Aplicação preliminar do modelo MGB – IPH para a bacia hidrográfica completa da Laguna dos Patos. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, XXI, 2015, Brasília-DF. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2015.

MARANGONI, J. C. 2008. Subsídios para o gerenciamento das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS). Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica - FURG, Rio Grande. 141 p.

MARANGONI, J.C.; COSTA, C.S.B. Diagnóstico ambiental das marismas no estuário da Lagoa dos Patos - RS. *Atlântica*, v. 31, n. 1, p. 85-98, 2009.

MARTINS, C. A. Á. Nas Águas da Lagoa há Reprodução da Vida: Pesca Artesanal no Estuário da Lagoa dos Patos - Rio Grande (RS). 1997, 110 p. Dissertação - (Mestrado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1997.

NUCCI, J. C. 2007. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia de paisagem. *Geografar*, v. 2, n. 1, p. 77-99, 2007.

OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.D.; BLANCO, C.; BOLDRINI, I.I.; BOTH, R. & FORNECK, E.D. Brazil's neglected biome: the Southern Campos. *Perspectives in Plant ecology and systematics*, v. 9, 2007.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. *GEOUSP - Espaço e Tempo*, n. 30, p. 30-43, 2011.

PILLAR, V; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

PILLAR, V; VÉLEZ-MARTIN, E. Extinção dos Campos Sulinos em Unidades de Conservação: um Fenômeno Natural ou um Problema ético?. *Natureza & Conservação*. 8. 84-86. 2010.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 15 de jan. 2024.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. Geoeecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: Banco do Nordeste: Edições UFC, 2017.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C., “Monitoring the Vernal Advanced and Retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation”, Texas A&M University, Texas, pp. 390, 1974.

SATO, S.E. Zoneamento geoambiental do município de Itanhaém - Baixada Santista (SP). 2012. 123 f. Tese - (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; SORIANO-SIERRA, E.J.; VALE, C.C.; BERNINI, E.; ROVAI, A.S.; PINHEIRO, M.A.A.; SCHMIDT, A.J.; ALMEIDA, R.; COELHO-JR., C.; MENGHINI, R.P.; MARTINEZ, D.I.; ABUCHAHLA, G.M.O.; CUNHA-LIGNON, M.; CHARLIER-SARUBO, S.; SHIRAZAWA-FREITAS, J. & CINTRÓN-MOLERO, G. 2016. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. Brazilian Journal of Oceanography, 64(sp.2): 37-52

SEELIGER, U.; COSTA, C. S. B. Impactos Naturais e Humanos. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (Ed.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Rio Grande: Editora Ecoscientia, 1998

SILVA, A. P. da.; ARAÚJO, E. D. S. Marisma, Manguezal (Mangue E Apicum): Ecossistemas De Transição Terra Mar Do Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 02, p. 727-742, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p727-742>

SILVA, W. S.; GOMES, V. A. P.; JANKOWSKY, M.; FREITAS, R. R. Um olhar sobre as comunidades pesqueiras da Bacia do Rio Doce/MG após o desastre de Fundão. Mares: Revista de Geografia e Etnociências, v. 5, n. 1, p. 7-19, 2024. Disponível em: <https://revistamares.com.br/index.php/files/article/view/192>

SILVEIRA, R.L., KOESTER, E., ROSÁRIO, M.J.T., RAMOS, R.C., VIEIRA, D.T., PORCHER, C.C. & DAL OLMO-BARBOSA, L. Arcabouço geofísico-geológico do setor

sudeste do Cinturão Dom Feliciano, RS, Brasil. Geologia USP. Série Científica, São Paulo, v. 20, n. 4, 2020.

SIMON, A. L. H.; SILVA, P. F. Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. Geociências, v. 34, n. 4, p.749-767, 2015.

SPERB, R; SPERB, R; BUGHI, C; VINÍCIUS, L; PORTO, M; SOUZA, DE. Utilização de software livre para análise geoespacial – estudo de caso: seleção de área para instalação de aterro sanitário. Geosul, (2010). 10.5007/2177-5230.2010v25n49p159.

TOMAZELLI, L. J.; VILWOCK, J. A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. Gravel, v. 3, p. 109-115, 2005.

VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M, G. Avaliação e comparação da qualidade das águas entre o canal São Gonçalo e a Lagoa Mirim. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.2, p.185-196, 2019.

CAPÍTULO 1

Dinâmica espaço-temporal das marismas do estuário da Lagoa dos Patos no sul do Brasil, a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra

Josué Lucas Costa Barcellos¹, Simone Emiko Sato¹, Sonia Marisa Hefler¹

ORCID

JLCB: 0009-0009-9901-2477

SES: 0000-0002-7402-5388

SMH: 0000-0001-7985-3177

Affiliation

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS

² Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS

³ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS

*As normas da revista podem ser encontradas no template fornecido pela revista no link:

<https://www.ocr-journal.org/index.php/instructions-for-authors>

Resumo

O bioma Pampa, no sul da América do Sul, abriga importantes ecossistemas de áreas úmidas, como banhados e marismas, que desempenham funções ecológicas e socioambientais relevantes, mas vêm sofrendo intensas pressões antrópicas. Este estudo analisou a dinâmica espacial e temporal da cobertura vegetal das marismas no estuário da Lagoa dos Patos, a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra. A pesquisa abrangeu as áreas de marisma dos municípios de Rio Grande e São José do Norte (RS) e utilizou imagens de satélite Landsat para os anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025, integradas a técnicas de análise em Sistemas de Informação Geográfica. O mapeamento de marismas tomou como referência as classes de uso e cobertura definidas no mapeamento de uso e cobertura da terra do município de Rio Grande (2010 e 2020). Além disso, aplicou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) entre 2021 e 2025 para avaliar a densidade vegetal após o impacto da enchente extrema de 2024, que afetou amplamente o Rio Grande do Sul. Os resultados mostram que, no município do Rio Grande, ocorreu variação na área e na densidade da cobertura vegetal das marismas ao longo das séries temporais. Em São José do Norte, observou-se retração contínua até 2015, seguida de expansão nos anos posteriores. As mudanças identificadas refletem tanto pressões antrópicas quanto a forte influência de fatores naturais, especialmente do regime hidrológico e eventos extremos de precipitação. Por fim, a classificação específica das marismas e os mapeamentos multitemporais constituem ferramentas essenciais para o monitoramento, manejo sustentável e conservação das áreas úmidas no estuário da Lagoa dos Patos, contribuindo para integrar conhecimento científico e políticas públicas ambientais voltadas ao bioma Pampa.

Abstract

The Pampa biome, located in southern South America, contains important wetland ecosystems such as marshes and tidal marshes, which play relevant ecological and socio-environmental roles but have been subjected to intense anthropogenic pressures. This study analyzed the spatial and temporal dynamics of the vegetation cover of tidal marshes in the Lagoa dos Patos estuary based on land-use and land-cover mapping. The research encompassed the marsh areas of the municipalities of Rio Grande and São José do Norte (RS) and used Landsat satellite images for the years 2005, 2010, 2015, 2020, and 2025, integrated with Geographic Information Systems (GIS) analysis techniques. The marsh mapping was based on the land-use and land-cover classes defined in the land-cover mapping of Rio Grande for 2010 and 2020. Additionally, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was applied between 2021 and 2025 to assess vegetation density following the impact of the extreme flood event of 2024, which heavily affected the state of Rio Grande do Sul. The results show that, in the municipality of Rio Grande, both the area and the density of marsh vegetation cover varied throughout the temporal series. In São José do Norte, a continuous reduction was observed until 2015, followed by expansion in the subsequent years. The changes identified reflect not only anthropogenic pressures but also the strong influence of natural factors, especially hydrological regimes and extreme precipitation events. Finally, the specific classification of marshes and the multitemporal mapping constitute essential tools for monitoring, sustainable management, and conservation of wetlands in the Lagoa dos Patos estuary, contributing to the integration of scientific knowledge and environmental public policies aimed at the Pampa biome.

Palavras-chaves: Áreas úmidas; Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Geoecologia da paisagem, Pampa.

Keywords: Wetlands; Normalized Difference Vegetation Index; Landscape Geoecology; Pampa.

INTRODUÇÃO

O Pampa, na América do Sul, é um bioma caracterizado por vegetação arbustiva e campestre, de condições climáticas e geológicas singulares (Pillar, 2009), é o único bioma do Uruguai, ocupa algumas províncias da Argentina, e a maior porção do território do Rio Grande do Sul, na República Federativa do Brasil (Figueiró et al., 2011). Abrange uma mescla de ecossistemas de áreas úmidas, representadas por distintas tipologias, áreas de banhados e várzeas, que embora em grande parte tenham sido descaracterizadas pelo intenso uso antrópico, permanecem sendo ecossistemas de grande relevância ambiental, e no Rio Grande do Sul, desempenham funções essenciais, incluindo a manutenção de habitats, a preservação de solos e de recursos hídricos (Chomenko, 2007).

Pillar et al. (2010), estimavam que em 2010, existiam apenas 50% das áreas originais de Campos Sulinos, devido às contínuas expansões agrícolas e atividades silviculturais. Além disso, a perda de habitats se intensificou com a destruição dessas áreas remanescentes e a introdução de espécies exóticas (Bilenca; Miñarro, 2004).

Segundo Overbeck et al. (2023), entre 1985 e 2020, a área de ecossistemas campestres do Pampa, no Rio Grande do Sul, foi reduzida de 9,3 milhões de hectares para 6,6 milhões de hectares, indicando uma perda de mais de 30% de sua área original em cerca de quatro décadas. Redução que evidencia o avanço de áreas agrícolas e de plantios de árvores exóticas. Isso reflete a invisibilidade e a negligência quanto a proteção dos campos do bioma Pampa, que apresenta uma grande variedade de fisionomias e abriga uma rica biodiversidade (Overbeck et al. 2007).

Sob domínio do Pampa, a planície costeira do sul do Rio Grande do Sul foi estruturada por meio de eventos de transgressão e regressão marinha que resultaram em uma ampla zona de sedimentação, constituída de cordões arenosos responsáveis pelas formações lacustres da linha de costa durante o Pleistoceno e Holoceno. Que resultaram no represamento das águas e formação da Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim, conectadas através do Canal São Gonçalo, um importante manancial de uso antrópico e natural (Tomazelli; Villwock, 2005; Simon; Silva, 2015).

Nesta planície, áreas úmidas, como os típicos banhados do Pampa, muitas vezes vistos como insalubres e inaproveitáveis, são considerados como um dos ecossistemas mais produtivos do mundo, e que devido a elevada produção de matéria orgânica, proporcionam condições específicas e ideais para uma biota, muitas vezes exclusiva destes locais (Machado, 2011).

As superfícies planas desta Planície Lagunar do Pampa, com solos mal e parcialmente drenados permitiram a organização e expansão dos sistemas agrícola e urbano-industrial, especialmente do arroz irrigado, definindo o uso da terra sobre os sistemas naturais e desencadeando alterações na morfohidrodinâmica que afetam ecossistemas, espécies de fauna e flora locais e até as necessidades básicas da sociedade (Simon; Silva, 2015). Além disso, o município do

Rio Grande, é um exemplo onde o processo de antropização se utilizou de áreas úmidas e das dunas para a expansão urbana e agrícola (Telles 2011).

Neste sentido, estes múltiplos fins destinados ao uso da terra, que atendem as necessidades econômicas e antrópicas, também suprimiram os sistemas naturais e a cobertura vegetal (Bonilha; Sato, 2020), onde, múltiplas pressões, conflitos e modificações, trazem riscos potenciais aos ecossistemas e à qualidade ambiental (Costa; Sato, 2021). Vale também destacar que a antropização é um fator de mudanças ecológicas e de paisagem, e que apesar da forte pressão da urbanização, é possível, com um adequado planejamento socioambiental, a existência de habitats com função ecológica relevante para o território (Gavioli et al.; 2022).

Os ecossistemas costeiros vegetados, como manguezais, pradarias marinhas e marismas, são importantes componentes do carbono azul no mundo, pois capturam e estocam grandes quantidades de carbono, especialmente em seus sedimentos. Apesar de ocuparem uma fração reduzida da superfície oceânica, esses ecossistemas acumulam expressivas quantidades de carbono orgânico em sua biomassa e, sobretudo, em seus sedimentos, apresentando taxas de sequestro superiores às de muitos ambientes terrestres, além de fornecerem outros serviços ecossistêmicos essenciais, como proteção costeira, suporte à biodiversidade e regulação biogeoquímica (Hatje, 2023).

As áreas de foz, caracterizadas como ambientes de transição entre os sistemas terrestre e marinho, apresentam intensas variações na dinâmica de troca entre águas doce e salina, especialmente em regiões subtropicais, como no estuário da Lagoa dos Patos. Nesses ambientes ocorrem as marismas, ecossistemas altamente produtivos das zonas temperadas e subtropicais, nos quais predominam espécies herbáceas halófitas (Silva et al., 2020).

Segundo Costa et al., (2012) as marismas, ecossistemas de vegetação herbácea, encontradas também nas regiões entre marés do estuário da Lagoa dos Patos, na planície costeira ao sul do Rio Grande do Sul, podem ser consideradas banhados salgados, e são fundamentais para a manutenção dos ecossistemas costeiros e lagunares, favorecendo a conservação de diversas espécies ao oferecer habitat e áreas de nidificação para diversas espécies.

Segundo Marangoni e Costa (2009), as marismas podem ser divididas em inferiores e médias/superiores de acordo com o tempo de inundação e a vegetação associada. As marismas inferiores, mais próximas ao nível da água e alagadas por até 60% do tempo, são dominadas por espécies tolerantes à instabilidade hídrica, como *Spartina alterniflora* Loisel. e *Scirpus olneyi* (= *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart). Já as marismas médias/superiores, situadas em áreas mais elevadas e inundadas cerca de 25% do tempo, apresentam como espécies predominantes *Scirpus maritimus* (= *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla) , *Spartina densiflora* Brongn e *Juncus kraussii* Hochst.

Neste contexto, as marismas possuem grande importância ecológica e mantêm múltiplas interações com os sistemas humanos, seja pela degradação e falta de planejamento, seja pela dependência de comunidades pesqueiras, especialmente as tradicionais, que necessitam de

ecossistemas equilibrados (Costa; Asmus, 2018). Esses ambientes fornecem energia e matéria essenciais aos processos ecológicos, sustentando espécies estuarinas e marinhas. Sua existência é condicionada por fatores abióticos, como clima, salinidade e temperatura da água, sendo fortemente influenciadas por ações humanas, incluindo mudanças climáticas, aterros, poluição e iniciativas de recuperação ambiental (Marangoni; Costa, 2009).

As regiões litorâneas, tradicionalmente ocupadas pela humanidade, em especial pela oferta de alimentos e recursos, modificam e são modificadas sobre o espaço, onde as heterogeneidades destas modificações espaciais tornam um desafio maior tanto para o mapeamento quanto para a classificação (Fischer; Lindenmayer, 2007).

Para Delamare, et al. (2017) a desordem de uso e ocupação da terra e a degradação ambiental, é consequência direta do crescimento desordenado e da falta de planejamento de uso do espaço. E desta forma, há necessidade da condução de estratégias que promovam a sustentabilidade e o equilíbrio ambiental, uma vez que o uso da terra, pode causar impacto também a ecossistemas aquáticos, como as marismas no estuário da Lagoa dos Patos.

O avanço das geotecnologias permitiu classificar e registrar modificações das paisagens favorecendo a investigação dos processos de fluxos de energia e matéria, dos fenômenos naturais e das inter-relações entre o antrópico e o natural, que são indissociáveis (Antunes, 2018). Neste contexto, a Geoecologia da Paisagem também surge como base metodológica para identificar fronteiras ecológicas associadas à paisagem, podendo subsidiar o planejamento ecológico do território e estudos ambientais (Rodríguez et al., 2017), dando um importante suporte para estudo de paisagens heterogêneas.

A Compartimentação dos ecossistemas em Unidades Naturais, possibilita a identificação de diferentes coberturas vegetais e delimitação de unidades homogêneas, por meio da análise e observação de fenômenos da paisagem, cujos limites evidenciam tensões no uso do espaço (Sperb et al., 2010). Os mapeamentos permitem a visualização da coexistência dos espaços naturais, seminaturais e antrópicos e assim tornam possível a análise do mosaico composto pelas diferentes unidades de paisagem nas áreas de estudo (Barcellos; Sato, 2020).

O presente estudo propõe a distinção das marismas e banhados em diferentes classes de cobertura vegetal, hierarquizando-as a partir de uma classe conjunta. Assim, estabelecendo as marismas em uma classe de cobertura vegetal independente das áreas de banhado, dada a importância do monitoramento destes ambientes, também a partir de mapeamentos de uso e cobertura da terra.

Este estudo foi orientado pelas seguintes questões de pesquisa: verificar se as áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos apresentam variação espacial ao longo de uma análise temporal de 20 anos, bem como se essas variações ocorrem de forma contínua ou por meio de oscilações em escalas quinquenais; avaliar se as variações nos valores do Índice de Vegetação por

Diferença Normalizada (NDVI) evidenciam alterações espaciais significativas na cobertura vegetal das marismas associadas às enchentes de 2024, em comparação aos períodos anterior e posterior ao evento extremo; analisar o potencial dos mapeamentos temporais e espaciais como subsídio à conservação da biodiversidade e à gestão sustentável das marismas; e examinar se as alterações observadas seguem tendências apontadas em estudos anteriores, bem como os principais fatores naturais e/ou antrópicos associados a essas mudanças.

METODOLOGIA

A área de estudo deste trabalho abrange o estuário da Lagoa dos Patos, incluindo as áreas de marismas localizadas nos municípios de Rio Grande e São José do Norte, sob território do bioma Pampa, no Estado do Rio Grande do Sul (BR), localizado no Cone Sul da América. E para análise de uso e cobertura, o município do Rio Grande, que apresenta seus limites na Lagoa Mirim a Oeste e Sudoeste, no Canal São Gonçalo a Noroeste e Norte, no Oceano Atlântico a Leste e Sudeste e no Estuário da Laguna dos Patos a Nordeste, possui um par de molhes no Canal de desembocadura da Laguna dos Patos com o mar, compartilhado com o município de São José do Norte, a nordeste, localizado entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico (Figura 1). Neste sentido, foram consideradas, para este estudo, as áreas de marismas que ocorrem até o limite proposto para o estuário da Lagoa dos Patos (linha vermelha, Figura 1), conforme estabelecido por Costa et al. (1997).

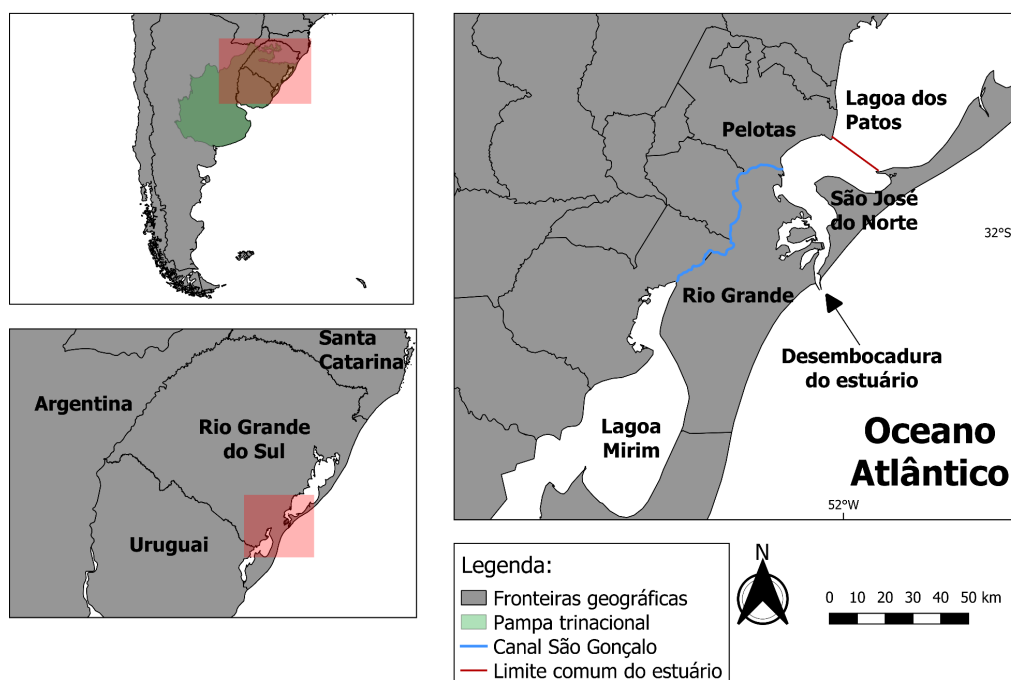


Figura 1: Mapa de localização do estuário Patos-Mirim, na região costeira do Pampa na América do Sul, entre os municípios do Rio Grande (RS) e São José do Norte (RS).

Por meio de análise temporal, a fim de analisar a cobertura da vegetação de marismas no estuário Patos-Mirim, é possível realizar um histórico das áreas ocupadas pela classe estabelecida de marismas nos municípios do Rio Grande e São José do Norte, onde também há a presença deste tipo de vegetação. E embora haja a ocorrência de marismas na Lagoa Pequena, no município de Pelotas (Dias et al. 2009), esta área não foi avaliada no âmbito deste trabalho, que concentrou suas análises no limite comum do estuário em conformidade com Costa et al. (1997).

Para a produção dos mapas de uso e cobertura da terra foi utilizada a escala wall to wall, que permite analisar de forma ampla a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, avaliar a conservação da biodiversidade, identificar áreas prioritárias para restauração, modelar a distribuição de espécies e compreender os efeitos da perda e fragmentação de habitats. Além disso, oferece subsídios sólidos para o planejamento territorial e a elaboração de políticas públicas ambientais, garantindo decisões baseadas em informações espaciais integradas e precisas (Baeza et al., 2022).

Com isto, a abordagem da Geoecologia da Paisagem, apoiada por Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), possibilita mapear áreas naturais e alteradas, permitindo análises das modificações no uso e cobertura da terra (Sato, 2012). Deste modo, as análises temporais das dinâmicas de uso e cobertura da terra, se apresentam como técnica de base para elaboração de material que podem subsidiar gestão, planejamento ambiental e estratégico, ordenamento territorial e o manejo sustentável dos recursos (Bonilha; Sato, 2020).

Após o estabelecimento das marismas como uma classe de cobertura em mapeamentos de uso e cobertura da terra, realizou-se a segunda etapa, quando foram feitos os mapeamentos da cobertura vegetal das marismas no estuário do sistema Patos-Mirim, abrangendo os municípios de Rio Grande e São José do Norte, utilizando imagens de satélite dos anos de 2005, 2010, 2015, 2020 e 2025. As imagens foram obtidas por meio do site *Earth Explorer*, do Serviço Geológico dos Estados Unidos, e o software QGIS foi utilizado na realização dos recortes de forma a abranger as marismas no Estuário da Lagoa dos Patos, nos municípios do Rio Grande e São José do Norte.

Para estes mapas foram calculadas as áreas de ocupação das marismas e seus índices, em intervalos de cinco anos, a partir do ano de 2005 até 2025 e identificados os pontos que mais sofreram oscilações ao longo do período avaliado.

E na terceira etapa foi realizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), $NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$, (Rouse et al., 1973), para o mês de julho dos anos de 2021, 2022, 2023, março, julho e setembro de 2024 e maio de 2025, esta última com o propósito de avaliar o impacto na cobertura das marismas, ocasionado pela maior enchente datada na história do Rio Grande do Sul, quando, em abril e maio de 2024, enfrentou volumes de chuva entre 500 e 700 mm em poucos dias. Um desastre ambiental, que atingiu 478 municípios, causando mortes, impactando 2,4 milhões de pessoas, e gerou prejuízos bilionários que levou ao colapso de sistemas de proteção (ANA, 2024).

Segundo Filgueiras et al. (2019) o uso de imagens de satélite demonstrou alta confiabilidade na modelagem do NDVI das culturas agrícolas, mesmo em regiões com cobertura de nuvens

frequente, comprovando sua aplicabilidade para o monitoramento contínuo da vegetação. Assim, esta possibilidade de obtenção de informações sobre o estado da vegetação pode ser estendida ao mapeamento das marismas, permitindo analisar a densidade e a dinâmica da cobertura vegetal.

Os mapeamentos de uso e cobertura do município do Rio Grande foram realizados a partir de imagens de satélite Landsat que foram adquiridas por meio do site *Earth Explorer*, vinculado ao Instituto de Pesquisas Geológicas dos Estados Unidos, sendo as imagens de 2010 e de 2020, referentes respectivamente aos satélites Landsat 5 e 8. Houve frequência na presença de nuvens que recobriam o solo, deste modo foi realizada uma seleção das imagens que melhor permitissem a visualização da superfície, datando de 02/05/2010 e 18/09/2020.

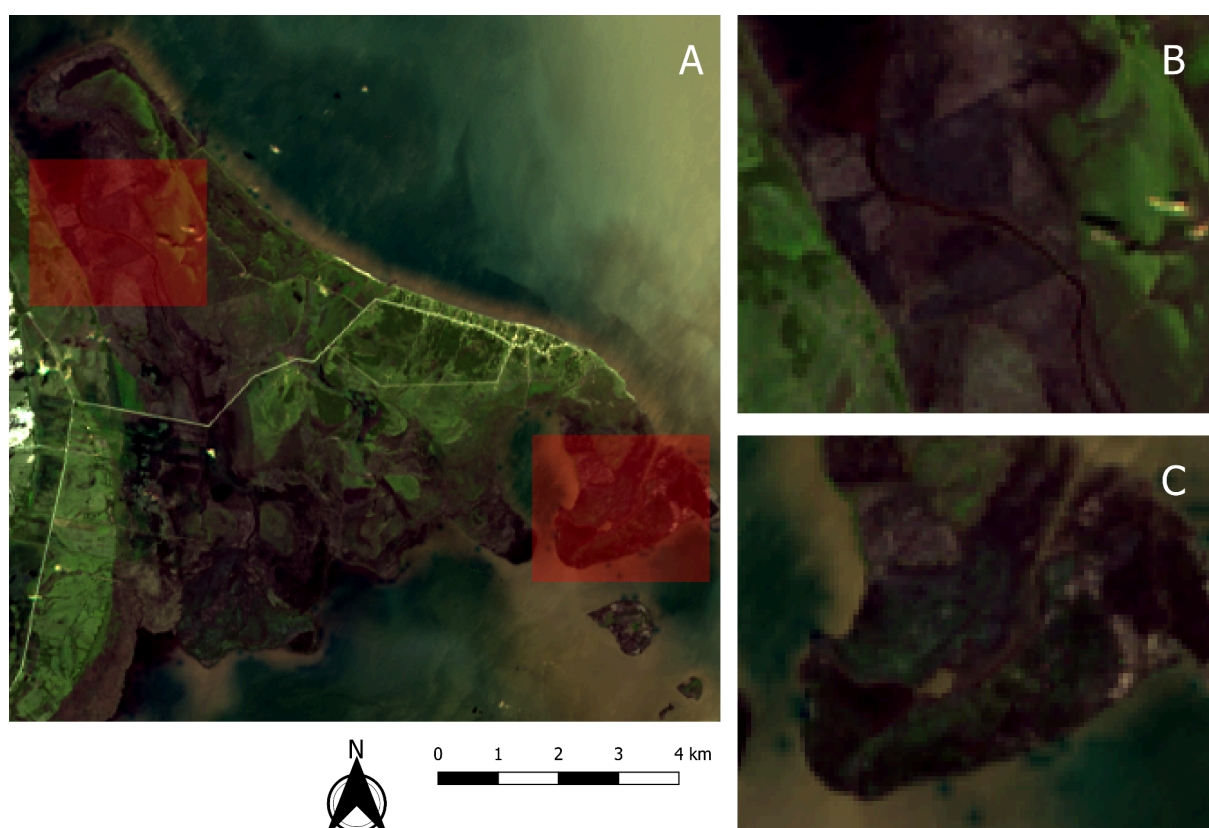


Figura 2: Imagem de satélite (A), sobre a ilha dos marinheiros, Rio Grande (RS), com destaque para canais de marés (B), e para diferentes cores e texturas de marismas (C). Fonte: Earthexplorer.

As imagens foram obtidas por bandas numeradas de 1 a 7. O sensor TM do satélite Landsat 5 nos permite utilizar as bandas 1, 2 e 3 para a composição falsa-cor. E para o sensor OLI do satélite Landsat 8, as bandas 2, 3 e 4. Neste sentido foi utilizado o *software* livre QGIS para unir as bandas, tratar as imagens, realizar os recortes e criar os polígonos de cobertura das classes identificadas através de interpretação visual (Panizza; Fonseca, 2011). Foram amostradas apenas áreas de marismas que puderam ser identificadas, a partir de imagens de satélite *Landsat* com resolução de 30 metros. E puderam ser diferenciadas das áreas de banhados, a partir de características da vegetação que se refletem em imagens de satélite. As marismas se apresentam em cores que vão de verde

escuro a verde claro, tons de vermelho, laranja, amarelo e marrom, apresentam texturas ásperas a suaves, e apresentam canais de maré, não encontrados em banhados (Figura 2).

Devido a proximidade nas respostas espectrais de diferentes coberturas previamente identificadas, encontraríamos dificuldade na diferenciação da cobertura de banhados e marismas através do método de classificação supervisionada. E foi utilizado o software Google Earth como ferramenta de auxílio para uma melhor identificação, na realização dos polígonos que foram realizados manualmente, e receberam o padrão RGB conforme os Códigos da legenda da Coleção 8 do MapBiomias, e quando não existente, uma tonalidade próxima foi utilizada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A) Mapeamento de uso e cobertura e da Terra para o município de Rio Grande e estabelecimento das marismas como classe

Para o mapeamento de uso e cobertura da terra do município do Rio Grande (Figura 3, Tabela 1), foram estabelecidas 8 classes: Agricultura; Silvicultura; Pequenas Propriedades; Vegetação Campestre e Florestal; Marismas; Banhados e Dunas. Foi observado que as classes das áreas úmidas de banhados e marismas, apresentam-se correspondente a cobertura da classe proposta pelo projeto Mapbiomas, intitulada de Campos Alagados e Área Pantanosa (Mapbiomas, 2025). E neste sentido, este trabalho realiza a distinção em duas classes de cobertura, a partir das especificidades entre os banhados e marismas, que foram observadas por meio de interpretação visual utilizando imagens de satélite, o que pode permitir o monitoramento especializado para estas áreas úmidas do Pampa.

É possível identificar também outras coberturas vegetais e áreas naturais não vegetadas entre os anos de 2010 e 2020, nos mapas de uso e cobertura da terra. No mapa de 2020 (Figura 3B), costeando o Oceano Atlântico, e próximo a área urbana, é possível identificar um avanço da classe de vegetação campestre ou florestal, onde antes havia a cobertura de praias e dunas no ano de 2010 (Figura 3A), o que indica o avanço da antropização sobre áreas naturais. E seguindo em direção sul, é possível encontrar áreas de silvicultura desde 2010, o que indica que as dunas sofrem descaracterização desde antes do período analisado.

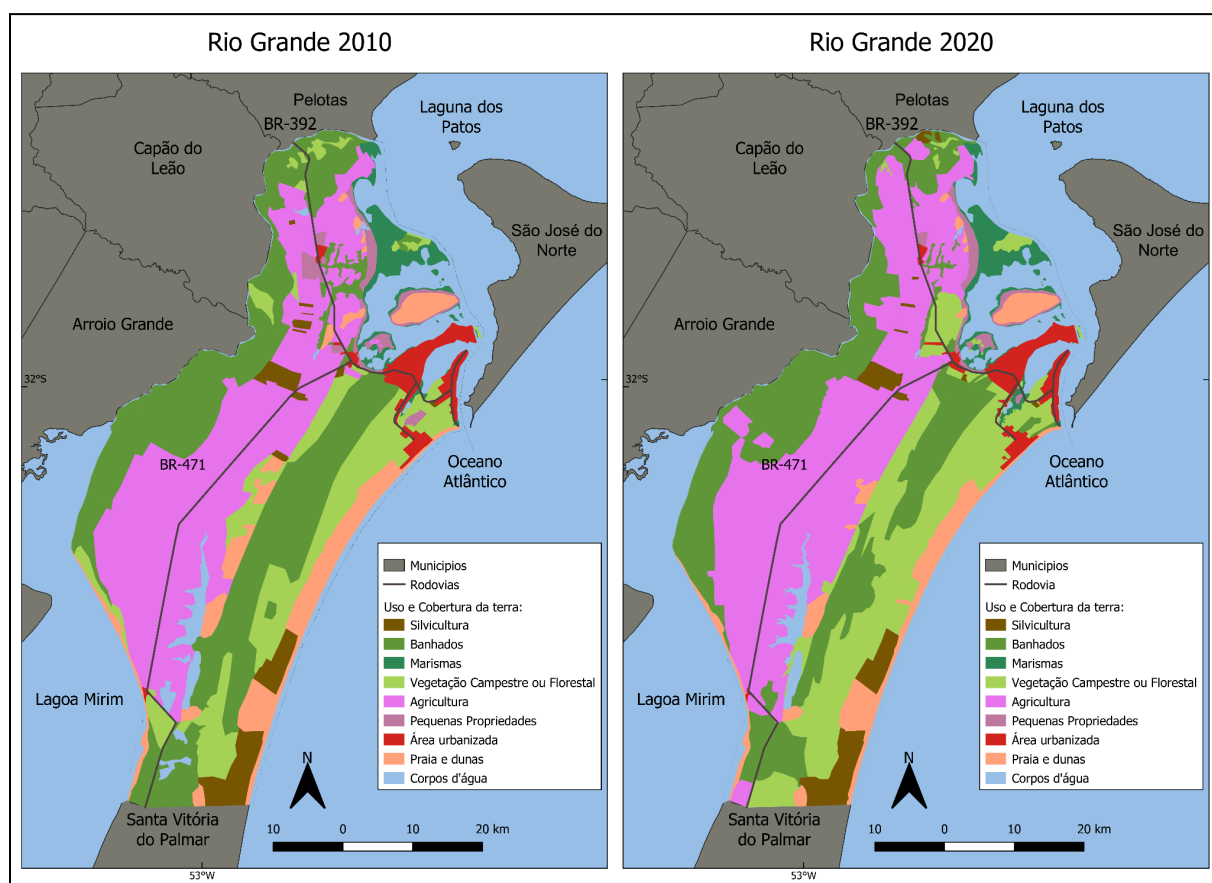


Figura 3: Mapas de uso da terra do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. À esquerda referente ao ano de 2010; e à direita, referente ao ano de 2020.

Nos mapas de uso e cobertura da Terra, os banhados e marismas, constituem duas classes que podem ser também compreendidas como Áreas de Vegetação Natural ou seminatural, Aquática ou Regularmente Alagada, onde a vegetação predominante são hidrófilas e/ou que compõem a transição entre os ambientes terrestres e aquáticos e o lençol freático é comumente próximo à superfície (IBGE 2013). Deste modo, tanto nos ambientes terrestres, quanto nos ambientes aquáticos, a distinção entre as áreas naturais e as áreas seminaturais nem sempre são possíveis. E no presente estudo, o estabelecimento da classe de marismas possibilita uma análise mais detalhada das variações desta cobertura vegetal no período analisado.

Dentre as classes que mais perderam área total, que são as mais preocupantes, estão as áreas naturais de Banhados e Dunas, respectivamente, com perdas de 22% e 30% de área ocupada (Tabela 1), e embora não sejam o foco principal deste trabalho, sua relevância é indiscutível, pois os banhados atuam como reguladores hidrológicos, filtros naturais de água e habitat para espécies endêmicas e migratórias (Carvalho; Ozorio, 2007), enquanto as Dunas contribuem para a estabilização do solo, proteção costeira e manutenção de espécies adaptadas a solos arenosos (Portz et al., 2014). Desta forma, a contínua degradação destas áreas pode ocasionar impactos tanto aos ecossistemas quanto para o ser humano.

Tabela 1 - Áreas de uso e cobertura da terra e taxas de alteração das classes no município do Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil nos intervalos de 2010 e 2020. Valores positivos representam ganho de área, enquanto valores negativos representam a perda de área de cobertura.

Classe de Uso e Cobertura da terra	2010 (Km²)	2020 (Km²)	Taxa de alteração
Agricultura	861,27	951,34	9%
Silvicultura	100,96	98,18	-3%
Pequenas Propriedades	106,45	92,48	-15%
Vegetação C/F	381,7	518,31	26%
Marismas	71,2	76,26	7%
Banhados	854,95	703,11	-22%
Dunas	220,76	169,89	-30%

Fonte: autores

Houveram perdas em menor proporção das áreas antrópicas de silvicultura (-3%), seguida das pequenas propriedades (-15%). E em contrapartida as classes que tiveram ganhos em área de cobertura foram Agricultura (+ 9%), a cobertura de marismas com um aumento importante de 7% em área, e cobertura de vegetação campestre ou florestal (+26%) (Tabela 1). No entanto, ganhos de áreas campestres e florestais podem não significar ganho de área nativa, e podem representar a substituição desta cobertura, onde originalmente existia vegetação nativa, como na substituição de áreas de dunas e banhados que perderam área de cobertura durante o período analisado.

Por outro lado, em relação aos fatores de influência natural, como o clima, dados do INMET demonstram que no ano de 2020 as máximas de precipitação foram inferiores ao ano de 2010. Em abril de 2010, o mês anterior à data da imagem utilizada, apresentou uma máxima de 100mm. Em agosto de 2020, o mês anterior à data da imagem utilizada, apresentou menos de 50mm de precipitação. Em parte, isto pode justificar a diminuição das áreas de banhado, entretanto, através deste mapeamento é possível identificar que áreas de banhado possivelmente foram convertidas em áreas do setor agrícola.

As pequenas propriedades foram convertidas em outros meios de utilização da terra, enquanto o crescimento do setor de agricultura extensiva demonstrou aumentos em área de cobertura no município. A quase irrisória redução de área utilizada pela silvicultura pode ter coincidido com o período de corte e manutenção da superfície, não sendo possível afirmar se houve realmente uma alteração no uso da terra.

As vegetações campestres e florestais no município, apresentam paisagens similares as áreas de interesse pecuário, sendo identificadas por áreas de campo que possuem fragmentos florestais. Esta similaridade impede uma precisa distinção entre os ambientes campestres naturais e os ambientes pastoris. Portanto, é possível que o crescimento identificado da cobertura da classe

Campestre ou Florestal seja uma das faces do setor pecuário em expansão, visto que as áreas campestres mapeadas podem também ser destinadas ao pastejo de animais.

A expansão da agricultura e da vegetação com floresta reflete a intensificação da produção agrícola irrigada e a recuperação de áreas vegetadas. Por outro lado, a redução das pequenas propriedades, dos banhados e das dunas indica forte pressão antrópica, possivelmente associada à urbanização irregular e à conversão de áreas naturais para fins produtivos, alinhando-se à descrição de Simon e Silva (2015) sobre as modificações na paisagem e nas redes de drenagem. Assim, os dados quantitativos deste mapeamento de uso e cobertura da terra para o município de Rio Grande, indicam que os processos de antropização estão diretamente ligados às transformações observadas na paisagem, evidenciando a necessidade de considerar tais alterações para o planejamento ambiental e gestão territorial da planície lagunar.

Simon e Silva (2015), indicam que os sistemas agrícolas e urbano-industriais se instalaram nas Planícies Lagunares, áreas planas com solos mal ou parcialmente drenados, aproveitando condições favoráveis à expansão das atividades humanas, especialmente o cultivo de arroz irrigado. Essa ocupação redefiniu o uso da terra, impondo sistemas antrópicos sobre ambientes naturais como banhados, pântanos, margens de corpos d'água e dunas, o que provocou alterações na morfohidrodinâmica e impactos nos ecossistemas, na fauna, na flora e até nas condições de vida da população local. Neste sentido, o uso da terra nos municípios margeados pelo sistema hídrico que escoam no estuário da Lagoa dos Patos pode interferir na morfohidrodinâmica e no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos associados ao estuário da Lagoa dos Patos.

Além disso, cabe destacar que, as mudanças na salinidade e na dinâmica hidrológica do estuário da Lagoa dos Patos representam um fator de preocupação, pois podem afetar de forma significativa o recrutamento de espécies de valor comercial, que dependem deste ambiente costeiro para reprodução e crescimento. Para Möller et al. (2009), por exemplo, estas alterações podem afetar espécies de importância pesqueira, como a corvina, e assim resultar em impactos semelhantes ao observado no caso do camarão-rosa, que no estuário da Lagoa dos Patos, apresenta diminuições de captura de mais 50 toneladas por ano.

A análise do uso da terra demonstrou que existem mudanças substanciais nas classes analisadas nestes mapeamentos, e que pressões antrópicas e ambientais estão diretas ou indiretamente relacionadas a estas mudanças. Algumas mostram-se preocupantes e servem de alerta para tomadas de decisões em termos de monitoramento e conservação ambiental, como é o caso das dunas e banhados.

E no que tange às áreas de marismas, o aumento de 7% pode não significar uma expansão de área, mas uma possível estabilidade, pois segundo Marangoni (2008), às áreas de marismas no estuário da Lagoa dos Patos permaneceram estáveis entre 1947 a 1975, e 1975 a 2000, apesar de processos construtivos e destrutivos naturais e antrópicos, como o manejo, a dinâmica natural de

erosão, deposição e colonização vegetal. Neste sentido, as perdas estão principalmente associadas à erosão por ondas, com pouca influência humana direta, enquanto os aumentos decorrem, em geral, de fatores naturais.

As marismas são altamente eficientes na captura e no armazenamento de carbono, e, embora ocupem apenas 0,2% da superfície oceânica, possuem grande potencial como sumidouros. Nas marismas, a maior parte do carbono fica retida no sedimento, mas atividades humanas e mudanças no uso da terra podem reduzir esse acúmulo, fazendo com que áreas dominadas pela mesma espécie apresentem estoques de carbono muito distintos devido à distribuição espacial, processos ecológicos, clima, interações biológicas, pressões antrópicas, profundidade do solo e a distância do mar, enquanto plantas invasoras podem alterar a dinâmica do carbono, e no entanto, a complexidade destes habitats é pouco discutida (Monteiro, 2023). Deste modo, as expansões ou retrações de áreas de marismas podem influenciar a estocagem de carbono e alterar os serviços ecossistêmicos associados, ressaltando a importância da compreensão e mapeamento destes ecossistemas.

B) Mapeamento de cobertura e análise temporal e espacial das marismas do Estuário da Lagoa dos Patos

A análise temporal dos mapeamentos das áreas de marismas nos municípios do Rio Grande e São José do Norte, entre os anos de 2005 e 2025 (figura 5), revela dinâmicas espaciais distintas, porém complementares. No município de Rio Grande (Tab. 2; Fig. 4A), observa-se que a área de marismas apresentou relativa estabilidade entre 2005 e 2010, com um leve aumento de 0,49%. Entretanto, no período seguinte (2010 a 2015), houve uma redução significativa de 19,94%, indicando uma possível pressão ambiental. Posteriormente, entre 2015 e 2020, registrou-se uma expressiva recuperação de área, com aumento de 27,46%. E por fim, no intervalo entre 2020 a 2025, houve uma nova retração de 13,27%, revelando uma dinâmica de perdas e ganhos da cobertura vegetal das marismas.

Tabela 2: Áreas de Marismas em Rio Grande e São José do Norte, Estuário da Lagoa dos Patos (RS)

Município	2005	2010	2015	2020	2025
Rio Grande (Km ²)	74,96	75,33	60,3	76,84	66,65
Variação (%)	-	0,49	-19,95	27,43	-13,26
São José do Norte (Km ²)	5,22	4,4	3,75	4,22	4,81
Variação (%)	-	-15,71	-14,77	12,53	13,98
	80,18	79,73	64,05	81,06	71,46

Fonte: autores

O município de São José do Norte (Tab. 2; Fig. 4B), apresenta áreas de marismas consideravelmente menores em relação a Rio Grande, apresentando decréscimo entre 2005 e 2010, de 15,71%, e entre 2010 e 2015, de 14,77%. Contudo, a partir de 2015, observa-se uma reversão desse quadro, com aumentos sucessivos entre 2015 e 2020, de 12,53% e 2020 e 2025, de 13,98%, indicando uma recuperação gradual da área de cobertura das marismas neste território.

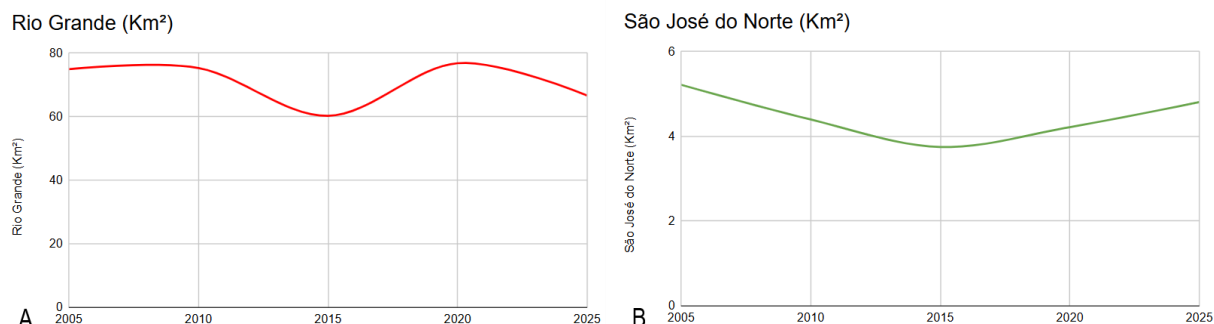


Figura 4: Gráfico de áreas de marismas e variação de cobertura ao longo de 20 anos, nos municípios do Rio Grande (A) e de São José do Norte (B), Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil.

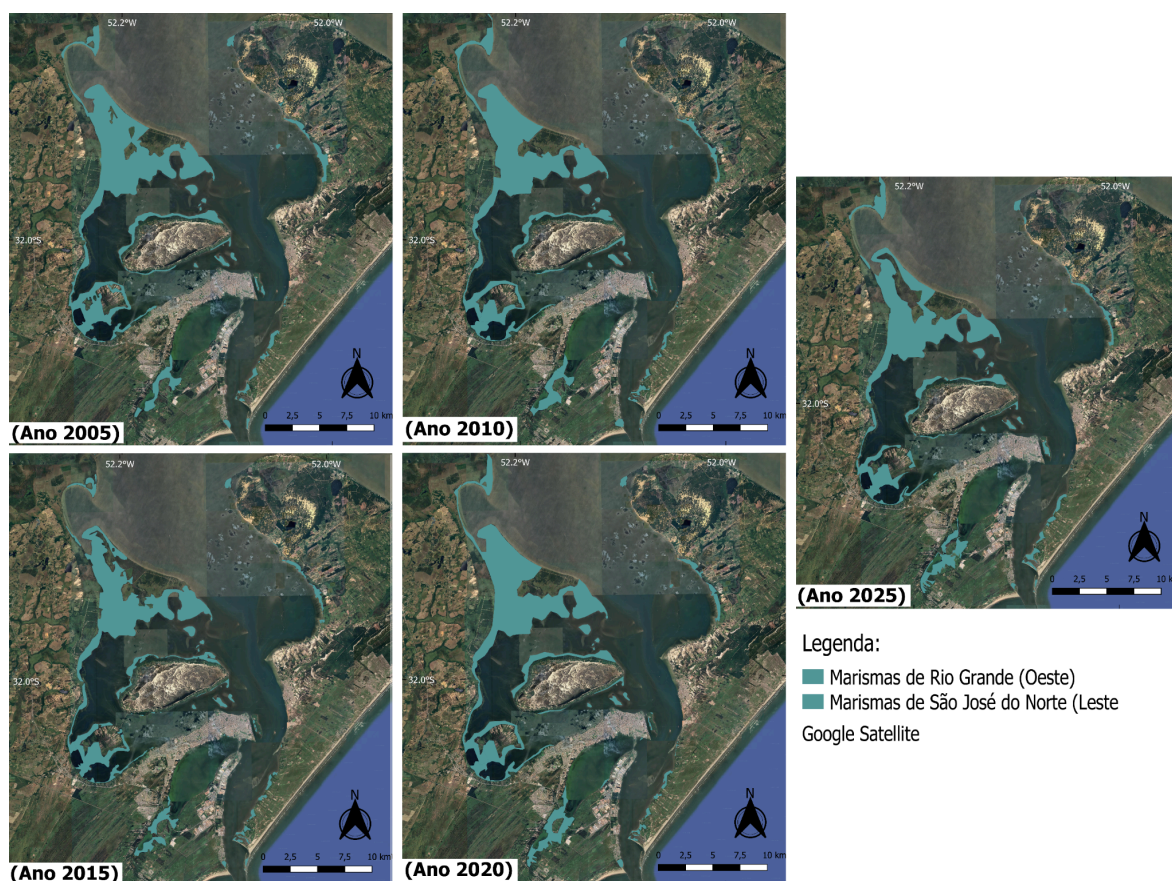


Figura 5: Mapeamento das áreas de marismas no estuário da Lagoa dos Patos: Rio Grande (Oeste) e São José do Norte (Leste), Rio Grande do Sul, Brasil, entre os anos de 2005 e 2025.

A análise temporal, por meio de mapeamentos, mostra aumentos e reduções em área de ocupação e cobertura das marismas, que vem ao encontro do que foi constatado nos estudos de

Marangoni, (2008) quando também aponta períodos de aumentos e retrocessos na área de cobertura das marismas ao longo de intervalos de tempo anteriormente avaliados.

Marangoni (2008) a partir de um estudo voltado também à identificação de pressões antrópicas e naturais sobre os ecossistemas de marismas, mapeou 24 unidades no estuário da Lagoa dos Patos e verificou que nos anos de 1947, 1975 e 2000 para os municípios de Rio Grande e São José do Norte, houve relativa estabilidade na área total das marismas, que passou de 70,64 km² para 69,84 km², com pequenas reduções, de 3,22 km² para 2,99 km² em São José do Norte e de 67,42 km² para 66,85 km² em Rio Grande, resultando em variações mínimas entre -0,04% e +0,003%.

Com isso, verifica-se que, enquanto a análise histórica entre 1947 e 2000, apresentada por Marangoni (2008), indica relativa estabilidade com leves reduções na área de marismas, os resultados do presente estudo, por exemplo, revelam um acréscimo significativo em Rio Grande nas décadas seguintes (Tab. 2. Fig. 4A). Entre 2000 e 2010, verificou-se um aumento de 6,5% na cobertura, tendência que se manteve em 2020. Esta divergência em relação ao padrão histórico sugere uma possível mudança recente na dinâmica ambiental do estuário da Lagoa dos Patos. Contudo, fatores como processos sedimentares, variações hidrológicas e diferenças metodológicas na realização dos mapeamento devem ser considerados, reforçando a necessidade de ampliar os estudos para avaliar se a expansão observada corresponde a uma tendência geral do estuário ou fenômenos locais.

Os resultados obtidos neste estudo, referentes ao período de 2005 a 2020 apontam para aumentos de área de cobertura de marismas, sugerindo que, as tendências descritas por Marangoni (2008) podem ter sido alteradas. Sendo também possível que as marismas do estuário da Lagoa dos Patos passem por flutuações de área de cobertura que são melhor observadas em espaços temporais menores, evidenciando a resiliência a destes ecossistemas.

As marismas desempenham um papel significativo como ecossistemas de carbono azul, apresentando elevado potencial de sequestro e armazenamento de carbono, especialmente em seus sedimentos, constituindo importantes ecossistemas de sequestro de carbono, embora sua capacidade de armazenamento possa ser superestimada quando não se considera a perda de carbono em profundidade, indicando elevado potencial de sequestro, inclusive em marismas resultantes de intervenções antrópicas (Mueler et. al, 2019). Neste sentido, reduções nas áreas de marismas do estuário Patos-Mirim, afetam além de outros serviços ecossistêmicos, a retenção de carbono promovido por estes ecossistemas herbáceos do Pampa costeiro.

Costa et al. (2012) buscaram verificar a viabilidade de crescimento das marismas utilizando propágulos vegetativos de uma espécie bioengenheira (*Spartina alterniflora*), e puderam concluir que através de eventos de sucessão ecológica, é possível promover uma estruturação da comunidade vegetal das marismas do estuário Patos-Mirim utilizando espécies engenheiras de marismas, recuperando áreas onde estes ecossistemas foram perdidos, podendo manter a estrutura destes

ecossistemas e permitir a recuperação de área, após perdas observadas. Desta forma, a interação humana pode influenciar a área de cobertura de marismas, também positivamente.

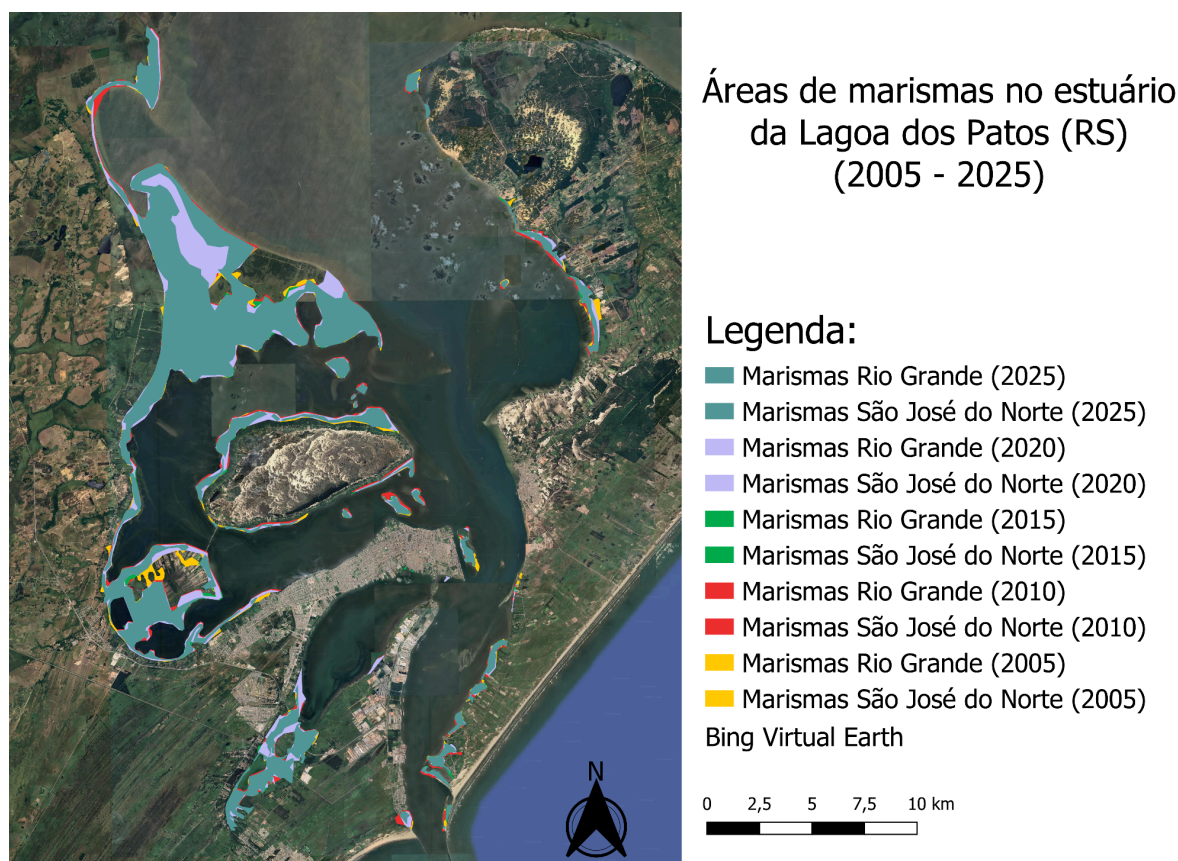


Figura 6: Áreas de cobertura de marismas no estuário da Lagoa dos Patos (2005–2025), abrangendo os municípios de Rio Grande e São José do Norte, Rio Grande do Sul, Brasil. As cores indicam a cobertura referente a cada ano analisado, com a sobreposição das camadas iniciando em 2005 (amarelo) e finalizando em 2025 (azul-escuro).

No mapa de cobertura das marismas do estuário Patos-Mirim (figura 5), é possível identificar expansão e retração ao longo das duas últimas décadas, que se tornam mais evidentes a partir do mapa de sobreposição dos anos analisados (figura 6). Estas camadas temporais representam a extensão das marismas, destacando a dinâmica espacial da cobertura vegetal ao longo de duas décadas. Neste sentido, observa-se que as marismas foram suprimidas, e por vezes, restabelecidas.

É possível visualizar as cores amarelo e vermelho no mapa, referente às camadas dos anos de 2005 e 2010. A camada referente ao ano de 2015, na cor verde aparece pontualmente ao redor das ilhas, e é possível ver a camada referente ao ano de 2020, na cor lilás, sob a camada do ano de 2025, na cor ciano (Figura 6). Estes resultados indicam que as marismas foram suprimidas e podem não ter se recuperado nestas áreas. Contudo, indica-se que a vegetação de marismas no estuário da Lagoa dos Patos pode ter ocupado novas áreas pela primeira vez. Identificar estas transformações em menores escalas pode nos auxiliar a compreender as influências antrópicas e/ou naturais,

responsáveis pelas oscilações da cobertura de marismas, nos permitindo indicar áreas prioritárias para o monitoramento e proteção.

Segundo Machado et al. (2022) estudos baseados em sensoriamento remoto e geoprocessamento demonstram que o mapeamento temático e multitemporal constitui uma ferramenta fundamental para o monitoramento das transformações ambientais, subsidiando ações de planejamento, conservação e gestão do território. Neste sentido, estes resultados fornecem subsídios fundamentais para a conservação da biodiversidade, servindo como base científica para a gestão ambiental, possibilitando o monitoramento das transformações em escala local e regional, das marismas do estuário da Lagoa dos Patos.

A análise espaço-temporal dos mapeamentos evidenciou que as variações na cobertura das marismas estão fortemente relacionadas a eventos ambientais, em especial oscilações climáticas que provocam perdas temporárias seguidas de processos de recuperação, incluindo eventos extremos. As análises dos mapeamentos de cobertura vegetal, em associação com os mapeamentos de uso e cobertura da terra, nas escalas utilizadas neste trabalho, não indicam influência antrópica expressiva sobre as marismas, e em anos mais recentes a ação humana ainda aparece de forma indireta, potencializando fragilidades já desencadeadas por fatores climáticos.

Segundo Junges et al. (2019) em 2015, ano marcado por forte evento de El Niño, o Rio Grande do Sul apresentou acumulados de precipitação muito acima da média histórica, com totais anuais excepcionais e primavera extremamente chuvosa (superiores a 900 mm), o que pode explicar parte da diminuição observada na cobertura de marismas neste período. Enquanto que a expansão registrada no ano de 2025, no município de São José do Norte, pode indicar um momento de recuperação, que pode estar ocorrendo também em Rio Grande, e que necessitará de novas escalas de estudos. Neste sentido, a análise dos dados indica que as marismas do estuário da Lagoa dos Patos, apresentam momentos de diminuição e de aumento em área de cobertura vegetal. Flutuações principalmente associadas a eventos extremos, como o que ocorreu no ano de 2024, no Rio Grande do Sul.

- C) Análise de eventos extremos na densidade da vegetação de marismas, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

A análise temporal dos mapeamentos de NDVI das marismas do estuário da Lagoa dos Patos, entre 2021 e 2025 (figura 7), evidencia variações na densidade da vegetação em períodos de inverno, e também em decorrência dos eventos climáticos extremos ocorridos em 2024, no Rio Grande do Sul.

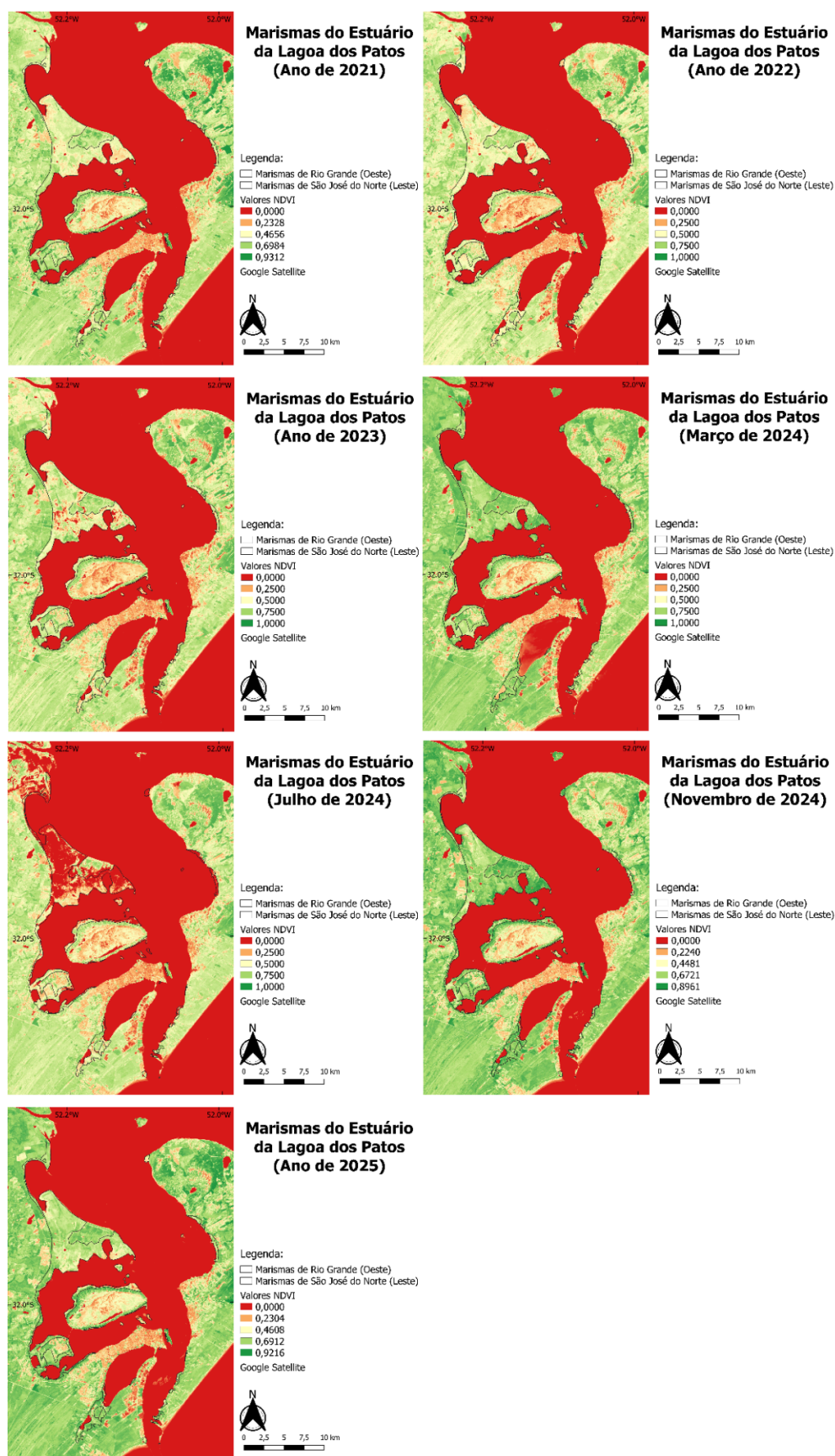


Figura 7: Mapeamentos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) sobre o estuário da Lagoa dos Patos (RS) dos anos de 2021 a 2025. As cores representam valores que variam da menor densidade vegetal (tons de vermelho) a maior (tons de verde).

Nos invernos de 2021, 2022 e 2023, os mapeamentos evidenciaram diferenças na densidade da vegetação das marismas. Os valores elevados de NDVI (superiores a 0,65) indicam densidade foliar significativa e boa conservação da cobertura vegetal, conforme observado no ano de 2021. No ano de 2022, embora a amplitude dos índices alcançasse valores próximos a 1,0, observou-se uma menor densidade da vegetação. E no ano de 2023, há a predominância de áreas de valores intermediários (0,25–0,75), revelando menor densidade vegetativa, o que indica condições ambientais menos favoráveis que nos invernos dos anos anteriores.

Os mapeamentos do ano de 2024 destacam também as diferenças sazonais. Em março, os valores mais elevados de NDVI, e a tonalidade intensa de verde no mapa, indicam uma recuperação da vegetação após o estresse hídrico do verão, enquanto em julho verificou-se uma menor densidade, característica dos invernos, no entanto, no ano de 2024, algumas áreas de marismas apresentaram nenhuma densidade de vegetação, verificada através da intensidade do vermelho, pois estas marismas encontravam-se totalmente submersas, devido às enchentes.

Por outro lado, em novembro, os índices apresentaram heterogeneidade da paisagem e nos mapas é possível visualizar o reaparecimento das marismas por meio da densidade vegetal, evidenciando a capacidade de resiliência da vegetação destes ecossistemas diante de perturbações ambientais. E por fim, em 2025, vegetação retoma um padrão semelhante ao observado em 2021. Essa trajetória sugere que, embora os ecossistemas de marismas sejam vulneráveis a eventos climáticos e hidrológicos extremos, aparentam ser resilientes também a estas perturbações.

Apesar da sensibilidade às perturbações, as marismas apresentam elevada resiliência ecológica, condicionada à integridade hidrológica e as influências de perturbações antrópicas e naturais. Segundo Marangoni e Costa (2009), áreas de marismas submetidas ao pastejo, corte ou incêndios podem recuperar a estrutura da cobertura vegetal entre seis meses e dois anos, desde que os rizomas não sejam severamente afetados, enquanto brechas associadas ao acúmulo de lixo tendem a ser recolonizadas em até três anos, devido a capacidade de espécies dominantes como *Scirpus olneyi* (= *S. americanus*), *Spartina densiflora* e *Juncus kraussii* apresentarem mecanismos eficientes de regeneração, principalmente por meio de rebrote vegetativo via rizomas, possibilitando a recomposição da biomassa aérea em períodos relativamente curtos.

Durante os períodos de El Niño, as intensas chuvas e o aumento da descarga fluvial na bacia Patos-Mirim, provocam impactos significativos em todos os componentes bióticos do Estuário da Lagoa dos Patos, onde as ações antrópicas, como a construção dos Molhes da Barra, a dragagem dos canais de navegação e o lançamento de efluentes domésticos e industriais, contribuíram para profundas alterações na vegetação do estuário, como a expansão de espécies vegetais sensíveis à elevada salinidade (Odebrecht et al., 2013). Neste sentido, as oscilações das áreas de marismas podem estar associadas a fatores naturais, como as variações nos regimes hidrológicos e dinâmica sedimentar, como também as atividades antrópicas, que contribuem para alterações no estuário.

Com base neste conjunto de evidências, atrelado aos dados do presente estudo, verifica-se que a cobertura das marismas apresenta, ao longo do tempo, um saldo positivo, caracterizado pela resiliência do ecossistema frente a pressões externas. Assim, as perdas observadas têm relação mais direta com a variabilidade climática do que com ações antrópicas, que se mostram menos determinantes.

Os dados apontam para a capacidade de resiliência e recuperação das marismas, desde que não haja intensificação contínua de pressões antrópicas ou de eventos extremos mais frequentes, que poderiam comprometer a estabilidade e a capacidade de regeneração das marismas do estuário da Lagoa dos Patos. No entanto, conforme Odebrecht et al., (2013), devido às mudanças climáticas, é possível que os ecossistemas estuarinos sofram grande alteração mediada pelo regime de chuvas e consequente descarga fluvial. Além disso, a intensa urbanização das bacias hidrográficas e estuários torna esses ambientes vulneráveis a vários fatores.

Além disso, o estudo confirma a relevância dos mapeamentos como ferramenta para análises ambientais, permitindo identificar áreas mais vulneráveis e instáveis que devem ser priorizadas em programas de monitoramento e políticas de conservação. Desta forma, a abordagem adotada não apenas nos auxilia na compreensão da dinâmica das marismas, como também dá suporte a gestão territorial em prol da manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos associados.

CONCLUSÕES

Este estudo contribuiu para a compreensão da dinâmica espacial e temporal das marismas no estuário da Lagoa dos Patos, evidenciando tanto processos naturais quanto pressões antrópicas sobre estas áreas úmidas do bioma Pampa, por meio da análise de mapeamentos de uso e cobertura da terra como uma ferramenta auxiliar para a conservação de áreas úmidas.

Devido às características homogêneas de suas respectivas sinúrias, foi possível a diferenciação entre marismas e banhados, por meio de interpretação visual em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o que é fundamental para aprimorar a precisão dos mapeamentos e compreensão das dinâmicas de cobertura vegetal. E neste sentido, a análise temporal possibilitou quantificar as transformações ocorridas nas marismas da área de estudo.

As perdas de coberturas naturais no município do Rio Grande, como os banhados e as dunas, seguem uma tendência histórica de substituição pelas atividades antrópicas, muitas vezes associadas à expansão agrícola ou urbana. Em contrapartida as áreas de marismas apresentaram importantíssimo crescimento em área de cobertura, expansão, ainda que modesta, mas significativa, considerando a importância das marismas e seus serviços ecossistêmicos.

Os resultados deste estudo demonstram que as áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos apresentaram variações espaciais e temporais significativas ao longo do período de 2005 a

2025, não seguindo um padrão de aumento ou redução contínua. A análise temporal dos mapeamentos evidenciou oscilações na extensão da cobertura das marismas em intervalos aproximados de cinco anos, com períodos alternados de retração e recuperação. Essas variações indicam que a dinâmica das marismas é marcada por flutuações espaciais associadas a processos ambientais, corroborando a natureza dinâmica e resiliente desses ecossistemas.

A análise dos mapeamentos de NDVI permitiu identificar alterações espaciais significativas na densidade da vegetação das marismas associadas aos eventos hidrológicos extremos de 2024. Observaram-se áreas com redução acentuada dos valores de NDVI, incluindo setores com ausência temporária de vegetação devido à submersão causada pelas enchentes. A comparação com os anos anteriores (2021–2023) e posteriores (2025) evidenciou um processo de recuperação da cobertura vegetal, com retorno a padrões semelhantes aos observados antes do evento extremo, indicando a capacidade de resiliência das marismas frente a perturbações climáticas severas.

Os mapeamentos temporais e espaciais das marismas forneceram subsídios relevantes para o monitoramento ambiental e para a formulação de estratégias de conservação da biodiversidade. A identificação de áreas com maior instabilidade, bem como de setores onde ocorreram perdas ou processos de recuperação da cobertura vegetal, permite direcionar ações de gestão, conservação e monitoramento contínuo. Dessa forma, os resultados obtidos constituem uma base científica importante para o planejamento territorial, contribuindo para a gestão sustentável das áreas úmidas do estuário da Lagoa dos Patos e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos associados.

As alterações observadas neste estudo apresentam convergências e divergências em relação a estudos anteriores. Trabalhos prévios indicaram relativa estabilidade das áreas de marismas ao longo de períodos históricos mais longos, enquanto os resultados aqui apresentados evidenciam oscilações mais pronunciadas em escalas temporais menores, sugerindo que as oscilações são observadas em intervalos temporais menores, ou que há uma intensificação da variabilidade recente. Estas diferenças podem estar associadas principalmente a fatores naturais, como variações no regime hidrológico, eventos climáticos extremos e processos sedimentares, que exercem forte influência sobre a dinâmica das marismas.

Os mapeamentos de cobertura vegetal, aliados a indicadores como o NDVI, constituem ferramentas essenciais para subsidiar políticas públicas e estratégias de manejo sustentável das áreas úmidas. A integração entre conhecimento científico e gestão territorial pode garantir que marismas e banhados mantenham suas funções ecológicas, essenciais não apenas para a biodiversidade, mas também para o bem-estar das comunidades humanas.

Assim, este trabalho não apenas apresenta um panorama atual das marismas da Lagoa dos Patos, mas também aponta caminhos para pesquisas futuras a fim de promover a preservação e valorização destes ecossistemas tão singulares do bioma Pampa.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. *Estudo aponta que enchentes de 2024 foram maior desastre natural da história do RS e sugere caminhos para futuro com eventos extremos mais frequentes*. Brasília, 2024. Disponível em:

<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/estudo-aponta-que-enchentes-de-2024-foram-maior-desastre-natural-da-historia-do-rs-e-sugere-caminhos-para-futuro-com-eventos-extremos-mais-frequentes>. Acesso em: 29 abr. 2025.

ANTUNES, R. L. S.; ROSS, J. L. S. Interpretação das fisionomias da paisagem e sua fisiologia a partir do sensoriamento remoto no sul do Brasil. *Geoambiente On-Line*, n. 30, maio 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.52828>

BAEZA, S.; VÉLEZ-MARTIN, E.; DE ABELLEYRA, D.; BANCHERO, S.; GALLEGOS, F.; SCHIRMBECK, J.; VERÓN, S.; VALLEJOS, M.; WEBER, E.; OYARZABAL, M.; BARBIERI, A.; PETEK, M.; GUERRA LARA, M.; SARRAILHÉ, S. S.; BALDI, G.; BAGNATO, C.; BRUZZONE, L.; RAMOS, S.; HASENACK, H. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomass Pampa initiative. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 28, p. 100834, 2022.

BILENCA, D.; MIÑARRO, F. Identificación de áreas valiosas de pastizal en las pampas y campos de Argentina, Uruguay y sur de Brasil (AVPs). Buenos Aires: Fundación Vida Silvestre Argentina, 2004.

BONILHA, G.O.; SATO, S.E., 2020. Análise da dinâmica temporal do uso e cobertura da terra como subsídio ao planejamento do município do Rio Grande - RS. *GeoUECE (online)*, v. 09, n. 16, 2020.

CARDOSO, Maiara H.; LEMOS, Valéria M.; GOWERT, Yan G.; GARCIA, Alexandre M.

Exotic aquatic species in the Patos Lagoon estuary and adjacent areas in Southern Brazil.

Ocean and Coastal Research, v. 73, 2025.

CARVALHO, Aline Beatriz Pacheco; OZORIO, Carla Penna. Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de Ciências Ambientais*, Canoas, v. 1, n. 2, p. 83-95, 2007.

- CHOMENKO, L. Recursos hídricos e áreas úmidas: ambientes a serem preservados. In.: ZAKRZEWSKI, S. B. (Org.). *Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares*. Erechim: EdFapes, RS, p. 33-48, 2007
- COSTA, C. S. B.; MENDONÇA, P. T. M.; MARANGONI, J. C. Criação de uma marisma em uma enseada estuarina no sul do Brasil utilizando sedimento dragado. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL (VII SBEA), 2012, Criciúma. *Anais...* Criciúma: Associação Brasileira de Engenharia Ambiental, 2012. p. 960-969.
- COSTA, César S. B.; SEELIGER, Ulrich; DE OLIVEIRA, César Pedro L.; MAZO, Adriana M. M. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). *Atlântica*, Rio Grande, v. 19, p. 67-85, 1997.
- COSTA, J C; ASMUS, M L. Base ecossistêmica da atividade pesqueira artesanal: estudo de caso no Baixo Estuário da Lagoa dos Patos (BEP), RS, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 44, fev. 2018.
- COSTA, M. S.; SATO, S.E. Estação ecológica do Taim: uma análise sobre uso do espaço físico-natural e a legislação ambiental. *GeoUECE (online)*, v. 10, n. 18,p. 122-134, 2021.
- DELAMARE, T.; SATO, S.; SIMON, A. Análise da cobertura e uso da terra da colônia de pescadores Z3-Pelotas (RS): elementos para o zoneamento geoambiental. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v. 1, p. 2733-2744, 2017.
- DIAS, R. A.; GONÇALVES, M. S. S.; BASTAZINI, V. A. G. First nesting record of the Bay-Capped Wren-Spinetail *Spartonoica maluroides* (Aves, Furnariidae) in Brazil, with nest and nestling descriptions and notes on breeding behavior. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 99, n. 4, p. 1-6, 2009.
- FISCHER, Joern; LINDENMAYER, David B. Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, v. 16, n. 3, p. 265-280, 2007.
- FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C.; LOSEKANN, M. B.; DEGRANDI S. M. Compreensão da paisagem do Alto Camaquã: debate ambiental sobre o bioma pampa. *Mercator*, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 147-158, set./dez. 2011.
- FILGUEIRAS, R.; MANTOVANI, E. C.; FILHO, E. I. F.; ALTHO, D.; CUNHA, F. F. C. Crop NDVI Monitoring Based on Sentinel 1. *Remote Sensing*, Basel, v. 11, n. 12, p. 1–21, 2019.

GAVIOLI, F. R.; MOLIN, P. G.; VALENTE, R. A. O papel das pequenas manchas florestais na qualidade ecológica de uma paisagem antropizada da Mata Atlântica. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 1-19, 1 maio 2022.

HATJE, V.; COPERTINO, M.; PATIRE, V. F.; OVANDO, X.; OGBUKA, J.; JOHNSON, B. J.; KENNEDY, H.; MASQUÉ, P.; CREED, J. C. Vegetated coastal ecosystems in the Southwestern Atlantic Ocean are an unexploited opportunity for climate change mitigation. *Communications Earth & Environment*, v. 4, n. 160, 2023. DOI: 10.1038/s43247-023-00828-z.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais; Estudos Ambientais. *Manual técnico de uso da terra*. Manuais técnicos em geociências, Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

JUNGES, A. H.; TONIETTO, J. Caracterização climática da precipitação pluvial e temperatura do ar em Bento Gonçalves e Veranópolis, Serra Gaúcha, Brasil. *Agrometeoros*, v. 30, 2022.

MACHADO, I. F. *Diversidade e conservação de anuros em Áreas Úmidas costeiras no sul do Brasil*. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Biologia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

MACHADO, P. P.; CONTARINI, L. C.; ROCHA, L. S.; FERREIRA JUNIOR, J. L. L.; MILANEZE, L. A.; SILVA, M. A. P. da; RODRIGUES, B. D. Geoprocessamento aplicado à área de meio ambiente: um estudo de caso baseado em processamento digital de imagens e sensoriamento remoto. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 23819–23836, abr. 2022.

MARANGONI, J. C. 2008. *Subsídios para o gerenciamento das marismas no estuário da Lagoa dos Patos (RS)*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica - FURG, Rio Grande. 141 p.

MARANGONI, J.C.; COSTA, C.S.B. Diagnóstico ambiental das marismas no estuário da Lagoa dos Patos - RS. *Atlântica*, v. 31, n. 1, p. 85-98, 2009.

MONTEIRO, C. P. Estoque de carbono em marismas: panorama atual. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 27, n. 2, p. 008-012, 2023. DOI: 10.14210/bjast.v27n2.19332. Disponível em: <https://doi.org/10.14210/bjast.v27n2.19332>.

MUELLER, P.; LADIGES, N.; JACK, A.; SCHMIEDL, G.; KUTZBACH, L.; JENSEN, K.; NOLTE, S.

Assessing the long-term carbon-sequestration potential of the semi-natural salt marshes in the European Wadden Sea. *Ecosphere*, v. 10, n. 1, e02556, 2019. DOI: 10.1002/ecs2.2556.

ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C.; BEMVENUTI, C. E.; COLLING, L. A.; COPERTINO, M.; COSTA, C. S. B.; GARCIA, A. M.; MARANGONI, J. C.; MÖLLER, O.; MUELBERT, J. H.; VIEIRA, J. P.; SEELIGER, U. O efeito de perturbações naturais e antrópicas na ecologia do estuário da Lagoa dos Patos. In: PELD-CNPq. *Dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Brasil: achados, lições e perspectivas*. Brasília, DF: PELD-CNPq, 2013. p. 226–250.

OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.D.; BLANCO, C.; BOLDRINI, I.I.; BOTH, R.; FORNECK, E.D. Brazil's neglected biome: the Southern Campos. *Perspectives in Plant ecology and systematics*, 9: 101-116, 2007.

OVERBECK, G. E.; DUTRA DA SILVA, R.; THOMAS, P. A.; PORTO, A. B.; ROLIM, R. G.; MÜLLER, S. C. A Restauração ecológica dos campos do bioma Pampa: Avanços e desafios na Década da Restauração de Ecossistemas. *Bio Diverso*, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 115–139, 2023. Disponível em: seer.ufrgs.br/index.php/biodiverso/article/view/129069.

PORTZ, L. C.; GRUBER, N. L. S.; STROHAECKER, T.; MANZOLLI, R. P. Iniciativas de manejo de dunas frontais como medida de controle de erosão no estado do Rio Grande do Sul. In: *NUEVAS MIRADAS A LA PROBLEMÁTICA DE LOS AMBIENTES COSTEÍROS: SUR DE BRASIL, URUGUAY Y ARGENTINA*. 1. p. 9–26. 2014

PILLAR, V.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. *Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009.

PILLAR, VALÉRIO; VÉLEZ-MARTIN, EDUARDO. Extinção dos Campos Sulinos em Unidades de Conservação: um Fenômeno Natural ou um Problema ético?. *Natureza & Conservação*. 8. 84-86. 2010. 10.4322/natcon.00801014.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. Fortaleza: Banco do Nordeste: Edições UFC, 222 p. il. 2017.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C., Monitoring the Vernal Advanced and Retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation, *Texas A&M University*, Texas, pp. 390, 1974.

SATO, S.E. *Zoneamento geoambiental do município de Itanhaém - Baixada Santista (SP)*. 2012. 123 f. Tese - (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2012.

SIMON, A. L. H.; SILVA, P. F. Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. *Geociências*, v. 34, n. 4, p.749-767, 2015.

SPERB, R; SPERB, R; BUGHI, C; VINÍCIUS, L; PORTO, M; Souza, De. Utilização de software livre para análise geoespacial – estudo de caso: seleção de área para instalação de aterro sanitário. *Geosul*, 2010.

TELLES, R.M. A Evolução Geomorfológica de Rio Grande: um contraste de dois tempos. *CADERNAU-Cadernos do Núcleo de Análises Urbanas*, v. 5, n. 1, p. 1-20, 2011.

TOMAZELLI, L. J.; VILWOCK, J. A. Mapeamento geológico de planícies costeiras: o exemplo da costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, v. 3, p. 109-115, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Sendo possível o mapeamento de Unidades de Paisagem sem a necessidade de realização de um mosaico, mapeamentos individuais para diferentes classes de uso e/ou cobertura, permitem uma abordagem mais refinada e otimizada aos mapeamentos realizados através de interpretação visual. Neste sentido, por meio da análise temporal, foi possível quantificar as transformações das marismas na área de estudo.

E há possibilidade da realização de novos mapeamentos anuais de cobertura, a fim de informações mais detalhadas sobre a dinâmica da cobertura de marismas. Desta forma, evidencia-se a importância da análise de mapeamentos, que aliados ao propósito de monitoramento, auxiliam na análise de potenciais riscos ao meio antrópico e ao natural, e no subsídio de possíveis estratégias de conservação da biodiversidade e equilíbrio ecológico. Esta dissertação contribuiu para a compreensão da dinâmica espacial e temporal das marismas no estuário da Lagoa dos Patos, evidenciando tanto processos naturais quanto pressões antrópicas sobre essas áreas úmidas do bioma Pampa.

Os resultados obtidos reforçam a relevância ecológica e socioambiental das marismas. Onde a relação entre Homem e Natureza evidencia a co-dependência dos seres humanos aos ecossistemas naturais. Os mapeamentos realizados mostram que os sistemas naturais e antrópicos estão interligados e inseparáveis na biosfera, ressaltando que a preservação do equilíbrio ecológico é tão vital para o bem-estar humano quanto para a fauna e flora locais.

Assim, em perspectiva de possibilidades futuras, que podem ser realizadas a partir deste estudo, pode-se realizar a ampliação das séries temporais para o monitoramento, a análise da conectividade entre ecossistemas costeiros, a realização de modelagem ambiental para a cobertura de marismas, estudos quanto aos serviços ecossistêmicos prestados pelas marismas e a integração dos resultados em políticas públicas voltadas à conservação e ao uso sustentável destas áreas úmidas do Pampa.