



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS
CURSO DE OCEANOGRAFIA

Raphaela Gonçalves Bueno

**Variabilidade CDOM na Costa do Paraná e Sul de São Paulo por
Imagens do Sentinel-2**

**PONTAL DO PARANÁ
2023**

Raphaela Gonçalves Bueno

**Variabilidade CDOM na Costa do Paraná e Sul de São Paulo por
Imagens do Sentinel-2**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia da Universidade Federal do Paraná, como requisito à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg

**PONTAL DO PARANÁ
2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DO CURSO DE OCEANOGRAFIA
Avenida Deputado Aníbal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do
Paraná/PR, CEP 83255-976
Telefone: (41) 3511-8626 - <http://www.ufpr.br/>

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Raphaela Gonçalves Bueno

“VARIABILIDADE CDM NA COSTA DO PARANÁ E COSTA SUL DE SÃO PAULO POR IMAGENS DO SENTINEL-2”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharela em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg

Prof. Orientador - Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR

Prof. Dr. Marcelo Sandin Dourado

Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR

MSc. Rafaela Cristine Zem

Doutoranda PGSISCO (CPP-CEM) - UFPR

Pontal do Paraná, 07 de julho de 2023

AGRADECIMENTOS

Retomar o final que era a única parte que restava de todos os compromissos da graduação depois de uma longa pausa me reconectou a duas pessoas muito especiais que marcaram o começo, Aika e Julia. Ambas foram essenciais para que eu tivesse condições de chegar até aqui.

Agradeço aos programas de incentivo, especialmente a cota para estudantes de escola pública e o Ciência Sem Fronteiras, que me proporcionaram vivências acadêmicas no Brasil e fora dele que culminaram na mulher que sou hoje.

Ao professor Maurício, que foi muito solícito desde o início, além de claro e direto no que precisava ser feito.

Por fim, a todos os nomes não citados que acreditaram em mim mesmo quando duvidei de mim mesma.

Não devemos nos questionar porque
algumas coisas nos acontecem e sim o que
podemos fazer com o tempo que nos é dado.
Gandalf

RESUMO

A Matéria Orgânica Colorida Dissolvida (CDOM) é a porção da matéria orgânica dissolvida que afeta as propriedades ópticas da água e desempenha um papel fundamental na ciclagem biogeoquímica do carbono nos sistemas aquáticos. A pesquisa visa avaliar as concentrações de CDOM e suas variações sazonais na área de estudo que compreende desde Cananéia, no sul de São Paulo, até o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e a Baía de Guaratuba (BG) no Paraná. Utilizou-se de técnicas de sensoriamento remoto e imagens de satélite do Sentinel-2 MSI, que fornece dados multiespectrais com resolução espacial de 10 metros. A plataforma Google Earth Engine foi utilizada para acessar e processar as imagens de satélite, com a qual foi possível selecionar imagens com menos de 2% de cobertura de nuvens, calcular a razão entre bandas (B2 e B4) e aplicar um módulo de correção atmosférica. As imagens foram baixadas e transferidas para o software QGIS, para agrupamento por estação de todos os anos (de 2019 a 2022), extração dos corpos d'água por máscara shapefile e as médias otimizadas que foram categorizadas em 8 classes de 0 a 2 m^{-1} . Por fim, com a ferramenta Profile Tool, foram criados 5 transectos da desembocadura em direção ao mar aberto para uma representação e análise mais pontual do CDOM, que tende a diminuir em direção ao oceano aberto, como mostram os resultados. De forma geral, os valores inferidos de CDOM próximo à costa foram superiores quando comparados aos valores em direção ao mar aberto, e a confiabilidade dos dados foi menor no verão pois havia pouca disponibilidade de imagens e os dados apresentavam ruídos. Para o estudo de caso de concentração de CDOM pós período seco e pós período de chuva, janeiro e julho de 2019 foram os meses selecionados e as imagens foram de cenas ao invés de médias, apresentando baixa concentração pós período seco e grande concentração pós chuva, como esperado.

Palavras-chave: Matéria Orgânica Colorida Dissolvida. Google Earth Engine. Precipitação.

ABSTRACT

Dissolved Colored Organic Matter (CDOM) is the portion of dissolved organic matter that affects the optical properties of water and plays a key role in the biogeochemical cycling of carbon in aquatic systems. The research aims to evaluate the concentrations of CDOM and its seasonal variations in the study area that comprises from Cananéia, in the south of São Paulo, to the Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) and the Baía de Guaratuba (BG) in Paraná. Remote sensing techniques and satellite images from Sentinel-2 MSI were used, which provide multispectral data with a spatial resolution of 10 meters. The Google Earth Engine platform was used to access and process the satellite images, with which it was possible to select images with less than 2% cloud cover, calculate the ratio between bands (B2 and B4) and apply an atmospheric correction module. The images were downloaded and transferred to the QGIS software, for grouping by season of all years (from 2019 to 2022), extraction of water bodies by shapefile mask and the optimized averages that were categorized into 8 classes from 0 to 2 m⁻¹. Finally, with the Profile Tool, 5 transects were created from the mouth towards the open sea for a more punctual representation and analysis of the CDOM, which tends to decrease towards the open ocean, as shown by the results. In general, the inferred values of CDOM near the coast were higher when compared to the values towards the open sea, and the reliability of the data was lower in the summer because there was little availability of images and the data presented noise. For the case study of CDOM concentration after dry period and after rainy period, January and July 2019 were the selected months and the images were of scenes instead of averages, showing low concentration after dry period and high concentration after rain, as expected.

Key-words: Colored Dissolved Organic Matter. Google Earth Engine. Precipitation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 JUSTIFICATIVA	8
3 OBJETIVOS	9
3.1 OBJETIVO GERAL	9
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
4 METODOLOGIA	9
4.1 ÁREA DE ESTUDO	10
4.2 GEOPROCESSAMENTO.....	11
4.2.1 Google Earth Engine	12
4.2.2 Correção Atmosférica	13
4.2.3 Algoritmo de determinação do CDOM.....	14
4.2.4 QGIS	16
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	28
APÊNDICE	36

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica dissolvida (DOM) desempenha um papel primordial na ciclagem biogeoquímica do carbono em sistemas aquáticos, e tem sido usada como um indicador da adequação das águas superficiais para uso humano (BREZONIK et al., 2015; MASSICOTTE et al., 2017; WEN et al., 2019, apud SHANG et al., 2021). Essa matéria orgânica é advinda de fontes biológicas locais chamadas de autóctones e fontes terrestres chamadas alóctones e também atividade antropogênica, e sua redução se dá por processos físicos, consumo microbiano e degradação fotoquímica (DIAS et al., 2021). No entanto, é a fração cromófora da DOM, a matéria orgânica colorida dissolvida (CDOM), que afeta as propriedades ópticas da água, sendo considerada um parâmetro útil no desenvolvimento de vários modelos de monitoramento da qualidade da água. A CDOM atenua a penetração de luz na coluna d'água bloqueando os raios ultravioleta, interferindo diretamente na atividade biológica fitoplanctônica que é o primeiro nível trófico e assim, influenciando ecossistemas aquáticos e ciclos biogeoquímicos subsequentes (HÄDER et al., 2007 apud SLONEKER, 2016).

Estudos apontam que existe um comportamento consistente entre o carbono orgânico dissolvido (DOC) e CDOM ao longo do gradiente de salinidade, variando conforme a sazonalidade e região (VANTREPOTTE et al., 2015). Os estuários desempenham um papel crucial na facilitação da transferência de carbono orgânico da terra para as águas costeiras adjacentes, já que o DOC terrestre pode chegar a ter até o dobro da concentração encontrada no oceano (DIAS et al., 2021).

Pritchard (1967) definiu o estuário como um corpo d'água semifechado, costeiro e com conexão livre com o mar, local onde a água doce advinda de descarga continental é diluída na água salgada do mar. Essa definição oceanográfica clássica inclui premissas geomorfológicas que influenciam na circulação, salinidade e densidade, englobando propriedades físicas, químicas, biológicas (JACKSON, 2013, apud OLIVEIRA FILHO, 2021). Para exemplificar a importância da dinâmica estuarina na transferência e retenção do DOC, pode-se mencionar a Zona de Máxima Turbidez, uma região dentro do estuário onde há grande concentração de sedimentos em suspensão e os processos biogeoquímicos passam por reações significativas, pois quando o DOM encontra condições completamente diferentes da sua origem, uma parcela se precipita formando

agregados orgânicos e ficando à mercê dos processos microbianos, enquanto outra parcela continua como DOM, mas com propriedades estruturais distintas de suas originárias (GUSSO, 2008). Sob influência de tantas forçantes e variáveis, o estuário constitui um ambiente de alta complexidade, sendo uma área de grande importância econômica e ecológica, e por ser abrigada, é ideal para atividades portuárias, de lazer e pesqueiras. Abrigo, juntamente com a retenção de nutrientes graças à hidrodinâmica, concede habitats para várias espécies (DUARTE, 1997).

Nos últimos anos, a espectroscopia de campo tradicional em combinação com técnicas de sensoriamento remoto por satélite forneceu uma abordagem rápida para estimar o CDOM e caracterizar suas propriedades ópticas em oceanos, estuários e águas interiores opticamente complexas (GRIFFIN et al., 2018; FICHOT et al., 2016). A complexidade óptica nas águas costeiras é o principal desafio do sensoriamento remoto, e isso se dá pelos fatores citados acima e pela quantidade de constituintes opticamente ativos (COAs) presentes, sendo eles, além da CDOM, os pigmentos fotossintetizantes e os sólidos em suspensão. Além disso, a classificação dos sistemas aquáticos com base na intensidade do fluxo da água corrente é importante para caracterizar se os COAs são transportados por advecção nos lóticos (que se caracterizam pelo fluxo intenso), ou por convecção e dispersão nos lênticos (que se caracterizam por ter pouco ou nenhum fluxo), proporcionando compreensão sobre o tempo de residência dos COAs da bacia de drenagem até a costa. As inferências sobre cada COA dependem da modulação da intensidade da radiação espectral lida pelos sensores. (BARBOSA et al., 2019)

Para se obter a estimativa da reflectância da água com acurácia através de sensores multiespectrais e assim, ser uma alternativa com o alto custo-benefício que o sensoriamento remoto dá, os modelos requerem correções atmosféricas que removam a reflectância de gases e vapor, algoritmos de classificação de nuvens e validação por amostras *in situ* que acompanhem temporalmente a transposição da passagem do satélite (SLONEKER, 2016).

2 JUSTIFICATIVA

Existe atualmente uma carência de estudos que analisem sazonalmente a quantidade de matéria orgânica utilizando ferramentas de sensoriamento remoto e

portanto, a concentração de carbono de origem terrestre em águas costeiras. Desse modo, quantificar as concentrações de CDOM durante as estações do ano em diferentes anos e quantificar a variabilidade de CDOM após períodos de chuva e de seca, identificando zonas afetadas por eventos extremos de mínima e máxima pluviosidade, podem gerar subsídios para o gerenciamento costeiro, como por exemplo na identificação de águas afetadas por eutrofização, indicação de sazonalidade de águas impróprias para banho e na identificação de zonas-chave de presença de animais marinhos protegidos e/ou em extinção, entre outras contribuições.

Águas opticamente complexas necessitam de algoritmos regionais, por isso estudos redigidos através de imagens de satélite usam modelos já validados em zonas estuarinas, e especificamente neste caso, para quantificar níveis de CDOM durante as estações em diferentes anos e quantificar a variabilidade de CDOM após período de chuva e após período de seca, identificando zonas afetadas por eventos extremos de mínimas e máximas de pluviosidade.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a variabilidade sazonal do CDOM na costa do Paraná e sul de São Paulo utilizando imagens de satélite.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer um levantamento de imagens disponíveis de boa qualidade para a região.
- Fazer a correção atmosférica das imagens selecionadas.
- Aplicar o algoritmo de determinação do CDOM.
- Analisar as variabilidades sazonais, eventos de alta e baixa precipitação e a influência dos estuários na distribuição do CDOM na costa.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A costa do litoral do Paraná, na região sul do Brasil, é composta por 2 embaiamentos ao longo dos 100 quilômetros de linha de costa. São eles o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e a Baía de Guaratuba (BG). O litoral, em toda a extensão, apresenta uma importante área portuária, praias e ilhas. São 125 praias e balneários e mais de 57 ilhas no litoral.

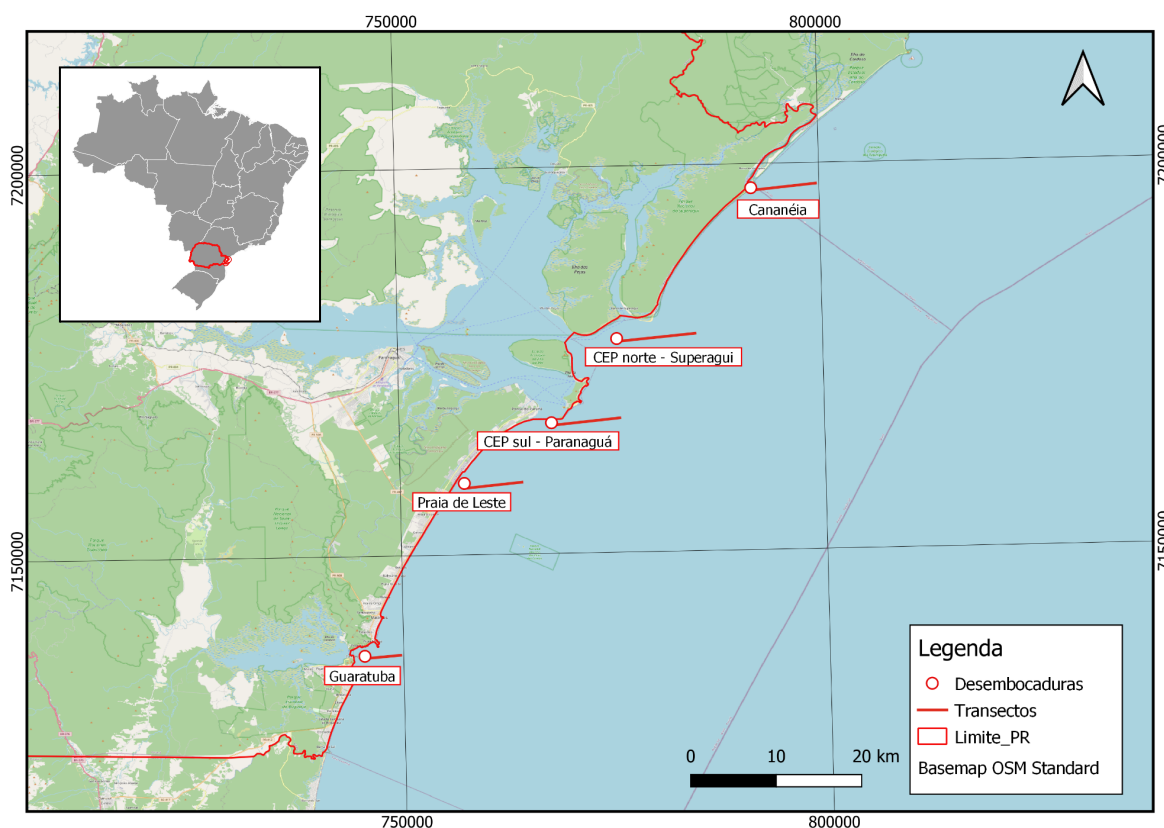
O CEP (Figura 1) é parte de um grande sistema estuarino subtropical com 551,8 km² de área inundada, cercado por uma grande planície costeira margeada por manguezais mais ao interior e praias arenosas nas áreas expostas, além de alguns costões rochosos; sua conexão com o oceano Atlântico se dá por três canais – da Galheta, do Norte e o de Superagui, e é composto por dois principais eixos: Leste-Oeste, formado pelas Baías de Paranaguá e Antonina, e o eixo Norte-Sul, formado pelas baías de Laranjeiras e Pinheiros. Praia de Leste está sob influência da desembocadura do CEP, porém encontra-se em um ecossistema diferente e sob influência direta do oceano (NOERNBERG et al., 2006; LANA et al., 2001).

Por outro lado, a Bacia hidrográfica de Guaratuba tem 1393 km² de extensão e constitui um dos sistemas fluviais mais importantes da zona litorânea do Paraná. Ela é formada pelos afluentes que nascem no primeiro planalto paranaense e por dois rios (Descoberto e Boguaçu) que nascem no litoral (MAACK, 1968). Presente neste contexto, a Baía de Guaratuba fica localizada entre as coordenadas de 48° 30' W, 25° 50' S e 48° 45' W, 25° 54' S, com uma área de aproximadamente 40 km². Ao sul, sendo a segunda maior baía do litoral paranaense, a Baía de Guaratuba (25° 52' S, 48° 39' W) possui mais de 48 quilômetros de extensão. Possui 16 rios, sendo que 14 nascem na serra, além de várias ilhas e uma extensa faixa de manguezal. Comunica-se com o Oceano Atlântico por uma abertura de aproximadamente 500 metros, e prolonga-se para dentro do continente por cerca de 15 quilômetros (CHAVES e CORRÊA, 1998).

Ao norte do CEP, estão localizadas as ilhas Comprida e Cananéia. Ambas estão inseridas na região lagunar Cananéia-Iguape, no litoral sul de São Paulo, fronteira com o CEP. Ao sul da laguna, em suas linhas mestras, o conjunto é representado pelo corpo principal da laguna, que exhibe a conformação de um rio de

largura média, não excedente de 1 km, com o comprimento de, aproximadamente, 75 km. Segue paralelamente à orla oceânica, ficando separado por uma faixa arenosa e estreita, representada pela Ilha Comprida (BESNARD, 1950). Ainda de acordo com Besnard (1950) a porção norte da laguna tem um único leito cuja largura não é superior a 1 km. Descendo-se em direção oposta, nos dois terços do seu comprimento, reparte-se ela em dois braços - o Mar de Cananéia e o Mar de Cubatão, este situado entre o continente e a ilha de Cananéia na qual, em sua face SW, encontra-se a cidade do mesmo nome.

FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO QUE COMPREENDE AS 3 DESEMBOCADURAS COM OS 5 PONTOS ANALISADOS NO ESTUDO: BAÍA DE GUARATUBA, COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ E CANANÉIA.



FONTE: A Autora (2023).

4.2 GEOPROCESSAMENTO

A organização de cada informação é essencial para garantir tal confiabilidade dos dados, exatidão geográfica, organização no processo de busca, etc. Sendo assim, foi utilizado o Sirgas2000 e foram selecionadas 167 imagens de

satélite e 3 shapefiles da área de estudo e processadas de diferentes formas, descrito nos parágrafos a seguir.

As imagens de sensoriamento remoto são matrizes formadas por elementos ordenados em um grid (CROSTA, 1999). O fator multiespectral é o principal diferencial das imagens capturadas por sensores remotos das imagens digitais, pois permite a discriminação de feições de absorção dos COAs que se apresentam em faixas estreitas do espectro (BARBOSA et al., 2019); os satélites, no entanto, se diferenciam entre si sendo classificados por tipo de orbitação e aplicação, além de suas especificidades técnicas (LIU, 2015). As imagens selecionadas para este estudo foram captadas da coleção disponível na plataforma Google Earth Engine do satélite Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C. A missão anteriormente chamada de Global Monitoring for Environment and Security (GMES) pela Agência Espacial Europeia (ESA) passou a se chamar Sentinel a partir de 2012. Esta missão começou a lançar pares de satélites especializados em 2014 para apoiar os estudos de monitoramento terrestre do Copernicus, sendo eles Sentinel-1 e Sentinel-2 (SENTINEL, 2020).

O Sentinel-1 é equipado com radares, já o Sentinel-2 aqui utilizado é equipado com sensores de imagens multiespectrais de alta resolução e ampla faixa que inclui o monitoramento da cobertura vegetal, do solo e da água, bem como a observação de vias navegáveis interiores e áreas costeiras. Os dados do Sentinel-2 contêm 13 bandas espectrais UINT16 representando a refletância TOA em escala de 1:10.000. Além disso, três bandas QA estão presentes, onde uma (QA60) é uma banda bitmask com informações de máscara de nuvem. Para estudos de absorção de CDOM, Shang (2021) aponta que os motivos do sensor Sentinel-2 MSI ser vantajoso são o tempo de revisita de 5 dias no mesmo ponto, a resolução espacial de 10 metros, os 290km de ampla faixa e as 4 bandas estreitas ao redor do red-edge bem como suas 13 bandas espectrais acima mencionadas.

4.2.1 Google Earth Engine

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma de análise geoespacial baseada na nuvem, que permite aos usuários visualizar e analisar imagens de satélite de todo o nosso planeta. (GOOGLE EARTH, 2023). A plataforma foi lançada

em 2010, mas se popularizou no meio científico a partir de 2015. Através do GEE, pode-se fazer o download dos dados públicos em petabytes, que fornece algoritmos avançados para análise dos mesmos num espaço de programação interativo através do uso de linguagem Java ou Python. Através dessas linguagens, pode-se inserir módulos de correção atmosférica. A visualização das imagens é dada em duas dimensões, e esses dados são estáveis, gratuitos e de alta resolução (ZHAO, 2021).

A análise exploratória, a correção atmosférica e o cálculo entre bandas foram realizadas através da plataforma utilizando script dentro do Earth Engine Code Editor.

4.2.2 Correção Atmosférica

A correção atmosférica em imagens de satélite é um processo utilizado para remover ou reduzir os efeitos da atmosfera terrestre nas imagens capturadas por sensores remotos a bordo de satélites. Durante a captura de imagens de satélite a atmosfera terrestre pode introduzir distorções como desvios na intensidade, mudanças nas cores e perda de detalhes nas imagens devido à dispersão e absorção da radiação eletromagnética durante sua passagem através da atmosfera. Os procedimentos de correção atmosférica têm como objetivo reduzir a interferência dos elementos que compõem a atmosfera, sendo imprescindível no tratamento de imagens orbitais (WEISS et al., 2015).

Existem diferentes métodos de correção atmosférica, que variam em complexidade e precisão, dependendo das características das imagens e dos dados disponíveis. Geralmente, a correção atmosférica envolve o uso de modelos atmosféricos e algoritmos para estimar a quantidade de radiação dispersa ou absorvida pela atmosfera em diferentes comprimentos de onda. Esses modelos levam em consideração parâmetros atmosféricos, como a quantidade de gases e aerossóis presentes na atmosfera, além da geometria da iluminação solar e da visão do sensor. Para este trabalho, o algoritmo de correção atmosférica foi desenvolvido por Yin et al. (2019), denominada Correção Atmosférica Invariante do Sensor (SIAC). Ele desenvolve uma abordagem para os produtos NERC NCEO ARD Landsat 8 (L8) e Sentinel 2 (S2) de média resolução. A contribuição do trabalho de Yin et al. (2019) é formular e resolver esse problema dentro de uma estrutura

probabilística (Bayesiana) para sensores multiespectrais de resolução média S2/MSI e L8/OLI e fornecer estimativas de incerteza por pixel rastreáveis a partir do topo da atmosfera assumido (TOA), incerteza de medição, progredindo em direção a um aspecto importante dos requisitos de meta do CEOS ARD (YIN et al., 2019). Como resultado da correção, nas imagens geradas são adicionadas 3 novas bandas com valores de referência de reflectância do TOA, vapor de água total da coluna (TCWV) e de coluna total de ozônio (TCO3).

Adicionalmente, os autores de referência desenvolveram a versão do SIAC para o GEE (YIN, 2022), com a intenção de utilizar o poder dos servidores GEE e a grande variedade de dados. Ele tem uma interface do usuário simples baseada nas APIs da interface do usuário do GEE, que tem a capacidade de pesquisar imagens disponíveis do Sentinel 2 com base no ponto clicado no mapa, intervalo de datas definido e cobertura de nuvens e corrigir um bloco de imagem selecionado ou fazer correção atmosférica para todos eles. Através do código (ver Apêndice), é possível realizar a correção atmosférica por imagem selecionada, não sendo possível a correção em coleções inteiras agrupadas.

4.2.3 Algoritmo de determinação do CDOM

Os comprimentos de onda da radiação fotossinteticamente ativa e a penetração dos raios ultravioleta são afetados pelo fotobranqueamento e alteração fotoquímica do DOM, alterando as propriedades ópticas da água. A água pura absorve a luz vermelha, portanto é azul aos olhos, enquanto o CDOM absorve do ultravioleta ao azul, sendo verde, verde amarelado e marrom quando o CDOM se comporta de forma crescente (MORAN et al., 2000; NELSON e COBLE, 2009 apud SLONECKER, 2016). A cor é um resultado dos comprimentos de onda de luz visível que não são absorvidas pela substância quando a mesma recebe a incidência dessa luz (MANUEL; LOPES, 2003). Das definições, o sensoriamento remoto faz uso de radiação eletromagnética, onde a energia se propaga em ondas eletromagnéticas, medidas por comprimento e frequência, e a distribuição dessa radiação baseado nesses dois fatores são dentro de um espectro, tendo a parte visível e a parte infravermelha. Portanto quando procuramos por substâncias específicas pelas lentes de um sensor de satélite, partimos do princípio que a substância alvo responderá

melhor a um comprimento de onda específico, pois cada substância absorve, reflete e transmite em comprimentos de onda específicos com base em suas características bioquímicas e físicas (FLORENZANO, 2007).

A razão entre as bandas permite a extração de informações significativas e uma melhor interpretação dos dados por meio da utilização de relações espectrais entre diferentes bandas. Como já feito em outros estudos, Shang et al. (2021) validou seu modelo para reservatórios de água doce por nível trófico estimando a absorção do CDOM através de comparação com amostras *in situ* por espectroscopia e métodos de sensoriamento remoto, incorporando por método empírico e semi-analítico os dados coletados *in situ* em reservatórios aquáticos chineses e os dados de reflectância do Sentinel-2, utilizando a razão entre bandas B5 e B2 nas faixas do infravermelho e azul. Shang também menciona em seu trabalho que o modelo aplicado à estimativa do CDOM deve ser calibrado de acordo com o tipo de água em que é aplicado.

Absorção por CDOM $a_g(\lambda)$ m^{-1} é modelada como dado na Equação 1 (JERLOV, 1976), onde λ_0 representa o comprimento de onda de referência, e S (nm^{-1}) é a inclinação espectral ao longo da faixa espectral dada.

$$a_g(\lambda) = a_g(\lambda_0)e^{-S(\lambda-\lambda_0)} \quad \text{Equação 1}$$

Para determinar a concentração de uma substância com uma certa unidade, utiliza-se uma medida de absorção em um comprimento de onda específico. O comprimento de onda de referência como a_{g412} (m^{-1}) foi escolhido para a concentração de CDOM, pois um a_{g412} é empregado para determinar DOC em Vantrepotte et al. (2015), sendo o menor comprimento de onda acessível a partir dos satélites de sensoriamento remoto da cor do oceano. Admitiram isso para utilizar as bandas de longitudes mais próximos a 412nm, as quais são as bandas B4 e B2. Em outras referências, os autores assumem comprimentos de onda ou bandas diferentes devido à complexidade e às características das áreas de estudo analisadas (TOMING et al., 2016; RUESCAS et al., 2018).

Sendo assim, para este estudo, foi assumido o mesmo que em Dias et. al (2021) que utilizaram dados *in situ* do NOMAD (WERDELL; BAILEY, 2005) para encontrar que entre 490 nm e 665 nm é o melhor intervalo de comprimento de onda

para detectar CDOM; detectar CDOM e desenvolver o algoritmo, cujo coeficiente de correlação foi significativo ($R^2 = 0,85$). Em soma, nos estudos os autores utilizaram a inclinação espectral na estreita faixa de comprimento de onda de 275–295 ($S_{275-295}$ nm^{-1}), que fornece a natureza do DOM, e a razão da inclinação, S_R (razão da inclinação $S_{275-295}$ a $S_{350-400}$), uma vez que fornece informações sobre o peso molecular do DOM e tem sido amplamente utilizado para estudar o impacto da fotobranqueamento no DOM (HELMS et al., 2008) A razão entre bandas que Dias et. al (2021) utilizou está de acordo com a Equação 2:

$$CDOM_{(ag412\ m-1)} = \frac{B4}{B2} \quad \text{Equação 2}$$

Foi possível realizar o cálculo entre bandas através de código dentro do GEE (ver Apêndice). A razão foi definida após ser feita a correção atmosférica e ao final, cada imagem foi armazenada no Google Drive.

4.2.6 QGIS

As imagens extraídas com a plataforma GEE foram analisadas e processadas com o software livre QGIS (QGIS, 2023). A plataforma de código aberto é um SIG licenciado e um projeto da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo), com funções próprias e adicionais, suportando diversos formatos de rasters, vetores e bases de dados. Ele possibilita que os dados sejam gerenciados, editados, visualizados e analisados.

Um total de 167 imagens foram utilizadas para realizar análises sazonais da presença e variação de CDOM na costa litorânea do Paraná e costa sul de São Paulo. As imagens extraídas foram analisadas separadamente por estações (verão, primavera, outono e inverno) agrupando 4 anos em cada imagem (2019 a 2022).

Imagens representando médias sazonais foram geradas utilizando o módulo *r.series* do pacote GRASS já presente na Caixa de Ferramentas do software QGIS. Com a ferramenta, torna o valor de cada célula de saída uma função dos valores atribuídos às células correspondentes das camadas raster de entrada. As camadas/bandas dos rasters de entrada devem ser separadas em diferentes fontes de dados. Com as 4 imagens resultantes, extraiu-se apenas os corpos d'água e

oceano para analisar CDOM. Com a ferramenta de extração, cada raster foi cortado por máscara (*shapefile* vetorial) com a área dos corpos d'água. O *shapefile* de água foi adquirido do Observatório do Litoral Paranaense (2022), nos arquivos *shapefiles* disponíveis gratuitamente.

Foram aplicados realces de contrastes nas imagens para uma melhor visualização na área de interesse e eliminar *outliers*. Em alguns casos, foram eliminados os valores abaixo de 0, excluindo valores de pixel negativos. Para a simbologia de representação dos valores, 8 classes foram escolhidas para representar a concentração de CDOM, que varia nas imagens analisadas entre 0 e 2 m⁻¹. Utilizando a ferramenta Profile Tool, foi possível observar a variação de CDOM de acordo com a distância, desde a desembocadura dos estuários presentes na região até o oceano aberto. Esta ferramenta plota linhas de perfil de camadas raster ou camada vetorial de ponto. Os transectos escolhidos estão mostrados na Figura 1 e possuem aproximadamente 3 a 4 km de extensão. Por isso, dentro da área de estudo foram criados transectos em áreas de desembocadura e em Praia de Leste.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontradas 355 imagens da área de estudo provenientes dos anos de 2019 a 2022 (81 para 2019, 120 para 2020, 52 para 2021 e 102 para 2022) utilizando o GEE. As imagens com cobertura de nuvens inferior a 2% para cada ano e as que abrangiam a zona costeira da área de estudo foram selecionadas. Ao final, obteve-se 167 imagens (33 para 2019; 47 para 2020; 34 para 2021 e 53 para o ano de 2022). Para o ano de 2019 e 2021 não foram encontradas imagens para a estação da primavera. Por cada estação, obteve-se a seguinte distribuição conforme mostra a Tabela 1.

TABELA 1- DISTRIBUIÇÃO DAS IMAGENS ENCONTRADAS DE ACORDO COM O NÚMERO DE DIAS E POR ANO.

Estação	Nº Imagens	Nº de dias (cenas)	Ano			
			2019	2020	2021	2022
Primavera	26	7 dias	não	sim	não	sim
Verão	46	12 dias	sim	sim	sim	sim
Outono	58	16 dias	sim	sim	sim	sim

Inverno	37	14 dias	sim	sim	sim	sim
---------	----	---------	-----	-----	-----	-----

FONTE: A Autora (2023).

Para as imagens que continham alguma presença de nuvem, nenhum outro algoritmo ou sinalizador de máscara foi aplicado. Embora exista um código disponível para remover nuvens usando um *bitmask*, optou-se por não usá-lo. Esse código substitui as áreas de nuvem por pixels circundantes médios, mas, quando aplicado, resultou em vários recortes nas imagens. Como a maioria das imagens já tinha cobertura mínima de nuvens, esse algoritmo não teve um impacto significativo. Portanto, a máscara de nuvem não foi usada para evitar recortes excessivos, já que na parte importante da área de estudo, a desembocadura, já não tinha qualquer presença de nuvem.

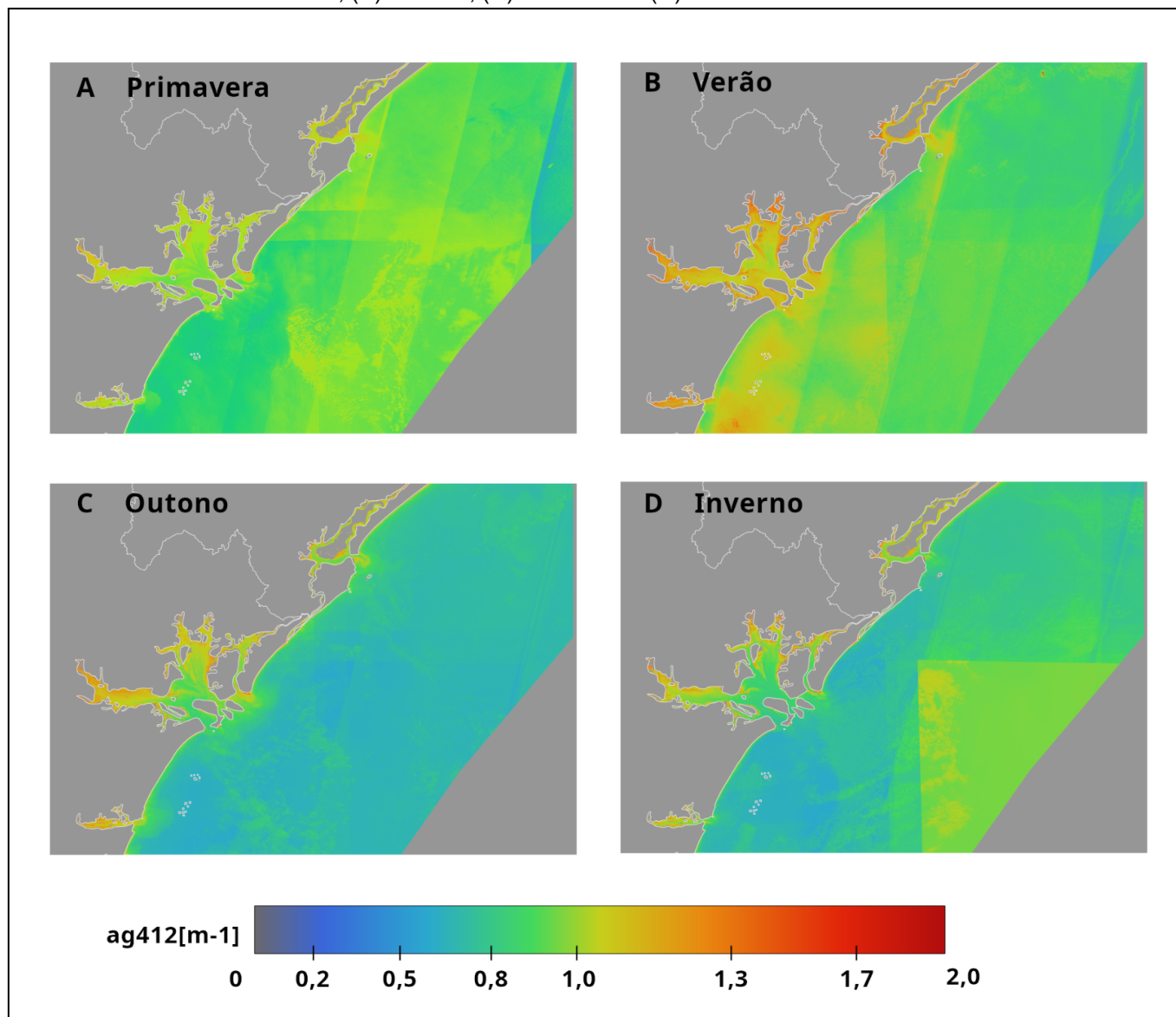
A CDOM mostrou variabilidade em todas as estações do ano em observando-se valores entre 0 e $2,0 \text{ m}^{-1}$ (Figura 5). Devido a existência de imagens com interferência de nuvens somada à pouca disponibilidade de cenas para a região, as estações da primavera, verão e inverno apresentam recortes entre faixas de leitura. No verão os índices indicam mais zonas com alta concentração de CDOM (entre $1,7 \text{ m}^{-1}$ e 2 m^{-1}). Na primavera a maioria dos valores de CDOM estão entre $0,8 \text{ m}^{-1}$ e $0,9 \text{ m}^{-1}$. Na estação do verão, a concentração de CDOM fica entre $0,7 \text{ m}^{-1}$ e $0,95 \text{ m}^{-1}$. Porém para a estação do outono, os valores diminuem para $0,5 \text{ m}^{-1}$ a $0,7 \text{ m}^{-1}$. Na estação do inverno, a maioria dos valores de CDOM estão entre $0,5 \text{ m}^{-1}$ e $0,8 \text{ m}^{-1}$. A Tabela 2 mostra os resultados estatísticos para as imagens em cada estação. Os valores negativos são possivelmente resultantes da correção atmosférica, já que valores mínimos abaixo de 0 não possuem explicação.

TABELA 2- VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS, VARIAÇÃO, MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO CDOM PARA CADA ESTAÇÃO DO ANO.

Estação	Máxima (m^{-1})	Mínima (m^{-1})	Range	Média (m^{-1})	Desvio Padrão
Primavera	152,691	-203,805	356,496	0,907	0,105
Verão	16,075	-43,730	59,805	0,863	0,138
Outono	50,732	-26,086	76,819	0,641	0,131
Inverno	2,356	0,321	2,035	0,728	0,136

FONTE: A Autora (2023).

FIGURA 5. VARIAÇÃO ESPACIAL DE CDOM OBSERVADA POR SENTINEL-2 DURANTE (A) PRIMAVERA, (B) VERÃO, (C) OUTONO E (D) INVERNO NA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: A Autora (2023).

No inverno e no outono, a visualização da descarga de CDOM nas desembocaduras é mais discriminável. No verão, apesar dos ruídos e menos qualidade de informação, é quando há mais CDOM por ser uma estação mais chuvosa.

A análise de informações por meio da criação de transectos facilita a interpretação dos dados e confere maior acurácia, pois agrupar estrategicamente e

criar transectos fornece uma representação mais focada dos dados, permitindo uma visualização concisa de informações relevantes ao longo de linhas específicas. Essa simplificação pode facilitar a identificação e interpretação de recursos ou tendências importantes nos dados.

O CDOM apresenta maior concentração perto da costa e diminui em direção ao mar aberto. Na primavera (Figura 6) é possível identificar este comportamento em todos os transectos. As concentrações de CDOM à frente das desembocaduras ou em águas mais rasas é maior em comparação a águas mais distantes da costa. A concentração mais alta de CDOM encontrada foi em Cananéia (ponto 5) $1,226 \text{ m}^{-1}$ a cerca de 60m de distância da costa. O segundo valor mais alto foi encontrado no ponto (4) CEP norte - Superagui com 1.211 m^{-1} a 250 m de distância da desembocadura.

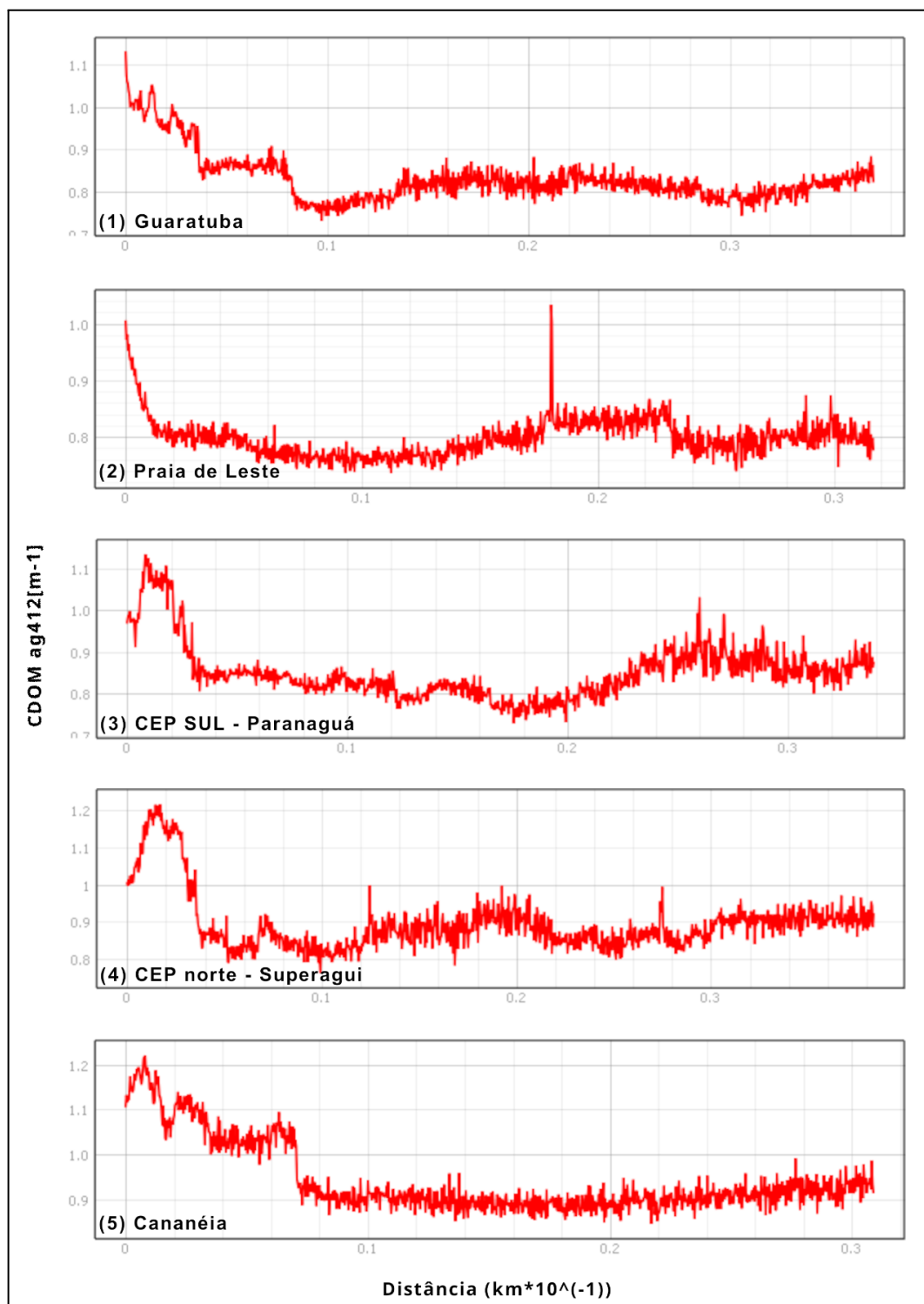
Devido a ruídos de imagem e a pouca disponibilidade de imagens no verão, os transectos de CDOM apresentam uma variabilidade mais oscilante que nas demais estações do ano e um comportamento similar de decaimento das concentrações de CDOM conforme o afastamento da linha de costa apenas para o ponto 5. O valor mais alto encontrado foi no ponto (3) CEP sul - Paranaguá, com $1,217 \text{ m}^{-1}$, no canal da Galheta entre as ilhas do Mel e da Galheta.

Nas estações de outono e de inverno, a variabilidade do CDOM é mais confiável devido ao número maior de imagens e de dias analisados conforme Tabela 1. No outono, apesar das máximas terem sido menores do que nas estações de primavera e verão, o CDOM tem um alcance maior, de até 2km da costa, conforme pode ser visto nos pontos 3 e 4. Neste caso, foi em Superagui que o CDOM apresentou o maior valor a cerca de 520 m no interior da desembocadura, com $1,195 \text{ m}^{-1}$. Na estação do outono se pode notar com maior clareza a pluma de dispersão do CDOM (Figura 5). Na Baía de Guaratuba, essa pluma chega aos 10,3 km; no CEP ela alcança os 13,9 km na desembocadura norte e 10,7 km na desembocadura sul e em Cananéia, a pluma de CDOM chega aos 8 km.

Assim como nas estações de primavera e verão, no inverno há uma percepção maior de ruído na região do oceano aberto devido a baixa quantidade de imagens disponíveis com cobertura de nuvens inferior a 2%. Entretanto, apesar da oscilação após os 2 km da costa, na região costeira o CDOM apresenta um comportamento semelhante ao esperado, com diminuição conforme se afasta da

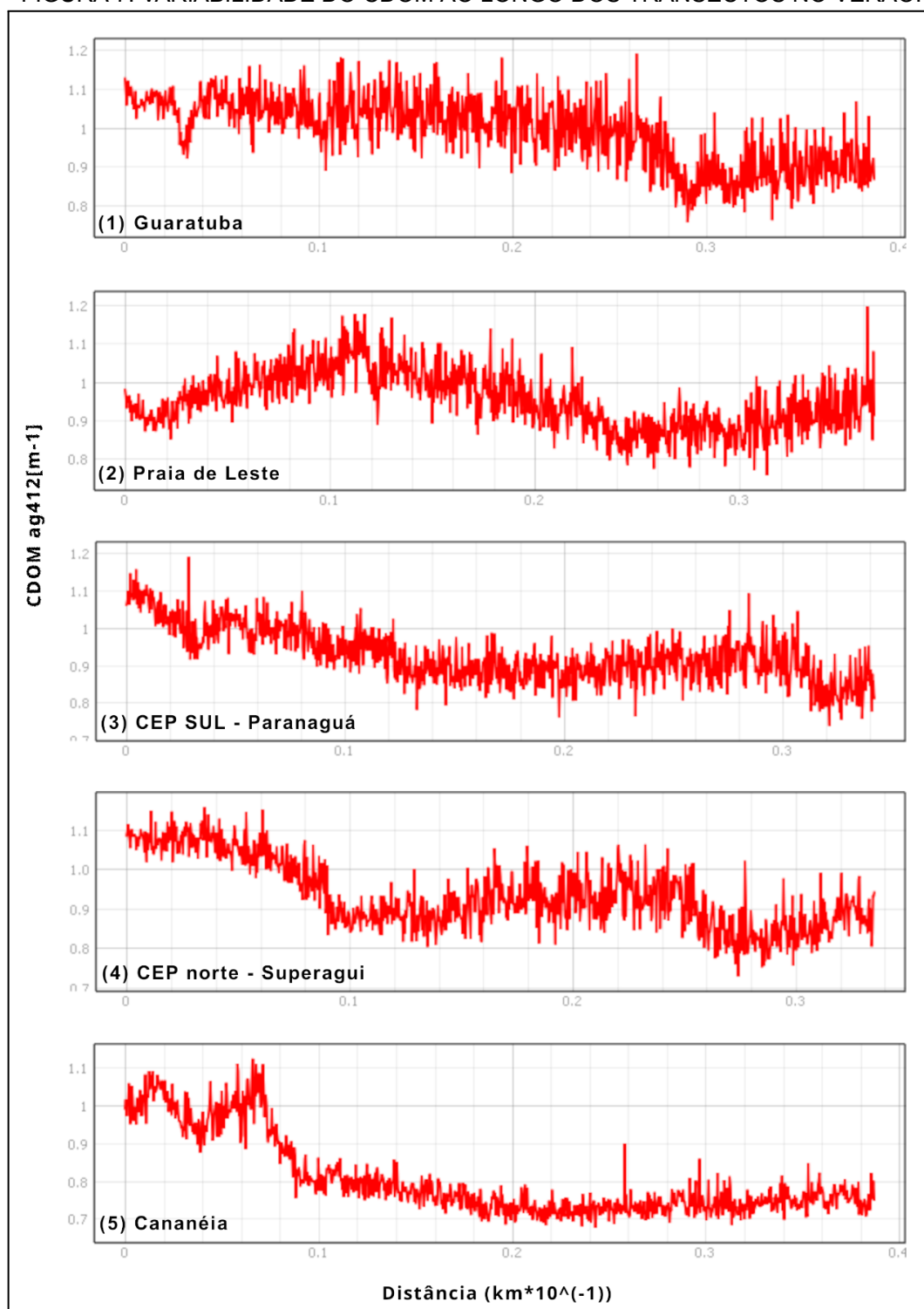
linha de costa. No inverno, as máximas de CDOM não ultrapassam 1 m^{-1} . O maior valor encontrado foi na desembocadura de Cananéia (ponto 5), com valor de $1,208 \text{ m}^{-1}$ a 150 m de distância da costa.

FIGURA 6. VARIABILIDADE DO CDOM AO LONGO DOS TRANSECTOS NA PRIMAVERA.



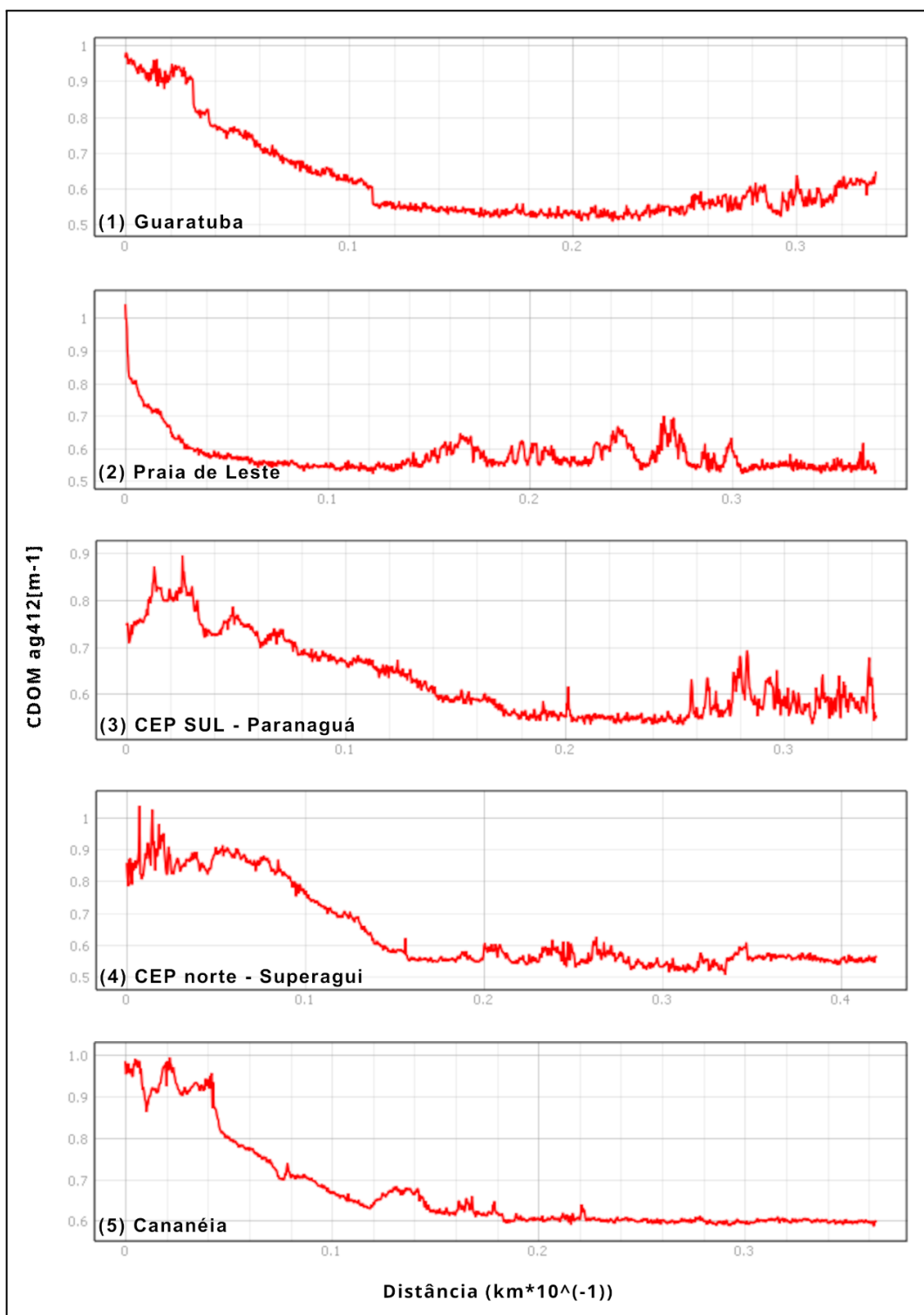
FONTE: A Autora (2023).

FIGURA 7. VARIABILIDADE DO CDOM AO LONGO DOS TRANSECTOS NO VERÃO.



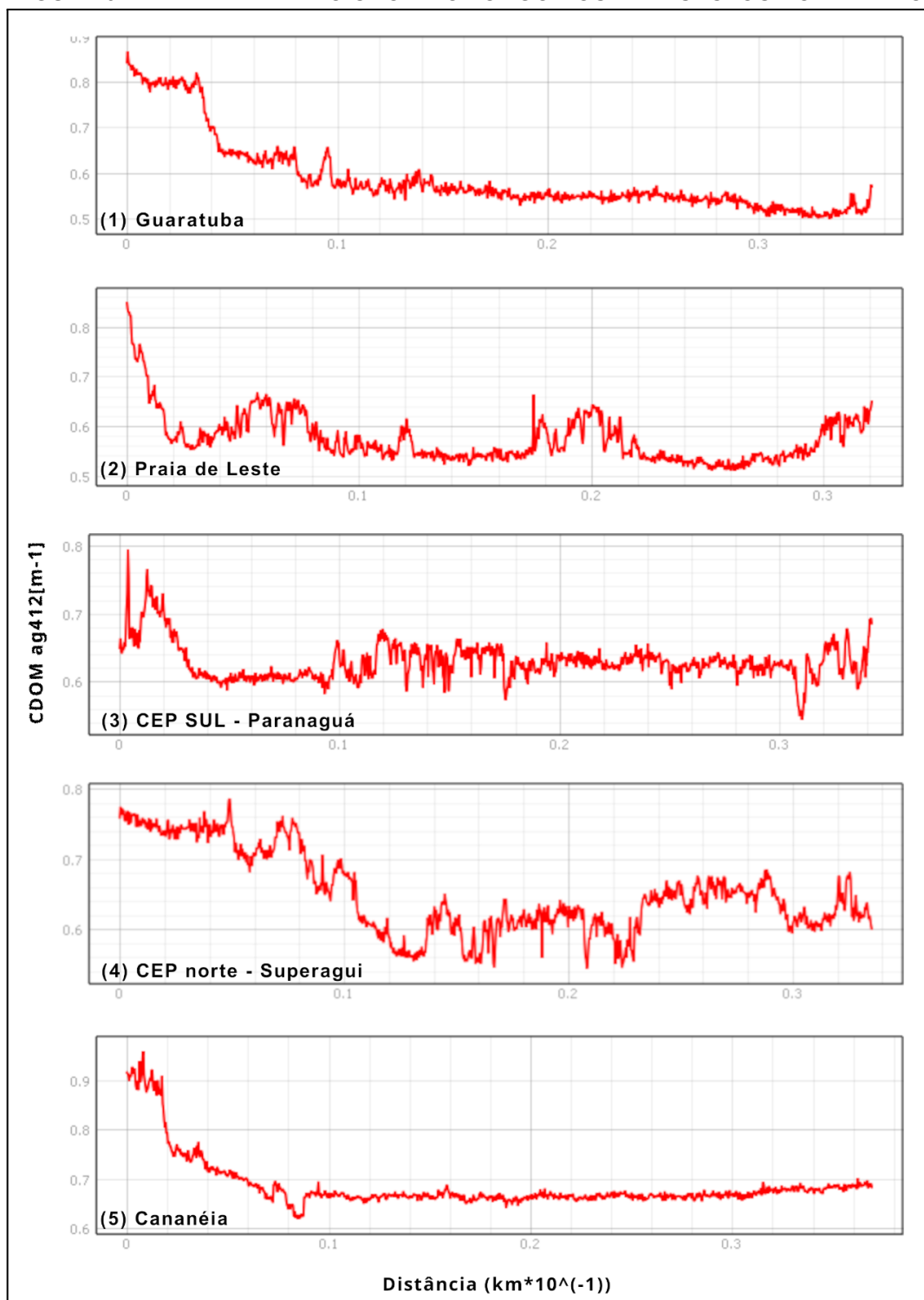
FONTE: A Autora (2023).

FIGURA 8. VARIABILIDADE DO CDOM AO LONGO DOS TRANSECTOS NO OUTONO.



FONTE: A Autora (2023).

FIGURA 9. VARIABILIDADE DO CDOM AO LONGO DOS TRANSECTOS NO INVERNO.



FONTE: A Autora (2023).

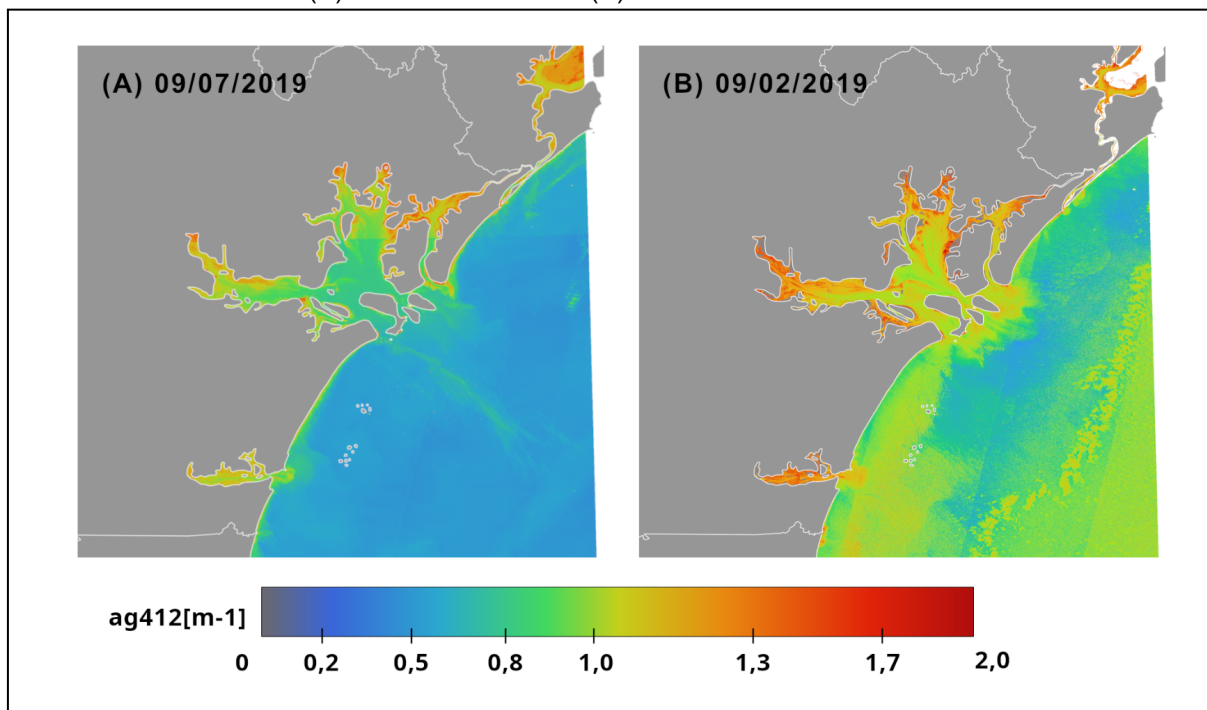
É possível observar que nas desembocaduras de Guaratuba, Cananéia e Superagui, as concentrações mais altas de CDOM estendem-se mais ao largo que

nos demais pontos analisados. Em alguns casos como no inverno, em Guaratuba (1) e CEP norte - Superagui (4), o decaimento da concentração de CDOM só ocorre após 1 km da costa, possivelmente associado às características de baixa circulação e energia desses locais. Em Praia de Leste não há descarga de rio considerável, sendo ali os manguezais a fonte de CDOM responsável por manter os valores semelhantes aos demais pontos.

Para período seco e período chuvoso, foram analisados dados do Instituto Água e Terra para Morretes e Guaraqueçaba (IAP, 2022) dentro de todo o período de coleta de imagens, de 2019 a 2022, para identificar as máximas e mínimas de pluviosidade mais significativas que gerassem valores expressivos. Foram identificados os meses com menor e o maior valor. Para o período seco foi selecionado julho de 2019, com um acumulado de 9,4 mm de precipitação no mês, e para o período chuvoso, janeiro de 2019, com 472,20 mm. Apesar de janeiro de 2019 não ter sido o mês mais chuvoso entre todos os anos (o qual foi janeiro de 2022 com o acumulado de 726,3 mm de chuva), este mês foi selecionado de acordo com a disponibilidade de imagens.

Para a escolha da imagem dentro da coleção de imagens já processadas, foi escolhida uma única cena para cada período, com base no tempo de residência e da influência da precipitação na bacia de drenagem até chegar na costa (de 7 a 10 dias), como também o mesmo ponto. O ponto e a disponibilidade das imagens também ditou a escolha da estação meteorológica, que foi Guaraqueçaba (Costão) (Latitude: 25° 16' 00" e Longitude: 48° 18' 00"). Na imagem do dia 9 de julho de 2019, a precipitação nos 30 dias anteriores foi de 2 mm. Na imagem do dia 09 de fevereiro de 2019, a precipitação dos dias 16 e 17 de janeiro e 03 e 06 de fevereiro foi de 252,6 no total, que representa 54,8% do acumulado da média de janeiro e fevereiro.

FIGURA 10 - VARIAÇÃO ESPACIAL DE CDOM ($ag412\ m^{-1}$) OBSERVADA POR SENTINEL-2 APÓS (A) PERÍODO SECO E (B) PERÍODO CHUVOSO.



FONTE: A Autora (2023).

A diferença na distribuição e concentração do CDOM da Figura 10 é expressiva. Em julho de 2019 tem menos CDOM pela ausência de precipitação, estando bem concentrado no interior dos estuários. Há uma maior concentração de CDOM na região dos canais. Após o período chuvoso há um acréscimo considerável na concentração de CDOM em toda a área, apresentando valores entre $0,342\ m^{-1}$ e $2,054\ m^{-1}$, com uma variação maior (1,71) comparado ao pós seco (1,55) que vai de $0,258\ m^{-1}$ até $1,808\ m^{-1}$. Com as chuvas, a matéria orgânica é facilmente transportada desde zonas interiores continentais até regiões costeiras e oceânicas, como pode ser visto na Figura 10 (B), alcançando áreas mais distantes da costa. Nota-se ruído por nuvens em oceano aberto na imagem (B) após período de chuva, apresentando valores mais altos de CDOM, entretanto a análise não é comprometida.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra a diminuição e concentração de CDOM conforme

se afasta da costa influenciada pela descarga fluvial de matéria orgânica proveniente de rios e canais, e para locais sem a presença de descarga de rio considerável, influenciada pela presença de manguezais, mostrando que, apesar de não ter ido adiante e comparado os valores aqui adquiridos com os pré existentes por medições *in situ*, o estudo por análise de imagens de satélite é eficiente quando apoiado em modelos confiáveis.

Para trabalhos futuros, deve-se testar outros modelos de correção atmosférica até que se encontre apenas valores acima de 0, como também uma análise de série temporal mais longa para aumentar a fiabilidade das imagens geradas por médias e poder aplicar máscara para eliminar nuvens, além de testar outros algoritmos e validá-los com medições *in situ*.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, C. C. F. et al. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de sistemas aquáticos**. 2019 Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/labisa/livro/>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

BESNARD, W. Considerações gerais em torno da região lagunar de Cananéia-Iguape: I. **Boletim do Instituto Paulista de Oceanografia**, v. 1, p. 09-26, 1 jun. 1950. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-42391950000100003>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

BREZONIK, P. L. et al. Factors affecting the measurement of CDOM by remote sensing of optically complex inland waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 199–215, fev. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.033>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

CHARNET, R.; FREIRE, C.; CHARNET, E.; BONVINO, H. **Análise de modelos de regressão linear**: com aplicações. Campinas: Editora da Unicamp, 2.ed., 2008. 356 p.

CHAVES, P. DE T. DA C. CORRÊA, M. F. M. Composição ictiofaunística da área de manguezal da Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 1 jan. 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-81751998000100017f>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

COLOSIMO; E. A, GIOLO, S. R. **Análise de sobrevivência aplicada**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 392 p.

CORBIÈRE, F.; JOLY, P. A. SAS macro for parametric and semiparametric mixture cure models. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 85, n. 2, p. 173-180, 2007.

COX, D. R. Regression models and life tables. **Journal Royal Statistical Society**,

Series B, v. 34, n. 2, p. 187-220, 1972.

CROSTA, Alvaro Penteado. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1901009/mod_folder/content/0/1_Capa_Indice_Introducao.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

DIAS, A. et al. Variations of Colored Dissolved Organic Matter in the Mandovi Estuary, Goa, During Spring Inter-Monsoon: A Comparison With COVID-19 Outbreak Imposed Lockdown Period. v. 8, 20 maio 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.638583>> Acesso em: 7 maio 2023.

DUARTE,; VIEIRA,. Caracterização dos ambientes estuarinos : mistura em estuários. **Handle.net**, 2014. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1822/2495>> Acesso em: 18 jun. 2023.

FICHOT, C. G. et al. High-Resolution Remote Sensing of Water Quality in the San Francisco Bay–Delta Estuary. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 2, p. 573–583, 28 dez. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03518>>. Acesso em: 3 jun. 2023.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2007.

FREIRE, P.; JACKSON, N. L.; NORDSTROM, K. F. **Defining beaches and their evolutionary states in estuaries**. v. 65, p. 482–487, 2 jan. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.2112/SI65-082.1>>. Acesso em: 18 jun. 2023

FREIRE, R. M. **Sistemas locais de apropriação dos recursos e suas implicações para projetos de manejo comunitário: um estudo de caso numa comunidade tradicional da floresta nacional do Tapajós - PA**. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/D.11.2002.tde-23082002-135742>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

Google Earth Engine. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt_in/earth/education/tools/google-earth-engine/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

GRIFFIN, C. G. et al. Quantifying CDOM and DOC in major Arctic rivers during ice-free conditions using Landsat TM and ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, p. 395–409, maio 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.060>>. Acesso em: 3 jun. 2023.

GUSSO, P. K. Caracterização fluorimétrica da matéria orgânica dissolvida e sua relação autóctone/alóctone na baía de Paranaguá /. oai:ufpr.br:259369, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/16707>> Acesso em: 24 jun. 2023.

HÄDER, D.-P. . et al. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. **Photochem. Photobiol. Sci.**, v. 6, n. 3, p. 267–285, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/b700020k>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

HELMS, J. R. et al. Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source, and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. **Limnology and Oceanography**, v. 53, n. 3, p. 955–969, maio 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.4319/lo.2008.53.3.0955>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

IAT, 2023. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <[https://www.iat.pr.gov.br /Pagina/Sistema-de-Info-macoes-Hidrologicas](https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Info-macoes-Hidrologicas)>. Acesso em: 3 jun. 2023.

JERLOV, N. G. Marine optics, Elsevier Oceanography Series 14. Amsterdam: **Elsevier Scientific Publishers**, 1976. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/bookseries/elsevier-oceanography-series/vol/14/suppl/C>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric estimation from incomplete observations, **Journal of the American Statistical Association**, v. 53, p. 457-481, 1958.

LANA et al. The Subtropical Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Brazil. **Ecological studies**, p. 131–145, 1 jan. 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Lana/publication/278721558_The_Subtropical_Estuarine_Complex_of_Paranagu_Bay_Brazil/links/55d4dd5308ae1e65166370de/The-Subtropical-Estuarine-Complex-of-Paranagu-Bay-Brazil.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2023.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2015. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=YNEtCQAAQBAJ&lpg=PT811&ots=vyipC4NFUt&dq=Aplica%C3%A7%C3%B5es%20de%20sensoriamento%20remoto&lr&hl=pt-BR&pg=PT811#v=onepage&q=Aplica%C3%A7%C3%B5es%20de%20sensoriamento%20remoto&f=false>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

MAACK R. 1968. Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná. In: MAACK, R. Geografia Física do Paraná. Curitiba: BADEP, UFPR, 450 p.

MANTEL, N. Evaluation of survival data and two new rank-order statistics arising in its consideration. **Cancer Chemotherapy Reports**, v. 50, p. 163-170, 1966.

MANUEL, J.; LOPES, B. **COR e LUZ por**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://disciplinas.ist.utl.pt/leic-cg/textos/livro/Cor.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

MARTINS, G. O.; ROCHA, S. H. **Evasão e tempo de permanência no curso de estatística da Universidade Federal do Paraná**: um estudo sobre os alunos que ingressaram no período de 1991 a 2011. 2011. 79 p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Estatística) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MASSICOTTE, P. et al. Global distribution of dissolved organic matter along the

aquatic continuum: Across rivers, lakes and oceans. **Science of The Total Environment**, v. 609, p. 180–191, dez. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.076>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

MORAN, M. A.; SHELDON, W. M.; ZEPP, R. G. Carbon loss and optical property changes during long-term photochemical and biological degradation of estuarine dissolved organic matter. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 6, p. 1254–1264, set. 2000. Disponível em: <<https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.6.1254>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

NELSON, N.B., COBLE P.G. Optical analysis of chromophoric dissolved organic matter

Practical Guidelines for the Analysis of Seawater, **CRC Press**, p. 401, 2009.

NOERNBERG, M. A. et al. Remote Sensing and GIS Integration for Modelling the Paranaguá Estuarine Complex -Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1627–1631, 2006. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/25743033f>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

Observatório do Litoral Paranaense. Disponível em: <<https://litoral.ufpr.br/observatoriolitoral/geodados/arquivos-shapefile/>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

OLIVEIRA FILHO, S. R. et al. Morfodinâmica de praias estuarinas de baixa energia durante dragagem de aprofundamento do canal da Galheta, Paranaguá – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 1924–1940, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1924-1940>>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PRITCHARD, D.W. (1967) What Is An Estuary Physical Viewpoint. In Lauff, G.H., Ed., Estuaries, American Association for the Advancement of Science, Washington DC, Vol. 1, 149-176. - References - **Scientific Research Publishing**. Disponível em: <[https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2262701](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=2262701)>. Acesso em: 18 jun. 2023

QGIS, 2023. **Bem-vindo ao projeto QGIS.** Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em: 29 abr. 2023.

R CORE TEAM. 2014. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Disponível em <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 4 abr. 2023

RUESCAS, A. et al. Machine Learning Regression Approaches for Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) Retrieval with S2-MSI and S3-OLCI Simulated Data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 5, p. 786, 19 maio 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs10050786>> Acesso em: 25 jun. 2023.

SAS INSTITUTE INC. **The SAS System, release 9.2.** Cary: NC, SAS Institute Inc., 2011.

SENTINEL, 2020. - **Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>> Acesso em: 18 jun. 2023.

SHANG, Y. et al. Remote estimates of CDOM using Sentinel-2 remote sensing data in reservoirs with different trophic states across China. **Journal of Environmental Management**, v. 286, p. 112275, 15 maio 2021. Disponível em: <<https://10.1016/j.jenvman.2021.112275>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

SLONECKER, E. T.; JONES, D. K.; PELLERIN, B. A. The new Landsat 8 potential for remote sensing of colored dissolved organic matter (CDOM). **Marine Pollution Bulletin**, v. 107, n. 2, p. 518–527, jun. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.076>>. Acesso em: 17 jun. 2023.

TOMING, K. et al. First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. **Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 640, 1 ago. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs8080640>> Acesso em: 25 jun. 2023.

VANTREPOTTE, V. et al. CDOM-DOC relationship in contrasted coastal waters: implication for DOC retrieval from ocean color remote sensing observation. **Optics Express**, v. 23, n. 1, p. 33–33, 12 jan. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1364/OE.23.000033>>. Acesso em: 7 maio 2023.

WEISS, C. V. DA C. et al. Análise comparativa entre métodos de correção atmosférica em imagens do sensor Operational Land Imager (OLI), plataforma Landsat 8. **Scientia Plena**, v. 11, n. 2, 10 fev. 2015. Disponível em: <<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/1741>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

WEN, Z. et al. Quantifying the trophic status of lakes using total light absorption of optically active components. **Environmental Pollution**, v. 245, p. 684–693, fev. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.058>>. Acesso em: 4 abr. 2023.

WERDELL, P. J.; BAILEY, S. W. An improved in-situ bio-optical data set for ocean color algorithm development and satellite data product validation. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 1, p. 122–140, set. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.07.001>>. Acesso em: 13 maio 2023.

YIN, F.; LEWIS, P. E.; GÓMEZ-DANS, J. L. Bayesian atmospheric correction over land: Sentinel-2/MSI and Landsat 8/OLI. **Geoscientific Model Development**, v. 15, n. 21, p. 7933–7976, 7 nov. 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/gmd-15-7933-2022>> Acesso em: 22 abr. 2023.

YIN, F. et al. A sensor-invariant atmospheric correction method: application to Sentinel-2/MSI and Landsat 8/OLI, 21 fev 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/331107511_A_sensor-invariant_atmospheric_correction_method_application_to_Sentinel-2MSI_and_Landsat_8OLI> Acesso em: 22 abr. 2023.

YIN, F. SIAC-v2.3.5 (v2.3.5). Zenodo, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.6651964>> Acesso em: 22 abr. 2023.

ZHAO, Q. et al. Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 13, n. 18, p. 3778, 21 set. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs13183778>>. Acesso em: 27 maio 2023.

APÊNDICE

LINHA DE CÓDIGO UTILIZADO NO GEE PARA REALIZAR A CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DAS IMAGENS UTILIZANDO O MÓDULO SIAC

```
//----- definindo a imagem -----
var img = ee.Image('COPERNICUS/S2/20190130T132239_20190130T132233_T22JGT');

//----- correcao atmosferica -----
//Importing the SIAC atmospheric correction module
var siac = require('users/marcyinfeng/Utils:SIAC');

var S2_BOA_Image = siac.get_sur(img).clip(shapebaiaeoceano);
print(S2_BOA_Image)

Map.addLayer(S2_BOA_Image,{gamma:1, bands:['B4','B3','B2']},'Sentinel 2 L2A Image');
```

FONTE: A Autora (2023).

CÓDIGO UTILIZADO NO GEE PARA REALIZAR A RAZÃO ENTRE BANDAS B4 E B2

```
//-----RAZAO ENTRE BANDAS-----

//razao entre bandas B4 e B2
var CDOM = S2_BOA_Image.expression('(B4/B2)',
{
  B4:S2_BOA_Image.select('B4'),
  B2:S2_BOA_Image.select('B2'),
});

Map.addLayer(CDOM)

//----- exportando imagem -----
Export.image.toDrive({
  image:CDOM,
  description: '20190130T132233_T22JGT',
  scale: 20,
  maxPixels:1e13,
  crs:'EPSG:4674', //sirgas 2000
  region:shapebaiaeoceano,
  fileFormat:'GeoTIFF'
});
```

FONTE: A Autora (2023).