

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Engenharias
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

Dissertação de Mestrado



**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA OCEÂNICA (BALNEÁRIO CASSINO -
RS), A PARTIR DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA BACTÉRIA *ESCHERICHIA
COLI* E DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-A COM
SENSORIAMENTO REMOTO**

Ana Beatriz Gonçalves Vaz

Pelotas, 2023

Ana Beatriz Gonçalves Vaz

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA OCEÂNICA (BALNEÁRIO CASSINO -
RS), A PARTIR DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA BACTÉRIA *ESCHERICHIA*
COLI E DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-A COM
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Diuliana Leandro

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Luana Centeno

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação da Publicação

V393a Vaz, Ana Beatriz Gonçalves

Análise da qualidade da água oceânica (Balneário Cassino – RS), a partir da análise estatística da bactéria *Escherichia coli* e da variação da concentração da clorofila-a com sensoriamento remoto. [recurso eletrônico] / Ana Beatriz Gonçalves Vaz ; Diuliana Leandro, orientadora ; Luana Centeno, coorientadora. — Pelotas, 2023.
105 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Qualidade da água oceânica costeira. 2. Poluição da água. 3. Canais de Drenagem pluviais. 4. Google Earth Engine. 5. Modelagem matemática. I. Leandro, Diuliana, orient. II. Centeno, Luana, coorient. III. Título.

CDD 363.7

Ana Beatriz Gonçalves Vaz

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA OCEÂNICA (BALNEÁRIO CASSINO - RS),
A PARTIR DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA BACTÉRIA *ESCHERICHIA COLI* E
DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-A COM
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação aprovada, como requisito parcial,
para obtenção do grau de Mestre em Ciências
Ambientais, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Centro de Engenharias,
Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 20 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Diuliana Leandro (Orientadora) – Doutora em Ciências Geodésicas pela
Universidade Federal do Paraná.

Dr.^a Luana Centeno (Coorientadora) – Doutora em Recursos Hídricos pela
Universidade Federal de Pelotas.

Prof.^a Dr.^a Suelen Movio Huinca – Doutora em Ciências Geodésicas pela
Universidade Federal do Paraná.

Prof.^a Dr.^a Daniela Buske – Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Prof.^a Dr.^a Andréa Souza Castro – Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Dr. Flávio Manoel Rodrigues da Silva Júnior – Doutor em Ciências Fisiológicas
pela Universidade Federal do Rio Grande.

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA OCEÂNICA (BALNEÁRIO CASSINO -
RS), A PARTIR DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DA BACTÉRIA *ESCHERICHIA
COLI* E DA VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DA CLOROFILA-A COM
SENSORIAMENTO REMOTO**

por

Ana Beatriz Gonçalves Vaz

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, PPGCAmb, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Ciências Ambientais

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Diuliana Leandro - Orientadora (UFPel)

Prof.^a. Dr.^a. Luana Centeno – Co-Orientadora (UFPel)

Prof.^a Dr.^a Suelen Movio Huinca (UFPel)

Prof.^a Dr.^a Daniela Buske (UFPel)

Prof.^a. Dr.^a Andréa Souza Castro (UFPel)

Prof. Dr. Flávio Manoel Rodrigues da Silva Júnior (FURG)

Pelotas, 20 de dezembro de 2023.

Dedico...

Ao meu pai (*in memoriam*) que muito me incentivou a estudar e sempre me falava “estuda, filhinha, que assim tu chegas lá.”

Agradecimentos

A Deus, por me dar forças nos momentos mais difíceis e disposição para seguir e me proporcionar essa conquista.

Ao meu filho Rodrigo Gonçalves Vaz pelos ensinamentos, paciência e apoio durante esse trabalho.

À minha família e amigos por entenderem a minha ausência nesse período.

Às minhas orientadoras, Prof.^a Dr.^a Diuliana Leandro, e Coorientadora Prof.^a Dr.^a Luana Centeno, por serem tão amigáveis, competentes e por acreditarem no trabalho que propus a fazer. Mesmo com todos os empecilhos, conseguimos realizar esse trabalho. Obrigada por todo ensinamento e oportunidade, tenho gratidão eterna. Vocês foram super!

A Prof.^a Dr.^a Suelen Movio Huinca por contribuir amplamente no enriquecimento do trabalho, assim como a banca pelas sugestões, aprendizados e comparticipação de conhecimentos.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de cursar o PPGCAmb e pelo ensinamento e lapidação na minha formação intelectual e acadêmica. Especialmente pelos professores, dos quais tive a honra de ser aluna e fizeram parte disso, sendo fundamentais para chegar até aqui.

A todos, o meu muito obrigado!

“Seja como os pássaros que, ao pousarem um instante sobre ramos muito leves, sentem-nos ceder, mas cantam! Eles sabem que possuem asas.”

(Victor Hugo)

RESUMO

VAZ, Ana Beatriz Gonçalves. **Análise da qualidade da água oceânica (Balneário Cassino – RS), a partir da análise estatística da bactéria *Escherichia coli* e da variação da concentração da clorofila-a com sensoriamento remoto.** Orientadora: Diuliana Leandro. 2023. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

A qualidade da água oceânica costeira tem sido analisada por meio de técnicas matemáticas aliadas ao sensoriamento remoto. Essas técnicas permitem avaliar parâmetros físicos, químicos e biológicos, proporcionando uma compreensão abrangente dos impactos ambientais na região estudada. Inicialmente, buscou-se desenvolver uma análise sistêmica das abordagens utilizadas globalmente para se obter um conhecimento mais detalhado sobre o tema, considerando seu uso na área de estudo. Nesse processo, observou-se que a integração do sensoriamento remoto com técnicas matemáticas, como análise de séries temporais e algoritmos de aprendizado de máquina, permite a detecção de padrões e tendências, identificando áreas de risco, como zonas de eutrofização ou concentração elevada de poluentes. A combinação dos sistemas também contribuiu para a criação de modelos preditivos específicos para o estudo em regiões costeiras. Dentre as abordagens analisadas, optou-se o uso da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) para a obtenção dos dados de sensoriamento remoto utilizados. No caso específico do Balneário Cassino, local de estudo, foi utilizada a combinação do sensoriamento remoto e análises estatísticas para avaliar a qualidade da água oceânica, nos locais adjacentes à chegada dos canais de drenagem pluviais urbanos na praia. As imagens obtidas da plataforma GEE mostrou a evolução da variação da concentração da clorofila-a (Chl-a), no período 01/2022 a 11/2023, proporcionando informações significativas sobre a qualidade da água e os fatores ambientais que influenciam a sua composição na região. A análise estatística utilizando dados *in-situ* da presença da bactéria *Escherichia coli* (*E.coli*), fornecidos pela Fepam, possibilitou a identificação de pontos críticos de intervenção humana e as fontes de poluição da água nos canais de drenagem, como o descarte inadequado de resíduos sólidos, contaminação por produtos químicos, lançamento de esgotos clandestinos e assoreamento. Portanto, objetivou-se nesse estudo investigar a qualidade da água oceânica no Balneário Cassino através da análise espacial baseada em sensoriamento remoto e análise estatística. Para isso, buscou-se avaliar estudos realizados com sensoriamento remoto e análises multivariadas utilizadas globalmente na análise da qualidade da água oceânica costeira, representar os pontos sensíveis de chegada de poluentes na praia através da rede de drenagem pluvial (sangradouros), aplicar análise estatística nos dados obtidos *in situ* da bactéria *E.coli* para determinar o ponto de maior influência na qualidade da água oceânica e representar a variação da concentração da Chl-a utilizando sensoriamento remoto na análise da qualidade da água no local de estudo. Dessa forma, espera-se que esse estudo contribua para a implementação de políticas de gestão ambiental que promovam a conservação do ambiente no Balneário Cassino, auxiliem no manejo sustentável dos canais de drenagem urbana e na redução da poluição da água.

Palavras-chave: Qualidade da água oceânica costeira; Poluição da água; Drenagem pluvial; Sensoriamento remoto; *Google Earth Engine*; Modelagem matemática; Parâmetros bio-ópticos.

ABSTRACT

VAZ, Ana Beatriz Gonçalves. **Analysis of the quality of the ocean water (Balneário Cassino – RS), based on the statistical analysis of the bacterium *Escherichia coli* and the variation of the concentration of chlorophyll-a with remote sensing.** Advisor: Diuliana Leandro. 2023. 105 f. Dissertation (Master in Environmental Sciences) - Postgraduate Program in Environmental Sciences. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The quality of coastal ocean water has been analyzed using mathematical techniques combined with remote sensing. These techniques make it possible to evaluate physical, chemical and biological parameters, providing a comprehensive understanding of the environmental impacts in the studied region. Initially, we sought to develop a systemic analysis of the approaches used globally to obtain more detailed knowledge on the topic, considering its use in the study area. In this process, it was observed that the integration of remote sensing with mathematical techniques, such as time series analysis and machine learning algorithms, allows the detection of patterns and trends, identifying risk areas, such as eutrophication zones or high concentrations of pollutants. The combination of systems also contributed to the creation of specific predictive models for studies in coastal regions. Among the approaches analyzed, we chose to use the *Google Earth Engine* (GEE) platform to obtain the remote sensing data used. In the specific case of Balneário Cassino, the study site, a combination of remote sensing and statistical analyzes was used to evaluate the quality of ocean water in locations adjacent to the arrival of urban rainwater drainage channels on the beach. The images obtained from the GEE platform showed the evolution of the variation in chlorophyll-a (Chl-a) concentration, from 01/2022 to 11/2023, providing significant information about water quality and the environmental factors that influence its composition in the region. Statistical analysis using in-situ data on the presence of the bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*), provided by Fepam, made it possible to identify critical points of human intervention and sources of water pollution in drainage channels, such as inadequate disposal of solid waste, contamination by chemical products, discharge of illegal sewage and siltation. Therefore, the objective of this study was to investigate the quality of ocean water in Balneário Cassino through spatial analysis based on remote sensing and statistical analysis. To this end, we sought to evaluate studies carried out with remote sensing and multivariate analyzes used globally in the analysis of coastal ocean water quality, represent the sensitive points of arrival of pollutants on the beach through the rainwater drainage (bleeders) network, apply statistical analysis to the data obtained in situ of the *E.coli* bacteria to determine the point of greatest influence on ocean water quality and represent the variation in Chl-a concentration using remote sensing to analyze water quality at the study site. Therefore, it is expected that this study will contribute to the implementation of environmental management policies that promote environmental conservation in Balneário Cassino, assist in the sustainable management of urban drainage channels and reduce water pollution.

Keywords: Coastal ocean water quality; Water pollution; Rain drenage; Remote sensing; *Google Earth Engine*; Mathematical modeling; Bio-optical parameters.

Lista de Figuras

Capítulo 1:

Figura 1. Fluxograma de palavras-chave para busca e seleção de artigos	50
Figura 2. Mapas mentais resultantes das pesquisas utilizando as palavras-chave selecionadas	51

Capítulo 2:

Figura 1. Localização do Balneário Cassino	78
Figura 2. Mapa de localização dos sangradouros do Cassino	83
Figura 3. Análise de série temporal dos pontos 1 e 5 do parâmetro <i>E. Coli</i> pertencente ao Balneário Cassino	85
Figura 4. Análise de série temporal dos pontos 4 e 6 do parâmetro <i>E. Coli</i> pertencente ao Balneário Cassino	86
Figura 5. Análise de série temporal dos pontos 2 e 3 do parâmetro <i>E. Coli</i> pertencente ao Balneário Cassino	87
Figura 6. Mapa de localização do Ponto 2 e 5	92
Figura 7. Mapa de cobertura e uso da terra no entorno do Ponto 2	93
Figura 8. Figura dos canais de drenagem no entorno do Ponto 2	94
Figura 9. Mapa de cobertura e uso da terra no entorno do Ponto 5	95
Figura 10. Figura dos canais de drenagem no entorno do Ponto 5	97
Figura 11. Mapas de Clorofila-a, GCOM-C/SGLI L3 Chlorophyll-a Concentration (V3) entre janeiro de 2022 a novembro de 2023	99

Lista de Tabelas

Tabela 1. Análise descritiva da concentração dos seis pontos de monitoramento do parâmetro <i>E. Coli</i> pertencente ao Balneário Cassino	84
Tabela 2. Resultados da Balneabilidade para os pontos pertencentes ao Balneário Cassino	88
Tabela 3. Análise fatorial dos <i>E. Coli</i> do Balneário Cassino	91

Lista de Abreviaturas e siglas

AC	Correção Atmosférica
BOA	Reflectância do Fundo da Atmosfera
CDOM	Matéria Orgânica Dissolvida Colorida
Chl-a	Clorofila-a
CI	Índice de Cores
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Componentes Principais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCI	Índice Chl-a de diferença
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
IOPS	Propriedade Ópticas Inerentes
MCI	Índice Máximo de Clorofila
MSI	Instrumento Multiespectral
NAP	Partículas Não Agal
NIR	Infravermelho Próximo
NH3	Nitrogênio de Amônia
OD	Oxigênio dissolvido
OCI	Índice de cor do oceano
PAR	Radiação fotossintética ativa
pH	Potencial Hidrogeniônico
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
Rap	Refletância logo acima da superfície da água
REM	Radiação Eletromagnética
RTM	Modelo de Transferência Radiativa
SGR	Relação Geométrica Sol-Satélite
SWIR	Infravermelho de Ondas Curtas
SZA	Ângulo do Zênite Solar
TMS	Material Particulado em Suspensão
TOA	Refletância do Topo da Atmosfera
TN	Nitrogênio Total
TP	Fósforo Total
Z	Profundidade do Fundo do Mar

Lista de Símbolos

a	Coeficientes de absorção do total da água
a_{CDOM}	Coeficientes de absorção da matéria orgânica dissolvida colorida
a_{chl-a}	Coeficientes de absorção pela clorofila-a
a_{NAP}	Coeficientes de absorção do material particulado não algal em suspensão
a_{phy}	Coeficientes de absorção dos pigmentos do fitoplâncton
b_b	Coeficiente de espalhamento da luz
$d(\lambda)$	Irradiância espectral incidente na superfície do mar
E_d	Irradiância descendente que atinge a superfície da água
$K_d(\lambda)$	Coeficiente de atenuação
$L_r(\lambda)$	Radiância refletida na superfície da água
$L_s(\lambda)$	Radiância do céu
$L_u(\lambda)$	Radiância ressurgente da superfície da água
$L_w(\lambda)$	Radiância da saída da água
$P_b(\lambda)$	Refletância do fundo
$P_s(\lambda)$	Refletância da superfície
$P_w(\lambda)$	Refletância em águas profundas
R_{bw}	Reflectância da saída de água contribuída pelo fundo
$R_{rs}(\lambda)$	Refletância de sensoriamento remoto
R_{sg}	Efeito do brilho do sol – Reflexão especular
λ	Comprimento de ondas
λ_i	Comprimentos de onda na posição i

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1 ZONA COSTEIRA	22
3.2 UTILIZAÇÃO, URBANIZAÇÃO E IMPACTOS NA ZONA COSTEIRA	23
3.3 PLANEJAMENTO URBANO	24
3.4 SANEAMENTO AMBIENTAL	25
3.5 IMPACTO AMBIENTAL	26
3.6 FRAGILIDADE AMBIENTAL	28
3.7 DRENAGEM URBANA	29
3.8 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	31
3.8.1 Sensoriamento Remoto	32
3.9 MUNICÍPIO DE RIO GRANDE/RS	34
REFERÊNCIAS	36
4 INTRODUÇÃO DOS CAPÍTULOS	44
4.1 CAPÍTULO 1	45
4.1.1 Introdução	48
4.1.2 Metodologia	49
4.1.3 Resultados e Discussão	52
4.1.4 Conclusão	68
Referências	70
4.2 CAPÍTULO 2	72
4.2.1 Introdução	74
4.2.2 Metodologia	77

4.2.2.1 Obtenção dos dados de <i>E.coli</i> e suas análises	78
4.2.2.2 Obtenção dos dados espaciais e suas análises	80
4.2.2.3 Interpretação dos resultados	81
4.2.3 Resultados e Discussão	82
4.2.3.1 Análise da presença da bactéria <i>E. coli</i>	82
4.2.3.2 Análise colorimétrica da Clorofila-a por imagens de satélite	98
4.2.4. Conclusão	102
Referências	104
5. CONCLUSÃO GERAL	107
Apêndice A	109

1 INTRODUÇÃO GERAL

A análise da qualidade da água oceânica costeira em escala global se beneficia do uso de técnicas matemáticas aliadas ao sensoriamento remoto (Eslamirad *et al.*, 2023; Yu *et al.*, 2020). Essas técnicas permitem a avaliação de parâmetros físicos, químicos e biológicos, fornecendo uma compreensão abrangente dos impactos ambientais na região em estudo (Furquim *et al.*, 2018). Porém, antes da sua aplicação, é necessário realizar uma análise sistêmica para compreender as abordagens utilizadas globalmente (Ribeiro; Albuquerque, 2017), de forma a obter dados precisos sobre diversos indicadores da qualidade da água, como turbidez, concentração de Chl-a e salinidade (Lopes *et al.*, 2021; Magalhães *et al.*, 2022).

A integração desses dados, obtidos por sensoriamento remoto, com técnicas matemáticas, como análise de séries temporais e algoritmos de aprendizado de máquina, permite a detecção de padrões e tendências, identificando áreas de risco, como zonas de eutrofização ou concentração elevada de poluentes (Yu *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022). Essas abordagens também auxiliam na criação de modelos preditivos para diferentes regiões costeiras (Jose *et al.*, 2018).

No contexto específico do Balneário Cassino, pela sua rica biodiversidade e o fato de ser um importante destino turístico no Rio grande do Sul, a integração do sensoriamento remoto e de técnicas matemáticas é essencial para compreender e avaliar de forma precisa os impactos ambientais nos canais de drenagem urbanos (Santos, Cruz, Santos, 2022; Sfredo, Tagliani, 2016), uma vez que, a análise permite identificar pontos críticos de intervenção humana, como fontes de poluição nos canais de drenagem (Rio Grande, 2023; Sfredo, Tagliani, 2016; Silva, Silva, 2022).

A rede de canais de drenagem urbana desempenha um papel fundamental na gestão adequada das águas pluviais e na prevenção de enchentes (Cravo, Cerqueira, 2023; Çadraku, 2022). No entanto, enfrentam desafios devido às intervenções e atividades humanas que comprometem sua função e causam impactos ambientais negativos (Conceição; Cirolini; Bruch, 2020). Esses impactos, provém de fontes de poluição como o descarte inadequado de resíduos sólidos, a contaminação por produtos químicos, o lançamento de esgotos clandestinos e o assoreamento decorrente da ocupação desordenada das margens (Edelman, 2023). Dessa forma, as águas nos canais de drenagem tornam-se poluídas, sendo conduzidas nessa condição para os sangradouros da praia, que são cursos d'água

que tem a função natural de realizar o escoamento das águas pluviais em direção ao mar, influenciando na qualidade da água marinha.

Este estudo aborda a análise da qualidade da água oceânica costeira realizado em escala local, destacando a importância da aplicação de técnicas matemáticas e sensoriamento remoto para avaliar os impactos ambientais. A integração dessas abordagens é crucial para compreender os indicadores de qualidade da água, como turbidez, concentração de Chl-a e salinidade, proporcionando uma compreensão abrangente dos impactos ambientais em diferentes regiões costeiras. Nesse aspecto, existem estudos destacando que técnicas matemáticas podem ser usadas para quantificar as relações estatísticas, entre os valores das bandas espectrais e as concentrações de Chl-a. No contexto do Balneário Cassino, a rica biodiversidade e o *status* de destino turístico na região destacam a necessidade de compreensão acerca da qualidade da água deste local. Para tanto, a integração do sensoriamento remoto e interpretações estatísticas para avaliar precisamente os impactos nos canais de drenagem urbanos se tornam extremamente úteis e importantes. Pretende-se, assim, identificar pontos críticos de intervenção humana, como a poluição da água advinda dos canais de drenagem, contribuindo para a gestão adequada das águas pluviais. Além disso, o reconhecimento das fontes de poluição e seus impactos ambientais permite a implementação de medidas efetivas, subsidiando ações de educação ambiental e conscientização da população, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aqueles relacionados à água limpa e vida terrestre. O presente estudo representa um passo significativo na busca por soluções efetivas para a preservação do ambiente e no estabelecimento de políticas de gestão sustentável no Balneário Cassino.

O escopo principal desta pesquisa consiste na análise dos impactos ambientais potenciais dos canais de drenagem urbanos do Balneário Cassino por meio da presença da bactéria *E.coli* e da aplicação do sensoriamento remoto na análise da concentração da Chl-a, que são geralmente potenciais causadores de consideráveis impactos ambientais. A ocupação e uso da terra nas proximidades dos canais de drenagem urbana emergem como um fator determinante na presença de substâncias poluentes, viabilizando a cartografia e avaliação da área que compreende a rede de canais de drenagem urbana. Tal abordagem permite a identificação dos locais mais suscetíveis à influência antrópica, promovendo uma

compreensão mais abrangente e precisa dos fatores que contribuem para os impactos ambientais nessa localidade específica. A análise espacial, baseada em sensoriamento remoto e análise estatística multivariada, fornecerá subsídios relevantes para o desenvolvimento de políticas de gestão ambiental que promovam a conservação do ambiente no Balneário Cassino, assim como auxiliem na implementação de estratégias de manejo sustentável dos canais de drenagem urbana e na redução da poluição.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é investigar os potenciais impactos ambientais dos canais de drenagem urbanos no Balneário Cassino, por meio da análise espacial, baseada em Sensoriamento Remoto e estatística multivariada, a fim de identificar os pontos de maior intervenção humana, como fontes de poluição.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as técnicas matemáticas atreladas ao sensoriamento remoto da concentração de Chl-a empregadas globalmente na análise da qualidade da água oceânica costeira, por meio de uma revisão sistemática;
- Avaliar a ocupação e uso do solo pela presença da bactéria *E.coli*, através do mapeamento da área que constitui a rede de canais de drenagem urbana, entre os dois sangradouros do Balneário Cassino/RS;
- Representar os pontos sensíveis de chegada de poluentes na rede de drenagem e de maior vulnerabilidade à ação antrópica, por meio da elaboração de mapas temáticos.
- Aplicar análise estatística nos dados obtidos in situ da bactéria *E.coli* para determinar o ponto de maior influência na qualidade da água oceânica e verificar a variação da concentração da Chl-a utilizando sensoriamento remoto na análise da qualidade da água no local de estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ZONA COSTEIRA

A zona costeira é uma região de grande importância, onde o oceano encontra o continente, formando o litoral (Daud; Trindade, 2019). É nessa área, conhecida como zona costeira, que ocorrem os processos que afetam tanto o ambiente marinho quanto terrestre (Garrison, 1942). Essa região é influenciada por eventos naturais e processos que ocorrem nessa interface. Além disso, a zona costeira é caracterizada por uma série de atividades humanas, como portos, turismo, moradia e Áreas de Preservação Permanente (APP), que representam diferentes formas de ocupação e uso desse espaço (Raiol *et al.*, 2022).

Segundo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Brasil, 1997), a zona costeira abriga ecossistemas de grande relevância ambiental, com uma diversidade peculiar resultante da transição entre ambientes terrestres e marinhos. Essa interação confere à zona costeira uma fragilidade ambiental que requer uma atenção especial por parte do poder público (Souza, 2022). Como evidenciado por sua inclusão na Constituição Brasileira como área de patrimônio nacional.

O PNGC também destaca que a maioria da população mundial vive em áreas costeiras, e essa tendência de concentração demográfica nessas regiões continua aumentando (Brasil, 1997). A população costeira depende de diversos aspectos dos sistemas costeiros, incluindo áreas úmidas, regiões estuarinas, bacias de recepção e drenagem, águas interiores próximas à costa e o próprio ambiente marinho, para garantir a sustentabilidade de suas atividades (Ruiz *et al.*, 2021).

Diante desse contexto, o gerenciamento desses aspectos dos sistemas costeiros envolve, fundamentalmente, a construção de um modelo cooperativo entre os diferentes níveis e setores do governo, bem como a participação ativa da comunidade (Brasil, 1997). Essa abordagem colaborativa é essencial para a implementação de ações efetivas que promovam a conservação e o uso sustentável dos recursos costeiros, buscando equilibrar as necessidades socioeconômicas com a preservação dos ecossistemas e a manutenção da qualidade ambiental (Medeiros; Serafini; McConney, 2014).

3.2 UTILIZAÇÃO, URBANIZAÇÃO E IMPACTOS NA ZONA COSTEIRA

Nas últimas décadas, tem sido observado um aumento significativo na degradação ambiental das zonas costeiras, resultado da crescente pressão sobre os recursos naturais e da limitada capacidade desses ecossistemas em absorver os impactos resultantes (Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2002). A principal causa dessas mudanças ambientais está relacionada ao crescimento populacional e ao desenvolvimento desenfreado dessas áreas (Zezzo *et al.*, 2021).

A intensa urbanização é um dos principais fatores responsáveis pela diminuição da qualidade ambiental nas áreas costeiras (Silva; Silva, 2020). Isso envolve a impermeabilização do solo, verticalização das construções, canalização dos rios, diminuição da cobertura vegetal e aumento da poluição (Pereira *et al.*, 2020). Além disso, a valorização cultural dos espaços litorâneos tem levado à construção de imóveis de lazer, recreação e turismo, resultando na implantação de loteamentos e empreendimentos imobiliários para segunda residência (Strohaecker, 2008).

A ocupação irregular também é observada, muitas vezes em condições precárias e sem infraestrutura básica, causando danos ambientais que podem ser irreversíveis (Valota; Costa; Souza, 2022). A construção em áreas de alta sensibilidade ambiental, como dunas, mangues e estuários, contribui para a poluição orgânica, deposição de sedimentos e deterioração de áreas naturais (MMA, 2002).

Ademais, o turismo também desempenha um papel importante na urbanização da zona costeira, impulsionado pelas atrações naturais do litoral e pelas oportunidades econômicas que oferece (Strohaecker, 2008). A implantação de indústrias, terminais marítimos e complexos portuários também tem levado à formação de cidades e aglomerados urbanos ao longo da costa, atraindo pessoas em busca de trabalho e melhores condições de vida (Vanin; Reck, 2021). A própria transição entre o continente e o mar tem fornecido condições favoráveis para a expansão urbana na zona costeira. No entanto, a degradação ambiental não é causada apenas pelo crescimento populacional, mas também pelo manejo inadequado do solo que pode ampliar esses processos, resultando em consequências catastróficas (Cunha; Guerra, 1996).

Diante desse cenário, torna-se essencial o planejamento adequado das áreas costeiras, seja por meio de medidas preventivas para atuar em áreas com baixa

densidade de ocupação, dentre outras formas, por meio de ações corretivas para solucionar problemas já existentes (Moraes, 1995). O rápido ritmo de urbanização e a fragilidade dessas áreas ressaltam a necessidade de um planejamento efetivo na zona costeira, visando à conservação dos recursos naturais e à preservação desse ambiente tão relevante para a sociedade (Nicolodi, 2021).

Em suma, a análise dos impactos ambientais nas zonas costeiras evidencia a importância de abordagens integradas e estratégias de gerenciamento ambiental que considerem a complexidade dos sistemas costeiros, as demandas socioeconômicas e a conservação dos recursos naturais (Serra; Farias Filho, 2019).

3.3 PLANEJAMENTO URBANO

O planejamento urbano nas zonas costeiras desempenha um papel crucial na gestão e preservação dessas áreas de grande importância ambiental, social e econômica (Cavalcanti, 2022). Devido à sua atratividade, é comum observar um intenso processo de urbanização, o que demanda uma abordagem cuidadosa e estratégica para garantir um desenvolvimento sustentável (Pinho; Dantas; De Oliveira, 2019).

Neste sentido, o planejamento urbano costeiro busca conciliar o crescimento populacional e as atividades econômicas com a conservação dos ecossistemas e a preservação dos recursos naturais (De Jesus, 2022). Ele envolve a definição de diretrizes e políticas que visam orientar o uso do solo, o desenvolvimento de infraestruturas adequadas e a proteção dos ambientes costeiros sensíveis (Guedes, 2020). Um dos principais desafios enfrentados neste planejamento urbano é a gestão dos riscos associados a eventos naturais, como tempestades, erosão costeira e elevação do nível do mar (Cavalcanti, 2022). É fundamental considerar esses aspectos na definição das áreas de ocupação e nas estratégias de adaptação e mitigação, a fim de reduzir os impactos e proteger a população e os ativos urbanos (Coutinho *et al.*, 2021).

A participação da comunidade e a integração entre os diferentes atores envolvidos são fundamentais no processo de planejamento urbano costeiro (Pinho; Dantas; De Oliveira, 2019), pois a consulta pública, a promoção de debates e a inclusão dos diversos setores da sociedade garantem uma tomada de decisão mais democrática e fortalecem a implementação de medidas efetivas (Freitas, 2014). É

importante ressaltar que o planejamento urbano costeiro não deve se restringir apenas ao curto prazo, mas sim considerar as projeções e cenários futuros, como as mudanças climáticas e o crescimento populacional (Cordeiro; Luna; De Castro Junior, 2020).

3.4 SANEAMENTO AMBIENTAL

O conceito mais abrangente de saneamento é definido, pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos deletérios sobre o seu bem-estar físico, mental ou social (OMS, 2014). Ou seja, refere-se a um conjunto de ações sobre o meio ambiente no qual tem atividade antrópica, buscando garantir condições de salubridade.

Sendo assim, saneamento, ou saneamento básico, tem sido compreendido pela legislação brasileira, mais especificamente a Lei Federal 11.445/2007, alterada pela Lei Federal nº 14.026/2020, denominada como novo Marco Legal do Saneamento, como o conjunto de serviços e infraestrutura de abastecimento de água, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, esgotamento sanitário e drenagem de águas pluviais urbanas (Heller; Pádua, 2010).

Por conseguinte, a definição de saneamento ambiental engloba um conjunto mais amplo de ações, ou seja, ações socioeconômicas que visam alcançar níveis de salubridade ambiental (Alencar *et al.*, 2020). Por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras (Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2018).

Sendo assim, “Saneamento ambiental” é um assunto amplo, considerando os aspectos que vão além do saneamento básico, dos resíduos sólidos, da poluição, do controle de vetores, entre outros (Heller; Pádua, 2010). Contempla uma união de ações socioeconômicas que visa obter a salubridade ambiental, com o propósito de assegurar a saúde da população (Da Silva; Da Silva, 2022).

O termo “saúde ambiental” ou “saneamento ambiental”, para Martinez Abreu *et al.* (2014), além de envolver um conjunto de conhecimento e práticas, considera o sistema de recursos humanos, físicos, instituições financeiras que trabalham com

tais conhecimentos e práticas, sendo preciso estreitar de maneira adequada todos os aspectos. Na visão dos autores:

[...] a saúde ambiental é considerada uma maneira limitada de nomear um fenômeno que não deve emitir uma ideia para curar ou resolver o dano ou o efeito sobre o meio ambiente (na prática atual, a palavra "saneamento" é frequentemente reservada apenas para ações no campo de gestão de resíduos líquidos e excrementos), mas o seu papel principal deve ser preventivo (Martinez Abreu *et al.*, 2014, p. 406).

Segundo Martinez Abreu *et al.* (2014), a saúde ambiental é considerada uma abordagem limitada para lidar com os danos ou efeitos sobre o meio ambiente, sendo que o termo "saneamento" muitas vezes é associado apenas à gestão de resíduos líquidos e excrementos. No entanto, seu papel principal deve ser preventivo.

Nesse contexto, os municípios devem operar por meio de um Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), que se configura como uma ferramenta indispensável de planejamento e gestão (Magalhães; Moraes, 2022). Esse plano tem como objetivo promover a melhoria das condições sanitárias e ambientais do município, visando maximizar a qualidade de vida da população (PMSB de RIO GRANDE, 2014).

Cabe ao Plano de saneamento estabelecer um processo participativo, no qual a comunidade e os diversos setores da sociedade são envolvidos (PMSB Rio Grande, 2014). Isso possibilita a disponibilização de água com qualidade, a coleta e o tratamento eficiente dos esgotos sanitários, além do desenvolvimento econômico e social para a população e o município, ao mesmo tempo em que se preserva o meio ambiente.

Por fim, outros aspectos abordados no planejamento do saneamento incluem a adequação do sistema de drenagem para proteger contra cheias e a garantia de condições adequadas para todas as áreas residenciais do município (Nícácio; Pereira Júnior, 2019). Além da definição de práticas para a coleta e destinação final adequada de resíduos, incluindo a remediação de áreas contaminadas, bem como a avaliação das condições de habitação, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente e recursos hídricos (Dias; Meneghatti, 2019).

3.5 IMPACTO AMBIENTAL

O impacto ambiental é uma preocupação cada vez mais relevante devido às alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente,

causadas pelas atividades antrópicas. Conforme estabelecido no art. 1º da resolução Nº. 001/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), essas mudanças afetam diversos aspectos, como a saúde, segurança e bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, bem como a qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

A compreensão do impacto ambiental como resultado de perturbações no meio ambiente é destacada por Guerra e Cunha (2001), que enfatizam a relação entre as atividades antrópicas e as mudanças sociais e ecológicas. No contexto urbano, a falta de planejamento e fiscalização tem contribuído para a ocorrência de diversos problemas sócio-espaciais (Dos Santos; Strohaecker, 2020). O crescimento urbano desenfreado, caracterizado pela expansão desordenada e o surgimento de aglomerados cada vez maiores, tem acarretado a degradação do ambiente urbano (Schwarz, 2001). Essa realidade reflete a necessidade urgente de promover ações que minimizem os impactos negativos e busquem a sustentabilidade das áreas urbanas (Medeiros; Lucena, 2023).

Vale ressaltar que o impacto ambiental vai além das questões imediatas e visíveis. Trata-se de um processo complexo que envolve mudanças na interação entre o homem e o meio ambiente, podendo resultar em consequências prejudiciais a longo prazo (Varejão; Serra, 2020). Nesse sentido, é fundamental compreender que as atividades humanas devem ser realizadas de forma responsável e sustentável, levando em consideração os limites e a capacidade de suporte do ecossistema (Pivoto *et al.*, 2022).

Um instrumento fundamental nesse contexto é o Plano Municipal de Saneamento Básico, supracitado no tópico anterior, que deve ser elaborado de forma participativa, envolvendo a comunidade e os diversos setores da sociedade. (PMSB Rio Grande, 2014). Dessa forma, é possível garantir o desenvolvimento econômico e social, a preservação do meio ambiente e a promoção de condições adequadas e higiênicas para todas as áreas residenciais do município (Cordeiro *et al.*, 2023).

Pois, a partir da presença de nutrientes nas águas remanescentes da atividade humana, espera-se que ocorra modificações significativas na composição da água destes locais. Estas modificações podem ser expressas pelo aumento dos nutrientes essenciais à proliferação de fitoplanctons, como fosfato e nitrato, que irão acarretar o aumento dessa população. Com o aumento deles, pode-se observar o

aumento da coloração verde destes corpos água, ocasionado pela presença da *Chl-a*. Da mesma forma, a presença de bactérias na água, como a *E.coli*, corrobora a hipótese de que a atividade humana está influenciando nos ciclos biogeoquímicos daquele ambiente (Campos; Jardim, 2003).

Portanto, por meio das variâncias entre os ambientes influenciados em diferente grau pela atividade humana, analisar a poluição da água enquanto impacto ambiental se torna essencial para compreender a forma como estas atividades modificam as propriedades de determinado local.

3.6 FRAGILIDADE AMBIENTAL

A fragilidade ambiental é um conceito importante para compreender a sensibilidade dos ecossistemas às pressões e ameaças que podem perturbar seu equilíbrio. Ratcliffe (1971) define a fragilidade ambiental como a medida da sensibilidade intrínseca dos ecossistemas, diante das intervenções ou modificações, sejam elas de origem natural ou antrópica. Sendo que, as modificações nos diferentes componentes do meio físico/natural, conforme ressaltado por Sporl e Ross (2004), podem resultar em danos significativos na dinâmica do sistema, afetando seu estado de equilíbrio. Para compreender e diagnosticar a fragilidade ambiental em diversas categorias hierárquicas, é essencial realizar uma análise integrada dos elementos naturais e humanos (Sporl; Ross, 2004).

Neste contexto, Fierz (2008) aborda a fragilidade ambiental como um conceito relacionado à teoria geral dos sistemas, onde os elementos da natureza são considerados interativos e seu sentido vai além da soma das partes individuais. Ou seja, a fragilidade ambiental ocorre quando há quebras na interação entre os elementos do sistema natural. Quando as ações antrópicas alteram a funcionalidade dos ambientes naturais de forma mais rápida e desordenada do que ocorreria naturalmente, isso resulta em desequilíbrios funcionais e consequências drásticas para a natureza e a vida humana (Souza, 2013).

As áreas costeiras, objeto deste estudo, são especialmente vulneráveis, e os municípios nelas localizados frequentemente enfrentam desequilíbrios ambientais acentuados (Souza, 2013). Nas últimas décadas, essas áreas têm sido afetadas por práticas inadequadas de uso e ocupação do solo, incluindo supressão de vegetação

nativa, lançamento irregular de efluentes nos corpos d'água, aterramento e construções irregulares (Pinho; Dantas; De Oliveira, 2019).

Sendo assim, o estudo da fragilidade ambiental desempenha um papel essencial na definição de ações prioritárias para garantir a qualidade dos recursos hídricos e a conservação da biodiversidade (Sporl, 2007). Portanto, compreende-se que a fragilidade ambiental se refere ao grau de sensibilidade do meio ambiente a danos causados pela atividade humana, incluindo erosões, movimentos de massas, assoreamento de corpos d'água e inundações (Souza, 2013).

Por fim, Kawakubo (2005), vai além ao descrever que o estudo da fragilidade ambiental é uma ferramenta importante para órgãos públicos no planejamento territorial ambiental. Ao mapear a fragilidade ambiental, é possível avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, conciliando suas características naturais com as restrições existentes. Portanto, a compreensão da fragilidade ambiental e sua aplicação nos processos de planejamento e gestão são fundamentais para promover a sustentabilidade e a preservação dos ecossistemas.

3.7 DRENAGEM URBANA

A formação de áreas urbanas representa uma modificação significativa do ambiente natural, afetando o relevo, a permeabilidade do solo e os cursos naturais de água (Caldeira; Lima, 2020). Com o desenvolvimento urbano, os rios, riachos e valas naturais são ocultados e invadidos por aterros, assoreamentos e construções, comprometendo sua capacidade de escoamento adequado das águas (Costa *et al.*, 2020). Conforme destacado por Pompeo e Cardoso (1996), o termo "drenagem urbana" abrange um conjunto de medidas que visam minimizar os efeitos das inundações, promovendo um desenvolvimento urbano mais harmonioso, em conjunto com outras atividades urbanas. Além de uma abordagem técnica, o sistema de drenagem também envolve aspectos gerenciais e socioeconômicos (Caldeira; Lima, 2020).

De acordo com Brandão *et al.* (2023), a drenagem urbana pode ser dividida em duas componentes, quando ocorre a alteração do padrão original de escoamento das águas em uma bacia. Sendo elas: a macrodrenagem que se refere ao escoamento natural em vales topograficamente definidos, enquanto a microdrenagem abrange as partes do sistema em que o escoamento ocorre de forma

mais artificial, com componentes implantados pelo ser humano, como galerias, bueiros e sarjetas.

Nesse contexto, é necessário analisar o padrão de ocupação urbana, a malha viária (que direciona o escoamento e pode atuar como obstáculo em casos de chuvas intensas) e as características de permeabilidade das construções e superfícies, bem como o uso do solo, entre outros fatores (Rodrigues, 2022). Para Irtud (1997), a problemática da drenagem urbana está relacionada ao planejamento urbano integrado, que não pode ser dissociado de questões como gestão de resíduos, saneamento básico, sistema viário, zoneamento urbano e uso do solo. O autor destaca ainda que é fundamental integrar os diferentes setores responsáveis e envolver a população para solucionar os problemas de drenagem, visto que, o bom funcionamento do sistema depende de um dimensionamento hidráulico adequado e também da ausência de obstruções nas bocas de lobo, valas e galerias causadas por detritos e entulhos (Caldeira; Lima, 2020). Além disso, a remoção da cobertura vegetal em encostas sem medidas adequadas para controlar a velocidade das águas e do seu poder erosivo, pode comprometer ainda mais o sistema de drenagem, resultando no arraste de detritos e desagregação do solo em extensas áreas (De Lima *et al.*, 2021).

A morfologia de um canal e suas alterações podem ser atribuídas a agentes naturais e/ou antrópicos (Silva Junior *et al.*, 2020). No entanto, as modificações mais significativas e rápidas no ambiente são frequentemente causadas pela ação humana (Caldeira; Lima, 2020). Conforme mencionado por Pinton e Cunha (2014), a urbanização, a agricultura e a pecuária afetam a dinâmica fluvial, especialmente em sistemas menores, alterando a carga sedimentar, promovendo erosão e sedimentação ao longo dos canais fluviais.

Assim, é necessário um planejamento adequado da drenagem urbana, levando em consideração, tanto os aspectos técnicos, quanto os socioeconômicos, a fim de minimizar os impactos negativos causados pelas intervenções humanas nos sistemas naturais de escoamento de água (Silva Junior *et al.*, 2020).

Na zona costeira é comum a ocorrência de canais de drenagem de formação natural, denominados sangradouros. Esses canais, segundo Serpa (2008), possuem a função de drenar as águas pluviais continentais, direcionando o fluxo hídrico para o oceano. Entretanto, anterior a esses cursos hídricos, existe uma rede de drenagem urbana formada por sarjetas, bocas de lobo e canais artificiais por onde circulam as

águas pluviais, que são conduzidas para a praia. Essas águas participam da formação natural dos sangradouros. Os sangradouros podem ser permanentes ou intermitentes. Sua ocorrência pode estar relacionada a precipitações de grande volume, quando participam na redução das inundações escoando as águas para o mar. Portanto, o efluente que chega ao mar pelos sangradouros influencia na qualidade da água e, conseqüentemente, na balneabilidade local.

3.8 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O desenvolvimento dos municípios frequentemente resulta em problemas ambientais decorrentes da expansão urbana. Neste sentido, o uso de técnicas de geoprocessamento pode contribuir para a gestão municipal por meio do levantamento e mapeamento da expansão urbana (Schwartz; Feitosa, 2022). Segundo Rocha (2002), o geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar que integra diversos conhecimentos e envolve o uso de equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações georreferenciadas em formato de mapas digitais.

Por conseguinte, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), são ferramentas computacionais utilizadas para o geoprocessamento. De acordo com Craveiro *et al.* (2012), são *softwares* que empregam sistemas de coordenadas, conceitos de escalas e níveis de informações sobrepostos para representar objetos e suas relações no espaço geográfico. Os SIG permitem a automatização da produção de documentos cartográficos (Câmara; Davis; Monteiro, 2001). No ambiente SIG, as feições geográficas são descritas por meio de modelos de dados, divididos em dois tipos: vetorial, que representa pontos, linhas e polígonos; e matricial ou *raster*, que utiliza uma grade regular de quadrículas (Santos; Louzada; Eugênio, 2010). Entre os usos do SIG na análise ambiental, destacam-se o mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental, ordenamento e gestão territorial e prognósticos ambientais (Silva; Machado, 2014).

Tretin e Freitas (2009), enfatizam a importância das geotecnologias para o estudo das dinâmicas espaciais urbanas, principalmente por meio do desenvolvimento de técnicas de mapeamento que permitem a comparação rápida de grandes volumes de dados utilizando o geoprocessamento. Nesse contexto, a

implantação de Cadastros Técnicos Multifinalitários (CTM) nos municípios torna-se uma ferramenta tecnológica fundamental para a gestão territorial (Erba; Oliveira; Lima Junior, 2005). Trata-se de um sistema objetivo que abrange aspectos sociais, ambientais, econômicos e jurídicos. Sendo assim, é essencial que esses cadastros sejam estabelecidos em bases sólidas e transparentes, com atualizações sistemáticas para garantir a manutenção adequada do território (Reginato *et al.*, 2022).

Conforme Blachut (1974), independentemente de sua forma ou características, um cadastro tem origem em duas fontes: o Estado, para fins de planejamento e administração; e o indivíduo, que busca uma definição clara e efetiva de seus direitos sobre a propriedade imobiliária. A multifinalidade do cadastro deve-se à riqueza e importância das informações coletadas, bem como aos diversos usos que ele pode ter (Reginato *et al.*, 2022).

Loch (1993), complementa afirmando que o Cadastro Técnico Multifinalitário é uma área de pesquisa interdisciplinar que abrange conhecimentos desde as medidas cartográficas até o nível de cada imóvel. O autor relata ainda que inclui a legislação que rege a ocupação do solo, bem como uma análise criteriosa da melhor forma de ocupação do espaço para obter um desenvolvimento racional da área.

Portanto, percebe-se que um Cadastro Técnico será verdadeiramente multifinalitário se o conjunto de medidas disponível for suficiente para atender às necessidades de vários usuários (Blachut, 1974). Assim, é necessário promover mais pesquisas sobre temas cadastrais a fim de aplicar inovações tecnológicas que beneficiem um cadastro eficiente e aplicável (Reginato *et al.*, 2022). Os CTM são a base para a concretização das "cidades inteligentes".

3.8.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto desempenha um papel crucial na monitorização dos oceanos, possibilitando a coleta de dados em larga escala e em diversos parâmetros (Silva; Magnoni; Manzione, 2021). Essa técnica é utilizada para obter informações sobre objetos, fenômenos ou áreas, localizados na terra, sem a necessidade de contato direto com eles (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2023). A coleta de dados é realizada por meio da detecção e análise da radiação eletromagnética emitida ou refletida pelos alvos em estudo (Da Silva; Cruz, 2018).

Existem dois tipos principais de sensores empregados: sensores passivos e sensores ativos (Gaida *et al.*, 2020). Os sensores passivos captam a radiação eletromagnética natural, como a luz solar, enquanto os sensores ativos emitem seu próprio sinal, como no caso dos radares (Naue *et al.*, 2011; Nunes; Uagoda, 2020).

As informações coletadas são convertidas em imagens e, as imagens obtidas por sensores ópticos, presentes em satélites, são amplamente utilizadas para monitorar a distribuição e a variabilidade temporal dos parâmetros de qualidade da água costeira (Oliveira *et al.*, 2017). Além das imagens de satélite, sensores de radar são empregados para mapear a circulação costeira e a dispersão de poluentes (Almeida Filho; Aleixo, 2023). Estes sensores permitem a detecção de correntes e padrões de movimento na superfície do oceano, auxiliando na compreensão da dinâmica costeira e na identificação de áreas impactadas por poluentes.

O sensoriamento remoto também desempenha um papel fundamental no estudo da proliferação de algas nocivas e da ocorrência de marés vermelhas. Através da detecção de mudanças na composição química da água e na distribuição de Chl-a, é possível identificar áreas propícias ao desenvolvimento desses eventos prejudiciais (Sobral *et al.*, 2017). Isso possibilita uma resposta rápida e eficaz para mitigar seus impactos na saúde humana e nos ecossistemas costeiros.

No entanto, é importante reconhecer os desafios e limitações do sensoriamento remoto na qualidade da água oceânica costeira. Os sensores remotos possuem limitações técnicas, como resoluções espaciais e temporais, que podem afetar a precisão dos dados coletados (Souza *et al.*, 2007). Uma das maneiras de superar esses desafios é por meio da validação dos dados obtidos (Oliveira *et al.*, 2017). Isso envolve a comparação e validação dos resultados com medições *in situ* e amostragens de água realizadas diretamente no local (Rebouças *et al.*, 2023).

No que diz respeito aos avanços recentes e tendências futuras, o campo do sensoriamento remoto aplicado à qualidade da água oceânica costeira está em constante evolução. Avanços tecnológicos têm impulsionado a criação de novos sensores e plataformas de coleta de dados, como constelações de satélites, veículos autônomos e drones (Nishwaki *et al.*, 2023). Essas tecnologias oferecem maior resolução espacial, frequência de observação e capacidade de monitoramento em tempo real, auxiliando assim na tomada de decisões para a gestão costeira e a conservação dos ecossistemas oceânicos (Rebouças *et al.*, 2023).

3.9 MUNICÍPIO DE RIO GRANDE/RS

O município de Rio Grande, localizado no extremo sul do Brasil, entre as latitudes de 31°46'11" S e 32°38'36" S e as longitudes de 52°41'40" W e 52°3'46" W, no Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), abrange uma área total de 2.709,522 km². Essa região possui um clima Subtropical Úmido e uma topografia predominantemente plana, fazendo parte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. A localidade está em uma posição de interface entre o ambiente marinho do Oceano Atlântico e o ambiente lacustre da Lagoa dos Patos.

Esta cidade desempenha um papel econômico significativo, baseado em diferentes setores. A pesca, por exemplo, configura um papel importante na economia local. Além disso, tem-se a agropecuária, que é uma atividade relevante, abrangendo a criação de bovinos, ovinos e aves. Na agricultura, destacam-se o cultivo de arroz, cebola e alho. O município também abriga o Porto de Rio Grande, que é um dos maiores portos do Brasil, responsável pelo escoamento de *commodities* agrícolas e minerais, bem como, pelas atividades relacionadas ao comércio exterior. Destaca-se ainda que, indústrias de fertilizantes estão instaladas na região, contribuindo para a atividade industrial local.

No entanto, é importante destacar que as atividades desenvolvidas no município do Rio Grande podem ter impactos negativos e significativos sobre a saúde ambiental das áreas circunvizinhas. Pois a intensificação da atividade humana, como a expansão urbana, a agropecuária intensiva e a atividade industrial, pode resultar em problemas ambientais, como a poluição dos recursos hídricos e a degradação dos ecossistemas costeiros.

Nesse contexto, o Balneário Cassino, localizado no município de Rio Grande, sofre influências do entorno, relacionadas à poluição das águas costeiras oceânicas. A poluição proveniente de fontes terrestres, como esgotos domésticos e industriais, lançamentos de resíduos sólidos, além da erosão e do assoreamento de rios e canais, afeta diretamente a qualidade dessas águas costeiras e, conseqüentemente, a saúde dos ecossistemas marinhos e dos balneários.

Portanto, é fundamental realizar estudos e ações que visem mitigar a poluição e preservar a qualidade ambiental do Balneário Cassino, levando em consideração tanto os fatores naturais quanto as atividades antropogênicas que afetam essa região. Para isso, é preciso buscar constantemente o equilíbrio entre as atividades

econômicas e a proteção ambiental, visando garantir a preservação dos recursos naturais e a qualidade de vida das comunidades locais, bem como a manutenção da beleza e integridade do Balneário Cassino.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Neiliane Maria *et al.* A saúde ambiental e a sua influência na qualidade de vida: uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 33093-33105, 2020.

ALMEIDA FILHO, Luciomar; ALEIXO, Natacha Cintia Regina. As Tendências climáticas e ilhas de calor urbanas no Brasil: revisão da literatura. **Revista geonorte**, v. 14, n. 43, 2023.

BLACHUT, Theodor *et al.* Cadastre: Various function characteristics, techniques and the planning of land records systems. Canada: **National Council Canada**, 1974. 157p.

BRANDÃO, Paulo Ricardo Gomes *et al.* Sistema de escoamento pluvial urbano: problemas causados por mau. **Revista Científica Online ISSN**, v. 15, n. 1, p. 2023.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução. Nº 001, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, [Brasília]: CONAMA, 23 jan. 1986.

BRASIL. COMISSÃO INTERNACIONAL PARA OS RECURSOS DO MAR (CIRM). **Resolução nº 005, de 3 de dezembro de 1997**. Aprova o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (PNGC II). [Brasília]: CIRM, 1997.

ÇADRAKU, Hazir. Analyzing of Morphometric Parameters and Designing of Thematic Maps Using Raster Geoprocessing Tool. **Civil Engineering Journal**, v. 8, n. 9, p. 1835-1845, 1 set. 2022. Ital Publication.

CALDEIRA, Luiz Antônio Cardoso; LIMA, Diogo Pedreira. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. **Engineering Sciences**, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2020.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu. Introdução ao Geoprocessamento. *In*: CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMPOS, Maria Lúcia A. M.; JARDIM, Wilson. F. Aspectos relevantes da biogeoquímica da hidrosfera. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. v. 1, n. 5, p. 65-75, 2003.

CAVALCANTI, Livia Brandao Mota. Indicadores globais para efetivação local do direito fundamental à cidade sustentável em zonas costeiras. **Atuação: Revista Jurídica do Ministério Público Catarinense**, v. 17, n. 36, p. 272-289, 2022.

CONCEIÇÃO, Thaís Ferreira da; CIROLINI, Angélica; BRUCH, Alexandre Felipe. Expansão urbana no Balneário Cassino, Rio Grande (RS): um estudo de caso no loteamento Orto e sub-bairro Querência. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 2, p. 741-757. 2020.

CORDEIRO, Carla Priscilla. B. Santos *et al.* Direitos fundamentais laborais e da seguridade social: uma revisão teórica. **Revista Eletrônica Direito e Conhecimento**, v. 1, n. 7, 2023.

CORDEIRO, Fabiano Nogueira; LUNA, Mônica M.M; DE CASTRO JUNIOR, Osvaldo Agripino. As diferentes perspectivas de análise da relação porto-cidade: uma revisão da literatura. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**, v. 13, p. 24-48, 2020.

COUTINHO, Sonia Maria Viggiani *et al.* Adaptação às mudanças climáticas no Brasil: complexidade, incertezas e estratégias existentes. **Revista Clima Com Coexistências e Co criações**, v. 8, n. 20, p. 1-22, 2021.

COSTA, Anderson Barbosa *et al.* Dinâmica Costeira e Formação de Spit na Praia do Porto, Município de Itarema, Estado do-Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1610-1628, 2020.

CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 9. CRAVEIRO, Marina Vendl *et al.*, 2012, Belém, PA. CRAVEIRO **Anais**. Ferramentas Computacionais para geoprocessamento em projetos de engenharia, arquitetura e urbanismo, 2012, 9 p.

CRAVO, Cristiane da Fonseca; CERQUEIRA, Lucas Santos. Governança ambiental no âmbito local: análise de gestão de conflitos socioambientais em Rio Grande-RS. **RDE-Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. 52, 2023.

CRUZ, Arthur Henrique Antunes *et al.* **Análise das Alterações Ambientais do Delta do Rio Tubarão**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

CUNHA, Sandra Baptista; GUERRA, Antônio José Teixeira. Degradação Ambiental. *In:* GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (Orgs.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

DA SILVA, Diego Vicente Sperle; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. Tipologias de Caatinga: Uma Revisão em Apoio a Mapeamentos Através de Sensoriamento Remoto Orbital e GEOBIA. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 113-120, 2018.

DA SILVA PINTO, Eliane *et al.* Análise da Ocorrência de Casos de Doenças Diarreicas Agudas (DDA) no município de Tucuruí. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, p. 1-9, 2022.

DAUD, Samira dos Santos; TRINDADE, Jhonny Vieira da. Desafios e perspectivas para a efetivação da proteção jurídica ao meio ambiente na zona costeira brasileira. **Revista Geonordeste**, [S.L.], n. 1, p. 162-179, 5 jul. 2019.

DE JESUS, Alda Resende Pereira Borges; BAIARDI, Amilcar. Vulnerabilidade costeira ambiental frente às intervenções de interesses econômico e social: o caso da Baía de Todos os Santos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. 1-14, 2022.

DE LIMA, Maria Cristina Alves *et al.* Análise da ocupação desordenada no alto da Macaíba em Jaboatão dos Guararapes/PE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e28101724352-e28101724352, 2021.

DIAS, Renata Saviato; MENEGHATTI, Marcelo Roger. Estruturação técnico-participativa para elaboração de planos municipais de saneamento básico. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 140-154, 2019.

DOS SANTOS, Emilio Luis Silva; STROHAECKER, Tânia Marques. Processos e práticas sócio-espaciais no loteamento Santa Terezinha em Porto Alegre/RS. **Para Onde!?**, v. 13, n. 1, p. 111-131, 2020.

EDELMAN, David J. Managing the Urban Environment of Casablanca, Morocco. **Current Urban Studies**, v. 11, n. 1, p. 96-119, 2023.

ERBA, Diego Alfonso; OLIVEIRA, Fabrício Leal de; LIMA JUNIOR, Pedro de Novaes (Orgs.). **Cadastro Multifinalitário como instrumento da política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro: Ministério das Cidades, 2005.

ESLAMIRAD, Nasim *et al.* Geoprocess of geospatial urban data in Tallinn, Estonia. *Data in Brief*, v. 48, p. 109172, 2023.

FIERZ, Marisa de Souto Matos. **As abordagens sistêmica e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuições à geomorfologia das planícies costeiras**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física do Departamento de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

FREITAS, André de. **Ecologia da paisagem e planejamento urbano: estudo de caso da área de expansão urbana de Itanhaém**. 2014. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinhos) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas Costeiros e Marinhos, Ecologia, Universidade Santa Cecília, Santos, 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. Ministério da Saúde. Política e plano municipal de saneamento básico. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2018.

FURQUIM, Leonnardo Cruvinel *et al.* Qualidade física, química e biológica do solo e sensoriamento remoto na recuperação de pastagens degradadas através de sistemas integrados. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 5, n. 3, p. 145-160, 2018.

GAIDA, William *et al.* Correção atmosférica em sensoriamento remoto: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 229-248, 2020.

GARRISON, Tom. **Fundamentos de oceanografia**. 1942. São Paulo: Cengage Learning.

GUEDES, André Luis Azevedo *et al.* (Orgs.). O Planejamento Urbano Rumo à Cidade Inteligente. *In*: GUEDES, André Luis Azevedo *et al.* **Smart Cities. Cidades inteligentes nas dimensões: planejamento, governança, mobilidade, educação e saúde**. 2020.

GUERRA, Antônio José Teixeira.; CUNHA, Sandra Baptista (Orgs.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. São Paulo: Bertrand Brasil, 2001.

HELLER, Léo.; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, v. 1 e 2, 2010.

International Research and Training Centre on Urban Drainage (IRTCUD) - **International Workshop on Non-Structural Flood Control in Urban Areas**. documento de apresentação de evento organizado para o Programa Hidrológico Internacional da UNESCO - Fase V, através do Centro Regional para Climas Tropicais - São Paulo, SP, 1997.

JOSE, Dinu Maria *et al.* Assessment of coastal water quality along south west coast of India using multile regression analysis on satellite data. **Journal of Rural Development**, v. 37, n. 2, p. 269-284, 2018.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. KAWAKUBO, Fernando *et al.* Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. 2005, Goiânia, GO, **Anais**. 8 p.

LOCH, Carlos. Cadastro técnico rural multifinalitário, a base à organização espacial do uso da terra a nível de propriedade rural. Tese (Concurso de professor titular - Edital 502/DP/92) - UFSC, Florianópolis, 1993.

LOPES, Fernando Bezerra *et al.* Modelagem da concentração de clorofila-a em um ecossistema aquático continental do seminário baseada em sensoriamento remoto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 52, n. 2, p. 1-12, 2021.

MAGALHÃES, Marcela de Almeida Souza; MORAES, Luiz Roberto Santos. Planejamento urbano e saneamento básico: análise sobre a implementação das diretrizes de saneamento básico estabelecidas no PDDU 2016 De Salvador. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 48-61, 2022.

MARTINEZ ABREU, Judit *et al.* Salud ambiental, evolución histórica conceptual y principales áreas básicas. **Revista Cubana de Salud Pública**, v. 40, n. 4, p. 403-411, 2014.

MEDEIROS, Katharine Taveira de Brito; LUCENA, Mycarla Míria Araújo de. Gestão dos recursos hídricos: uma revisão sob a perspectiva dos objetivos do desenvolvimento sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 12, n. 1, p. e12549, 2023.

MEDEIROS, Rodrigo Pereira; SERAFINI, Thiago Zagonel; MCCONNEY, Patrick. Fortalecendo o ecosystem stewardship na pesca artesanal: perspectivas para a américa latina e caribe. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 32, p. 1-11, 18 dez. 2014. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v32i0.38819>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Geo Brasil 2002. Perspectivas do meio ambiente no Brasil. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

MORAES, Antônio Carlos Robert. **Os impactos da política urbana sobre a zona costeira**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1995.

NAUE, Carine Rosa *et al.* Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão (Remote Sensing as a Toll for the Study of Plant Diseases on Agriculture: a Revision). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 3, p. 190-195, 2011.

NICÁCIO, Jéssica; PEREIRA JUNIOR, Antonio. Saneamento básico, meio ambiente e a saúde pública em Açailândia-MA. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 123-136, 2019.

NICOLODI, João Luiz. Planejamento territorial na Zona Costeira e Marinha do Brasil. **Planejamento Territorial V 2: reflexões críticas e práticas alternativas**, 2021.

NISHIWAKI, Adriana Aparecida Megumi *et al.* Uso do LiDAR na Estimativa de Atributos Florestais: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 01, p. 505-527, 2023.

NUNES, José Gustavo da Silva; UAGODA, Rogério. Análise da eficiência dos métodos indiretos para o mapeamento de solos frente às técnicas diretas, e suas possíveis associações: Uma revisão metodológica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 02, p. 487-509, 2020.

OLIVEIRA, Gabriel de *et al.* Dados de sensoriamento remoto para o estudo das interações biosfera-atmosfera em ecossistemas amazônicos: uma revisão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, p. 1189-1210, 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. FUNDO INTERNACIONAL DE EMERGÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA INFÂNCIA (OMS/UNICEF). **Progress on Drinking Water and Sanitation** - 2014 update. Disponível em: < www.who.int/water_sanitation_health/publications/2014/jmp-report/en/> Acesso em 10 out. 2021.

PEREIRA, Jefferson Breno Lomenha *et al.* Análise das causas e soluções para administração de inundações urbanas na região da praça da Bandeira/RJ. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 15, p. 29-48, 2020.

PINHO, Thays Regina Rodrigues; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia; DE OLIVEIRA SANTOS, Jader. Turismo e sustentabilidade em comunidades costeiras: reflexões sobre mudanças socioambientais em Jericoacoara (CE) e Barreirinhas (MA). **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 12, n. 4, 2019.

PINTON, L. G; CUNHA, C. M. L. 2014. Avaliação das mudanças na morfologia de canais fluviais em sub-bacia do Córrego do Cavalheiro - Analândia (SP). **Revista Geonorte**, v.10, n.1, 59-63p.

PIVOTO, Altair Sancho *et al.* Serviços Ecossistêmicos Culturais em Áreas Protegidas: uma revisão da literatura. **Cultura - Revista de Cultura e Turismo**, v. 16, n. 1, p. 1-31, 30 mar. 2022. Universidade Estadual de Santa Cruz.

RIO GRANDE. **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PMSB)**. Município de Rio Grande-RS, 2014. Disponível em: [https://www.riogrande.rs.gov.br/planosaneamento/arquivos/home/\(1\)_Relatorio_de_apresentacao_do_PMSB_RG.pdf](https://www.riogrande.rs.gov.br/planosaneamento/arquivos/home/(1)_Relatorio_de_apresentacao_do_PMSB_RG.pdf), 2014. Acesso em: 10 out. 2021.

RAIOL, Lucas Lima *et al.* Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Caripi, Zona Costeira Amazônica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2354-2370, 2022.

RATCLIFFE, D. A. Criteria for the selection of nature reserves. **Advancement of Sciences**, 27. 1971. p. 294-296.

REBOUÇAS, Iago Silva *et al.* Depósitos Cromitíferos do Vale Jacurici: Uma Revisão Bibliográfica: Chromitiferous Deposits of the Jacurici Valley: A Bibliographic Review. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 9, n. 1, 2023.

REGINATO, Vivian *et al.* Cadastro territorial multifinalitário e suas facetas: o estado da arte no terceiro milênio. **Concilium**, v. 22, n. 6, p. 900-912, 2022.

RIBEIRO, Karoline Veloso; ALBUQUERQUE, Emanuel Lindemberg Silva. Caracterização do uso da terra no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Ceará) através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 3, p. 650-665, 2017.

RIO GRANDE. Prefeitura do Rio Grande. **Ciência e preservação viram atrações no Cassino**. 2023. Disponível em: <https://www.riogrande.rs.gov.br/pagina/ciencia-e-preservacao-viram-atracoes-no-cassino/>. Acesso em: 16 jun. 2023.

ROCHA, César Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. 2. ed. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2002. 220p.

RODRIGUES, Jean Carlos. **Engenharia de materiais e meio ambiente: reciclagem, sustentabilidade, novos processos e desafios 2**. AYA Editora, 2022.

RUIZ, Melgris Jose Becerra *et al.* Conhecimentos e técnicas tradicionais na exploração de recursos dos manguezais da zona costeira da Amazônia. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 81, p. 265-276, 2021.

SANTOS, Raylla Caroline Nova de Oliveira. **Análise do potencial de erodibilidade do solo de Anápolis-GO através da fragilidade ambiental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil da Mobilidade) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Anápolis, Anápolis, 2022.

SANTOS, Alexandre Rosa dos; LOUZADA, Franciane L.R. de Oliveira; EUGENIO, Fernando Coelho. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184 p.

SCHWANTZ, Daniele; FEITOSA, José Ricardo Teles. Os procedimentos de geoprocessamento aplicado ao planejamento da gestão pública. **Revista FAROL**, v. 17, n. 17, p. 140-157, 2022.

SCHWARZ, W. **Estudo da expansão urbana como subsídio a análise ambiental aplicado a cidade de Pato Branco-PR**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SERPA, C. G. **Estudo da influência dos fatores climáticos e hidrológicos no ciclo morfodinâmico praias de um sangradouro intermitente, Praia do Cassino, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio Grande Escola de Engenharia Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica. 2008.

SERRA, Janilci Silva; FARIAS FILHO, Marcelino Silva. Expansão urbana e impactos ambientais na zona costeira norte do município de São Luís (MA). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 1, p. 7-24, 21 mar. 2019.

SFREDO, Giuliana Andréia; TAGLIANI, Carlos Roney Armanini. Análise das modificações ambientais decorrentes da ocupação urbana em Rio Grande, RS, entre 1947 e 2014, por meio de um Sistema de Informações Geográficas. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 38, n. 1, p. 1-18, 31 ago. 2016.

SILVA, Vanessa Cecília Benavides; MACHADO, Patrícia de Sá. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia**, v. 31, nº 2, p. 66 – 87, 2014.

SILVA, César de Oliveira Ferreira; MAGNONI, Pedro Henrique Jandreice; MANZIONE, Rodrigo Lilla. Sensoriamento remoto orbital para modelagem da evapotranspiração: síntese teórica e aplicações em computação na nuvem. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 3, p. 425-468, 2021.

SILVA, Hileane Barbosa; DA SILVA, Carlos Ernando. Qualidade da água de um parque urbano em Teresina, PI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2371-2387, 2020.

SILVA, Marcus H. Martins e; SILVA, Fernando L. Characterization of geospatial, morphometric, and environmental dynamics of the mariana microbasin in alta Floresta-MT, Brazil. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 1-12, fev. 2022.

SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa da *et al.* Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE. **Journal Of Environmental Analysis And Progress**, v. 5, n. 3, p. 302-318, 28 ago. 2020

SOBRAL, Maria do Carmo *et al.* Geotecnologias na gestão de reservatórios: uma revisão e uma proposta de integração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 841-852, 2017.

SOUZA, Celso Coelho de *et al.* Técnicas de sensoriamento remoto como subsídios aos estudos de florestas implantadas no Brasil-Uma revisão bibliográfica. **Ciência Florestal**, v. 17, p. 409-417, 2007.

SOUZA, Sírius Oliveira. **Vulnerabilidade ambiental da planície costeira de Caravelas (Bahia):** uma proposta geossistêmica. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013

SOUZA, Sahra Fabyelly Nascimento de. **Análise da vulnerabilidade ambiental na Zona Costeira do município de Galinhos-Rio Grande do Norte.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022

SPÖRL, Christiane. **Metodologia para a Elaboração de Modelos de Fragilidade Ambiental Utilizando Redes Neurais.** Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 8, n., p. 39-49, 2004

STROHAECKER, Tânia Marques; ZAMBONI, Ademilson; NICOLODI, João Luiz. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil.** 2008.

TRETIN, G.; FREITAS, M. I. C.; A modelagem dinâmica espacial na proposição de cenários: estudo da expansão urbano-industrial de Americana/SP. *In: Geografia plural: única e múltipla.* PITTON, Sandra Elisa Contri; Antonio Filho Fadel Dawid (Orgs). Rio Claro/SP: IGCE/UNESP, 2009.

VALOTA, Ed Carlos dos Santos; COSTA, Sandra Maria Fonseca da; SOUZA, Adriane Aparecida Moreira de. O processo de ocupação em ambiente de várzea

urbana de uma pequena cidade do estuário amazônico: ponta de pedras-pa. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 26, p. 1-24, 15 out. 2022.

VANIN, Fábio Scopel; RECK, Janriê Rodrigues. Observação do direito e das cidades inteligentes: contribuições para formação de diretrizes jurídicas para políticas públicas no Brasil. **Prisma Juridico**, v. 20, n. 1, p. 57-80, 2021.

VAREJÃO, Mônica Coelho; SERRA, Eduardo Gonçalves. Proposta de seleção de um sistema de indicadores para avaliação dos impactos ambientais da mobilidade urbana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 95126-95145, 2020.

WANG, Yuxin *et al.* Automatic detection of suspected sewage discharge from coastal outfalls based on Sentinel-2 imagery. **Science of The Total Environment**, v. 853, p. 158374, 2022.

YU, Yan *et al.* A Semi-Empirical Chlorophyll-a Retrieval Algorithm Considering the Effects of Sun Glint, Bottom Reflectance, and Non-Algal Particles in the Optically Shallow Water Zones of Sanya Bay Using SPOT6 Data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2765, 2020.

ZEZZO, Larissa Vieira *et al.* Doenças infecciosas no contexto das mudanças climáticas e da vulnerabilidade socioambiental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, n. 1, p. 1-12, 8 jun. 2021.

4 INTRODUÇÃO DOS CAPÍTULOS

O presente trabalho aborda os impactos ambientais nos canais de drenagem urbana no Balneário Cassino, utilizando como principais ferramentas de análise o sensoriamento remoto em conjunto com a estatística multivariada para avaliação da qualidade da água. Os resultados estão sendo divididos em dois capítulos distintos, onde busca-se compreender e avaliar diferentes aspectos relacionados à qualidade ambiental nessa região costeira.

No Capítulo 1, será realizada uma análise sistêmica, para identificar as técnicas de sensoriamento remoto somadas às técnicas estatísticas empregadas globalmente na análise da qualidade da água oceânica costeira. Através da revisão sistemática, objetiva-se responder à seguinte hipótese: "Há estudos que relatam que técnica estatística e eficaz são utilizadas para quantificar as relações estatísticas, entre os valores das bandas espectrais e as concentrações de Chl-a". Essa análise será fundamental para compreender as abordagens utilizadas atualmente e explorar a viabilidade de utilizar uma das técnicas encontradas na avaliação da qualidade da água oceânica costeira.

No Capítulo 2, será realizada uma avaliação do uso e ocupação da terra no entorno das redes de canais de drenagem urbana do Balneário Cassino, através do mapeamento da área que constitui essa rede, onde serão identificados os pontos sensíveis de chegada de poluentes na rede de drenagem e as áreas de maior vulnerabilidade à ação antrópica. As seguintes hipóteses serão abordadas neste capítulo: 1) Uso, ocupação e cobertura da terra, nas áreas próximas aos canais de drenagem urbana, serão um fator determinante para a presença de poluentes, como a *E. coli* e a proliferação de fitoplâncton a partir do desequilíbrio dos nutrientes do corpo d'água; 2) A análise espacial, baseada em sensoriamento remoto e estatística multivariada, levantará questionamentos relevantes para o desenvolvimento de políticas de gestão ambiental que promovam a conservação do ambiente no Balneário Cassino, assim como auxiliam na implementação de estratégias de manejo sustentável dos canais de drenagem urbana e na redução da poluição.

Ao final deste estudo, espera-se obter um panorama mais detalhado dos impactos ambientais dos canais de drenagem urbana no Balneário Cassino, perante a presença intrínseca de poluentes de ação antrópica e alteração dos ciclos biogeoquímicos na região costeira.

4.1 CAPÍTULO 1

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE MÉTODOS PARA ANALISAR A QUALIDADE DA ÁGUA OCEÂNICA, UTILIZANDO SENSORIAMENTO REMOTO E MÉTODOS MATEMÁTICOS.

RESUMO: A contaminação dos mares e oceanos compromete não apenas a qualidade da água oceânica, mas também a dinâmica da vida marinha e a saúde humana. Nesse contexto, é essencial adotar métodos cada vez mais eficientes de monitoramento da qualidade da água costeira. Sendo assim, objetivou-se identificar a modelagem matemática atrelada ao sensoriamento remoto empregadas globalmente na análise da qualidade da água oceânica costeira, por meio de uma revisão sistemática. Para alcançar este objetivo foi realizada uma revisão sistemática da literatura, na qual foram selecionadas e analisadas criticamente diversos artigos científicos de alto impacto. Para essa busca, foram considerados os anos de 2018 a 2022, utilizando uma combinação de palavras-chave, tais como: "chlorophyll", "cyanobacteria", "nutrients", "algae", "sewage", "Colored Dissolved Organic Matter", "bathability", "phytoplankton", "image*", "Dissolved Organic Matter", "photosynthetic pigments", "planktons", "waste", "Solids in suspension", "Water Quality Index", "Sea" e "remote sensing". A escolha das palavras-chave em questão se baseia na temática abordada neste artigo bem como nos tópicos de alto impacto utilizados recentemente para abordagem e estudo desse ambiente. Os resultados obtidos consistiram em 12 artigos científicos provenientes de diferentes partes do mundo. Ao analisar esses documentos, observou-se que foram empregadas metodologias diversas para analisar as condições da água por meio das técnicas de sensoriamento remoto e matemáticas. Além disso, os parâmetros de mensuração utilizados para o levantamento de dados relativos à qualidade da água também apresentaram variações, assim como os sensores empregados. No entanto, é importante destacar que o estudo mais inovador encontrado nesta revisão combinou técnicas de sensoriamento remoto com aprendizado de máquinas. Sendo assim, foi possível concluir que estes trabalhos oferecem contribuições significativas para o monitoramento da qualidade da água oceânica, uma vez que, as técnicas e metodologias, aqui apresentadas, são essenciais para o entendimento dos

processos oceânicos, a proteção da vida marinha e a tomada de decisões adequadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Ambiente costeiro; Métodos matemáticos; Qualidade da água oceânica; Monitoramento de recursos hídricos; Sensoriamento remoto; Clorofila-a; Parâmetros bio-ópticos.

A SYSTEMATIC REVIEW OF METHODS FOR ANALYZING OCEAN WATER QUALITY USING REMOTE SENSING AND MATHEMATICAL METHODS

ABSTRACT: Contamination of the seas and oceans compromises not only the quality of ocean water, but also the dynamics of marine life and human health. In this context, it is essential to adopt increasingly efficient methods of monitoring coastal water quality. Therefore, the objective was to identify mathematical modeling linked to remote sensing used globally in the analysis of coastal ocean water quality, through a systematic review. To achieve this objective, a systematic literature review was carried out, in which several high-impact scientific articles were selected and critically analyzed. For this search, the years 2018 to 2022 were considered, using a combination of keywords, such as: "chlorophyll", "cyanobacteria", "nutrients", "algae", "sewage", "Colored Dissolved Organic Matter", "bathability", "phytoplankton", "image*", "Dissolved Organic Matter", "photosynthetic pigments", "planktons", "waste", "Solids in suspension", "Water Quality Index", "Sea" and "remote sensing". The choice of keywords in question is based on the theme covered in this article as well as on high-impact topics recently used to approach and study this environment. The results obtained consisted of 12 scientific articles from different parts of the world. When analyzing these documents, it was observed that different methodologies were used to analyze water conditions through remote sensing and mathematical techniques. Furthermore, the measurement parameters used to collect data relating to water quality also varied, as did the sensors used. However, it is important to highlight that the most innovative study found in this review combined remote sensing techniques with machine learning. Therefore, it was possible to conclude that these works offer significant contributions to the monitoring of ocean water quality, since the techniques and methodologies presented here are essential for understanding oceanic processes, protecting marine life and taking appropriate decisions for the sustainable management of water resources.

Keywords: Coastal environment; Mathematical methods; Ocean water quality; Water resources monitoring; Remote sensing; Chlorophyll-a; Bio-optical parameters.

4.1.1 Introdução

A qualidade da água oceânica costeira é um desafio complexo de se monitorar, devido à sua extensão geográfica e à dinâmica das condições oceânicas (Moura, 2011). A compreensão da saúde e da qualidade desses ecossistemas é essencial para garantir a preservação dos recursos marinhos e o bem-estar das comunidades costeiras (Barbosa, 2022). Para o conhecimento das condições desses ambientes está sendo usado o sensoriamento remoto, pelo fato dessa ferramenta possuir a capacidade de obter dados para análises em áreas de grande abrangência. Nesse contexto, a revisão sistemática desempenha um papel fundamental, pois permite uma análise ampla e crítica dos métodos e técnicas estatísticas e de sensoriamento remoto que estão sendo empregados globalmente na avaliação da qualidade da água oceânica costeira (Donato; Donato, 2019).

Sendo assim, ao realizar uma revisão sistemática, é possível identificar as principais abordagens utilizadas no sensoriamento remoto costeiro, como o uso de satélites e aeronaves equipadas com sensores para obter dados sobre a temperatura da água, a salinidade, a turbidez, a concentração de nutrientes, a presença de organismos marinhos e outros parâmetros relevantes. Além disso, a revisão também permite avaliar a precisão e a confiabilidade desses métodos, identificando suas limitações e desafios (Galvão; Ricarte, 2019).

No entanto, é importante destacar que o sensoriamento remoto, por si só, não é suficiente para obter uma visão completa e precisa da qualidade da água oceânica costeira (Matias; Imperador, 2022). A integração de dados de sensoriamento remoto com outras fontes de informação, como medições *in situ* e técnicas de análise estatística, é essencial para fornecer uma compreensão mais detalhada e abrangente dos ecossistemas costeiros. Essa combinação de diferentes tipos de dados permite compensar as limitações de cada método, fornecendo informações mais confiáveis e robustas por meio de interpretações mais precisas de determinada quantidade de dados.

Essas informações são fundamentais para tomar decisões informadas sobre a gestão e a conservação dos recursos marinhos (Toledo, 2008). Um exemplo é a detecção de áreas com altos níveis de poluição ou eutrofização, que podem levar à implementação de medidas de controle da poluição e à promoção de práticas sustentáveis para minimizar os impactos negativos sobre os ecossistemas costeiros

(Vikas; Dwarkish, 2015). Ademais, as informações obtidas por meio do sensoriamento remoto e da integração de dados podem fornecer *insights* valiosos para a elaboração de políticas e a implementação de ações efetivas de conservação (Fries; Zago; Cunha, 2019). Com base nessas informações, é possível desenvolver estratégias de manejo sustentável, como a criação de áreas protegidas, a regulamentação da pesca e a promoção de práticas agrícolas responsáveis (Artaxo, 2022).

Frente ao exposto este capítulo objetiva identificar as técnicas matemáticas atreladas ao sensoriamento remoto, empregadas globalmente na análise da qualidade da água oceânica costeira, por meio de uma revisão sistemática.

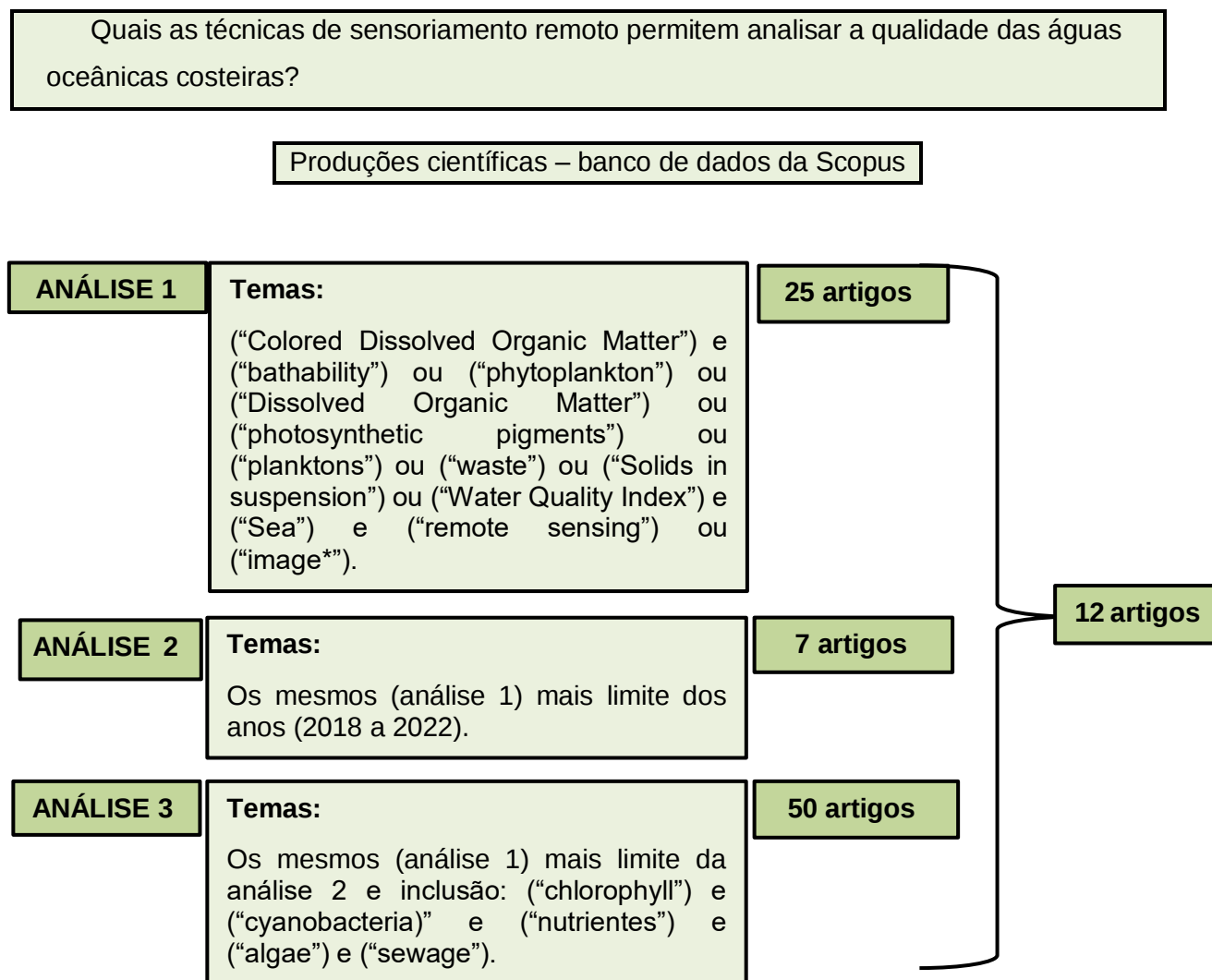
4.1.2 Metodologia

Para elaboração deste trabalho foi realizada uma revisão sistemática de literatura, uma seleção e análise crítica de uma variedade de fontes bibliográficas relevantes, pautada na busca *online* em bases de informações para conhecer algumas metodologias que estão sendo estudadas nos últimos anos para analisar a qualidade das águas oceânicas costeiras, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Essa foi a primeira etapa na qual se formulou uma pergunta de pesquisa clara e específica que orientou a revisão. A pergunta “Quais as técnicas de sensoriamento remoto acopladas à modelagem matemática permitem analisar a qualidade das águas oceânicas costeiras de forma mais eficiente?”, orientou objetivos claros e permitiu identificar os principais tópicos e aspectos que serão abordados.

O embasamento dos referenciais teóricos relativos ao tema supracitado foi adquirido por meio de produções científicas contidas no banco de dados da *Scopus*, que é uma plataforma referencial multidisciplinar que mais indexa conteúdos de literatura científica e acadêmica revisada por pares.

Primeiramente, buscou-se definir critérios de inclusão e exclusão para selecionar os estudos relevantes na plataforma por descritores na língua inglesa, relacionados ao tema do estudo. A Figura 1 apresenta o fluxograma obtido a partir deste levantamento realizado, em que se pode observar que por meio de três análises diferentes foram separados, por fim, 12 artigos mais relevantes para o presente artigo.

Figura 1 — Fluxograma de palavras-chave para busca e seleção de artigos



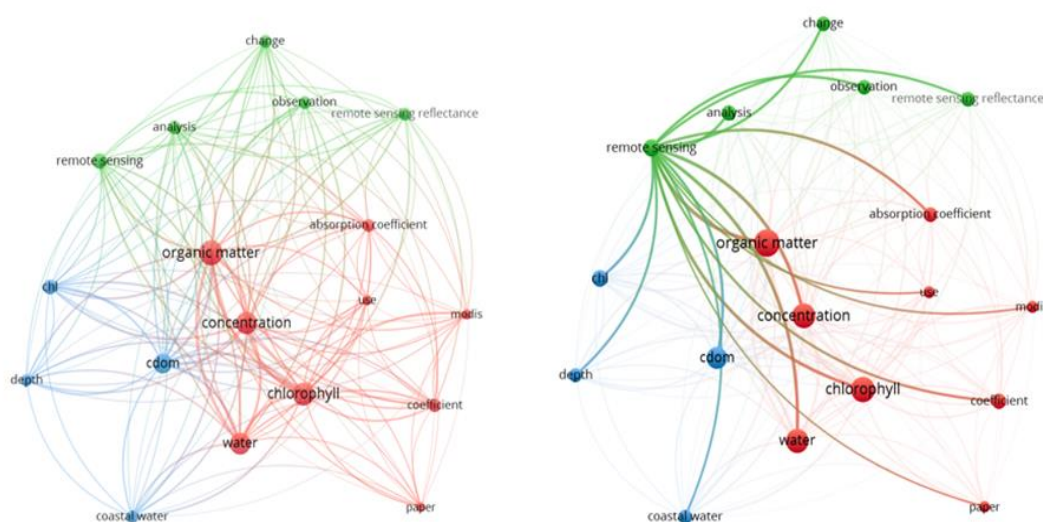
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Com base nos critérios de inclusão, os estudos identificados na busca foram avaliados e selecionados. A identificação de estudos relevantes para revisão de literatura encontrou obstáculos, notadamente devido à prevalência de investigações que se concentram nos parâmetros da qualidade da água em corpos d'água superficiais, tais como lagos, rios, reservatórios e corpos d'água temporários, empregando técnicas de sensoriamento remoto. Torna-se imprescindível destacar que as características singulares das águas oceânicas introduzem consideráveis divergências. Apesar da semelhança entre os parâmetros de qualidade da água no mar e em águas rasas, muitos desses parâmetros previamente estudados em contextos de águas rasas, mediante a aplicação do sensoriamento remoto, carecem de relevância em ambientes oceânicos. Diante desse contexto, os artigos que

abordavam estudos de caso em águas rasas foram deliberadamente excluídos da base de dados bibliográfica, alinhando-se assim à perspectiva específica desta pesquisa, centrada nas águas oceânicas. Outro desafio enfrentado foi a escassez de publicações na base de dados relacionadas à análise da qualidade das águas por meio do sensoriamento remoto, especialmente no que concerne à identificação de materiais de efluentes, como esgoto, associado ao parâmetro de concentração de "clorofila" em corpos d'água costeiros.

Durante a análise dos artigos, o critério fundamental de seleção consistiu na combinação dos termos "clorofila", "oceano" e "sensoriamento remoto", conforme explicitado na Figura 2. Na figura, é possível notar como o termo “sensoriamento remoto” está atrelado, em grau e quantidade, a outros tópicos de extrema relevância bem como aos de interesse.

Figura 2 — Mapas mentais resultantes das pesquisas utilizando as palavras-chave selecionadas



Fonte: Adaptado de Vosviewer (2023).

Os 12 artigos elegíveis para a revisão estão dispostos em quadros que serão apresentados nos resultados, nos quadros 1 e 2. Estes estão listados por ordem numérica, constando os dados de cada artigo como os autores, sensores, bandas, medidas, resolução espacial e os modelos (algoritmos) aplicados nos experimentos. O material foi examinado e organizado de modo a proporcionar informações pertinentes à estruturação da revisão sistêmica no quesito metodologia, na perspectiva de atingir o objetivo deste trabalho. Com base na

análise dos dados, os resultados foram sintetizados e apresentados de forma clara e objetiva, com a identificação de padrões, semelhanças e divergências entre os estudos.

4.1.3 Resultados e Discussão

Os 12 artigos consultados para a revisão desenvolveram os seus estudos em diferentes partes do globo. Seguindo a disposição numérica dos artigos nos quadros 1 e 2, os locais de aplicação dos estudos de caso foram: Kerala, Mar Árábico, no sudeste na Índia (artigo 01), aplicados nos oceanos em geral (artigos 02 e 03); Reino Unido (coleta/amostras) e França (validação/modelo) (artigo 04); Baía de Sanya – China (artigo 05); Mar de Bohai – China (artigo 06); Província de Fujian – costa sudeste da China (artigo 07); Província de Zhejiang – China (artigo 08); Voh-Lagoa Koné-Pouembout – Nova Caledônia – França (artigo 09); Estuário Long Island Sound – Leste – Nova York – EUA (artigo 10); Mar da Costa Espanhola (artigo 11); parte ocidental do Mar de Bering – Rússia (artigo 12). Essa diversidade de locais permite uma compreensão mais ampla e global das condições da água em diferentes ambientes marinhos. Observou-se que nos 12 artigos, foram usadas metodologias diferentes para analisar as condições da água através das técnicas de sensoriamento remoto. Os parâmetros de mensuração também foram distintos para o levantamento de dados.

Os estudos apresentados no quadro 1, utilizam uma variedade de sensores e bandas, bem como resoluções espaciais diferentes, para estudar a qualidade da água, a concentração de Chl-a e outros parâmetros relacionados ao oceano. Essas abordagens contribuem para o monitoramento e entendimento dos processos oceânicos, possibilitando a obtenção de informações valiosas sobre a saúde e a qualidade dos ecossistemas marinhos. Visando identificar as diferenças quanto aos sensores utilizados, algoritmos empregados no processamento de dados, os parâmetros relacionados à qualidade da água, técnicas matemáticas (quadro 2) e inovação, serão destacados cada um dos estudos supracitados. O uso de diferentes sensores e técnicas de sensoriamento remoto permitiu a obtenção de informações valiosas sobre a saúde e a qualidade dos ecossistemas marinhos, auxiliando na detecção de mudanças ao longo do tempo. Os sensores orbitais e/ou suborbitais

registram a luz refletida ou emitida pela superfície da água em diversas faixas espectrais. A análise das assinaturas espectrais destas faixas, especialmente aquelas vinculadas à absorção de Chl-a, é então conduzida para estimar a concentração desse pigmento na água. Este método de sensoriamento remoto é fundamentado na compreensão das propriedades de absorção da água e das características espectrais específicas da Chl-a, permitindo assim a detecção e quantificação indireta deste pigmento em ambientes marinhos.

A faixa de 490 nm, situada no espectro visível, demonstra sensibilidade à Chl-a presente em plantas, sendo empregada para a avaliação da saúde das vegetações. A faixa de 510 nm, localizada na região verde do espectro visível, revela sensibilidade a pigmentos encontrados tanto em plantas quanto em corpos d'água. A faixa de 560 nm, também no espectro visível, apresenta sensibilidade a variações na reflectância da vegetação. A faixa de 620 nm, na transição entre o espectro visível e o infravermelho próximo, é sensível a características como o conteúdo de água nas folhas das plantas. A faixa de 665 nm, no infravermelho próximo, é empregada para a detecção de Chl-a, servindo para avaliar a saúde das plantas. A faixa de 708,75 nm, também no infravermelho próximo, pode representar uma região sensível a características como a quantidade de Chl-a nas folhas das plantas. As faixas de 1614 nm, 2202 nm e 1100 nm, no infravermelho próximo, são caracterizadas pela absorção significativa de radiação pela água. No entanto, a Chl-a manifesta propriedades específicas de absorção e reflectância nessas regiões, permitindo sua identificação e quantificação em ambientes aquáticos por meio de sensoriamento remoto.

Quadro 1 - Artigos e dados de sensoriamento remoto relacionados

ARTIGOS		SENSOR	BANDA	MEDIDA (nm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL
01	KULK, Gemma <i>et al.</i> Primary production, an index of climate change in the ocean: satellite-based estimates over two decades. Remote Sensing , v. 12, n. 5, p. 826, 2020.	SeaWiFS MERIS MODIS VIIRS	b3 - b11	400-700	9 km
02	LE, Chengfeng <i>et al.</i> A color-index-based empirical algorithm for determining particulate organic carbon concentration in the ocean from satellite observations. Journal of Geophysical Research: Oceans , v. 123, n. 10, p. 7407-7419, 2018.	SeaWiFS MODIS/ Aqua MERIS		490, 555, 670 547, 678 560, 665	1km
03	SU, Hua <i>et al.</i> Estimating coastal chlorophyll-a concentration from time-series OLCI data based on machine learning. Remote Sensing , v. 13, n. 4, p. 576, 2021.	OLCI (no satélite Sentinel 3)	b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12	442,5 490 510 560 620 665 673,75 681,25 708,75 753,75	300m
04	MCELIECE, Ryan <i>et al.</i> Evaluation of nearshore and offshore water quality assessment using UAV multispectral imagery. Remote Sensing , v. 12, n. 14, p. 2258, 2020.	Sensores (4) em um UAV (in situ)	b1 b2 b3	400 a 700	75m
05	YU, Yan <i>et al.</i> A Semi-Empirical Chlorophyll-a Retrieval Algorithm Considering the Effects of Sun Glint, Bottom Reflectance, and Non-Algal Particles in the Optically Shallow Water Zones of Sanya Bay Using SPOT6 Data. Remote Sensing , v. 12, n. 17, p. 2765, 2020.	SPOT6	b1 b2 b3 b4	450–520; 530–590; 625–695; 760–890.	6m
06	WANG, Yuxin <i>et al.</i> Automatic detection of suspected sewage discharge from coastal outfalls based on Sentinel-2 imagery. Science of The Total Environment , v. 853, p. 158374, 2022.	Sentinel-2	b1 – b8a	443 a 865	~10m
07	WATTELEZ, Guillaume; DUPOUY, Cecile; JUILLOT, Farid. Unsupervised optical classification of the seabed color in shallow oligotrophic waters from Sentinel-2 images: a case study in the Voh-Kone-Pouembout Lagoon (New Caledonia). Remote Sensing , v. 14, n. 4, p. 836, 2022.	Sentinel 2	b2, b3 b4 b5, b6, b7, b8 b8a, b11, b12	497, 560, 664 704 740 782 835 865 1614 2202	10m 20m
08	CHENG, Yu; ZHANG, Shengjia. The Research on the Variation of Chlorophyll-a in Bohai Sea Based on MODIS Data. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental	MODIS	b1	443, 489 e 555	1km

	Science . IOP Publishing, 2021. p. 022029.				
09	TURNER, Kyle J. <i>et al.</i> Optical classification of an urbanized estuary using hyperspectral remote sensing reflectance. Optics Express , v. 30, n. 23, p. 41590-41612, 2022.	OLCI	b1-b8	400 a 800	0,5m
10	SALYUK, Pavel A. <i>et al.</i> Developing and Using Empirical Bio-Optical Algorithms in the Western Part of the Bering Sea in the Late Summer Season. Remote Sensing , v. 14, n. 22, p. 5797, 2022.	Espectror-radiômetro ASD Fieldspec HandHeld MODIS-Aqua; MODIS-Terra e VIIRS-SNPP	b1 a b7	325–1100 374 – 576	campo de visão de 10° (navio) 113
11	PARRA, Mar <i>et al.</i> Analysis of the Evolution of Sea Water Quality in the Spanish Coast from Satellite Images before and during a Confinement Period. Journal of Sensors , v. 2022, 2022.	Sentinel-2	b3 b4 b8A	740	20m
12	JOSE, Dinu Maria <i>et al.</i> Assessment of coastal water quality along south west coast of India using multile regression analysis on satellite data. Journal of Rural Development , v. 37, n. 2, p. 269-284, 2018.	MODIS de AQUA e TERRA		412 443 469 488 531 541 555 645 667 678	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Por sua vez, o quadro 2 apresenta os artigos selecionados que utilizam diferentes métodos matemáticos para a interpretação dos dados obtidos a partir da análise de parâmetros biológicos, físicos ou químicos obtidos por meio do sensoriamento remoto.

Quadro 2 - Artigos e os métodos matemáticos utilizados.

	ARTIGOS	MODELOS ALGORITMOS
01	KULK, Gemma <i>et al.</i> Primary production, an index of climate change in the ocean: satellite-based estimates over two decades. Remote Sensing , v. 12, n. 5, p. 826, 2020.	- A.1. Biomassa fitoplanctônica $B(z) = B_0 + \frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \left(\frac{(z - z_m)^2}{2\sigma^2} \right) \quad (A1)$ $\rho' = \left(\frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) / \left(\left(\frac{h}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right) + B_0 \right) \quad (A2)$ - A.2. Campo de irradiância $I(z, \lambda, \theta) = I_d(z - \Delta z, \lambda, \theta_d) e^{-K_d(z, \lambda) \Delta z} + I_d(z - \Delta z, \lambda, \theta_s) e^{-K_s(z, \lambda) \Delta z} \quad (A3)$ $K_d(z, \lambda) = [a(z, \lambda) + b_b(z, \lambda)] (\cos \theta_d)^{-1} \quad (A4)$ $K_s(z, \lambda) = [a(z, \lambda) + b_b(z, \lambda)] \langle \cos \theta_s \rangle^{-1} \quad (A5)$ $a_B(z, \lambda) = a_B^*(\lambda) B(z) \quad (A6)$ $a_B(z, \lambda) = a_p^*(\lambda) B_p^m [1 - \exp(-S_p B(z))] + a_n^*(\lambda) \{B_{p,n}^m [1 - \exp(-S_{p,n} B(z))] - B_p^m [1 - \exp(-S_p B(z))]\} + a_m^*(\lambda) \{B(z) - B_{p,n}^m [1 - \exp(-S_{p,n} B(z))]\}. \quad (A7)$ $b_b(z, \lambda) = b_{bw}(\lambda) + b_{bB}(z, \lambda) \quad (A8)$ A.3. Daily Primary Production over the Water Column $P^B(z, t) = P_m^B(z, t) \left(1 - \exp \left[\frac{-\Pi^B(z, t)}{P_m^B(z, t)} \right] \right) \quad (A9)$ $\Pi^B(z, t) = \int_{400}^{700} \alpha^B(z, t, \lambda) [I_d(z, t, \lambda, \theta_d) \sec \theta_d + 1.20 I_s(z, t, \lambda)] d\lambda \quad (A10)$
02	LE, Chengfeng <i>et al.</i> A color-index-based empirical algorithm for determining particulate organic carbon concentration in the ocean from satellite observations. Journal of Geophysical Research: Oceans , v. 123, n. 10, p. 7407-7419, 2018.	- Formulação do Algoritmo. $Cl_{POC} = R_{rs}(555) - (R_{rs}(490) + (555-490)/(670(R_{rs}(670) - R_{rs}(490)))) \quad (1)$
03	SU, Hua <i>et al.</i> Estimating coastal chlorophyll-a concentration from time-series OLCI data based on machine learning. Remote	- Variáveis de entrada do OLCI $BRI = R_{rs}(\lambda 1) / R_{rs}(\lambda 2) \quad (1)$ $NDCI = [R_{rs}(\lambda 1) - R_{rs}(\lambda 2)] / [R_{rs}(\lambda 1) + R_{rs}(\lambda 2)] \quad (2)$ $NFHI = R_{rs}(\lambda 1) / R_{rs}(\lambda 2) \quad (3)$

	Sensing , v. 13, n. 4, p. 576, 2021.	$TBI = [Rrs(\lambda_1)^{-1} - Rrs(\lambda_2)^{-1}] \times Rrs(\lambda_3) \quad (4)$
04	MCELIECE, Ryan <i>et al.</i> Evaluation of nearshore and offshore water quality assessment using UAV multispectral imagery. Remote Sensing , v. 12, n. 14, p. 2258, 2020.	- Correção de refletância da imagem. $R_D = \frac{N_D}{k * T_E * G_A * G_D} \quad (1)$ - Conversão em refletância relativa, R (em %). $R = 100 \frac{R_D}{256} \quad (2)$ - Desenvolvimento do algoritmo - índices baseados nas razões entre dois comprimentos de onda – Razão ρ_{12} (adimensional), foi desenvolvida da seguinte forma: $\rho_{12} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{aR_2 + b}{R_2} = a + \frac{b}{R_2} \quad (3)$ $\rho_{12} = x_1 + x_2 E^{-1} \quad (4)$ $\rho_{12} = x_1 + x_2 E^{-x_3} \quad (5)$ $\hat{E} = (x_2 / (\rho_{12} - x_1)) \quad (6)$ $\hat{E} = (x_2 / (\rho_{12} - x_1))^{1/x_3} \quad (7)$ $\delta_{12} = \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(a - 1)R_2}{(a + 1)R_2 + b} + \frac{b}{(a + 1)R_2 + b} \quad (8)$ $\delta_{12} = \frac{(x_1 - 1)}{(x_1 + 1)} + \frac{x_2}{(x_1 + 1)E} \quad (9)$ $\hat{E} = \left(x_2 / \left(\left(\delta_{12} - \frac{(x_1 - 1)}{(x_1 + 1)} \right) (x_1 + 1) \right) \right) \quad (10)$ $\delta_{12} = \frac{(x_1 - 1)}{(x_1 + 1)} + \frac{x_2}{(x_1 + 1)E^{x_3}} \quad (11)$ $\hat{E} = \left(x_2 / \left(\left(\delta_{12} - \frac{(x_1 - 1)}{(x_1 + 1)} \right) (x_1 + 1) \right) \right)^{1/x_3} \quad (12)$
05	YU, Yan <i>et al.</i> A Semi-Empirical Chlorophyll-a Retrieval Algorithm Considering the Effects of Sun Glint, Bottom Reflectance, and Non-Algal Particles in the Optically Shallow Water Zones of Sanya Bay Using SPOT6 Data. Remote Sensing , v. 12, n. 17, p. 2765, 2020.	$\rho_{TOA}(\lambda) = t_{gas}(\lambda)(t(\lambda) \cdot \rho_t(\lambda) + \rho_r(\lambda) + \rho_A(\lambda)) \quad (1)$ $R_{rs}(IOPs, H) = R_{ap}(SGR, wind, IOPs, H, R_b) - R_{sg}(SGR, wind) - R_{bw}(IOPs, H, R_b) \quad (2)$ $R_{bw} = \frac{t_u \cdot t_d}{n^2} \cdot R_b \cdot e^{-(k_u + k_d)H} \quad (3)$ $R_b(\theta_0^s, \varphi^s, r_b) = x_1 + x_2 \cdot \theta_0^s + (x_3 + x_4 \cdot \theta_0^s) \cdot \exp(-(x_5 + x_6 \cdot \theta_0^s) \cdot \varphi^s) \cdot r_b \quad (4)$ $\theta_0^s = \frac{1}{2} \arccos(\cos \theta_0^w \cos \theta^w + \sin \theta_0^w \sin \theta^w \cos(\varphi^s)) - D \quad (5)$ $R_{rs}(IOPs, f, Q) = \frac{t_u \cdot t_d}{n^2} \cdot \frac{f}{Q} \cdot r_{rs}(a, b_b) \cdot [1 - \exp(-(k_u + k_d) \cdot H)] \quad (6)$ $r_{rs} = \frac{R_{rs}(\lambda)}{0.52 + 1.7 R_{rs}(\lambda)} \quad (7)$

		$u(\lambda) = \frac{-g_0 + \sqrt{(g_0)^2 + 4g_1 \cdot r_{rs}(\lambda)}}{2g_1} \quad (8)$ $u_{ratio} = \frac{u(\lambda_1)}{u(\lambda_2)} = \frac{b_b(\lambda_1)}{b_b(\lambda_2)} \cdot \frac{a(\lambda_2)}{a(\lambda_1)} \quad (9)$ $a = a_w + a_{phy}^* \cdot Chl - a_{NAP}^* \cdot NAP + a_{CDOM} \quad (10.a)$ $b = b_{bw} + b_{bphy}^* \cdot Chl - a + b_{bNAP}^* \cdot NAP \quad (10.b)$ $u_{ratio} \approx \frac{a(\lambda_2)}{a(\lambda_1)} \quad (11)$ $a_{phy}(\lambda_2) = \frac{u(\lambda_1)}{u(\lambda_2)} \cdot a(\lambda_1) - [a_w(\lambda_2) + a_{NAP}(\lambda_2) + a_{CDOM}(\lambda_2)] \quad (12)$
06	WANG, Yuxin <i>et al.</i> Automatic detection of suspected sewage discharge from coastal outfalls based on Sentinel-2 imagery. Science of The Total Environment, v. 853, p. 158374, 2022.	$\rho_t(\lambda) = \rho_r(\lambda) + \rho_a(\lambda) + t\rho_w(\lambda) \quad (1)$ $\tau_r = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_r(\lambda) F_0(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_0(\lambda) S(\lambda) d\lambda} \quad (2)$ $\tau_r(\lambda) = 0.008569\lambda^{-4} (1 + 0.0113\lambda^{-2} + 0.00013\lambda^{-4}) \quad (3)$ $\rho_a(\lambda_i) = \rho_{rc}(\lambda_{SWIR2}) \times \exp[c \times (\lambda_{SWIR2} - \lambda_i)] \quad (4)$ $c = \ln \left[\frac{\rho_{rc}(\lambda_{SWIR1})}{\rho_{rc}(\lambda_{SWIR2})} \right] / (\lambda_{SWIR2} - \lambda_{SWIR1}) \quad (5)$ $nR_{rs}(\lambda) = \frac{R_{rs}(\lambda)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N R_{rs}(\lambda_i)^2}} \quad (6)$ $OCI2 = R_{rs}(490) - \left[R_{rs}(443) + \frac{490 - 443}{560 - 443} * (R_{rs}(560) - R_{rs}(443)) \right] \quad (7)$ $= R_{rs}(490) - \frac{70}{117} * R_{rs}(443) - \frac{47}{117} * R_{rs}(560)$ $OCI3 = R_{rs}(665) - \left[R_{rs}(560) + \frac{665 - 560}{705 - 560} * (R_{rs}(705) - R_{rs}(560)) \right] \quad (8)$ $= R_{rs}(665) - \frac{40}{145} * R_{rs}(560) - \frac{105}{145} * R_{rs}(705)$
07	WATTELEZ, Guillaume; DUPOUY, Cecile; JUILLOT, Farid. Unsupervised optical classification of the seabed color in shallow oligotrophic waters from Sentinel-2 images: a case study in the Voh-Kone-Pouembout Lagoon (New Caledonia). Remote Sensing, v. 14, n. 4, p. 836, 2022.	$\rho_s(\lambda) = [\rho_b(\lambda) - \rho_w(\lambda)] e^{-2K_d(\lambda)z} + \rho_w(\lambda) \quad (1)$ $\rho_b(\lambda) = [\rho_s(\lambda) - \rho_w(\lambda)] e^{2K_d(\lambda)z} + \rho_w(\lambda) \quad (2)$ $\rho_s(\lambda) \approx \rho_w(\lambda) \quad (3)$ $\mu_{ik} = \frac{1}{d_{ik}^2} \times \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{d_{ik}^2}} \quad (4)$ $CI_i = \frac{\mu_{(max2)_i}}{\mu_{max_i}} \quad (5)$

08	CHENG, Yu; ZHANG, Shengjia. The Research on the Variation of Chlorophyll-a in Bohai Sea Based on MODIS Data. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science . IOP Publishing, 2021. p. 022029.	$\log[\text{chla}] = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4 \quad (1)$ $X = \log \left[\frac{\max(R_{rs}(443), R_{rs}(489))}{R_{rs}(555)} \right] \quad (2)$
09	TURNER, Kyle J. <i>et al.</i> Optical classification of an urbanized estuary using hyperspectral remote sensing reflectance. Optics Express , v. 30, n. 23, p. 41590-41612, 2022.	$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda)}{E_d(\lambda)}, \quad (1)$ $R_{rs}(\lambda) = \frac{L_u(\lambda) - L_r(\lambda)}{E_d(\lambda)}. \quad (2)$ $R_{rs}(\lambda) = \frac{L_u(\lambda) - \rho L_s(\lambda)}{E_d(\lambda)}, \quad (3)$ $AVW = \frac{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} R_{rs}(\lambda_i)}{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} \frac{R_{rs}(\lambda_i)}{\lambda_i}} = \left(\frac{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} \lambda_i^{-1} R_{rs}(\lambda_i)}{\sum_{i=\lambda_1}^{\lambda_n} R_{rs}(\lambda_i)} \right)^{-1}. \quad (4)$ $nR_{rs}(\lambda) = \frac{R_{rs}(\lambda)}{\int_{400}^{800} R_{rs}(\lambda) d\lambda}, \quad (5)$ $NDI = \frac{(R_{rs}(\lambda_2) - R_{rs}(\lambda_1))}{(R_{rs}(\lambda_2) + R_{rs}(\lambda_1))}, \quad (6)$
10	SALYUK, Pavel A. <i>et al.</i> Developing and Using Empirical Bio-Optical Algorithms in the Western Part of the Bering Sea in the Late Summer Season. Remote Sensing , v. 14, n. 22, p. 5797, 2022.	$C_{CTD}^{ow} = \frac{\int_0^{z_{eu}} C_{CTD}^*(z) w(z) dz}{\int_0^{z_{eu}} w(z) dz}, \quad (1)$ $D_{CTD}^{ow} = \frac{\int_0^{z_{eu}} D_{CTD}^*(z) w(z) dz}{\int_0^{z_{eu}} w(z) dz}, \quad (2)$ $w(z) = PAR(z)^2, \quad (3)$ $C_{ins} = 2.62 \times C_{flow}, R^2 = 0.8 \quad (4)$ $D_{ins} = 0.0272 \times D_{flow}, R^2 = 0.8 \quad (5)$ $R_{rs}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda)}{E_S(\lambda)}, \quad (6)$ $R_{rs}(\lambda, \theta, \varphi) = \frac{L_w(\lambda, \theta, \varphi)}{E_S(\lambda)} = \frac{F_L(\lambda) \left[S_{srf}(\lambda, \theta, \varphi) - \rho S_{sky}(\lambda, \theta_{sky}, \varphi) \right]}{F_L(\lambda) \left[\frac{\pi S_S(\lambda, \theta_S, \varphi_S)}{R_S(\lambda, \theta_S, \varphi_S)} \right]}, \quad (7)$ $C_{rs}(\lambda_C) = 10(c_0 + c_1 * \log_{10}(R_{OCx})), \quad (8)$ $D_{rs}(\lambda_D) = 10(d_0 + d_1 * \log_{10}(R_{OC2}(\lambda_D))), \quad (9)$ $R_{OC2}(\lambda) = \frac{R_{rs}(\lambda)}{R_{rs}(\lambda_{b7})}, \quad (10)$

		$R_{OC3} = \frac{\max(R_{rs}(\lambda_{b3}), R_{rs}(\lambda_{b5}))}{R_{rs}(\lambda_{b7})}, \quad (11)$ $R_{OC3}^* = \frac{\max(R_{rs}(\lambda_{b3}), R_{rs}(\lambda_{b6}))}{R_{rs}(\lambda_{b7})}, \quad (12)$ $R_{OC4} = \frac{\max(R_{rs}(\lambda_{b3}), R_{rs}(\lambda_{b5}), R_{rs}(\lambda_{b6}))}{R_{rs}(\lambda_{b7})}, \quad (13)$ $MRAE = 100 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ y_{rs}(i) - y_{is}(i) }{y_{is}(i)}, \quad (14)$ $MAEL = 10 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10}(y_{rs}^*(i)) - \log_{10}(y_{is}(i)) \right), \quad (15)$ $biasL = 10 \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\log_{10}(y_{rs}^*(i)) - \log_{10}(y_{is}(i))) \right), \quad (16)$ $R2L = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\log_{10}(y_{is}(i)) - \log_{10}(y_{rs}^*(i)))}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\log_{10}(y_{is}(i)) - \log_{10}(\bar{y}_{is}))}}, \quad (17)$
11	PARRA, Mar <i>et al.</i> Analysis of the Evolution of Sea Water Quality in the Spanish Coast from Satellite Images before and during a Confinement Period. Journal of Sensors , v. 2022, 2022.	$CDOM(a(CDOM)440) = 28.966 \cdot e^{-2.015 \cdot (B3/B4)} \quad (1)$ $T\left(\frac{g}{m^3}\right) = A(\lambda) \cdot X(\lambda) + B(\lambda) \quad (2)$ $T\left(\frac{g}{m^3}\right) = 2383.49 \cdot B8 + 0 \quad (3)$ $Chl_a\left(\frac{\mu g}{L}\right) = [113.36 \cdot \{(R_{B4}^{-1} - R_{B6}^{-1}) + R_{B6}\} + 16.45]^{1.124} \quad (4)$ $HABs = \frac{B4-B8A}{B4-B8A} \quad (5)$
12	JOSE, Dinu Maria <i>et al.</i> Assessment of coastal water quality along south west coast of India using multile regression analysis on satellite data. Journal of Rural Development , v. 37, n. 2, p. 269-284, 2018.	$NSFWQI = \sum_{i=1}^p W_i I_i \quad (1)$ $NSFWQI = 74.247 - 0.503 \cdot SST + 0.674 \cdot R_{rs} \left(\frac{555}{443} \right) \quad (2)$ $FC = -3452.91 + 125.428 \cdot SST + 4.725 \cdot R_{rs} \left(\frac{443}{412} \right) \quad (3)$ $DO = 6.601 - 0.074 \cdot SST - 0.02 \cdot R_{rs} \left(\frac{488}{443} \right) + 0.121 \cdot R_{rs} \left(\frac{678}{555} \right) + 69.369 \cdot R_{rs} (555) + 0.053 \cdot R_{rs} \left(\frac{443}{555} \right) \quad (4)$ $pH = 8.154 + 68.628 \cdot R_{rs} (488) - 0.086 \cdot R_{rs} \left(\frac{488}{443} \right) - 0.349 \cdot R_{rs} \left(\frac{443}{488} \right) - 73.061 \cdot R_{rs} (678) + 0.132 \cdot R_{rs} \left(\frac{678}{443} \right) \quad (5)$

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quanto aos sensores, Kulk *et al.* (2020), utilizaram uma combinação de diferentes sensores, como SeaWiFS, MERIS, MODIS e VIIRS, para avaliar a produção primária global no oceano, analisando a variabilidade em diferentes

escalas. Essa abordagem permitiu obter informações abrangentes sobre a produção primária em diferentes condições ambientais.

Já Le *et al.* (2018), foram além ao desenvolverem um algoritmo empírico para estimar a concentração de carbono orgânico particulado no oceano, porém usando alguns dos sensores utilizados por Kulk *et al.* (2020), ou seja, SeaWiFS, MODIS/Aqua e MERIS. Isso contribuiu para uma melhor compreensão dos processos biogeoquímicos oceânicos e da qualidade da água.

Por conseguinte, Su *et al.* (2021), aplicaram técnicas de aprendizado de máquina em séries temporais de dados *Ocean and Land Color Instrument* (OLCI) para inferir a concentração de Chl-a nas águas costeiras, fornecendo uma abordagem inovadora e de alta resolução para o monitoramento da qualidade da água costeira.

Ao longo dos estudos aqui destacados, observa-se que, na maioria dos casos, o sensoriamento remoto foi aplicado em conjunto com outras técnicas e recursos. Nesse viés assim como no estudo de Su *et al.* (2021) onde foram aplicadas técnicas de aprendizados de máquina, no estudo de McEliece *et al.* (2020), o recurso de veículos aéreos não tripulados equipados com câmeras multiespectrais Parrot Sequoia, capturou imagens em quatro bandas espectrais: verde (550 nm), vermelho (660 nm), red-edge (735 nm) e infravermelho próximo (790 nm). A resolução espacial das imagens foi de 2,9 cm por pixel para avaliar a qualidade da água em áreas *nearshore* e *offshore*, fornecendo uma análise detalhada em alta resolução espacial.

Os veículos aéreos não tripulados desempenharam um papel fundamental ao serem equipados com câmeras multiespectrais. Pois, essas câmeras capturaram imagens em diferentes comprimentos de onda, permitindo a identificação e a quantificação de diversos parâmetros relacionados à qualidade da água, como a concentração de Chl-a, a turbidez e a presença de material em suspensão. Sendo assim, a combinação dessas informações com dados coletados por outros meios, como amostras *in situ* ou medições de campo, permitiu uma análise mais completa e precisa da qualidade da água em diferentes áreas (Yu *et al.*, 2020).

Assim, como Le *et al.* (2018), o estudo realizado por Yu *et al.* (2020), também se concentrou no desenvolvimento de um algoritmo, porém seu objetivo principal foi permitir o monitoramento contínuo da qualidade da água costeira. Com base em dados de satélites, combinados com medidas *in situ* da concentração de Chl-a, para calibrar o algoritmo. Isso é especialmente relevante em zonas de água opticamente

rasa, onde as propriedades ópticas da água podem ser afetadas por fatores como a presença de sedimentos em suspensão, materiais orgânicos dissolvidos e atividades humanas.

O estudo de Wang *et al.* (2022), se destaca, por desenvolver um método de detecção automática de suspeita de descarga de esgoto de emissários costeiros utilizando imagens do satélite Sentinel-2. Ao contrário dos estudos anteriores mencionados, esse método se concentra na identificação e monitoramento de possíveis fontes de poluição costeira. Para realizar essa detecção, os pesquisadores utilizaram os sensores MSI (*Multispectral Instrument*) dos satélites Sentinel-2A e Sentinel-2B. Esses sensores fornecem imagens de alta resolução espacial em várias bandas espectrais, permitindo a análise das características espectrais das imagens para identificar áreas com possível descarga de esgoto.

Destaca-se ainda que o método proposto por Wang *et al.* (2022), baseou-se no uso de índices espectrais, como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*), que são calculados a partir das combinações de diferentes bandas das imagens. O NDVI é comumente utilizado para avaliar a vegetação, enquanto o MNDWI é usado para detectar corpos de água. Isso significa que os pesquisadores conseguiram distinguir detalhes relativamente pequenos nas imagens, o que é importante para a identificação precisa de áreas com possível descarga de esgoto.

O estudo de Wattriez Dupouy e Juilot (2022), difere dos estudos mencionados anteriormente em termos de objetivo e método. Enquanto os estudos anteriores se concentraram na avaliação da produção primária global no oceano, na estimativa da concentração de carbono orgânico particulado, na inferência da concentração de Chl-a e na detecção de poluição costeira, o estudo de Wattriez Dupouy e Juilot (2022), concentra-se na avaliação da biomassa fitoplanctônica usando imagens de satélite. Para esta finalidade os autores empregaram a classificação óptica não supervisionada da cor do fundo do mar em águas oligotróficas, utilizando imagens do satélite Sentinel-2.

A pesquisa utilizou várias bandas espectrais, incluindo b2, b3, b4, b5, b6, b7, b8, b8a, b11 e b12, com comprimentos de onda específicos. A resolução espacial variou de 10 m (para algumas bandas) a 20 m (para outras bandas), permitindo uma análise detalhada das características do fundo do mar. A abordagem adotada pelos

pesquisadores proporcionou a identificação e classificação de diferentes tons de cor do fundo do mar em uma área específica

Sendo que para obter o sinal espectral do fundo do mar, foi utilizada uma imagem Sentinel-2 corrigida pelo método de Lyzenga. Essa correção teve como objetivo eliminar a influência da coluna de água, permitindo uma análise mais precisa das características do fundo marinho. Em seguida, os *pixels* corrigidos foram submetidos a um processo de agrupamento não supervisionado, resultando em grupos com sinais espectrais semelhantes do fundo do mar. Isso resultou em informações valiosas sobre a composição e condições ambientais desse ambiente marinho.

Assim, como os autores Su *et al.* (2021) e Yu *et al.* (2020), o estudo de Cheng e Zhang (2021), teve como objeto a concentração de Chl-a, como indicador da eutrofização da água, para essa análise utilizaram dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). O MODIS captura dados em três bandas espectrais (443 nm, 489 nm e 555 nm) com uma resolução espacial de 1 km. Os dados foram processados com o algoritmo empírico o *cean Color 3-Channel Multi-Algorithm* (OC3M), projetado para dados MODIS.

O diferencial do OC3M em relação a outros algoritmos está na sua capacidade de estimar a concentração de Chl-a com base em três canais espectrais do sensor MODIS, em vez de apenas um ou dois canais. Essa abordagem de múltiplos canais permite uma estimativa mais precisa e confiável da concentração de Chl-a. Além disso, o OC3M é calibrado e validado utilizando uma ampla gama de dados de campo coletados em diferentes regiões oceânicas, o que contribui para a sua robustez e aplicabilidade em diferentes condições ecológicas. Sendo assim, esse estudo fornece informações valiosas sobre a produtividade biológica e a saúde do ecossistema marinho no Mar de Bohai.

Turner *et al.* (2022), também utilizou um índice como no estudo de Wang *et al.* (2022), porém se concentrou na classificação óptica de um estuário urbanizado, utilizando dados de refletância hiperespectral do sensor OLCI. Esse estudo demonstrou a capacidade do sensor OLCI em fornecer informações detalhadas sobre a composição da água e a presença de materiais orgânicos e inorgânicos. Por meio do processamento dos dados, utilizando o índice aparente de comprimento de onda visível (AVW) e o *Quality Water Index Polynomial* (QWIP), os pesquisadores puderam obter uma análise precisa e detalhada do estuário.

No mesmo viés de desenvolvimento de algoritmo dos autores Le *et al.* (2018), Yu *et al.* (2020), o estudo de Salyuk *et al.* (2022), teve como objetivo desenvolver e utilizar algoritmos bio-ópticos empíricos para estimar a concentração de Chl-a e outras propriedades ópticas da água na parte ocidental do Mar de Bering. Esse estudo combinou dados de *espectrorradiômetros ASD Fieldspec HandHeld* com dados dos sensores MODIS-Aqua, MODIS-Terra e VIIRS-SNPP. A utilização desses dados em algoritmos permitiu uma avaliação detalhada da dinâmica do fitoplâncton na região.

Por sua vez, o estudo de Parra *et al.* (2022), teve um enfoque diferente, concentrando-se no potencial das nanopartículas de sílica mesoporosa no sensoriamento remoto, para detecção e remoção de poluentes em diferentes matrizes complexas, como água, solo e atmosfera. Embora o estudo não forneça detalhes específicos sobre sensores ou bandas espectrais, destacou a importância do controle da poluição e da purificação da água, que podem ser alcançados com o uso desses materiais.

Por fim, Jose *et al.* (2018), adotaram uma abordagem mais simples, porém multivariada, utilizando a técnica de regressão linear múltipla em conjunto com dados de satélite para avaliar a qualidade da água costeira, ao longo da costa sudoeste da Índia. Para essa análise, eles utilizaram os sensores MODIS-Aqua e MODIS-Terra, que fornecem dados em várias bandas espectrais, abrangendo desde 412 nm até 678 nm. Ao estabelecer relações entre as diferentes bandas espectrais dos sensores MODIS e as concentrações de Chl-a, a análise de regressão permitiu a quantificação precisa das relações estatísticas. Essa técnica matemática simples demonstrou ser eficaz na obtenção de estimativas confiáveis da concentração de Chl-a em áreas onde as medições *in situ* são limitadas.

A utilização das regressões lineares múltiplas, neste estudo apresenta justificativas importantes. Em primeiro lugar, a simplicidade da técnica que permite uma implementação mais fácil e rápida em comparação com métodos matemáticos mais complexos. Isso possibilita que pesquisadores e profissionais realizem análises de qualidade da água com maior agilidade, economizando tempo e recursos. Além disso, as regressões lineares são bem estabelecidas e amplamente confiáveis. Sua aplicação nesse contexto específico é respaldada pela base teórica sólida e pela vasta literatura que confere confiabilidade aos resultados obtidos.

Outra vantagem das regressões lineares é a capacidade de lidar com múltiplas variáveis independentes. No estudo de Jose *et al.* (2018), além das bandas espectrais dos sensores MODIS, outras variáveis relacionadas à qualidade da água foram consideradas. A regressão linear múltipla permite a inclusão dessas variáveis adicionais, permitindo uma análise abrangente e fornecendo uma visão completa dos fatores que influenciam a concentração de Chl-a. Vale ressaltar que a escolha da técnica de regressão linear múltipla não invalida a utilidade de métodos matemáticos complexos em estudos de qualidade da água oceânica. Esses métodos mais complexos podem ser necessários em situações específicas ou quando a relação entre as variáveis é intrinsecamente complexa. No entanto, o uso de regressões lineares mostra-se uma alternativa válida e eficaz, especialmente em casos em que se busca uma abordagem mais simples e direta para as estimativas.

Num panorama geral observou-se que os estudos supracitados apresentam abordagens diferentes para avaliar a qualidade da água, a concentração de Chl-a e outros parâmetros relacionados ao oceano. Cada estudo utilizou sensores e métodos específicos, resultando em vantagens e limitações distintas. Contudo, uma semelhança comum a todos os artigos é o uso de dados obtidos por meio de observações de satélite. Esses dados fornecem informações valiosas sobre propriedades da água, como concentração de Chl-a, concentração de carbono orgânico, estimativas de mudanças climáticas e detecção de poluição.

Outra semelhança importante é o uso de algoritmos empíricos para processar os dados de satélite e obter estimativas dos parâmetros relacionados à qualidade da água. Esses algoritmos são desenvolvidos com base em relações empíricas entre os dados de satélite e as propriedades da água medidas no local. Essa abordagem permite extrapolar as medições pontuais para uma área maior e fornecer informações sobre a qualidade da água em uma escala mais ampla.

Além disso, os artigos também empregam uma variedade de algoritmos e técnicas de processamento de imagem para extrair informações relevantes dos dados de sensoriamento remoto, como algoritmos de classificação, regressão, segmentação e análise de padrões. Essas abordagens permitem uma análise mais aprofundada dos dados e contribuem para o desenvolvimento de abordagens empíricas baseadas em relações observadas nos dados.

Embora haja várias semelhanças entre os artigos, também existem diferenças em relação aos parâmetros abordados. A maioria dos artigos tem como foco a

avaliação da qualidade da água marinha, mas cada um aborda diferentes parâmetros e substâncias, como Chl-a, carbono orgânico, concentração de nutrientes, entre outros. Essa diversidade de enfoques reflete a complexidade e a variedade de aspectos relacionados à qualidade da água em diferentes regiões e contextos.

No geral, pode-se perceber que o uso de dados de satélite e técnicas de processamento de imagem apresenta diversas vantagens para o monitoramento de parâmetros relacionados ao oceano e à qualidade da água. Essas vantagens incluem o monitoramento contínuo, a disponibilidade de dados multiespectrais, a redução de custos em comparação com métodos tradicionais de coleta de dados em campo e a possibilidade de integração de dados com outras fontes de informação para melhorar a precisão das estimativas.

Quanto à análise das técnicas matemáticas empregadas nos artigos, esse é um outro ponto relevante destes artigos, que é a adoção de técnicas com uma complexidade matemática relativamente menor. Essas abordagens empregam algoritmos empíricos baseados em índices de cores ou aprendizado de máquina, para estimar parâmetros. Como mencionado anteriormente no artigo de Le *et al.* (2018), que propuseram um índice baseado em cores para estimar o carbono orgânico no oceano. E embora o algoritmo possa envolver cálculos e relações matemáticas, a abordagem empírica sugere uma técnica mais simplificada em comparação com métodos mais complexos de modelagem física.

No caso do artigo de Su *et al.* (2021), o aprendizado de máquina é utilizado para estimar a concentração costeira de Chl-a a partir de dados de séries temporais do sensor OLCI. Embora o aprendizado de máquina envolva algoritmos complexos, o uso de séries temporais pode simplificar a análise, pois permite a identificação de padrões e tendências sem a necessidade de uma modelagem física detalhada. No entanto, é importante ressaltar que a complexidade matemática não é o único critério para determinar a adequação de uma técnica. As abordagens mais simples podem ser preferíveis em alguns casos, mas é necessário considerar outros fatores, como a precisão dos resultados, a adequação aos dados disponíveis e o contexto específico do estudo. O uso de métodos de aprendizado de máquina, mencionado no artigo 03 (Su *et al.*, 2021), representa uma inovação na interpretação de dados. Esses métodos podem melhorar a precisão das estimativas e possibilitar análises mais complexas em séries temporais.

Quando relacionado à inovação, destaca-se o estudo de Su *et al.* (2021), que estimou a de Chl-a a partir de dados OLCI de séries temporais com base no aprendizado de máquina. Pois o aprendizado de máquina é uma técnica computacional que permite aos sistemas aprenderem e melhorarem com base em experiências anteriores, sem a necessidade de programação explícita. Essa técnica foi aplicada aos dados de séries temporais do sensor OLCI, que capturaram informações ao longo do tempo. Isso proporciona estimativas mais precisas e detalhadas da variação dessa substância ao longo do tempo, contribuindo para uma melhor compreensão dos processos de produção primária e das mudanças na qualidade da água costeira.

Sendo assim, embora os outros artigos também apresentem abordagens interessantes, como algoritmos empíricos e uso de imagens multiespectrais de UAV, o uso do aprendizado de máquina baseado em séries temporais é considerado mais inovador. Considera-se que a utilização de sensores em UAVs para monitorar a qualidade da água destaca uma inovação na abordagem, permitindo aquisições de dados mais próximos da superfície e em áreas específicas. Essa abordagem promissora abre caminho para novas possibilidades de pesquisa e monitoramento da qualidade da água, fornecendo *insights* valiosos para a gestão e conservação dos ecossistemas marinhos.

No entanto, é importante ressaltar que, assim como supracitado, a avaliação da inovação de um método pode depender de vários fatores, como o contexto específico de aplicação, a disponibilidade de dados e recursos computacionais, entre outros. O que pode ser considerado inovador em um determinado momento pode se tornar mais comum à medida que novas tecnologias e abordagens surgem. Portanto, é necessário acompanhar o desenvolvimento científico e tecnológico para identificar constantemente as técnicas mais inovadoras na área de estudos da qualidade da água.

Outro ponto de destaque é o reconhecimento da necessidade de integrar dados de sensoriamento remoto com outras fontes, como medições *in situ* e modelos numéricos, para obter uma compreensão mais detalhada e abrangente dos ecossistemas costeiros.

Nessa pesquisa a plataforma GEE emergiu como uma opção intrigante e altamente relevante para o acompanhamento de fitoplâncton e Chl-a em águas salgadas, notavelmente, como uma opção interessante para processar dados de

satélite de forma eficiente, graças à sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados e oferecer ferramentas de análise avançadas. O entendimento de scripts baseados em simplicidade, agilidade e que possibilitem a replicação dessas técnicas com confiabilidade para integração de dados de sensoriamento remoto, amarrados a capacidade de acessar e processar uma variedade de dados em uma única plataforma facilita a obtenção de uma compreensão mais detalhada e abrangente dos ecossistemas costeiros. Essa flexibilidade permite que pesquisadores desenvolvam algoritmos específicos para a detecção de características particulares de fitoplâncton e clorofila, ajustando-se às nuances específicas de diferentes regiões oceânicas. A adaptabilidade do GEE a diferentes contextos geográficos e ambientais é um aspecto crucial para a aplicação eficaz no estudo desses organismos marinhos.

Além disso, a integração do GEE com técnicas de aprendizado de máquina abre novas perspectivas para a interpretação e análise de dados. A capacidade de treinar algoritmos para reconhecer padrões complexos nas imagens de satélite pode aprimorar a precisão na identificação de espécies de fitoplâncton e estimativas de concentração de Chl-a. Isso representa uma evolução significativa no campo do monitoramento marinho, possibilitando análises mais detalhadas e específicas, norteadas pela implementação de algoritmos personalizados, que são uma abordagem inovadora e eficaz para a compreensão e preservação dos ecossistemas marinhos.

4.1.4 Conclusão

Os estudos selecionados apresentam diversas abordagens para avaliar a qualidade da água e monitorar parâmetros relacionados aos ecossistemas marinhos. Cada pesquisa utilizou diferentes sensores, bandas espectrais e métodos específicos para obter informações valiosas sobre os oceanos. Porém, um dos principais pontos em comum entre os estudos é o uso do sensoriamento remoto, por meio de observações de satélite.

Além disso, os pesquisadores empregaram algoritmos empíricos para processar os dados de satélite e extrair estimativas dos parâmetros de interesse, como a concentração de Chl-a, carbono orgânico e outros indicadores de qualidade da água. Esses algoritmos são desenvolvidos com base em relações empíricas entre os dados de satélite e as medições realizadas em campo. Essa abordagem permite

obter informações confiáveis sobre a qualidade da água em uma escala maior do que seria possível apenas com medições pontuais.

Em resumo, os estudos apresentam contribuições significativas para o monitoramento da qualidade da água oceânica. A combinação do sensoriamento remoto por meio de satélites, o uso de aprendizado de máquina, algoritmos empíricos e a aplicação de técnicas complementares, como veículos aéreos não tripulados, permitiram uma análise abrangente e precisa dos ecossistemas marinhos. Essas informações são essenciais para entender os processos oceânicos, proteger a vida marinha e tomar decisões adequadas para a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Os resultados também destacam a relevância do sensoriamento remoto, integrado a técnicas matemáticas e aprendizado de máquina, como dois elementos centrais nas pesquisas globais. Observa-se que a utilização da plataforma GEE para o processamento eficiente de grandes volumes de dados e a disponibilidade de ferramentas avançadas de análise têm sido fundamentais nesse contexto. Contudo, é crucial ressaltar a necessidade contínua de aprimoramento e refinamento dessas abordagens, considerando as complexidades inerentes às análises globais de dados ambientais. A integração dessas técnicas, embora promissora, requer uma avaliação crítica constante para assegurar a precisão e confiabilidade dos resultados, especialmente diante da diversidade de ambientes e contextos nos estudos globais de sensoriamento remoto.

Referências

ARTAXO, Paulo. Oportunidades e vulnerabilidades do Brasil nas questões do clima e da sustentabilidade. **Revista USP**, v. 1, n. 135, p. 119-136, 2022.

BARBOSA, Alane Carvalho *et al.* Caracterização físico-química e microbiológica da água do mar de praias do litoral de Pernambuco. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. 20111536240-20111536240, 2022.

CHENG, Yu; ZHANG, Shengjia. The Research on the Variation of Chlorophyll-a in Bohai Sea Based on MODIS Data. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. p. 022029.

DONATO, Helena; DONATO, Mariana. Etapas na condução de uma revisão sistemática. **Acta Médica Portuguesa**, v. 32, n. 3, p. 227-235, 2019.

FRIES, Maximilian; ZAGO, Marieli Machado; CUNHA, Luciano Soares. Aplicação do Método Eletromagnético Sistema EM-34 Integrado a Dados Estruturais e de Sensoriamento Remoto em um Estudo Hidrogeológico. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 2, p. 126-136, 2019.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

JOSE, Dinu Maria *et al.* Assessment of coastal water quality along south west coast of India using multile regression analysis on satellite data. **Journal of Rural Development**, v. 37, n. 2, p. 269-284, 2018.

KULK, Gemma *et al.* Primary production, an index of climate change in the ocean: satellite-based estimates over two decades. **Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 826, 2020.

LE, Chengfeng *et al.* A color-index-based empirical algorithm for determining particulate organic carbon concentration in the ocean from satellite observations. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 123, n. 10, p. 7407-7419, 2018.

MCELIECE, Ryan *et al.* Evaluation of nearshore and offshore water quality assessment using UAV multispectral imagery. **Remote Sensing**, v. 12, n. 14, p. 2258, 2020.

MATIAS, Tális Pereira; IMPERADOR, Adriana Maria. As funções da Educação Ambiental na efetividade de políticas ambientais marinhas e costeiras no Brasil. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 17, n. 1, p. 95-106, 2022.

MOURA, Jailson Fulgencio de *et al.* A interface da saúde pública com a saúde dos oceanos: produção de doenças, impactos socioeconômicos e relações benéficas. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, p. 3469-3480, 2011.

PARRA, Mar *et al.* Analysis of the Evolution of Sea Water Quality in the Spanish Coast from Satellite Images before and during a Confinement Period. **Journal of Sensors**, v. 2022.

SALYUK, Pavel A. *et al.* Developing and Using Empirical Bio-Optical Algorithms in the Western Part of the Bering Sea in the Late Summer Season. **Remote Sensing**, v. 14, n. 22, p. 5797, 2022.

SU, H. *et al.* Estimating Coastal Chlorophyll-A Concentration from Time-Series OLCI Data Based on Machine Learning. **Remote Sens.** 2021, 13, 576. 2021.

TOLEDO, André Correa; KWAI, Luana Ly; UNGER, Rafael. A Poluição dos Mares. **Holos Environment**, 2008.

TURNER, Kyle J. *et al.* Optical classification of an urbanized estuary using hyperspectral remote sensing reflectance. **Optics Express**, v. 30, n. 23, p. 41590-41612, 2022.

VIKAS, Mangalore; DWARAKISH, G. S. Coastal pollution: a review. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 381-388, 2015.

YU, Yan *et al.* A Semi-Empirical Chlorophyll-a Retrieval Algorithm Considering the Effects of Sun Glint, Bottom Reflectance, and Non-Algal Particles in the Optically Shallow Water Zones of Sanya Bay Using SPOT6 Data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2765, 2020.

WANG, Yuxin *et al.* Automatic detection of suspected sewage discharge from coastal outfalls based on Sentinel-2 imagery. **Science of The Total Environment**, v. 853, p. 158374, 2022.

WATTELEZ, Guillaume; DUPOUY, Cecile; JUILLOT, Farid. Unsupervised optical classification of the seabed color in shallow oligotrophic waters from Sentinel-2 images: a case study in the Voh-Kone-Pouembout Lagoon (New Caledonia). **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 836, 2022.

4.2 CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA DINÂMICA DOS CANAIS DE DRENAGEM URBANO E NA QUALIDADE DA ÁGUA MARINHA, NO BALNEÁRIO CASSINO, RIO GRANDE – RS

RESUMO: A poluição continental tem um grande impacto no ambiente marinho costeiro. Os sangradouros de praia atuam como portão de entrada na destinação final dos poluentes que fluem para os oceanos. Assim, monitorar efetivamente a qualidade da água dos canais de drenagem costeiros é a chave para proteger o ecossistema marinho. A Clorofila-a (Chl-a) é um importante indicador de qualidade da água oceânica, e o sensoriamento remoto surge como uma solução promissora para avaliar esse indicador, permitindo o monitoramento abrangente da qualidade da água oceânica em larga escala. Assim, o principal objetivo desse estudo foi averiguar a variação da concentração da Chl-a diretamente da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), e aplicar análise estatística nos dados obtidos *in situ* da bactéria *Escherichia coli* (*E.coli*), dos seis pontos de amostra do Balneário Cassino. Nesse estudo foi possível caracterizar e compreender o comportamento temporal e espacial da *E.coli*, bem como a relação destas em diferentes pontos, podendo contrapor isto a ocupação das terras próximas e a ação antrópica. Os resultados a partir de dados de Chl-a demonstraram que sua maior concentração está mais perto da costa, demonstrando a contribuição continental na poluição marinha. As imagens da plataforma GEE mostraram a evolução da variação da concentração da Chl-a no período de interesse, proporcionando informações relevantes sobre a qualidade da água e os fatores ambientais que influenciam a sua composição na região do Balneário Cassino. O cálculo estatístico identificou um ponto sendo o de maior influência por contaminação *E.coli* na água oceânica e o mais sensível de chegada de poluentes na rede de drenagem, o que representa as áreas mais vulneráveis à ação humana na praia do Balneário Cassino.

Palavras-chave: Ação antrópica; Sensoriamento remoto; Poluição marinha; Estatística multivariada; Clorofila-a; *Escherichia coli*; Avaliação da qualidade da água.

**INFLUENCE OF LAND USE AND OCCUPATION ON THE DYNAMICS OF
URBAN DRAINAGE CHANNELS AND SEAWATER QUALITY IN BALNEÁRIO
CASSINO, RIO GRANDE – RS**

ABSTRACT: Continental pollution has a major impact on the coastal marine environment. Beach drains act as a gateway for the final disposal of pollutants that flow into the oceans. Therefore, effectively monitoring the water quality of coastal drainage channels is key to protecting the marine ecosystem within it. Chlorophyll-a (Chl-a) is an important indicator of ocean water quality, and remote sensing emerges as a promising solution to assess this indicator, allowing comprehensive monitoring of ocean water quality on a large scale. Thus, the main objective of this study was to investigate the variation in Chl-a concentration directly from the Google Earth Engine (GEE) platform, and apply statistical analysis to the data obtained in situ from the bacterium *Escherichia coli* (*E.coli*), from the six points of sample from Balneário Cassino. In this study it was possible to characterize and understand the temporal and spatial behavior of *E.coli*, as well as their relationship at different points, being able to contrast this with the occupation of nearby lands and human action. Results from Chl-a data demonstrated that its highest concentration is closer to the coast. This factor demonstrates the continental contribution to marine pollution. The images from the GEE platform showed the evolution of Chl-a concentration variation during the period of interest, providing valuable insights into water quality and the environmental factors that influence its composition in the Balneário Cassino region. The statistical calculation identified one point as being the most influenced by *E.coli* contamination in ocean water and the most sensitive to the arrival of pollutants in the drainage network, which represents the areas most vulnerable to human action on Balneário Cassino beach.

Keywords: Anthropogenic action; Remote sensing; Marine pollution; Multivariate statistics; Chlorophyll-a; *Escherichia coli*; Water quality assessment

4.2.1 Introdução

A saúde ambiental dos mares e oceanos encontra-se vulnerável frente ao assolamento advindo da poluição generalizada, a qual tem impactos negativos na qualidade da água oceânica e na dinâmica da vida marinha (Moura, 2011; Kulk; Gemma *et al.*, 2020). Essa problemática é alarmante, uma vez que os mares e oceanos desempenham um papel fundamental na regulação da circulação atmosférica, na produção de oxigênio, na atenuação do efeito estufa e na preservação da biodiversidade (Sedini, 2018; Cunha, 2018). Contudo, a poluição marinha tem aumentado significativamente, especialmente em regiões costeiras (José; Dinu *et al.*, 2018).

Essas regiões costeiras correspondem a apenas 2% da superfície terrestre, porém abrigam uma grande parte da população humana e estão sujeitas a diversas fontes de poluição (McGranahan; Balk, 2007; Vikas; Dwarkish, 2015). Segundo Vikas e Dwarkish (2015), mais de 80% dessas fontes são provenientes de derramamento de óleo, esgoto, lixo descartado, fertilizantes e substâncias tóxicas (Barbosa, 2022; Cunha, 2018). Pressupõe-se que os fatores antrópicos continuem se sobrepondo às forças dinâmicas que atuam nesses ambientes, que se encontram em constante transformação, resultando em situações críticas, complexas e variadas (Suguiou, 2001). Diante disso, torna-se evidente a existência de uma relação direta entre o uso e ocupação da terra e as alterações na qualidade da água de cursos hídricos costeiros.

Nesse contexto, nas regiões costeiras urbanizadas, os canais de drenagem pluviais desempenham um papel crucial na introdução de poluentes no ambiente marinho, ao conectar o ambiente terrestre ao mar. São conduzidos por esses canais água, matéria orgânica, nutrientes e contaminantes do continente para o oceano (Mohseni, 2022). Esses contaminantes podem comprometer a balneabilidade, que é sinalizada pela densidade de bactérias fecais na classificação, devido à introdução de microrganismos patogênicos alóctones, como protozoários, bactérias e vírus entéricos (Zhang *et al.*, 2013; Tilburg *et al.*, 2015; Federigi *et al.*, 2016). As bactérias do grupo dos coliformes fecais apresentam risco à saúde pública (Zhang *et al.*, 2013; Federigi *et al.*, 2016), uma vez que o contato com esses patógenos na água aumenta o risco de contrair doenças gastrointestinais (Zhang *et al.*, 2013; Tilburg *et al.*, 2015). A principal bactéria dos coliformes fecais é a *E. coli*, cuja presença indica risco

dessas doenças e serve como um importante indicador de esgotos domésticos na água, uma vez que é encontrada nas fezes humanas em percentuais entre 96% e 99% (Zhang *et al.*, 2013; Tilburg *et al.*, 2015; Federigi *et al.*, 2016).

A presença de esgoto no mar, além de expor a população a diversas patologias, pode causar problemas de eutrofização. Esse processo de poluição ocorre quando a água contém níveis elevados de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, criando um ambiente favorável para a proliferação acentuada de microalgas, o que reduz significativamente os níveis de oxigênio em uma determinada área. Isso causa a mortalidade de várias espécies da fauna e flora, resultando em um impacto importante no meio marinho. Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de monitorar de perto esses problemas e quantificar seus efeitos no contexto ambiental e de segurança sanitária.

Nesse sentido, a implementação de medidas de saneamento básico é fundamental para melhorar a qualidade da água e garantir uma maior segurança para esses ambientes (Da Silva *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2020). Durante os períodos de verão, a tendência é aumentar a população que frequenta os balneários, o que pode elevar consideravelmente os riscos de contaminação do meio ambiente. Porém, as ações de saneamento são de responsabilidade da gestão pública dos municípios, que devem ser implementadas integradas a outras práticas de gerenciamento costeiro, como o controle da qualidade da água costeira por meio de práticas de monitoramento (Siqueira *et al.*, 2017).

O monitoramento é um dos instrumentos de gestão estabelecidos na Política Nacional de Recursos Hídricos, que enquadra os corpos d'água em classes de acordo com o seu uso, seguindo as orientações legais da resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que indica os parâmetros de cada indicativo a ser analisado (Brasil, 2005). Os parâmetros físicos, químicos e biológicos analisados em um corpo hídrico podem informar o grau de contaminação em que se encontram as águas e servir como base para o gerenciamento desse recurso, contribuindo na tomada de decisão, quanto à manutenção, remediação e proteção dos corpos hídricos.

Dessa forma, a qualidade da água em ambientes de praia é comumente monitorada através dos métodos tradicionais que consiste na coleta de amostras em diversos locais e a análise é feita com base em dados obtidos *in loco*. No entanto, esses métodos só podem ser aplicados em escalas reduzidas, são demorados, de

altos custos, dificultando a obtenção de informações espaciais e temporais de qualidade, impossibilitando o seu uso para o monitoramento conveniente em grande escala (Shi *et al.*, 2019). Para a aquisição de uma análise com tecnologias mais econômica, rápida e abrangente, em um monitoramento contínuo e dinâmico desses ambientes, está sendo usado como fonte alternativa o sensoriamento remoto para visualizar corpos d'água, com cobertura espaço-temporal adequada, o que pessoalmente não ocorre por meio de medições *in situ* (Chawla; Karthikeyan; Mishra, 2020). Através de imagens de satélites é possível obter informações para o monitoramento, sendo o método mais empregado o que utiliza as propriedades ópticas da água para estimar sua qualidade, em especial as variáveis de turbidez e a concentração de Chl-a. A Chl-a tem sido usada como um indicador-chave para a avaliação da qualidade da água através do sensoriamento remoto. A análise da Chl-a pode fornecer informações valiosas sobre a eutrofização e a saúde ambiental dos ecossistemas marinhos (Caballero, 2019), visto que ela é um pigmento fotossintético básico presente no fitoplâncton que reflete a biomassa presente na água. A presença de biomassa em níveis normais indica um ambiente aquático saudável.

O uso da reflectância da superfície das imagens de satélite juntamente com os resultados das análises de água *in situ*, promove a possibilidade, a partir dessa aquisição, de programar modelos empíricos, que podem ser um aditivo às informações das análises da água. Vale ressaltar que mesmo sendo muito usados esses modelos, eles são vulneráveis às condições ambientais locais. Portanto, não são replicados automaticamente para outras análises ou regiões.

Dessa forma, neste estudo, no caso específico do Balneário Cassino/RS, é de suma importância para o monitoramento da qualidade da água da praia, investigar os potenciais impactos ambientais dos canais de drenagem urbanos no Balneário Cassino, por meio da análise espacial, baseada em Sensoriamento Remoto e estatística multivariada, a fim de identificar os pontos de maior intervenção humana, como fontes de poluição. Isso permitirá a representação temática dos locais mais vulneráveis à ação antrópica e à contaminação, auxiliando na tomada de decisões para a preservação desses ambientes e, conseqüentemente, melhorando a qualidade da água e garantindo a segurança sanitária nessas áreas costeiras.

4.2.2 Metodologia

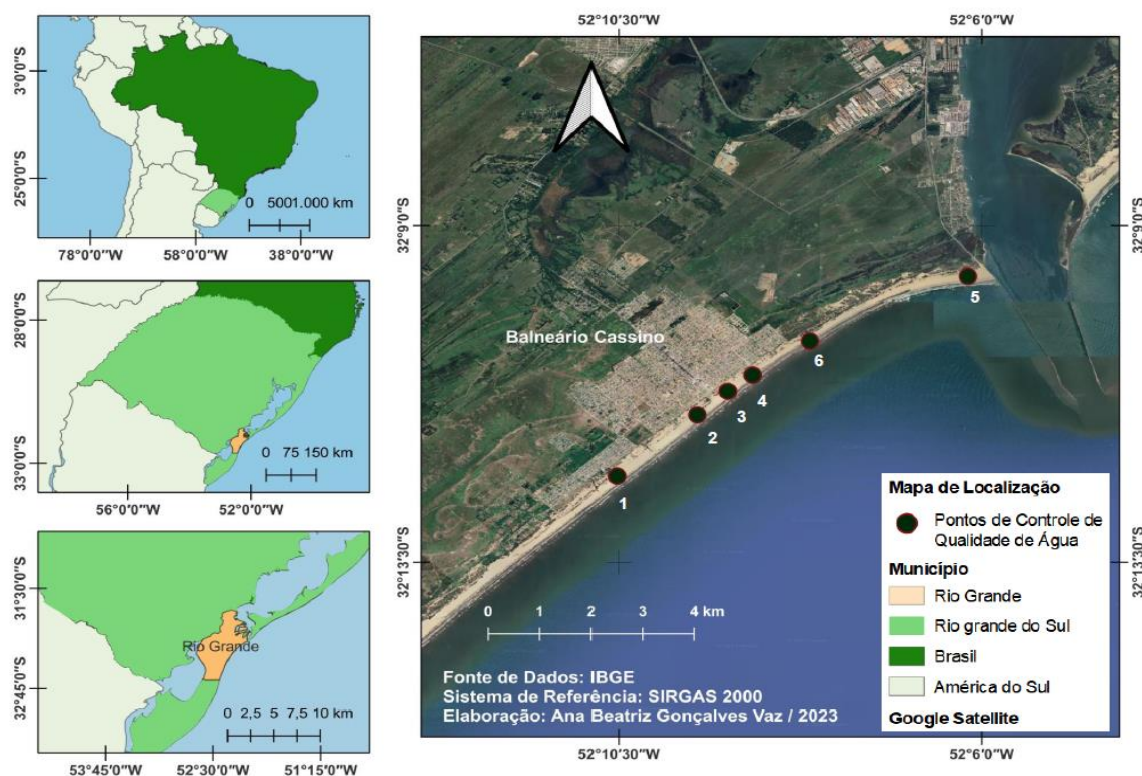
O Balneário Cassino (Figura 1) está localizado no extremo sul do Brasil, no município de Rio Grande, estado do Rio Grande do Sul, abrangendo uma extensa faixa litorânea ao longo do Oceano Atlântico. Além de ser reconhecido como um destino turístico importante devido às suas praias extensas e paisagens naturais preservadas, o Balneário Cassino desempenha um papel crucial na economia regional, notadamente nos setores pesqueiro e portuário. Sua localização estratégica como ponto de convergência entre o oceano e a cidade de Rio Grande o torna vulnerável a diversos fatores ambientais e antrópicos, ressaltando a importância de estudos que avaliem e compreendam os impactos ambientais na região, conforme proposto nesta pesquisa científica.

A metodologia empregada no estudo conduzido no Balneário Cassino, contemplou a análise de duas variáveis para análise da qualidade da água: a presença da bactéria *E. coli* com o propósito de avaliar os impactos ambientais dos canais de drenagem urbana, fundamentando-se na aplicação de técnicas estatísticas, tanto clássicas quanto análises multivariadas, e dados de sensoriamento remoto para averiguar a variação da concentração da Chl-a, diretamente da plataforma GEE, no período de interesse. A finalidade das análises foi identificar os locais com maior intervenção humana, levando-se em consideração as fontes de poluição que atuam sobre a qualidade da água oceânica local. Paralelamente, foram gerados mapas temáticos, utilizando o QGIS 3.28.8, os quais representam áreas sensíveis à introdução de poluentes, delineando, assim, locais de maior vulnerabilidade à ação antrópica. Esta abordagem metodológica proporcionou uma análise abrangente e integrada, usando análises estatísticas e sensoriamento remoto, visando a compreensão aprofundada dos fatores que evidenciam os impactos ambientais nos canais de drenagem urbana e no ambiente marinho na área de estudo.

A metodologia adotada centrou-se na análise de seis pontos de monitoramento do parâmetro da bactéria *E. Coli* no Balneário Cassino, que podem ser observados na Figura 1. Para cada um desses pontos, conduziu-se uma análise abrangente do uso e cobertura da terra nas áreas circunvizinhas, considerando a configuração da paisagem terrestre adjacente. Adicionalmente, procedeu-se à avaliação da existência e condição dos canais de drenagem associados a cada ponto

de monitoramento. Como complemento, realizou-se uma modelagem do parâmetro Chl-a para as datas de monitoramento, empregando técnicas de sensoriamento remoto de variações de colorações por meio da plataforma GEE. Essa abordagem integrada permitiu entender melhor a relação entre a presença de Chl-a, as características do uso da terra e a influência dos sistemas de drenagem na região estudada. A modelagem utilizando sensoriamento remoto contribuiu para uma compreensão mais abrangente e dinâmica, proporcionando informações valiosas para a compreensão dos padrões espaciais e temporais associados ao parâmetro *E. coli* e Chl-a, essenciais para estratégias eficazes de gestão ambiental e tomada de decisões informadas na área do Balneário Cassino.

Figura 1 — Mapa de localização do Balneário Cassino



Fonte: Elaborado pela autora adaptado de SIRGAS (2000)

4.2.2.1 Obtenção dos dados de *E.Coli* e suas análises

Os dados de qualidade da água pertencentes ao Balneário Cassino, utilizados neste estudo foram concedidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), que realizou as coletas na estação do verão, nos períodos de alta

temporada, entre fevereiro de 2016 e fevereiro de 2022 para proceder com as análises dos parâmetros da qualidade da água (FEPAM, 2023). Concomitantemente com a utilização da metodologia descrita pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, assim como o método de análise e preservação das amostras, seguem os procedimentos especificados pela APHA (2005). Através dos dados coletados, em seis pontos amostrais, foi possível obter informações a partir do estudo da variável *E. coli* (mg/L de EC).

Todos os pontos de coleta dos dados da bactéria *E. Coli* foram submetidos à estatística descritiva, buscando realizar uma análise exploratória, bem como uma avaliação do comportamento da distribuição. Para isso, foram calculadas as medidas de posição e de dispersão. Também foram utilizados gráficos de barra para analisar as variações espaciais das concentrações de cada ponto ao longo da série histórica analisada da variável de qualidade da água. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados em planilhas eletrônicas.

A análise de balneabilidade foi realizada seguindo os critérios exigidos pela Resolução nº 274/2000 do CONAMA, conforme definido na Resolução 357/2005 do CONAMA, para águas salinas classe 1. As águas dos balneários são classificadas de acordo com a concentração de *E. Coli* (UFC/100mL), em Excelentes: Máximo de 200 em 80% ou mais tempo; Muito Boa: Máximo de 400 em 80% ou mais tempo; Aceitáveis: Máximo de 800 em 80% ou mais tempo e Impróprias: Superior a 800 em mais de 20% do tempo ou quando Maior que 2000 na última medição.

A estatística multivariada foi empregada para conhecer os pontos que apresentam maior importância dentro deste estudo. Para isso, a Análise Fatorial (AF) foi empregada para explicar a variância de um conjunto de variáveis, de acordo com os diferentes dados obtidos ao decorrer dos anos para cada um dos pontos, por meio de combinações lineares. Além disso, foi aplicada à análise de componentes principais (ACP) para reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados e facilitar a interpretação das relações não previsíveis. Sendo que serão extraídas as Componentes Principais (CP) até se obter 70% da variância total dos dados. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no *software* R.

4.2.2.2 Obtenção dos dados espaciais e suas análises

Para o desenvolvimento da pesquisa fez-se a aquisição de imagens de satélite e dados correlatos, em relação à qualidade da água pela concentração da *E. coli*, abrangendo diferentes períodos temporais para a área de estudo. Simultaneamente, visitas ao Balneário Cassino foram realizadas, durante as quais os dados complementares foram coletados, englobando registros fotográficos de atividades humanas, assim como informações detalhadas sobre ocupação do solo e uso da terra na região. Subsequentemente, os dados coletados foram processados por meio de softwares de análise geoespacial, possibilitando a compreensão abrangente do uso e cobertura da terra, bem como a identificação de pontos específicos de intervenção humana nos canais de drenagem. Essa abordagem integrada, que combina dados obtidos por sensoriamento remoto com informações terrestres detalhadas, permitiu uma análise robusta e abrangente dos fatores que influenciam a qualidade ambiental nos canais de drenagem do Balneário Cassino.

Na abordagem metodológica para o mapeamento da Chl-a a partir do sensoriamento remoto realizado, empregou-se o conjunto de dados GCOM-C/SGLI L3 Chlorophyll-a Concentration (V3) disponível no GEE, uma adaptação desenvolvida com base no banco de dados de Murakami, H. (jan. 2020). O GCOM-C é um radiômetro de imagem que abrange a faixa do ultravioleta próximo ao infravermelho térmico (380 nm-12 μ m) em 19 canais. A resolução espacial do conjunto de dados é de 4638.3 metros. O conjunto de bandas é composto por variáveis específicas, sendo a CHLA_AVE expressa em mg/m³, variando de 0 a 4000. Esta variável representa a concentração do pigmento verde (Chl-a) no fitoplâncton na camada superficial do mar. Além disso, o conjunto inclui as variáveis CHLA_QA_flag e CHLA QA, que estão relacionadas à qualidade e à garantia da qualidade dos dados de chl-a, fornecendo informações adicionais sobre a confiabilidade das medições. Os dados foram fornecidos pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA). Esses parâmetros são essenciais para assegurar a validade e a utilidade dos resultados obtidos a partir do conjunto de dados, contribuindo para uma interpretação precisa das informações sobre a concentração de Chl-a na superfície do mar.

O algoritmo adotado fundamenta-se na razão de banda azul-verde (OCx), o qual calcula a concentração de Chl-a por meio de uma equação empírica de quarta ordem (Eq. (1)).

$$\log_{10}(Chla) = c_0 + c_1r + c_2r^2 + c_3r^3 + c_4r^4 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

$$r = \frac{\log_{10}[\max(R_{rs}(443nm, 490nm, 530nm))]}{R_{rs}(555nm)}$$

Com um Algoritmo de Índice de Cor (CIA; Hu et al., 2012) para reduzir ruído

$$Chla = 10^{-(0,4909+191,6590Xci)} \text{ (quando } Cl \leq 0,0005sr^{-1} \text{)}$$

Onde:

$$Cl = Rrs(55nm) - \left[Rrs(443nm) + \frac{555 - 443}{670 - 443} \left(\frac{Rrs(670nm)}{Rrs(443nm)} \right) \right]$$

O processamento das imagens de satélite foi conduzido no GEE, um serviço de processamento geoespacial que utiliza a tecnologia da Google Cloud Platform. O propósito subjacente ao *Earth Engine* é fornecer uma plataforma interativa para o desenvolvimento de algoritmos geoespaciais em escala, possibilitando a realização de pesquisas científicas de alto impacto fundamentadas em dados.

Para validar e complementar os dados adquiridos por meio de sensoriamento remoto, procedeu-se à comparação com dados de contagem de coliformes fecais, incluindo a bactéria *E. coli*, obtidos da FEPAM. Essa abordagem visa enriquecer a análise, promovendo uma compreensão mais abrangente e robusta dos fenômenos ambientais em estudo.

4.2.2.3 Interpretação dos resultados

A interpretação dos resultados foi realizada por meio da comparação com a literatura existente, explicitada posteriormente, destacando a elaboração dos impactos ambientais, em específico da poluição da água, nos canais de drenagem urbana e

ressaltando a importância do uso de técnicas de sensoriamento remoto e dados estatísticos na compreensão desses impactos.

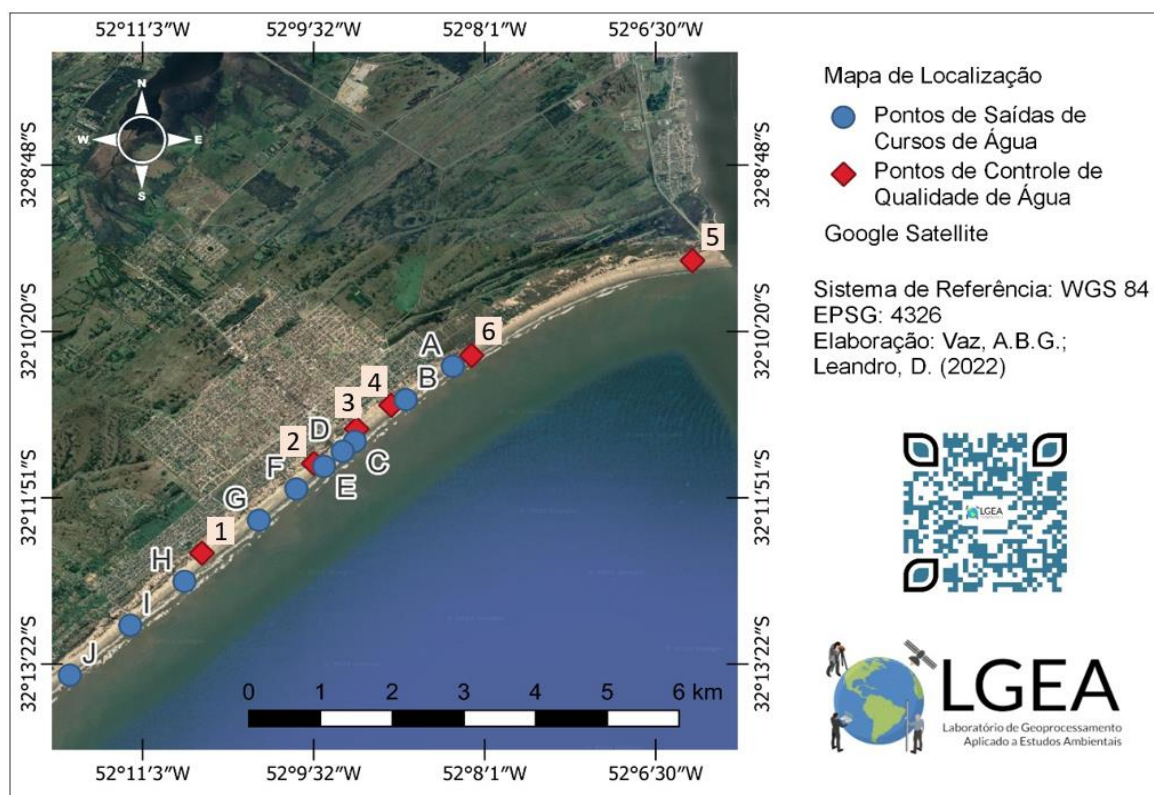
Com base nos resultados obtidos de coloração dos pixels, são propostas recomendações para o desenvolvimento de políticas de gestão ambiental que promovam o monitoramento da poluição nos canais de drenagem urbana e a implementação de estratégias de manejo sustentável dessa área costeira. Os principais resultados e conclusões da pesquisa são sintetizados, destacando sua relevância científica e prática para a gestão ambiental de áreas urbanas.

4.2.3 Resultados e Discussão

4.2.3.1 Análise da presença da bactéria *E. coli*

Para avaliar o parâmetro da bactéria *E. coli* foram utilizados seis pontos de monitoramento da qualidade da água do Balneário Cassino, que são utilizados pela FEPAM, encontram-se na Figura 2. Nessa figura, observa-se uma imagem extraída do Google em que os pontos de monitoramento foram localizados a partir da informação da coordenada geodésica (referentes a latitude e longitude). Esses pontos são localizados próximos a sangradouros de praia, que são estruturas que permitem a drenagem das águas pluviais e a drenagem de áreas urbanas em direção ao mar ou ao oceano. Na área urbana do Cassino, esses sangradouros podem receber a drenagem proveniente de áreas residenciais, comerciais e industriais.

Figura 2 — Mapa de localização dos sangradouros do Cassino



Fonte: Elaborado pela autora adaptado de SIRGAS (2000).

Os resultados das análises de poluição da água e de colorimetria foram comparados entre as diferentes áreas de ocupação urbana para identificar padrões e tendências, explicitados nos tópicos seguintes. Esses revelaram uma clara correlação entre a ocupação do solo e a presença de poluentes nos canais de drenagem urbana de Balneário Cassino. Áreas com altos níveis de superfícies impermeáveis, como estradas pavimentadas e edifícios, apresentaram maior concentração de poluentes. Os resultados revelaram uma relação direta entre as duas variáveis nos sangradouros de praia. As áreas de ocupação urbana intensa estão associadas a uma maior geração de poluentes, incluindo resíduos sólidos, produtos químicos, sedimentos e micro-organismos patogênicos. Este fato fica evidenciado na estatística apresentada na tabela 1.

Ao analisar os dados da Tabela 1 referentes aos seis pontos de análise da qualidade de água do Balneário Cassino, localizado na cidade de Rio Grande, no estado do RS, pode-se agrupá-los em pares para uma melhor discussão comparativa: separou-se os pontos por uma disposição espacial, a fim de comparar pontos próximos ou distantes entre si. Ao considerar a mediana, que representa o

valor central dos conjuntos de dados, é possível obter informações valiosas sobre a qualidade da água a partir da presença de *E. Coli* nos pontos de monitoramento.

Tabela 1 - Análise descritiva da concentração dos seis pontos de monitoramento do parâmetro *E. coli* pertencente ao Balneário Cassino, dados em UFC/100 mL

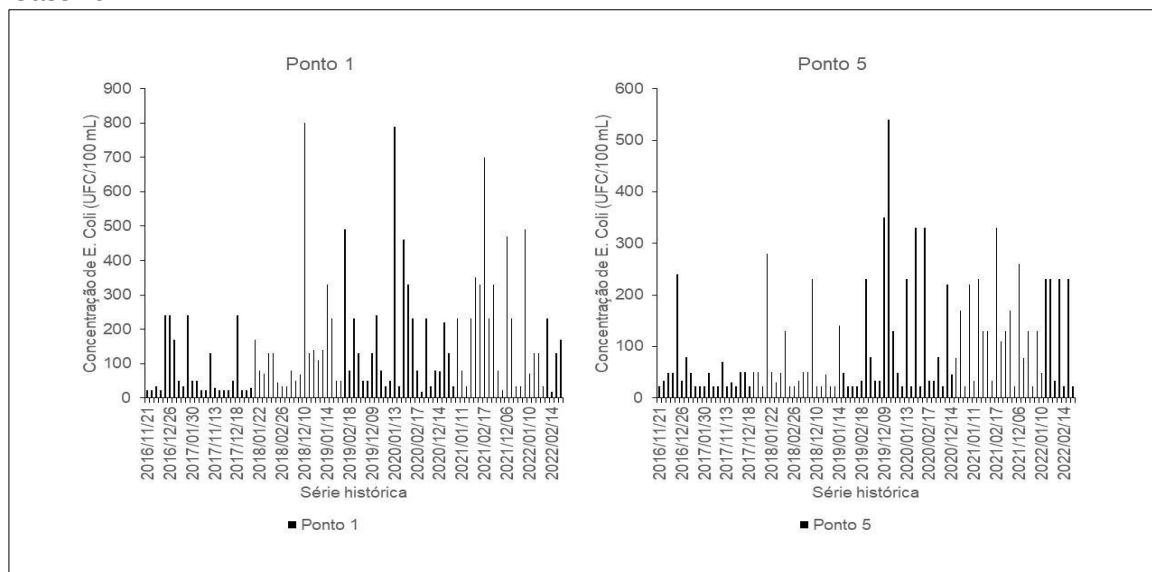
Métricas	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
Média	147,98	188,42	167,15	229,08	94,66	288,71
Mediana	79,00	76,50	74,00	50,00	49,00	70,00
Desvio padrão	162,40	323,88	293,83	672,89	101,31	1352,30
Coeficiente de variação	109,75	171,89	402,56	293,74	107,02	468,40
Intervalo	783,00	2292,00	2298,00	5380,00	517,00	12980,00
Mínimo	17,00	8,00	2,00	20,00	23,00	20,00
Máximo	800,00	2300,00	2300,00	5400,00	540,00	13000,00

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

No Ponto 1 e no Ponto 5, escolhidos pela sua distância, observa-se que suas medianas são de 79 UFC/100 mL e 49 UFC/100 mL, respectivamente. Esses valores são menores do que suas respectivas médias, indicando uma distribuição assimétrica dos dados, na qual os valores menores são mais frequentes. Embora esses pontos apresentem médias relativamente baixas, é importante notar que possuem um desvio padrão moderado e coeficiente de variação relativamente alto. Esses indicadores sugerem uma certa variabilidade e dispersão dos dados, mostrando que os resultados podem variar significativamente.

Além disso, tanto o Ponto 1 quanto o Ponto 5 (Figura 3), apresentam uma ampla faixa de variação. No ponto 1 o menor valor (17 UFC/100 mL) ocorreu na data 14/12/2020, ao passo que no ponto 5 esta concentração mínima (23 UFC/100 mL) ocorreu em 14/02/2022. Já com relação ao valor máximo foram respectivamente de 800 e 540 UFC/100 mL nas datas 15/01/2018 e 16/12/2019.

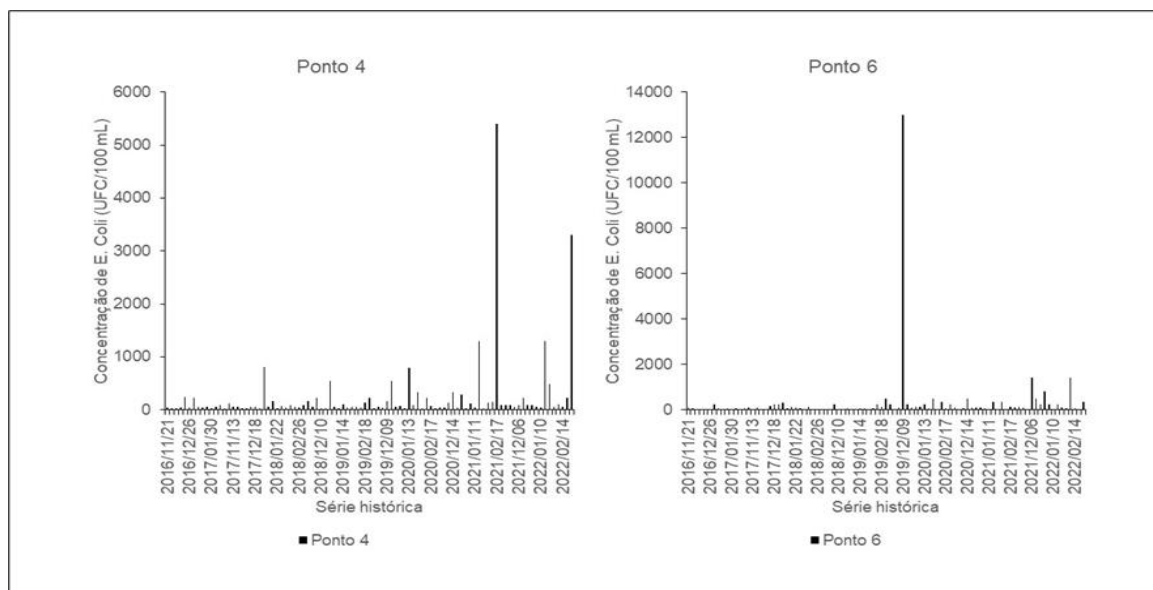
Figura 3 – Análise de série temporal dos pontos 1 e 5 do parâmetro *E. coli* pertencente ao Balneário Cassino



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Ponto 4 e o Ponto 6, pontos de distância intermediária, possuem medianas de 50 UFC/100 mL e 70 UFC/100 mL, respectivamente. Assim como nos pontos 1 e 5, as medianas são menores do que as médias. No entanto, esses pontos se destacam como os piores em termos de valor máximo de qualidade da água. Suas médias de coliformes *E. Coli* são mais altas (229,08 UFC/100 mL e 288,71 UFC/100 mL), o desvio padrão é consideravelmente elevado e o coeficiente de variação é alto. Além disso, os intervalos desses pontos são os maiores entre todos, indicando uma ampla variação, ou seja, com valores mínimos e máximos bastante divergentes (Figura 4). No Ponto 4, a data mínima registrada foi em 25/01/2021, com um valor mínimo de 20 UFC/100 mL, enquanto a data máxima foi em 02/01/2020, com um valor máximo de 5400 UFC/100 mL. No Ponto 6, o valor mínimo de 20 UFC/100 mL ocorreu em 21/02/2022, enquanto o valor máximo de 13000 UFC/100 mL foi registrado em 01/12/2019.

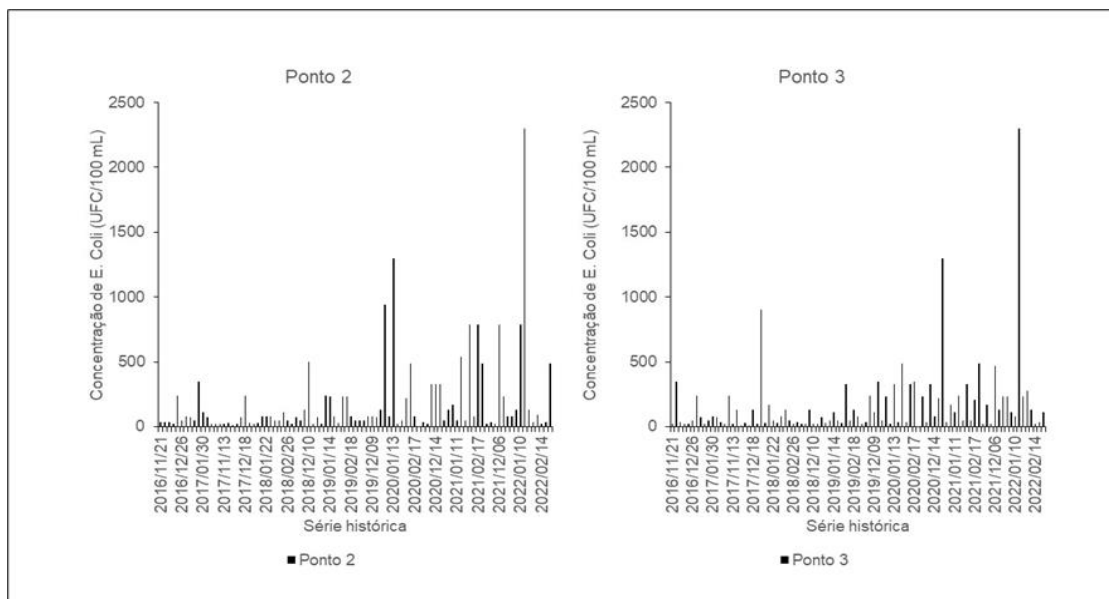
Figura 4 – Análise de série temporal dos pontos 4 e 6 do parâmetro *E. coli* pertencente ao Balneário Cassino



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Quanto ao Ponto 2 e o Ponto 3, pontos mais próximos entre si, suas medianas são de 76,50 UFC/100 mL e 74,00 UFC/100 mL, respectivamente. Embora as medianas sejam maiores do que nos pontos melhores (Pontos 1 e 5), elas ainda são menores do que as medianas dos pontos piores (Pontos 4 e 6). Os desvios padrão são relativamente altos, indicando uma maior variabilidade nos dados, e os coeficientes de variação também são altos. Além disso, os intervalos desses pontos são maiores do que nos melhores pontos (Figura 5), pois no Ponto 3, foi registrado um valor mínimo de 2 UFC/100 mL, ocorrido em 27/11/2017, e um valor máximo de 2300 UFC/100 mL, registrado em 17/01/2022. No Ponto 2, os valores mínimos e máximos foram, respectivamente, 8 UFC/100 mL (em 27/11/2018) e 2300 UFC/100 mL (em 17/01/2022).

Figura 5 – Análise de série temporal dos pontos 2 e 3 do parâmetro *E. coli* pertencente ao Balneário Cassino



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Em resumo, considerando as medianas, é possível identificar que os pontos 1 e 5 apresentam uma melhor qualidade da água, enquanto os pontos 4 e 6 são os mais preocupantes. Os pontos 2 e 3 se encontram em uma posição intermediária. Porém é fundamental destacar que todos os pontos possuem uma certa variabilidade nos dados e uma faixa de variação considerável.

Algumas possíveis causas para as variações nos níveis de coliformes *E. Coli* podem incluir o lançamento de esgoto doméstico, pois a presença de sistemas de esgoto sem o devido tratamento, pode levar ao lançamento direto ou indireto de esgoto nos corpos d'água. Essa contaminação pode aumentar os níveis principalmente nos pontos mais próximos de fontes de esgoto. Destaca-se também como possível causa as atividades agrícolas, uma vez que o uso de fertilizantes, pesticidas e a criação de animais podem contribuir para a contaminação dos corpos d'água. O escoamento de resíduos agrícolas e a lixiviação de nutrientes podem ainda enriquecer as águas com matéria orgânica, favorecendo assim o crescimento bacteriano.

Por conseguinte, o descarte inadequado de resíduos sólidos, como lixo e materiais orgânicos, pode servir como substrato para o crescimento bacteriano, incluindo coliformes *E. Coli*. Não se pode esquecer ainda a presença de animais selvagens, como aves aquáticas e mamíferos, pois as fezes desses animais podem

conter a bactéria e, quando depositadas ou levadas para os corpos d'água, aumentam os níveis de contaminação. E dentre outros destaca-se as condições climáticas e sazonais, períodos de chuva intensa, causando escoamento de águas pluviais, podem aumentar a lavagem de contaminantes para os corpos d'água, enquanto períodos de seca podem resultar em uma concentração maior de contaminantes devido à redução do volume de água.

Contudo é importante ressaltar que essas são apenas algumas possíveis causas para as flutuações nos níveis de coliformes *E. Coli* e que com os resultados subsequentes, advindos do sensoriamento remoto, será possível ter uma análise mais detalhada e específica, para assim tornar possível a implementação de medidas adequadas para garantir a qualidade da água em todas as áreas do Cassino.

Analisando a Tabela 2, que contém a série histórica de balneabilidade (anos de 2016 a 2022) de cada ponto, considerando que o balneário Cassino é destinado para o uso de recreação de contato primário, conforme estabelecido pela Resolução do CONAMA 357/2005, águas salinas de classe 1, é imprescindível avaliar os coliformes *E. Coli* de acordo com a Resolução CONAMA nº 274, de 2000.

Tabela 2 - Resultados da Balneabilidade para os pontos pertencentes ao Balneário Cassino

Série Histórica	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
2016/11/21	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2016/11/28	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2016/12/05	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2016/12/12	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2016/12/19	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Excelente
2016/12/26	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/01/02	Excelente	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Muito Bom
2017/01/09	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/01/16	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/01/23	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/01/30	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/02/06	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/02/13	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/02/20	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/02/27	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2017/11/13	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/11/20	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/11/27	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/12/04	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2017/12/11	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

2017/12/18	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom
2017/12/26	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom
2018/01/02	Excelente	Excelente	Imprópria	Aceitável	Excelente	Muito Bom
2018/01/08	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/01/15	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente
2018/01/22	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/01/29	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/02/05	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/02/12	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/02/19	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/02/26	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/11/12	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/11/19	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/11/26	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/12/03	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom
2018/12/10	Aceitável	Aceitável	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/12/17	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2018/12/26	Excelente	Excelente	Excelente	Aceitável	Excelente	Excelente
2019/01/02	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/01/07	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/01/14	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/01/21	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/01/28	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/02/04	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2019/02/11	Aceitável	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom
2019/02/18	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/02/25	Muito Bom	Excelente	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Aceitável
2019/11/18	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom
2019/11/25	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/12/03	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2019/12/09	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom	Imprópria
2019/12/16	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Aceitável	Aceitável	Muito Bom
2019/12/23	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2019/12/30	Excelente	Imprópria	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2020/01/06	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2020/01/13	Aceitável	Imprópria	Muito Bom	Aceitável	Muito Bom	Muito Bom
2020/01/20	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2020/01/27	Aceitável	Excelente	Aceitável	Muito Bom	Muito Bom	Aceitável
2020/02/03	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2020/02/10	Muito Bom	Aceitável	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom
2020/02/17	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2020/02/24	Excelente	Imprópria	Imprópria	Excelente	Excelente	Muito Bom
2020/11/19	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2020/11/23	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2020/11/30	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Excelente
2020/12/14	Excelente	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Excelente	aceitável
2020/12/16	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2020/12/21	Excelente	Excelente	Imprópria	Muito Bom	Excelente	Excelente
2020/12/28	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2021/01/04	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente
2021/01/11	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2021/01/18	Excelente	Aceitável	Muito Bom	Imprópria	Muito Bom	Muito Bom
2021/01/25	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

2021/02/01	Muito Bom	Aceitável	Muito Bom	Excelente	Excelente	Muito Bom
2021/02/08	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2021/02/17	Aceitável	Aceitável	Muito Bom	Imprópria	Muito Bom	Excelente
2021/02/22	Muito Bom	Aceitável	Aceitável	Excelente	Excelente	Excelente
2021/11/15	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2021/11/22	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2021/11/29	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2021/12/06	Aceitável	Aceitável	Aceitável	Excelente	Muito Bom	Imprópria
2021/12/13	Muito Bom	Muito Bom	Excelente	Muito Bom	Excelente	Aceitável
2021/12/20	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Muito Bom
2021/12/27	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Aceitável
2022/01/03	Aceitável	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom
2022/01/10	Excelente	Aceitável	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2022/01/17	Excelente	Imprópria	Imprópria	Imprópria	Muito Bom	Muito Bom
2022/01/24	Excelente	Excelente	Muito Bom	Aceitável	Muito Bom	Excelente
2022/01/31	Excelente	Excelente	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente
2022/02/07	Muito Bom	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom	Imprópria
2022/02/14	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
2022/02/21	Excelente	Excelente	Excelente	Muito Bom	Muito Bom	Excelente
2022/02/28	Excelente	Aceitável	Excelente	Imprópria	Excelente	Muito Bom

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A partir dos dados da Tabela 2, nos pontos 1 e 5, percebe-se diferenças na classificação de balneabilidade de águas salinas. Os resultados indicam que a qualidade da água no Ponto 5, ao longo das amostras coletadas, foi ligeiramente superior à do Ponto 1. A classificação predominante como "Excelente" no Ponto 5 sugere uma condição de balneabilidade melhor em comparação com o Ponto 1. Além disso, o Ponto 5 apresentou menos amostras classificadas como "Aceitável", o que indica uma incidência menor de condições inadequadas para recreação de contato primário.

Por conseguinte, ao analisar os pontos 2 e 3, observa-se que ambos tiveram classificação muito parecida com as amostras dos pontos 1 e 5. Sendo a classificação, predominante "Excelente". Entretanto, o Ponto 2 registrou essa classificação em 73 amostras, enquanto o Ponto 3 teve 75 amostras. É relevante ressaltar que, apesar da mesma classificação predominante, a distribuição das demais classificações pode variar entre os pontos, refletindo variações temporais na qualidade da água.

Por fim, no caso dos pontos 4 e 6, respectivamente, apresentaram 79 e 84 amostras na classificação "Excelente". Mesmo sendo os piores pontos em relação aos valores máximos, em relação a classificação imprópria, o ponto 1 foi o que

apresentou os piores resultados, ou seja, o que se manteve mais tempo nesta classe.

Esta comparação dos resultados das amostras coletadas nos diferentes pontos revela variações na classificação de balneabilidade de águas salinas. Essas diferenças podem indicar variações temporais na qualidade da água em cada ponto específico. Sendo assim é essencial o monitoramento contínuo e criterioso da qualidade da água, a fim de garantir a segurança dos banhistas e o cumprimento das regulamentações estabelecidas pelos órgãos competentes.

Com relação aos resultados encontrados na análise multivariada (Tabela 3), por meio das três primeiras componentes principais extraídas, foi possível explicar 76,39% da variância total presente nos dados. Esta análise se baseia no método de Componentes Principais (PCA), sendo um método de análise de multivariáveis que objetiva extrair informações mais importantes da matriz de dados, de modo a diminuir a quantidade de variáveis e simplificar a descrição do conjunto de dados.

Tabela 3 - Análise fatorial dos *E. coli* do Balneário Cassino

Fatores	Variância Total (%)		Variância Acumulada (%)
1	40,00		39,99
2	20,00		59,99
3	16,40		76,39
Pontos	CP ₁	CP ₂	CP ₃
Ponto1	0,624	0,115	-0,590
Ponto2	0,802	-0,344	0,170
Ponto3	0,662	-0,335	0,594
Ponto4	0,640	-0,081	-0,377
Ponto5	0,185	0,841	0,026
Ponto6	0,688	0,467	0,336

CP = Componente principal.

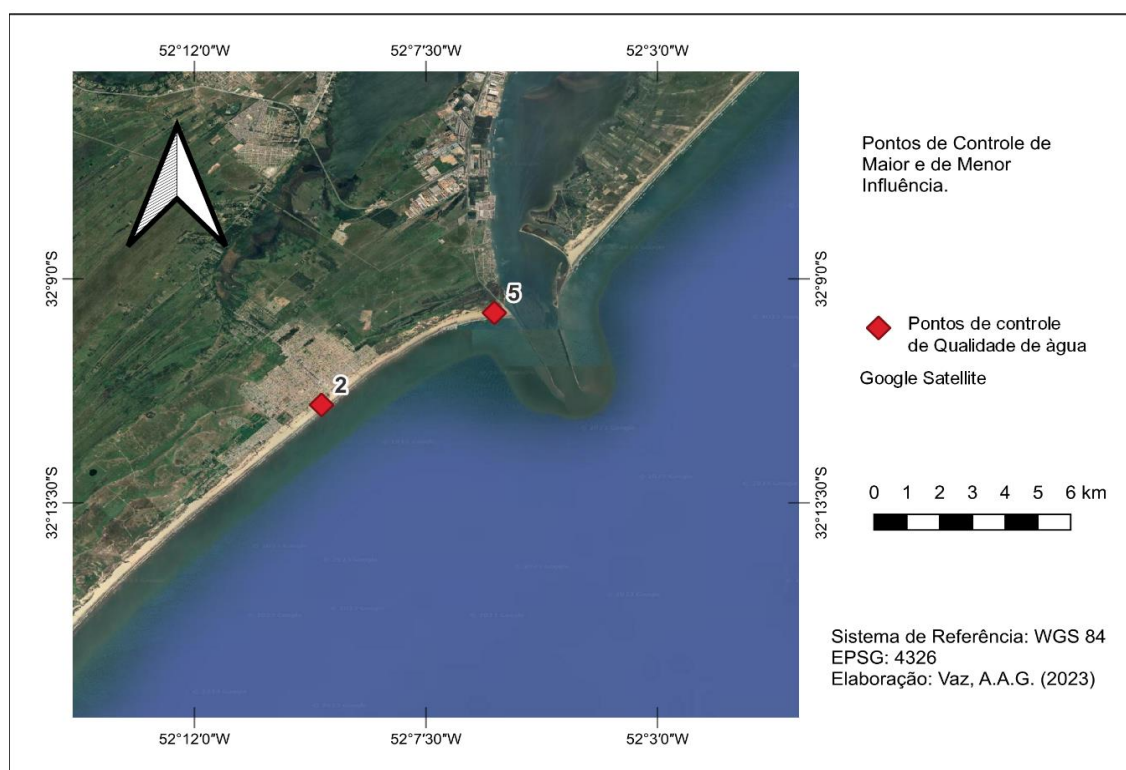
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Tabela 3 viabiliza uma visão global do que está ocorrendo de interações nesse corpo hídrico. O primeiro fator (CP1) detém 40% da variância total dos dados e sofre maior influência do Ponto 2, o que mostra que este é o ponto mais importante desta análise, seguidos dos demais pontos, com exceção do Ponto 5, pois a sua carga fatorial apresentou-se mais elevada na CP2. Nota-se que o ponto 5 encontra-se em uma área bem mais afastada da zona urbana, o que infere que a sua fonte de poluição é oriunda de atividades antrópicas diferentes dos demais pontos. Destaca-se por fim, que a componente três, embora tenha maior

contribuição de suas cargas nos Pontos 3 e 6, esses não foram superiores às cargas encontradas na CP1. Tendo-se como base as cargas fatoriais dos dados encontrados, advindos da análise multivariada para selecionar o ponto de maior e menor influência, de acordo com a sua carga, adotar-se-ão na análise sequente os pontos 2 e 5 em relação aos seus extremos. Consequente, pretende-se analisar melhor esta relação com base nos dados obtidos de Chl-a.

Com base na análise fatorial dos dados de *E. coli* no Balneário Cassino, os pontos 2 e 5 (Figura 6) emergiram como locais de particular interesse. Estes pontos foram selecionados estrategicamente para conduzir o mapeamento da Chl-a, utilizando o conjunto de dados disponível no GEE denominado GCOM-C/SGLI L3 Chlorophyll-a Concentration (V3). Essa escolha visa estabelecer uma correlação entre a presença de *E. coli* e os níveis de Chl-a, proporcionando insights valiosos sobre a qualidade da água e os fatores ambientais que influenciam a sua composição na região do Balneário Cassino.

Figura 6 – Mapa de localização do Ponto 2 e 5

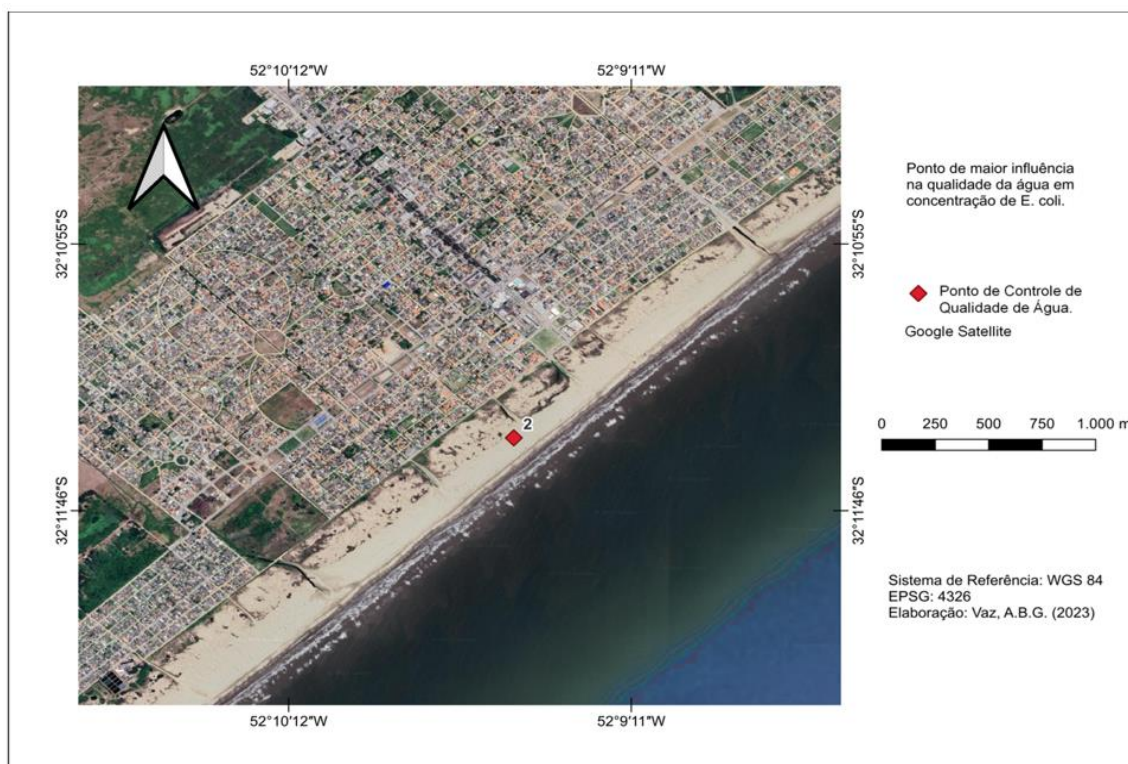


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A seguir, são apresentados os mapas temáticos que mostram a ocupação e uso da terra nas proximidades dos dois sangradouros do Balneário Cassino, conforme

ilustrado nas Figuras 7 e 8. Nas imagens é possível observar que os sangradouros considerados estão localizados em áreas com diferentes níveis de ocupação urbana, o que levanta preocupações significativas em relação à qualidade da água e à preservação ambiental.

Figura 7 – Mapa de cobertura e uso da terra no entorno do Ponto 2



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na localização do Ponto 2 é notável a expansão urbana nas imediações da Praia do Cassino. Essa urbanização acarreta um aumento na impermeabilização do solo, resultando em maior escoamento superficial. Consequentemente, ocorre o transporte de poluentes provenientes dessas áreas urbanizadas até os sangradouros de praia.

Os poluentes transportados por esse escoamento incluem resíduos de atividades industriais, esgoto doméstico e produtos químicos utilizados em áreas residenciais. Essa carga de poluentes representa uma séria ameaça à saúde da fauna e flora marinha, além de comprometer a qualidade da água e a segurança sanitária nas áreas costeiras.

Figura 8 – Imagens dos canais de drenagem no entorno do Ponto 2



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na figura 8, é possível observar a dinâmica dos canais de drenagem típicos urbanos que fluem o efluente para o sangradouro próximo ao ponto 2, chegando até a praia. Analisando visualmente o aspecto da água, nesse trecho, verificou-se a presença de resíduos de diversas tipologias, a cor da água turva (suspeita de descarga de esgoto) e com processo de eutrofização em alguns pontos dos canais de drenagem.

Dos 6 pontos amostrados, o ponto 2 foi o que apresentou maior concentração de *E. coli* na série temporal considerada neste estudo. A desconformidade dos padrões de potabilidade da água em relação a resolução nº 357/2000 do CONAMA relacionado ao ponto 2, é o recebimento de deságues com cargas de poluentes e contaminantes advindas de uma área do Cassino com concentração urbana

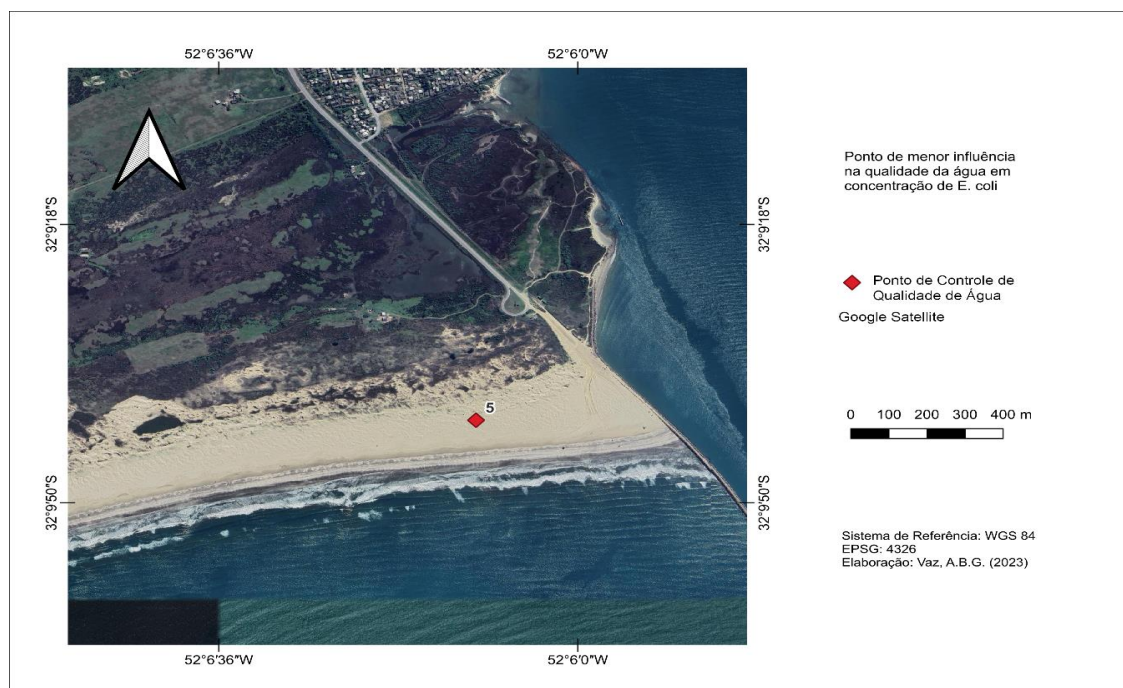
considerável, tornando esse ponto o mais representativo de interferência humana na má qualidade da água e no risco de poluir o ambiente ecológico costeiro.

Os efeitos da precipitação sobre os canais de drenagem podem resultar na redução da qualidade da água no sistema de praia. Visto que, com o aumento da vazão do efluente contendo resíduos fecais de humanos e animais, águas residuais e escoamento direto podem carregar patógenos zoonóticos para o oceano costeiro, colocando em risco a saúde pública. Da correlação entre as chuvas e a degradação da qualidade da água, pode resultar o aumento da poluição microbiana, assim como o efeito do uso da terra e escoamento, especialmente por meio da agricultura e urbanização.

Embora a vazão das águas oriunda das precipitações altere durante o ano, os canais de drenagem pluviais apresentam atividade contínua, mesmo em época de seca. Isso pode indicar que essas águas advêm da descarga de esgotos domésticos de residências irregulares, e tende aumentar a vazão na alta temporada, em resposta ao aumento populacional no Balneário Cassino.

Vale ressaltar que as correntes marítimas podem deslocar os poluentes no oceano de suas fontes para outros locais, resultando na poluição da água longe da fonte de poluição, dificultando o monitoramento preciso dessas águas.

Figura 9 – Mapa de Cobertura e uso da terra no entorno do Ponto 5



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

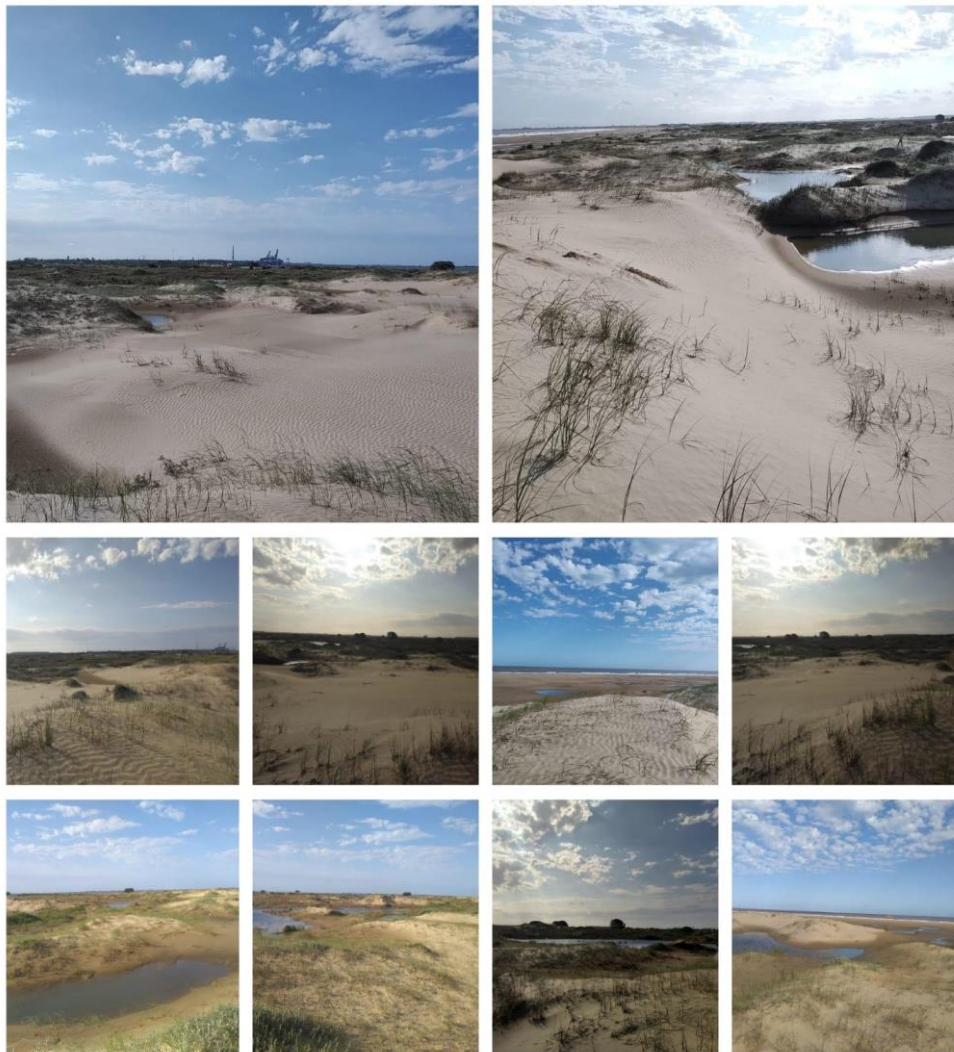
As áreas nas imediações do ponto 5 (Figuras 9 e 10) são constituídas por feições distintas do ponto 2. Trata-se de uma área sem aglomeração urbana, formada por campos, áreas úmidas, dunas e praias. Os campos apresentam vegetação predominantemente rasteira e estão sendo utilizados para a atividade pecuária.

As áreas úmidas estão inseridas na planície marinha que possui pequenos corpos hídricos situados em depressões no mesmo nível ou abaixo do lençol freático. A tendência das áreas úmidas nos campos é absorver, armazenar e filtrar o excesso de água das chuvas, retendo junto possíveis poluentes carregados pelas águas, como os resíduos agro-pastoris. Algumas partes do campo formam áreas permanentemente úmidas que, em períodos de maior precipitação, transbordam e suas águas escoam, principalmente, para o oceano, através dos sangradouros, que atuam na dinâmica das dunas e disponibilizam sedimentos para a deriva litorânea e, na sequência, para o sistema praial.

A porção da praia em questão é frequentada durante todo o ano, apresentando um aumento significativo de pessoas na alta temporada. Esse espaço praial é usado pelos banhistas, pescadores e pelas pessoas que visitam os Molhes da Barra, sendo um dos principais pontos turísticos do município de Rio Grande – RS, localizado na praia do Cassino. Portanto, pode-se inferir que a pressão antrópica na qualidade da água no ponto 5, seja proveniente de atividade de praia e práticas agropastoris. Os poluentes transportados por escoamento incluem resíduos de todas as tipologias, atuando na qualidade ambiental dos sangradouros que deságuam na zona varrido (*swash*), drenando naturalmente as águas pluviais que chegam às áreas baixas e áreas úmidas, presentes atrás das dunas frontais.

Além disso, a estrutura dos Molhes da Barra, que adentra o mar aproximadamente 4km de distância, que de certa forma separa a porção praial das aglomerações urbanas (bairros urbanos, ocupações irregulares, distrito industrial) existentes no entorno mais distante do local, pode servir como barreira contra a chegada de águas com poluentes no ponto amostral 5.

Figura 10 – Figura dos canais de drenagem no entorno do Ponto 5



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na figura 10, no entorno do Ponto 5, observa-se que entre as dunas e mais adiante no campo, existem espaços com acúmulos de águas nas baixadas da superfície. Esse aspecto de cheia se deu em função das chuvas recentes. A dinâmica da drenagem pluvial dessas águas ocorre através de alguns canais de formações naturais feitos entre as dunas, até chegar ao sangradouro. Esse curso de água continental ocorre de forma intermitente, sendo visualizado ativo na praia em época de precipitação, quando ocorre o escoamento das águas pluviais que chegam às depressões e áreas úmidas, existentes atrás das dunas frontais.

Dos 6 pontos amostrados, o Ponto 5 obteve a menor concentração de *E. coli* na série temporal considerada neste estudo. Os fatores, como o uso e ocupação da terra e a periodicidade das precipitações que interferem na frequência do

escoamento das águas continentais para o oceano, podem estar relacionados com a obtenção desse resultado.

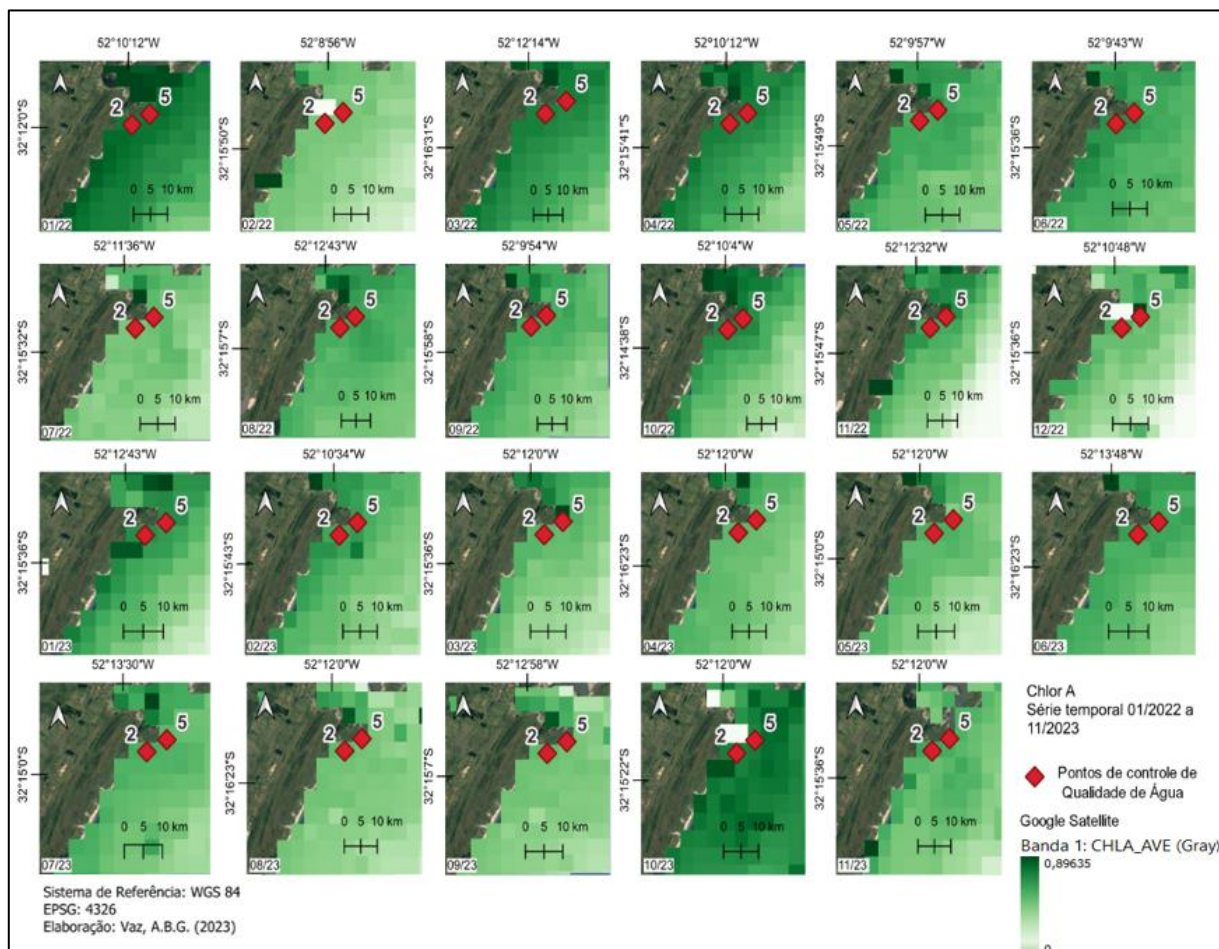
Vale ressaltar, que nos Molhes da Barra possui intensa movimentação de embarcações que utilizam o canal para entrar e sair do Porto de Rio Grande. Essa atividade nos leva a cogitar que a contaminação da água pode também ser proveniente do oceano, pelo derramamento de substâncias contaminadas das embarcações, que podem aportar na costa onde se acumulam nos sedimentos.

A elevação de maré e ressacas, também podem contribuir para carrear contaminantes do oceano para a praia, que irão influenciar nos resultados das amostras.

4.2.3.2 Análise colorimétrica da Clorofila-a por imagens de satélite

Na Figura 11, observamos o mapeamento da Chl-a, utilizando o conjunto de dados disponíveis no GEE denominado GCOM-C/SGLI L3 Chlorophyll-a Concentration (V3). Percebe-se que na distribuição espacial média mensal da concentração de Chl-a nas águas costeiras, no espaço delimitado para as análises, ocorreu variações mensais nos períodos de 01/2022 a 11/2023. A série representada pelos mapas mostra que a concentração de Chl-a aparece geralmente mais alta nas áreas próximas à costa, e a concentração na maioria das vezes se mantém alta ao longo da linha de costa analisada. Tal dado pode ser observado a partir da coloração verde da água oceânica, explicitada nas imagens de satélite. Essa relação corrobora com o estudo Cheng, Y., Zhang, S. (2021), que ao averiguar as variações da Chl-a com a distância de afastamento da costa no Mar de Bohai, na China, concluiu que a concentração de Chl-a aumentou na medida que se aproximava da costa, demonstrando uma relação desse comportamento com as influências advindas da terra.

Figura 11 – Mapas de Clorofila-a, GCOM-C/SGLI L3 Chlorophyll-a Concentration (V3) entre janeiro de 2022 a novembro de 2023.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De uma perspectiva geral, os meses 01/22, 03/22, 04/22, 06/22, 10/22, 01/23, 08/23, 10/23, obtiveram proporções significativas nas distribuições espaciais de concentração de Chl-a na água, sendo o mês 10/23 o que apresentou uma maior concentração de Chl-a. As análises da FEPAM dos pontos de amostragem 2 e 5, referentes à *E. coli* (Figura 5 e 7), mostraram uma correlação direta com os resultados observados em janeiro de 2022. Essencialmente, onde há maiores concentrações de Chl-a, também são encontradas concentrações mais elevadas de *E. coli* (Ponto 2: 2.300 UFC/100ml – ponto de maior influência; Ponto 5: 230 UFC/100ml – ponto de menor influência; Chl-a: 0,9967). No mês de fevereiro de 2022, constatou-se redução na concentração da Chl-a, o que corrobora com os valores diminutos amostrados da *E. coli* neste mês (Ponto 2: 22 UFC/100ml – ponto de maior influência; Ponto 5: 23 UFC/100ml – ponto de menor influência; Chl-a:

0,744). Entretanto, não foi possível estabelecer essa relação para as datas 03/22, 04/22, 06/22, 10/22, 01/23, 08/23 e 10/23, pois as amostras da FEPAM foram coletadas somente em janeiro e fevereiro de 2022. Essas concentrações mais elevadas provavelmente acontecem porque as águas costeiras apresentam um ambiente complexo e mutável e recebem constantemente influências de atividades humanas (por exemplo, resíduos de atividades industriais, agropastoris, esgoto doméstico, produtos químicos utilizados em áreas residenciais e transporte hidroviário). Simultaneamente, no oceano ao largo da costa, que fica mais distante dos efeitos antrópicos e influências naturais, os valores de concentração de Chl-a se encontram, no geral, em um nível mais baixo com pequenas mudanças nas faixas.

Durante os meses de inverno, pode-se notar uma diminuição na concentração de Chl-a, como evidenciado nos meses de 07/22 e 09/23. Isso pode estar associado à redução da atividade humana na região costeira, por tratar-se de baixa temporada, impactando diretamente a qualidade da água. Contudo, é interessante analisar a exceção durante o mês 10/23, onde apesar do inverno, houve uma variação que fugiu a essa tendência, sugerindo assim que outros fatores influenciaram as condições da água nesse período específico, além da redução na presença de turistas e frequentadores de praia. O mês de outubro de 2023 foi marcado por chuvas intensas, rajadas de ventos e ressaca no oceano na região sul, juntamente com os efeitos do fenômeno El Niño. Esses eventos podem ter desempenhado um papel significativo na variação da concentração da Chl-a durante esse mês. Esse padrão incomum de chuvas, especialmente intensas e ventos podem ter carreado sedimentos e substâncias para os corpos hídricos, afetando a qualidade da água de forma diferenciada (Camacho; Souza-Conceição, 2007). Acredita-se que o processo de advecção seja o responsável pelas constantes e complexas variações da Chl-a no ambiente hídrico. O processo de advecção pode ser definido como um mecanismo de transporte de massa com um fluido em movimento, da mesma forma que o transporte de sedimentos em um corpo d'água.

O mês de fevereiro de 2022, mesmo sendo um período de alta temporada, apresentou uma redução na concentração da Chl-a, assim como os dados de *E. coli* coletados dos pontos amostrais (Figura 5 e 7). Contudo, nesse mês, houve anomalia de precipitação (INMET, 2023), indicando chuva abaixo da média para o Rio Grande do Sul. A falta de chuvas pode ter influenciado na dinâmica das variações da concentração da Chl-a, visto que diminui o escoamento de água pelos canais de

drenagem, reduzindo o carreamento de poluentes do continente para o mar (Camacho; Souza-Conceição, 2007). Comumente observa-se no interior de canais de drenagem urbanos do Balneário Cassino, resíduos, águas com eutrofização, retidos pela pouca vazão de água, sem condições de escoamento. Além disso, a direção do vento, em particular, se foi predominante do Sul, é plausível que tenha trazido água de áreas menos urbanizadas para a região em estudo. Essas áreas geralmente têm águas mais limpas devido à menor atividade humana e, conseqüentemente, menor poluição.

A concentração de Chl-a nas águas costeiras é principalmente em torno de 1 µg/L (SU, Hua *et al.*, 2021) Os Pontos amostrais 1,2,3,4 e 6 alcançaram o valor da concentração da Chl-a maior que 1 µg/L, nos meses de 10/22 e 11/23, enquanto o Ponto 5 nos meses de 11/22, 12/22, 03/23 e 11/23. Entretanto, outros ambientes hídricos incluídos na delimitação da área de interesse para análise espacial da Chl-a, como as águas do entorno da Ilha dos Marinheiros (Ilha lagunar da Lagoa dos Patos e 1º Distrito do município) e a Enseada do Saco da Mangueira do estuário da Lagoa dos Patos (localizada no Sul do município), só não apresentaram valores de concentração de Chl-a maiores que 1 µg/L, as duas juntas, nos meses de 11/22, 03/22, 12/22 e 10/23 e a Ilha dos Marinheiros sozinha nos meses de 08/22 e 11/22 e a Enseada do Saco da Mangueira sozinha no mês de 06/23.

As águas costeiras são mais rasas e são mais vulneráveis às perturbações antrópicas, o que resulta nos corpos d'água uma mistura de nutrientes e sais em toda a camada de água e, dessa forma, promove o crescimento do fitoplâncton. Nesse contexto, as águas interiores supracitadas, que se encontram no interior da região urbana do município, se mantiveram com concentração de Chl-a mais elevada no período, em relação aos pontos amostrais na praia do Cassino, pela exposição aos efeitos de uma maior aglomeração urbana. Porém, a concentração de Chl-a na água costeira do oceano não apresentou variações expressivas de um mês para o outro, no decorrer do tempo.

Na primavera e no verão, a concentração de Chl-a tende a ser maior do que no outono e inverno, visto que, à medida que a temperatura da água aumenta gradualmente, a água se torna mais adequada para o crescimento do fitoplâncton (Camacho; Souza-Conceição, 2007).

Assim, os fatores ambientais que mais atuam nas variações da biomassa do fitoplâncton, estão condicionados especialmente aos regimes de luz e eventos

meteorológicos, como a precipitação pluviométrica (com o maior aporte de nutrientes para o ambiente) e direção e intensidade do vento. A ação do vento, pode formar a ressuspensão, a qual atua na dinâmica de nutrientes e poluentes nas águas rasas, liberando concentrações altas de biomassa, ao contrário das águas profundas, maiores que 3 metros (Seeliger; Odebrecht; Castello, 1998). O movimento da maré também mistura o substrato durante o ano, permitindo um rápido desenvolvimento do fitoplâncton quando atingido pela luz, com produção máxima, especialmente no verão. Assim, a concentração de Chl-a aumenta, e as áreas onde há aumentos óbvios de concentração de Chl-a são as áreas mais poluídas.

Nesse estudo, os valores de *E. coli* advindas do escoamento continental de nutrientes terrestres foi relacionada às variações da concentração da Chl-a, através do imageamento disponibilizado pelo sensoriamento remoto (Figura 13). A análise dos fatores que afetam a concentração da Chl-a, no local de estudo, não foi abrangente o suficiente. Para obter-se informações mais consistentes, outras variáveis ambientais como luz, precipitação, correntes marítimas, maré, ventos, temperatura, também podem afetar a variação da Chl-a, o que deve ser estudado futuramente, para qualificar a qualidade da água no ambiente marinho. Será pertinente também entender as variáveis químicas, físicas e biológicas, de contribuição continental e marinha, que influenciam na produção primária e suas relações com variáveis passíveis de sensoriamento remoto.

Diante desse cenário, é fundamental promover a discussão sobre as medidas necessárias para controlar a entrada de poluentes nos sangradouros e, assim, minimizar os impactos negativos causados pela ocupação urbana desordenada. A implementação de práticas de gestão adequadas, como o monitoramento contínuo da qualidade da água, a melhoria dos sistemas de escoamento pluvial e a conscientização da população local são ações cruciais para preservar esses ambientes costeiros e garantir a sustentabilidade a longo prazo.

4.2.4 Conclusão

Este estudo demonstrou que áreas com maior ocupação urbana estão relacionadas à geração de poluentes para os sangradouros de praia, influenciando na qualidade da água oceânica. Nesse contexto, para conhecer essas relações com a qualidade da água oceânica direcionada ao Balneário Cassino, buscou-se detalhar

o uso e ocupação da terra na área dos canais de drenagem, a aplicação de cálculos estatísticos em dados primários adquiridos na Fepam dos valores da *E.coli* amostrados em pontos estratégicos na praia, assim como a obtenção de imagens na plataforma GEE para averiguar a variação da concentração da Chl-a, em série temporal no período de 01/2022 a 11/2023.

Através da elaboração dos mapas temáticos dos pontos de amostras com seus respectivos sangradouros, foi possível identificar o uso da terra relacionado a estes pontos, conhecendo a extensão e distribuição das áreas próximas aos canais. O cálculo estatístico identificou o ponto de maior influência por contaminação *E.coli* na água oceânica (Ponto 2) e o ponto de menor influência (Ponto 5). Através dos cálculos obteve-se a informação que o Ponto 2 é o ponto mais sensível de chegada de poluentes na rede de drenagem e representa as áreas mais vulneráveis à ação humana, enquanto o Ponto 5 é o ponto de menor influência e essa condição está relacionada ao uso da terra das áreas representadas pelo ponto.

As imagens obtidas da plataforma GEE, mostrou a evolução da variação da concentração da Chl-a, no período de interesse, proporcionando insights valiosos sobre a qualidade da água e os fatores ambientais que influenciam a sua composição na região do Balneário Cassino.

Esses resultados terão um impacto significativo tanto na comunidade local quanto no próprio Balneário Cassino. Pois, as informações obtidas subsidiarão o desenvolvimento de políticas de gestão ambiental mais efetivas, embasadas em dados precisos sobre as fontes de poluição e os pontos críticos de intervenção humana nos canais de drenagem. E o impacto na comunidade e no Balneário Cassino inclui a melhoria da qualidade da água nos canais de drenagem, promovendo um ambiente mais saudável para os residentes e visitantes. Além disso, a preservação do Balneário Cassino como um importante destino turístico será garantida, assegurando a sustentabilidade ambiental e a conservação da rica biodiversidade presente na região.

Referências

BARBOSA, Alane Carvalho *et al.* Caracterização físico-química e microbiológica da água do mar das praias do litoral de Pernambuco. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 15, pág. 20111536240-20111536240, 2022.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. [Brasília]: Conama, 2005.

CABALLERO, Cassia Brocca. **Modelagem empírica de Clorofila-a e Oxigênio Dissolvido combinando sensoriamento remoto orbital e dados in situ na lagoa Mirim, RS, Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

CAMACHO, Franciele Pereira; SOUZA-CONCEIÇÃO, José Maria. Distribuição espaço-temporal da clorofila a e das variáveis ambientais em praias estuarinas da ilha de São Francisco do Sul (baía da Babitonga, sul do Brasil). **Boletim Técnico-científico do CEPENE**, v. 15, n. 2, p. 9-16, 2007.

CHENG, Yu; ZHANG, Shengjia. The Research on the Variation of Chlorophyll-a in Bohai Sea Based on MODIS Data. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. p. 022029

CUNHA, Leandro Custódio da. **Poluição marinha por plásticos: uma questão de direito internacional**. Dissertação (Mestrado em Direito) - Faculdade de Direito, Universidade de Lisboa, 2017.

DA SILVA, Tais dos Reis *et al.* Contaminação ambiental por enteroparasitas presentes em areias na Praia do Amor, Distrito de Outeiro, Belém, Pará, Brasil. **Brazilian Applied Science Review**, v. 4, n. 3, p. 1334-1342, 2020.

DA SILVA PINTO, Eliane *et al.* Análise da ocorrência de casos de doenças diarreicas agudas (da) no município de Tucuruí. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, p. 1-9, 2022.

FEDERIGI, Ileana., VERANI, Marco, CARDUCCI, Annalaura. Sources of bathing water pollution in northern Tuscany (Italy): Effects of meteorological variables. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 843–848.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUÍS ROESSLER/RS (FEPAM). **Qualidade Ambiental**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/iqagua.asp>. Acesso em: 07 jun. 2023.

Hu, C. Z.-P. Lee, and B. Franz, "Chlorophyll a algorithms for oligotrophic oceans: A novel approach based on threeband reflectance difference", J. Geophys. Res., 117, C01011, doi: 10.1029/2011JC007395 (2012).

JOSE, Dinu Maria *et al.* Assessment of coastal water quality along south west coast of India using multile regression analysis on satellite data. **Journal of Rural Development**, v. 37, n. 2, p. 269-284, 2018.

KULK, Gemma *et al.* Primary production, an index of climate change in the ocean: satellite-based estimates over two decades. **Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 826, 2020.

MCGRANAHAN, Gordon; BALK, Deborah; ANDERSON, Bridget. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment and urbanization**, v. 19, n. 1, p. 17-37, 2007.

MOHSENI, Farzane *et al.* Ocean water quality monitoring using remote sensing techniques: A review. **Marine Environmental Research**, p. 105701, 2022.

MOURA, Jailson Fulgencio de *et al.* A interface da saúde pública com a saúde dos oceanos: produção de doenças, impactos socioeconômicos e relações benéficas. **Ciência & saúde coletiva**, v. 16, p. 3469-3480, 2011.

Murakami, H. ATBD of GCOM-C chlorophyll-a concentration algorithm (Version2). 2020. Disponível em: https://suzaku.eorc.jaxa.jp/GCOM_C/data/ATBD/ver2/V2ATBD_O3AB_Chla_Murakami.pdf Acesso em: 13 dez. 2023.

RODRÍGUEZ, José Joaquín; WINDEVOLHEL LORA, Néstor José. Análisis de la situación de la zona marina costera Centroamericana. **Banco Interamericano de Desenvolvimento BID**. Washington DC No ENV-121, 1998.

SEDINI, Sandra. O Futuro dos Oceanos. **Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo**. Disponível em <http://www.iea.usp.br/eventos/futuro-dos-oceanos> Acesso em 04 nov.2022. Acesso em: 13 dez. 2023.

SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.P. Os ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo. Rio Grande: Ecosientia, 1998, 326p.

SIQUEIRA, Mariana Santiago *et al.* Interações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado na rede pública de saúde da região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010-2014. **Epidemiologia e Serviços de saúde**, v. 26, p. 795-806, 2017.

SU, Hua *et al.* Estimating coastal chlorophyll-a concentration from time-series OLCI data based on machine learning. **Remote Sensing**, v. 13, n. 4, p. 576, 2021.

SUGUIO, Kenitiro. Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado + presente = futuro. São Paulo: **Paulo's comunicação e artes gráficas**, 1999.

TILBURG, Charles E. *et al.* The effects of precipitation, river discharge, land use and coastal circulation on water quality in coastal Maine. **Royal Society open science**, v. 2, n. 7, p. 140429, 2015.

TOLEDO, André Correa; KWAI, Luana Ly; UNGER, Rafael. A Poluição dos Mares. **Holos Environment**, n. 8, v. 2, 2008.

VIKAS, M.; DWARAKISH, G. S. Coastal pollution: a review. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 381-388, 2015.

ZHANG, Weiwei *et al.* Effects of rainfall on microbial water quality on Qingdao No. 1 Bathing Beach, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 66, n. 1-2, p. 185-190, 2013.

5 CONCLUSÃO GERAL

A produção da revisão sistemática, fundamentada em estudos selecionados, foi relevante para conhecer as metodologias que estão sendo usadas globalmente, para avaliar a qualidade da água e monitorar parâmetros relacionados aos ambientes marinhos, utilizando técnicas matemáticas, atreladas ao sensoriamento remoto. A revisão mostrou que os estudos utilizaram metodologias distintas, tanto no quesito parâmetros analisados na água, quanto o uso das técnicas de sensoriamento remoto para obter as informações necessárias sobre os oceanos, adaptadas às regiões estudadas. Porém, um dos principais pontos em comum entre os estudos foi o uso do sensoriamento remoto, por meio de observações de satélite.

Para isso, os pesquisadores empregaram algoritmos empíricos para processar os dados de satélite e extrair estimativas dos indicadores de qualidade de água, como a concentração de Chl-a, carbono orgânico e outros. Esses algoritmos são desenvolvidos com base em relações empíricas entre os dados de satélite e as medições realizadas em campo. Essa abordagem permite as análises em uma escala maior do que seria possível apenas com medições pontuais, sendo uma alternativa eficiente para o monitoramento contínuo de qualidade de água oceânica. Dentre os métodos conhecidos inclui-se a utilização da plataforma GEE, que está sendo utilizada para o processamento eficiente de grandes volumes de dados e a disponibilidade de ferramentas avançadas de análise têm sido fundamentais nesse contexto.

Porém, mediante as análises das metodologias ficou evidente a necessidade do contínuo aprimoramento e refinamento dessas abordagens, levando-se em conta as dificuldades que envolvem as análises globais relacionadas à obtenção de dados ambientais.

Nesse contexto, para avaliar a análise da qualidade da água oceânica direcionada ao Balneário Cassino, buscou-se aplicar cálculos estatísticos em dados primários adquiridos na Fepam dos valores da *E.coli* amostrados em pontos estratégicos na praia, assim como obter-se imagens na plataforma GEE para averiguar a variação da concentração da Chl-a em série temporal no período de 01/2022 a 11/2023. Por meio dessas duas variáveis analisadas foi possível detectar

os pontos sensíveis de intervenção antrópica na poluição da água marinha na área de estudo.

Nesse estudo, ficou evidente a participação dos canais de drenagem no processo de análise da qualidade da água oceânica e a importância da sua qualidade ambiental, visto que, esses cursos hídricos estão sendo responsáveis não só pela drenagem pluvial, mas também pela condução de poluentes até o mar por meio dos sangradouros.

As análises, espacial baseada em sensoriamento remoto, assim como estatísticos, demonstraram que áreas com maior ocupação urbana tendem a gerar mais poluentes para os sangradouros de praia, influenciando na qualidade da água oceânica. A compreensão dessa relação é crucial para o planejamento e a gestão adequada das áreas costeiras, região onde se enquadra o Balneário Cassino. A implementação de medidas de controle de poluição, como a melhoria da infraestrutura de drenagem e a adoção de práticas de manejo sustentável, é fundamental para minimizar os impactos negativos da drenagem urbana nos sangradouros de praia. Além disso, políticas de planejamento urbano devem considerar a proteção dos recursos hídricos costeiros, promovendo o desenvolvimento sustentável e a conservação do meio ambiente.

Apêndice

Apêndice A - Código para processamento de imagem do Google Earth Engine. (GCOM-C/SGLI L3 Chlorophyll-a Concentration (V3) entre janeiro de 2022 a novembro de 2023)

```
// Define a área de interesse (AOI)
var AOI = ee.FeatureCollection('users/abiagvaz/Distrito_Ana');

// Define os anos de interesse
var anos = [2022, 2023];

// Define as bandas de interesse
var bandas = ['CHLA_AVE'];

// Defina o dataset fora do loop
var dataset = ee.ImageCollection('JAXA/GCOM-C/L3/OCEAN/CHLA/V3');

// Loop sobre os anos
for (var i = 0; i < anos.length; i++) {
  var ano = anos[i];

  // Loop sobre os meses
  for (var mes = 1; mes <= 12; mes++) {
    // Constrói datas de início e fim do mês
    var dataInicial = ee.Date.fromYMD(ano, mes, 1);
    var dataFinal = dataInicial.advance(1, 'month');

    // Filtra as imagens no intervalo de datas
    var datasetMensal = dataset.filterDate(dataInicial, dataFinal);

    // Filtra apenas imagens diurnas
    datasetMensal = datasetMensal.filter(ee.Filter.eq('SATELLITE_DIRECTION', 'D'));

    // Calcula a média das imagens no mês
    var imagemMediaMensal = datasetMensal.mean();

    // Multiplica pela escala desejada e aplica log, se necessário
    var imagemProcessada = imagemMediaMensal.multiply(0.0016).log10();

    // Define a paleta de cores
    var vis = {
      bands: bandas,
```

```

    min: -2,
    max: 2,
    palette: [
'3500a8', '0800ba', '003fd6',
'00aca9', '77f800', 'ff8800',
'b30000', '920000', '880000'
]
}; // Adiciona a imagem processada ao mapa com um nome que indica o ano e o mês e
aplica o recorte à AOI

    var imagemParaExportar = imagemProcessada.clip(AOI);
    Map.addLayer(imagemParaExportar, vis, ano + '-' + mes);
    // Exporta a imagem
    // Exporta a imagem
    Export.image.toDrive({
image: imagemParaExportar,
description: 'Chlorophyll_' + ano + '-' + mes,
scale: 500, // Ajuste a escala conforme necessário
region: AOI,
fileFormat: 'GeoTIFF', // Alterado para 'GeoTIFF'
fileNamePrefix: 'Chlorophyll_' + ano + '-' + mes
})
}
}

// Define o centro do mapa
Map.setCenter(128.45, 33.33, 5);

```