



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL

INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS NA QUALIDADE DAS
ÁGUAS ESTUARINAS NOS PORTOS DE VILA DO CONDE E
TERMINAL PETROQUÍMICO DE MIRAMAR (SETOR 3:
CONTINENTAL ESTUARINO AMAZÔNIA)

IZABELE MIRANDA RODRIGUES

BELÉM – PA

2024

IZABELE MIRANDA RODRIGUES

**INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS NA QUALIDADE DAS
ÁGUAS ESTUARINAS NOS PORTOS DE VILA DO CONDE E
TERMINAL PETROQUÍMICO DE MIRAMAR (SETOR 3:
CONTINENTAL ESTUARINO AMAZÔNIA)**

Dissertação de Mestrado Submetida ao Corpo Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará como requisito final para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Naval.

Área de Concentração: Transporte Aquaviário.

Orientador: Prof. Dr. Maamar El Robrini

BELÉM – PA

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA DESDE QUE CITADA A FONTE.

Assinatura: _____ Data: 19/08/2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M672i Miranda Rodrigues, Izabele.
INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS NA
QUALIDADE DAS ÁGUAS ESTUARINAS NOS PORTOS DE VILA
DO CONDE E TERMINAL PETROQUÍMICO DE MIRAMAR
(SETOR 3: CONTINENTAL ESTUARINO
AMAZÔNIA) / Izabele Miranda Rodrigues. — 2024.
120 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Maamar El Robrini Dissertação
(Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Naval, Belém, 2024.

1. Porto; Qualidade da Água; Estuário do Rio Pará, Baía de
Guajará. TPM, PVC.. I. Título.

CDD 386.8

Nome: Izabele Miranda Rodrigues

Título: INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS ESTUARINAS NOS PORTOS DE VILA DO CONDE E TERMINAL PETROQUÍMICO DE MIRAMAR (SETOR 3: CONTINENTAL ESTUARINO AMAZÔNIA)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Naval.

Aprovado em: 19/08/2024.

Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. Maamar El Robrini

Instituição: UFPA Assinatura: _____

Prof. Dr. Hito Moraes Instituição: UFPA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr.: Valcir João Farias da Cunha Instituição: UFPA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dra.: Maria de Lourdes Sousa Santos Instituição: UFPA

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar forças nesta jornada e nas adversidades do dia a dia.

À Universidade Federal do Pará e aos professores que colaboraram para o nosso aprendizado no Programa de Pós - Graduação em Engenharia Naval.

Ao meu orientador nesta pesquisa, professor Maâmar El Robrini, pela compreensão, disponibilidade e principalmente pelos ensinamentos valiosos repassados.

Aos professores, que da faculdade de engenharia e do mestrado, incentivaram e apoiaram sempre: Ivan Araújo, Rita Cavalcante e Hito Moraes.

Aos colegas que ajudaram imensamente, com repasse de informações e contribuições para este trabalho: Robert Farias, Aline Vitelli e Karoena Machado.

À Companhia Docas do Pará (CDP), pela importante contribuição com a cessão dos dados.

RODRIGUES, Izabele Miranda. Influência das Atividades Portuárias na Qualidade das Águas Estuarinas nos Portos de Vila do Conde e Terminal Petroquímico de Miramar (Setor 3: Continental Estuarino Amazônia) [dissertação]. Belém: Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará; 2024.

RESUMO

Os estudos realizados nos artigos sobre o Porto de Vila do Conde (PVC) e o Terminal Petroquímico de Miramar (TPM) têm como objetivo principal investigar o impacto das atividades desses terminais na qualidade das águas dos respectivos estuários e baía. Ambos localizados no estado do Pará, possuem características climáticas semelhantes, sendo o clima equatorial úmido, com temperaturas médias entre 22,5°C e 28,2°C, precipitação anual superior a 2.001 mm e ventos predominantes do Nordeste com velocidade média de 1,06 m/s. Além disso, ambos apresentam variações sazonais significativas na altura das marés, com valores máximos de 3,4 m no caso do PVC e 3,7 m no TPM. A metodologia adotada em ambos os estudos envolveu quatro campanhas sazonais de amostragem (duas durante a estação chuvosa e duas na estação seca), realizadas em diversos pontos de coleta ao redor dos terminais, durante períodos de enchente e vazante. As análises foram conduzidas conforme o padrão do Guia Americano *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (SMEWW), utilizando a técnica estatística de Análise de Componentes Principais (PCA) com o software PAST 4.3 para avaliar os parâmetros de qualidade da água. Nos resultados obtidos para o PVC, verificou-se que a concentração de alumínio durante a maré de enchente excedeu os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357, além de altos valores de Coliformes Termotolerantes e acidez. No TPM, os principais problemas identificados foram altas concentrações de Coliformes Termotolerantes, baixos níveis de Oxigênio Dissolvido (OD) e turbidez elevada, novamente superando os limites regulatórios. Ambos os estudos sugerem a implementação de medidas mitigadoras, incluindo a modernização de equipamentos e o estabelecimento de monitoramento contínuo da qualidade da água. Essas medidas são cruciais para mitigar os impactos negativos das atividades portuárias e industriais nos ecossistemas aquáticos locais, garantindo a sustentabilidade ambiental e a saúde pública. Portanto, os estudos fornecem uma análise detalhada dos impactos ambientais causados pelos terminais portuários, destacando a necessidade urgente de ações corretivas para preservar a qualidade das águas e promover um desenvolvimento sustentável na região.

Palavras – chave: Porto; Qualidade da Água; Estuário do Rio Pará, Baía de Guajará. TPM, PVC.

RODRIGUES, Izabele Miranda. Influence of Port Activities on the Quality of Estuarine Waters in the Ports of Vila do Conde and Miramar Petrochemical Terminal (Sector 3: Continental Estuarine Amazonia) [dissertação]. Belém: Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará; 2024.

ABSTRACT

The studies carried out in the articles on the Port of Vila do Conde (PVC) and the Miramar Petrochemical Terminal (MPT) have as main objective to investigate the impact of the activities of these terminals on the water quality of the respective estuaries and bay. Both located in the Pará state, have similar climatic characteristics, with a humid equatorial climate, with average temperatures between 22.5°C and 28.2°C, annual precipitation exceeding 2,001 mm and prevailing winds from the Northeast with an average speed of 1.06 m/s. Furthermore, both present significant seasonal variations in tide height, with maximum values of 3.4 m in the case of PVC and 3.7 m in the MPT. The methodology adopted in both studies involved four seasonal sampling campaigns (two during the rainy season and two in the dry season), carried out at various collection points around the terminals, during periods of flood and low water. The analyzes were conducted in accordance with the American Standard Methods Guide for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), using the statistical technique of Principal Component Analysis (PCA) with the PAST 4.3 software to evaluate water quality parameters. In the results obtained for PVC, it was found that the concentration of aluminum during the flood tide exceeded the limits established by CONAMA Resolution no. 357, in addition to high values of Thermotolerant Coliforms and acidity. In TPM, the main problems identified were high concentrations of Thermotolerant Coliforms, low levels of Dissolved Oxygen (DO) and high turbidity, again exceeding regulatory limits. Both studies suggest implementing mitigating measures, including modernizing equipment and establishing continuous monitoring of water quality. These measures are crucial to mitigate the negative impacts of port and industrial activities on local aquatic ecosystems, ensuring environmental sustainability and public health. Therefore, the studies provide a detailed analysis of the environmental impacts caused by port terminals, highlighting the urgent need for corrective actions to preserve water quality and promote sustainable development in the region.

Keywords: Port; Water Quality; Estuary of the Pará River, Guajará Bay. TPM, PVC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fórmula do Produtório Ponderado das Qualidades de Água.....	29
Figura 2 - Curvas médias de variação de qualidade das águas.....	30
Figura 3 - Instalação de Acostagem do Terminal Petroquímico de Miramar.	42
Figura 4 - Instalação de Acostagem - Porto de Vila do Conde, Barcarena - PA.....	43
Figura 5 - Exemplificação do mangote de transferência de gás e hidrocarbonetos para navios.	49
Figura 6 - Píer do Porto de Vila do Conde e Berços.	53
Figura 7 - Imagens ilustrativas dos equipamentos utilizados na retro área do PVC.	54
Figura 8 - Imagens ilustrativas dos equipamentos portuários existentes no píer: 01. Correias transportadoras; 02. Carregador de navios; 03. Descarregador pneumático; 04. Carregador de navios McGregor Siwertell; 05. Moega; 06. Correia; 07. Fantuzzi MHC 130; 08. G	55
Figura 9 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso, regime de maré enchente (a) e maré vazante (b), gerado a partir do software PAST 4.3.....	63
Figura 10 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período seco (a) e seco (b).....	64
Figura 11 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso, enchente (a) e vazante (b).	70
Figura 12 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período seco, enchente (a) e vazante (b).	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características dos navios	21
Tabela 2 - Subclassificação dos principais tipos de navios mercantes.....	21
Tabela 3 - Impactos Ambientais potenciais oriundos da atividade portuária.....	24
Tabela 4 - Quadro das legislações brasileiras norteadoras.	34
Tabela 5 - Classificação das águas quanto ao tipo	35
Tabela 6 - Classificação das águas doces	35
Tabela 7 - Classificação das águas salinas	35
Tabela 8 - Classificação das águas salobras	36
Tabela 9 - Estrutura física do Terminal Petroquímico de Miramar.....	47
Tabela 10 - Capacidade dos tanques para o armazenamento de combustível	48
Tabela 11 - Capacidade das esferas de armazenamento de Gás GLP do Terminal de Miramar	48
Tabela 12 - Caracterização dos berços do Porto de Vila do Conde	53
Tabela 13 - Parâmetros físico-químicos analisados (siglas, símbolos, métodos e unidades)...	58
Tabela 14 – Valores médios dos parâmetros físico-químicos do PVC, nos anos de 2020 e 2021.	61
Tabela 15 - Correlações individuais dos parâmetros analisados do PVC, nos anos de 2020 e 2021.	62
Tabela 16 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos do TPM, nos anos de 2020 e 2021.	67
Tabela 17 – Correlações individuais dos parâmetros analisados do TPM, nos anos de 2020 e 2021.	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Movimentação de cargas, em ton., via cabotagem no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.....	49
Gráfico 2 - Movimentação de cargas, em ton., via longo curso no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.....	50
Gráfico 3 - Movimentação de cargas, em ton., via navegação interior no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.....	51
Gráfico 4 - Comparativo de movimentação, em ton., de cargas versus tipos de navegação no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.....	51

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
CDP	Companhia Docas do Pará
CE	Condutividade Elétrica
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HPA	Hidrocarboneto Policíclico Aromático
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PVC	Porto de Vila do Conde
SAL	Salinidade
SINGREH	Sistema Nacional de Recursos Hídricos
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STS	Sólidos Totais em Suspensão
SWWM	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
TPM	Terminal Petroquímico de Miramar

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVO	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1. Contexto histórico naval.....	20
2.2 Tipos de Navios.....	20
2.3. Tipos de percurso da navegação	21
2.4 Estrutura Portuária.....	23
2.5 Qualidade da água	26
2.6 Legislação ambiental das águas.....	31
2.7 Influência das atividades portuárias na qualidade da água.....	36
2.8. Estuários	39
2.9 Software <i>P.A.S.T.</i>	40
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	42
3.1. Terminal Petroquímico de Miramar (TPM)	42
3.2. Porto de Vila do Conde (PVC).....	43
4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	44
4.1. Caracterização ambiental.....	44
4.1.2. Clima e padrões meteorológicos	44
4.1.3. Caracterização geomorfológica	44
4.1.4. Condições oceanográficas	45
4.2. Infraestrutura portuária	46
4.2.1 Infraestrutura do TPM	46
4.2.3 Infraestrutura do PVC.....	52
5 METODOLOGIA	58
5.2. Aquisição de dados	58
5.3. Processamento de dados	59
5.4. Tratamento estatístico.....	59
6 RESULTADOS	61
6.1. Resultados PVC.....	61
6.2. Resultados TPM	67

7. CONCLUSÃO.....	73
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXO I.....	82
ANEXO II.....	106

1 INTRODUÇÃO

A origem e a importância da navegação e dos portos para a humanidade surgem entre os séculos IX e X. Os transportes por meio aquático foram criados e tornaram-se eficientes para a movimentação de cargas, como madeira e materiais de construção. Principalmente no século XIII, o mar desempenhou um papel principal na circulação de riquezas e bens em geral (DE LA ROCHA DOMINGUES, 2007).

Assim, a circulação de riquezas e bens foi intensificada a partir das mudanças tecnológicas e socioeconômicas advindas do advento da Revolução Industrial, na segunda metade do século XIX, quando novas fontes e formas de energia, como o petróleo e a eletricidade, além de novos materiais, como o aço e a turbina a vapor, surgiram e impulsionaram uma nova fase de desenvolvimento. Isso implicou mudanças profundas na navegação marítima. Esse novo fluxo de transformações permitiu a invenção de cascos de aço e a transição completa do ferro para o aço como material de construção dos navios, o uso do carvão e o guindaste duplo, a fim de atender às novas demandas da comercialização de um volume maior de mercadorias. Isso resultou na construção de navios cada vez maiores, com melhor autonomia, segurança, estabilidade, capacidade de carga e previsibilidade (MANTUANO, 2017).

Diante de várias mudanças e avanços na navegação marítima, outro aspecto importante são os ganhos econômicos que ela oferece. No mundo atual, o cenário de exportação tem crescido cada vez mais, como pode ser observado nos países considerados os maiores exportadores a nível mundial. Conforme o ranking do TRADE MAP (2023), os dez maiores exportadores, com maior faturamento, são: China (US\$ 2,654 trilhões), Estados Unidos (US\$ 1,803 trilhões), Alemanha (US\$ 1,432 trilhões), Japão (US\$ 788,3 bilhões), Coreia do Sul (US\$ 720,6 bilhões), Holanda (US\$ 601,1 bilhões), Hong Kong (US\$ 591,9 bilhões), Itália (US\$ 586,2 bilhões), França (US\$ 577,8 bilhões) e Reino Unido (US\$ 499,3 bilhões). Ainda neste cenário de exportação, o Brasil ocupa a 24ª posição, com US\$ 28,1 bilhões. Os produtos mais exportados foram: soja (US\$ 28,5 bilhões); minério de ferro e seus concentrados (US\$ 24,9 bilhões); óleos brutos de petróleo ou minerais betuminosos crus (US\$ 20,1 bilhões); açúcares e melações (US\$ 8,8 bilhões); e, por fim, carnes bovinas (US\$ 901 milhões).

Além do panorama de exportação internacional, as hidrovias são essenciais para que a exportação ocorra e, no mundo, representam cerca de 623.000 km de hidrovias navegáveis. De modo geral, a maioria é composta por rios e bacias hidrográficas. O país que possui a maior rede de hidrovias navegáveis é a China, seguido pela Rússia, Brasil e Estados Unidos. Os principais canais fluviais com finalidade para transporte são: o rio Yangtze, o Reno-Danúbio,

o Mississippi e os canais do Panamá (que ligam o Oceano Atlântico ao Pacífico), com 82 km de extensão, seguido pelo canal de Suez, com 193 km de extensão, que une o Mar Mediterrâneo ao Mar Vermelho (BEYER, 2018).

O Brasil, como detentor de um grande potencial hídrico, é favorecido pela fluidez dos seus rios em direção à costa nacional, o que facilita o escoamento do que é produzido no país. Assim, a malha hidroviária é composta por um trecho de 21.000 km em que a navegação é possível e 12.000 km de potencial hidroviário. As hidrovias que se destacam são: Hidrovia do Amazonas, Hidrovia do Mercosul, Hidrovia do Parnaíba, Hidrovia do São Francisco, Hidrovia do Solimões, Hidrovia do Tapajós/Teles Pires, Hidrovia do Paraná/Tietê e Hidrovia do Tocantins/Araguaia (TEIXEIRA, 2018).

Devido ao seu expressivo potencial hidroviário, bem como à sua extensão territorial, em 2020, o Ministério da Infraestrutura instaurou, através da Portaria nº 123, de 21 de agosto de 2020, o Planejamento Integrado dos Transportes, que preconiza a integração dos setores aeroviário, aquaviário, ferroviário e rodoviário, com o intuito de oferecer políticas públicas, infraestrutura de transportes, programas e ações normativas e regulatórias, otimizando a logística de bens e de pessoas em todo o território. No setor aquaviário, o projeto “BR do Mar” tem por objetivo incentivar a cabotagem, tendo em vista a redução do custo dos fretes, a redução da burocracia e do tempo ocioso de navios e cargas nos portos, e atenderá aos setores das cargas containerizadas e carga geral. Outra vantagem destacada no Plano Nacional de Logística – PNL 2035 será a geração de empregos, o fortalecimento da indústria naval nacional e a redução de poluentes atmosféricos (BRASIL, 2023).

Diante deste cenário promissor de crescimento e planejamento, a região Norte destaca-se em virtude da abundância de rios navegáveis de grande extensão. A Amazônia, detentora da Hidrovia do Amazonas, é responsável pelo escoamento da produção da região, representando 65% e alcança 29 municípios dos estados do Amapá, Pará e Amazonas, as cargas movimentadas em sua maioria são grãos, combustíveis, óleos e produtos diversos (CARDANHA, 2020).

A região, em que a Amazônia está inserida, é identificada como “Arco Norte”, termo referente a junção de pontos de localização de portos ou terminais portuários de cargas, sobretudo na movimentação de grãos. Os estados de Rondônia, Amazonas, Amapá, Pará, Maranhão e Bahia estão inseridos neste setor. A localização norte é privilegiada, dada a redução do tempo de transportes que levam os grãos até os portos, e menores custos e geograficamente estão mais próximos das rotas internacionais de exportação como as Américas centrais e do Norte (IPEA, 2023).

Diante deste cenário promissor de crescimento e planejamento, a região Norte destaca-se em virtude da abundância de rios navegáveis de grande extensão. A Amazônia, detentora da Hidrovia do Amazonas, é responsável pelo escoamento da produção da região, representando 65% e alcançando 29 municípios dos estados do Amapá, Pará e Amazonas. As cargas movimentadas, em sua maioria, são grãos, combustíveis, óleos e produtos diversos (CARDANHA, 2020).

A região em que a Amazônia está inserida é identificada como “Arco Norte”, termo que se refere à junção de pontos de localização de portos ou terminais portuários de cargas, sobretudo na movimentação de grãos. Os estados de Rondônia, Amazonas, Amapá, Pará, Maranhão e Bahia estão inseridos neste setor. A localização ao norte é privilegiada, dada a redução do tempo de transporte que leva os grãos até os portos, menores custos e a proximidade geográfica com as rotas internacionais de exportação, como as Américas Central e do Norte (IPEA, 2023).

Este reflexo da importância do Arco Norte é evidenciado pela movimentação exportada em 2023. De acordo com a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), os portos deste setor escoaram cerca de 3,56 milhões de toneladas de grãos, dos quais mais de 9 milhões foram de milho, superando o porto de Santos na movimentação dessa commodity. Os portos que se destacaram com maior movimentação foram o de Itaqui, no Maranhão, e o PVC (Porto de Vila do Conde), localizado no município de Barcarena, no estado do Pará (CONAB, 2023).

Desse modo, a previsão de obras de melhorias nas hidrovias da região do Arco Norte está sendo discutida continuamente, a fim de facilitar ainda mais o fluxo de escoamento da produção. Além do projeto “BR do Mar”, que visa à melhoria logística de modo geral em todo o território brasileiro, outro projeto que está sob análise de licenciamento ambiental é o derrocamento do Pedral do Lourenço. Em andamento, esse projeto tem o objetivo de viabilizar o tráfego contínuo de embarcações e comboios no trecho que vai do município de Marabá (PA) até a foz do rio Tocantins, facilitando o escoamento da produção que tem como destino o PVC em Barcarena (PA) (DNIT, 2022).

Ainda sobre a região de Barcarena, outra obra que teve o estudo de sondagem iniciado é o aprofundamento dos canais do Quiriri e Espadarte. Esses canais são o acesso ao PVC e o estudo irá analisar a viabilidade e os limites de dragagem, permitindo, no futuro, a ancoragem de navios maiores e garantindo maior competitividade no mercado internacional (CDP, 2022).

Assim, no Estado do Pará, nota-se a importância do modal aquaviário e da água para o seu crescimento econômico e expansão. Diante disso, os dois principais portos que realizam a

atividade são objetos de estudo deste trabalho: o primeiro porto, TPM (Terminal Petroquímico de Miramar), localizado em Belém, capital do estado do Pará, e o segundo, PVC, localizado na cidade de Barcarena (PA).

Localizado às margens da baía do Guajará e dentro da malha urbana de Belém, o TPM movimenta diariamente líquidos e gases, como óleo diesel, gasolina, óleo combustível, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e querosene de aviação, que possuem características altamente inflamáveis e poluentes. Episódios de poluição no rio, envolvendo naufrágios de embarcações de pequeno e médio porte, são recorrentes na região amazônica. Além disso, pequenos derrames e descartes de combustíveis tornam-se fontes pontuais de HPA (Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos) e comprometem a biota aquática, devido à indução de efeitos genotóxicos e mutagênicos em organismos (RODRIGUES, 2018; MACDONALD et al., 1996).

Conforme os dados estatísticos aquaviários, disponíveis no site da Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ (2023), em 2020 e 2021, o TPM recebeu cerca de 1.333 navios (exceto outras classificações de produtos de carga de apoio e afins). Desse total, houve a frequência de 21,04% de navios atracados carregados com etanol combustível; 11,73% com gás de petróleo; 0,73% com biodiesel; 66,35% com petróleos e derivados (sem óleo bruto); e apenas 0,15% com produtos químicos inorgânicos. Isso demonstra a importância vital deste terminal, não apenas pela movimentação de navios e abastecimento de combustível do interior do estado, mas também pela grande contribuição aos impactos ambientais e riscos potenciais que oferece.

O segundo objeto do trabalho, o PVC, está localizado na cidade de Barcarena – PA, às margens da Baía do Marajó. Diferente do TPM, que movimenta, em sua maioria, combustíveis, o PVC atua principalmente na movimentação de alumina, bauxita, soda cáustica, soja e fertilizantes. De acordo com os dados estatísticos aquaviários disponíveis no site da ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários) (2023), a frequência de navios observada durante os anos de 2020 e 2021, em um rol extenso de cargas variadas e um total de 6.349 atracações em dois anos, destacou-se em 41,33% de navios que transportavam sementes e frutos oleaginosos, grãos e frutos diversos; 26,47% de navios carregados de cereais; 7,9% de contêineres; 6,33% de produtos químicos inorgânicos; e 4,9% de combustíveis minerais e óleos minerais.

Além da intensa movimentação de cargas, a localização portuária estratégica compete com a região turística da cidade, como a praia do Caripi, onde há restaurantes e hotéis, além da população ribeirinha, extrativista e quilombola, que reside e utiliza os canais de navegação para

a pesca e como meio de transporte. O complexo portuário, que, além de abrigar a atividade do porto, também possui plantas industriais de alumina e transporte de bauxita, apresenta impactos socioambientais recorrentes na região e sentidos pela população (RODRIGUES e HAZEU, 2019).

Fatos confirmados nos relatórios da Comissão Parlamentar de Inquérito da ALEPA, intitulada "Danos Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pará", indicam que, a partir do acidente com o MV Navio Haidar, de bandeira libanesa, que transportava 5.000 cabeças de gado e adernou no berço 302 do píer, no ano de 2015, esta comissão foi instaurada para investigar os fatos. Além disso, foram feitas declarações sobre a presença de nuvem de fuligem negra, vazamentos no mineroduto de caulim, transbordamento de lama vermelha dos canais que circundam a bacia de rejeitos de bauxita e alumina, morte da ictiofauna e floração de algas. Este comitê foi composto por oitivas no território, laudos técnicos e depoimentos de representantes do estado e da comunidade, indicando que a contaminação do estuário afeta diretamente municípios vizinhos, como Belém, Abaetetuba, Ponta de Pedras, Marajó e Baixo Tocantins, que são afetados sucessivamente e com alta frequência (PARÁ, 2018, p. 114, 161).

O reflexo deste cenário é traduzido em doenças na população, conforme o estudo de 2018, que avaliou a presença de metais pesados em fios de cabelo de 90 indivíduos que residem em 14 localidades diferentes da região de Barcarena. O estudo concluiu que 80% do grupo amostral apresentou níveis de Pb acima de 10 mg/g, além dos elementos Cr e Ni, que estiveram acima dos valores médios preconizados em legislação. A concentração desses elementos no corpo humano é bioacumulada e pode gerar diversas doenças no sistema nervoso, cardiovascular e respiratório (PEREIRA, 2019).

Na comunidade Bom Futuro, que habita nas proximidades da barragem de rejeitos da mineração de bauxita, entre fevereiro e abril de 2018, período em que o Instituto Evandro Chagas apontou indícios de extravasamento de rejeitos no corpo hídrico, foi identificado um número significativo de pacientes com sintomas como: dores abdominais (25%); cefaleia (19,5%); alterações de pele (17%); diarreia (15%); náusea/vômito (13%); dermatoses (9%); e dermatites, irritação ocular, vertigem e alterações respiratórias (1,5%) (BARCARENA, 2019).

Em consequência dessas problemáticas e da intensa movimentação em ambos os portos, surgem questionamentos quanto aos efeitos e influências dessas atividades na qualidade da água do estuário do rio Pará. Estes questionamentos são:

Quais seriam os efeitos das atividades portuárias desenvolvidas pelo TPM, que envolvem a movimentação de derivados do petróleo e hidrocarbonetos, na qualidade das águas do estuário do rio Guamá?

Quais são os efeitos das atividades portuárias desenvolvidas pelo PVC, que envolvem a movimentação de fertilizantes, minerais e grãos, na qualidade das águas do estuário do rio Pará?

A fim de realizar um paralelo entre as duas atividades localizadas no mesmo setor estuarino e que, por consequência, contribuem sinergicamente para o lançamento de substâncias no corpo hídrico, a verificação dos parâmetros da qualidade da água nesses portos é essencial e contribui significativamente para a comunidade acadêmica e para a sociedade. Esta análise, ao observar não somente os parâmetros, mas também a conjuntura das atividades, traz uma visão diferenciada sobre o tema.

Este estudo tem o intuito de analisar a influência das atividades portuárias em questão na qualidade das águas estuarinas (2020-2022) nos entornos do TPM e PVC do setor 03.

1.1. OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência das atividades portuárias nas águas estuarinas nos entornos do PVC e do TPM.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) *Descrever as atividades do PVC e TPM;*
- b) *Avaliar a influência sazonal nas concentrações dos parâmetros físico – químicos e bacteriológicos nas águas;*
- c) *Propor medidas mitigadoras eficazes para a redução da poluição hídrica oriunda das atividades portuárias desenvolvidas no PVC e TPM.*

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Contexto histórico naval

A utilização do recurso hídrico para a navegação e a busca pela subsistência, surge desde os primórdios dos séculos IX e X, em que as embarcações se tornam essenciais para o transporte de mercadorias, tais como materiais de construção e demais materiais que atendessem o comércio medieval. De tal modo que além de embarcações, outros dispositivos foram construídos para atender a navegação, desde obras hidráulicas até estruturas portuárias. Onde, um dos primeiros registros foi no ano de 1253, em que holandeses construíram um canal de navegação com uma eclusa e a partir disto, drenagem de diques começaram a ser realizadas com certa frequência, além da construção de moinhos de vento e rodas hidráulicas, durante o período do séc. XI ao séc. XV. O que despertou interesse de engenheiros italianos que adotaram tais modelos para obras no rio Pó, localizado no mar adriático com intuito de aprimorar os sistemas de comportas em 1386 (JACOMY, 1990).

Diante disto a importância que o recurso hídrico possui, não apenas para a manutenção da vida na terra, mas pelos seus diversos usos, principalmente no século XII, em que foi fundamental para a circulação de riquezas e interação entre povos.

Devido a necessidade da circulação de riquezas, grandes navegações foram necessárias, e surgiram a partir do século XV em decorrência do cenário comercial mundial entre ocidente e oriente, pela busca de especiarias oriundas da China e Índia. A Europa buscava destaque neste cenário com a finalidade de obter poder e expansão territorial. As principais rotas traçadas eram as terrestres, onde as mercadorias eram transportadas pelos árabes e direcionadas às cidades de Constantinopla, Trípoli e Alexandria. Posteriormente, as cargas eram levadas pelas embarcações até a região da Itália e comercializada para toda Europa. A necessidade de encontrar uma rota direta para chegar ao oriente, e extinguir a dependência da comercialização de árabes e italianos, impulsionou Portugal e Espanha para a procura de uma nova rota possível que os levassem a Índia. Este fato foi o propulsor para o início da Era das Grandes Navegações, que possibilitou posteriormente a descoberta das Américas (OLIVEIRA, 2017).

2.2 Tipos de Navios

Conforme a modernização alcançava o setor marítimo, os navios também sofreram alterações construtivas e adaptações de acordo com a finalidade do seu uso. A sua tipificação, tamanho e outras características estão padronizadas e são adotadas comumente conforme definido pela autoridade marítima de um país, a Marinha Mercante que preconiza as

especificações técnicas a serem seguidas, como a sua capacidade volumétrica, especificação de materiais e propulsão (NOBRE, 2005).

Em relação aos tipos de navios, são classificados em navios de guerra, navios mercantes que podem transportar passageiros e/ ou cargas e os navios com finalidades recreativas, de uso particular e sem fins lucrativos (Tabela 1).

Tabela 1 - Principais características dos navios

Tipos		Descrição			
Navios	Militares	Mercante	Finalidade Específica		
Percursos	Interior	Ap. marítimo	Costeira	Cabotagem	Longo curso
Serviço	Linha (liners)	Frete (tramp)	Privado		
Carga	Unitizada	Solta	Viva		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 2 - Subclassificação dos principais tipos de navios mercantes.

Tipo de Navio	Class. M.G. (*)	Carga
Carga Geral	Breakbulk	Cargas heterogêneas
Graneleiro	Bulk Carriers	Grãos, fertilizantes, minério e petróleo
Cargueiros	Freighters	Contêineres, Navios Roll-on/Roll-off, refrigerados e não refrigerados.
Porta Contêiner	Full Containerships	Somente contêineres, sem espaço para outro tipo de carga
Porta CNTRS Parcial	Partial Containerships	Uso misto para contêineres e outros tipos de carga
Roll-on/Roll-off	Roll-on/Roll-off	Contêineres, reboques com rodas, transportadores, carros e caminhões
Petroleiros	Tankers	Petróleo bruto, produtos petrolíferos, produtos químicos, gases liquefeitos (GNL e GLP)

Fonte: Adaptação do *Maritime Glossary*, 2008.

2.3. Tipos de percurso da navegação

Na classificação brasileira, o percurso interior, é classificado como um tipo de navegação que ocorre em regiões como canais, rios, lagoas, enseadas, baías e angras, e que transporta passageiros, cargas e misto. Esta classificação é subdividida em: Navegação fluvial

e lacustre – onde é realizada nas regiões de canais, rios, lagos e lagoas, no entanto fora da área portuária nacional e pode ser realizada até portos fluviais de países vizinhos, visto que estejam ligados por hidrovias interiores comuns (TEIXEIRA, 2018).

O segundo tipo de navegação de percurso interior é o de travessia, realizada transversalmente ao curso de rios e canais, em regiões em que há dois pontos ligados em lagos, lagoas, enseadas, baías e angras e entre ilhas, onde o limite da distância seja inferior a 11 milhas náuticas e em situações em que há a interligação de dois pontos de uma rodovia ou ferrovia entrecortada pelo corpo hídrico. Por fim a navegação interior portuária, realizada dentro das áreas portuárias nacionais de baías, enseadas, angras, canais, rios e lagoas com a finalidade de atendimento das atividades portuárias. A vantagem que a navegação interior apresenta, é refletida no transporte de produtos homogêneos e de baixo valor agregado (soja, milho e minérios), por longas distâncias com baixo custo e elevada capacidade de cargas, o que barateia o processo de transporte destas commodities em relação a outros modais de transporte, em contrapartida a velocidade é lenta e pouco frequente, caracterizando como aspectos negativos (TEIXEIRA, 2018).

De acordo com a Resolução nº 4.502 de dezembro de 2015 (BRASIL, 2015) a navegação de apoio marítimo é definida como o apoio logístico a embarcações e instalações em águas territoriais nacionais e na zona econômica exclusiva, atuando em atividades de pesquisa e lavra de minerais e hidrocarbonetos. A referida lei, também destaca outras atividades como construção de estruturas submarinas e lançamento de dutos. É um tipo de navegação que ocorre entre portos, terminais marítimos e plataformas *offshore*.

A cabotagem, está definida na Lei nº 9.432, de 08 de janeiro de 1997, em seu art. 2º, inciso IX a cabotagem é realizada entre portos ou pontos do território brasileiro utilizando a via marítima e as vias navegáveis interiores (BRASIL, 1997).

A navegação costeira, ocorre ao longo do litoral brasileiro e dentro dos limites de visibilidade da costa, que conforme preconizado pela NORMAN – 03/DPC é realizada entre portos nacionais e estrangeiros dentro do limite de visibilidade da costa, não excedendo 20 milhas náuticas. Já a navegação oceânica, termo utilizado pela Marinha Brasileira, é um tipo de navegação sem restrições e realizada entre portos nacionais e estrangeiros fora dos limites de visibilidades da costa e sem outros limites estabelecidos. No art. 2º inciso XI da legislação nº 9.432, de 08 de janeiro de 1997, define a navegação de longo curso que é realizada entre portos brasileiros e estrangeiros (BRASIL, 1997).

Os tipos de serviços que podem ser executados pelos navios, de acordo com a definição da *Maritime Glossary* (2008) podem ser de linha (*liner*) em que os navios possuem uma rota comercial específica e definida de portos onde os navios atracarão. Já o serviço *tramp* acontece quando há uma empresa transportadora marítima que realiza a escalação de navios em qualquer porto onde a carga pode estar disponível.

2.4 Estrutura Portuária

Assim, após a elucidação acerca do contexto histórico naval, e as características gerais das embarcações, o porto é a estrutura fixa que recebe continuamente estas embarcações o que permite a sua comunicação com as vias terrestres, seja no carregamento e descarregamento de produtos, seja no transporte de pessoas. Conforme a Lei nº 12.815 de 05 de junho de 2013, define o porto organizado como “bem público construído e aparelhado para atender as necessidades da navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estejam sob jurisdição de autoridade portuária”, ainda traz outras definições de outros tipos de portos e estruturas (BRASIL, 2013).

Os portos são definidos como instalações portuárias de trânsito de cargas que funcionam como condutor entre o meio marítimo e terrestre, liga continentes e localidades de um mesmo continente e necessitam de áreas abrigadas, profundidades razoáveis que possibilitem o transbordo de cargas e prestação de serviços às embarcações. A localização do porto também deve ser estratégica, que permita fácil acesso terrestre e marítimo, por essa razão de modo geral os portos estão localizados em baías, estuários, lagos e rios. A sua infraestrutura é composta pelo: canal de acesso aquaviário – onde há estruturas como os píeres, cais, dársenas, áreas de armazenagem e circulação interna, caracterizando a área portuária e acesso terrestre – rodovias e ferrovias. Outros itens que compõem a superestrutura portuária são equipamentos, tubulações, portêineres, transtêineres, guindastes, armazéns, pátios e estacionamento (ANTAQ, 2011).

Assim os portos admitem características estruturais projetadas para atender o objetivo de cada empreendimento e pode ter cunho comercial, industrial, turístico, pesqueiro e multifuncional. Está intrinsecamente ligado a cidade funcionando como um sistema onde suas interações variam com o tempo, o que provoca dinâmicas positivas e negativas levando a novos posicionamentos urbanos e um comportamento diferenciado da cidade (GARCIA, 2021).

Estas dinâmicas que os portos provocam nas cidades, também são observadas no meio ambiente, através de seus impactos ambientais, não somente pela presença do empreendimento

que altera características físicas do meio, mas adicionado a isto a movimentação de navios que também intensifica o processo. Assim, segundo o documento referente ao Modelo Ambiental Portuário, 2011 da Agência Nacional de Transportes – ANTAQ, a atividade portuária gera impactos ambientais decorrentes da implantação de infraestruturas para promover o trânsito de cargas portuárias e utilização dessas infraestruturas para a operação portuária.

A atividade portuária, portanto, interfere diretamente na qualidade ambiental, seja pela implantação de infraestruturas, seja pela sua operação (Tabela 03).

Tabela 3 - Impactos Ambientais potenciais oriundos da atividade portuária.

Fases	Ações	Impactos Ambientais	Impacta
Fase Inicial - Implantação do Porto	Construção da infraestrutura	Alterações: - Linha da costa; - Regime hidrológico; - Dinâmica sedimentar; - Destruição ou alteração de áreas naturais costeiras; - Supressão de vegetação; - Modificação no regime e alteração no fundo dos corpos d'água, poluição da água, solo, subsolo e do ar.	Meios Físico, Biótico e Socioeconômico.
Fase de Operação	Perda de resíduos da carga Abastecimento de embarcações Obras de acostagem Obras de dragagem Operações de máquinas e veículos Geração de resíduos Manuseio de cargas perigosas Abastecimento e limpeza de embarcações Bioinvasão via água de lastro e incrustações no casco das embarcações	- Alteração da qualidade de água; - Poluição do ar por gases e partículas sólidas; - Ruídos; - Distúrbios na fauna e flora; - Atração de vetores; - Introdução de espécies exóticas	Meios Físico, Biótico e Socioeconômico.

Fonte: Adaptação do Modelo de Porto Verde (ANTAQ, 2011).

Faz-se necessário ressaltar principalmente os impactos no meio aquático e aéreo, devido à localização do empreendimento e estar exposta ao meio ambiente. No meio aquático, onde o risco de vazamentos de óleo, combustíveis e queda de materiais (minério, fertilizantes, produtos químicos) na água é iminente, já no ar, a movimentação de cargas como soja, milho, minério, fertilizantes são transportadas em grãos e pó e quando movimentadas liberam pequenas partículas (material particulada) em conjunto com a emissão de CO_2 de navios, caminhões e maquinário portuário, que se dispersam na atmosfera e conseqüentemente se espalham superficialmente na lâmina d'água e precipitam nos sedimentos, bem como ficam em suspensão no ar e são carregadas pela movimentação dos ventos, transportando a poluição para lugares mais afastados, gerando uma contribuição de poluição em cadeia.

A poluição em cadeia marítima, é mencionada no estudo de MARTÍNEZ-MOYA (2019) que além das emissões atmosféricas oriundas dos navios e portos, há a movimentação de cargas transportadas em contêineres e a utilização do maquinário necessário para a sua movimentação do pátio ao navio, e destaca que as emissões de CO_2 , geram um grande impacto, visto que não há apenas o uso de energia elétrica, mas o uso de óleo diesel também faz parte da emissão. No caso de pátios que armazenam contêineres e em cenários em que um maior rendimento portuário é exigido, culmina em alto consumo de energia, tratores e outros maquinários, que utilizam óleo diesel, somam um total de 68,1% de emissões de CO_2 , o consumo de diesel é crescente, dado à ineficiência dos motores dos equipamentos que não recebem manutenções preventivas. Ainda, há um consumo relevante de energia elétrica, para o funcionamento de contêineres frigoríficos (13,84%) e de guindastes (9,80%).

MURENA (2018) destaca que o impacto das emissões dos navios é de escala global e local, onde as locais afetam significativamente a saúde humana, em especial em zonas costeiras e nas cidades portuárias, assim o material particulado e os metais pesados, e a combustão de petróleo pesado, utilizado no transporte marítimo. Os principais poluentes oriundos destes processos são o Material Particulado (MP10); MP2,5; Dióxido de Nitrogênio (NO_2) e Dióxido de Enxofre (SO_2).

De modo geral é possível compreender quais e como os múltiplos impactos ambientais provenientes da atividade portuária surgem, entretanto neste estudo o foco está voltado para os impactos que afetam diretamente a qualidade da água e qual a influência que o porto exerce no meio aquático. O comprometimento da qualidade do ar abordado anteriormente é fundamental, visto que a atmosfera e sua composição é parte fundamental no processo do ciclo hidrológico, e estes impactos serão detalhados no capítulo 3 – Seção 3.2 do Referencial Teórico.

2.5 Qualidade da água

O recurso essencial seja para a manutenção da vida humana seja para processos ambientais e sociais, a água é categorizada como um elemento fundamental para todos (MCDONALD, 2013).

Os ambientes aquáticos possuem diversas finalidades, dentre estes o abastecimento humano, navegação, aquicultura etc., sendo o principal componente de todos os organismos vivos (MORAES, 2002).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2023) estima-se um percentual de 97% da disponibilidade da água, é salina, o que a torna imprópria para o consumo e para fins agrícolas, em seguida a parcela de água doce disponível, que representa 2,5 %, cerca de 69 % estão localizadas nas geleiras, 30 % desta parcela está concentrada em aquíferos subterrâneos e 1% encontra-se nos lagos e rios.

A expressão de qualidade da água está relacionada com a condição ou estado, considerando aspectos físicos, químicos e biológicos. Tanto a avaliação como uma boa previsão da qualidade da água é importante para o gerenciamento de uma bacia hidrográfica, a fim de que medidas adotadas para a garantia dos níveis de poluição sejam mantidas no intervalo dos limites permitidos pela legislação vigente de cada país (AHMED, 2019).

Assim, entende-se por poluição uma mudança no meio ambiente que introduz concentrações elevadas de substâncias com alto poder tóxico e prejudicial, como também o calor e o ruído, e está atribuído às atividades humanas e às atividades naturais do próprio ambiente, como erupções vulcânicas, excremento de animais no corpo d'água também são exemplos de poluição (GARCIA, 2015).

Nos corpos hídricos, e a depender dos tipos de poluição, ocorrem de duas formas: a primeira se dá de forma pontual, que se trata de pontos de descarte do esgoto através de tubulações que são direcionados para o corpo hídrico, mesmo que receba o devido tratamento adequado ou não, o aumento significativo da contribuição do esgoto doméstico em corpos hídricos caracteriza o aumento da concentração de nutrientes e metais potencialmente tóxicos. A segunda forma de poluição é a difusa, ou não pontual tem por característica a sua origem de difícil identificação, seu transporte se dá de várias maneiras, surgindo a partir de extensas áreas e de operações consecutivas, associadas ao escoamento superficial, devido a lixiviação de compostos do solo e drenagem de águas pluviais urbanas e rurais (SODRÉ, 2012).

A garantia da qualidade da água está totalmente relacionada com os tipos de uso, o ser humano cada vez mais pressiona o meio ambiente, provocando impactos de ordem negativa no

meio, que podem ser divididos em dois tipos: o consumo de recursos naturais em um curto espaço de tempo, impossibilitando a renovação completa do sistema ecológico e o segundo seriam as atividades desenvolvidas que geram e despejam cargas elevadas de efluentes, que não conseguem ser integradas ao ciclo natural de nutrientes (MORAES, 2002).

Os estudos e métodos desenvolvidos, a respeito da qualidade da água, se desenvolveram rapidamente, possibilitando uma melhor compreensão, desde métodos simples a métodos sofisticados (LI & WU, 2019).

MITRA (2018) destaca que a crescente preocupação com a disponibilidade de recursos hídricos, e a sua qualidade vem aumentando ao longo dos anos, tornando-se uma preocupação global devido ao crescimento populacional mundial em virtude do aumento simultâneo de atividades industriais, o que por consequência provoca ampliação da poluição das águas, tornando uma ameaça à segurança hídrica e aquática. Além da contribuição orgânica dos esgotos domésticos, as atividades industriais contribuem também com o lançamento de metais pesados, óleos e compostos orgânicos, que afetam diretamente na redução de oxigênio dissolvido (OD) da água.

A importância de estar constantemente avaliando a qualidade da água e a sua relação direta com atividades industriais permite visualizar a real situação, e interferindo positivamente na saúde humana, através de pesquisas é possível monitorar as atividades e diminuir a incidência de doenças na população posteriormente. Como mostra o estudo de SOLDATOVA (2018) que avaliou a qualidade da água subterrânea, na bacia do lago Poyang, na China, e a sua associação ao risco do desenvolvimento cancerígeno, decorrentes de atividades agrícolas. O resultado de sua pesquisa encontrou a presença de onze elementos, acima dos valores permitidos para a água destinada ao consumo humano, que foram: NO_3^- ; NH_4^+ ; Fe; Mn; As; NO_2^- raro; Se; Hg; Tl e Pb, deste rol apenas cinco componentes não possuem potencial cancerígeno NO_3^- ; Fe; As; NO_2^- raro; Se e Mn.

Na pesquisa de JOSHI et al. (2018), realizada em sete províncias da Coreia do Sul, também são associadas e identificadas a existência entre as correlações de doenças intervrais (meningite asséptica, conjuntivite hemorrágica aguda) e a qualidade da água e fatores meteorológicos, durante um período de seis anos (2010 a 2015) e correlacionaram parâmetros como turbidez, temperatura média, pH e cloro. De acordo com os mesmos autores, a qualidade da água potável é um dos principais determinantes das doenças relacionadas.

Assim, o interesse em estratégias econômicas e criteriosas para o gerenciamento da qualidade da água, surge cada vez mais, visto que a qualidade da água é essencialmente

importante para o consumo humano, afetando diretamente a saúde humana. A obtenção de um modelo de qualidade da água eficiente e preciso, é um grande desafio devido aos mais diversos cenários existentes no mundo real (AHMED, 2019).

Diante disto, a avaliação da qualidade da água é baseada em vários parâmetros, fazendo-se necessário integrar muitos indicadores em um único valor, tornando o resultado compreensível e facilitando a sua análise, permanecendo na sua base científica (MUKATE, 2019).

Para que a análise da qualidade da água ocorra, seja para fins de fornecimento de informações ao órgão ambiental, uso humano ou outro fim, faz-se necessário o cumprimento de práticas, visando o acompanhamento das características de um sistema, associados a um objetivo, neste caso avaliar a qualidade da água, seja ela superficial ou subterrânea, e este conjunto de práticas, são denominados de monitoramento, traduzidos na coleta de dados de amostras de água em locais específicos e devidamente georreferenciados, atendendo a um padrão de periodicidade, com a finalidade de gerar informações que irão refletir as características físicas, químicas e biológicas, permitindo interpretar aspectos como potabilidade, classificação se a água é doce, salina, salobra, água de reuso, abastecimento humano e etc. (ANA, 2023).

Assim, o monitoramento da qualidade da água possui o papel de auxiliar na identificação dos impactos positivos gerados, decorrentes da implementação de um monitoramento eficaz em virtude da adoção de práticas conservacionistas de uma bacia hidrográfica. Entretanto, no monitoramento vários parâmetros são analisados e a fim de facilitar a interpretação dos dados por qualquer indivíduo, além de especialistas o Índice de Qualidade da Água foi desenvolvido, que se trata de uma ferramenta matemática utilizada para transformar os vários parâmetros que são realizados em uma única grandeza, sintetizando as informações (MENEZES, 2010).

Historicamente, o surgimento do primeiro índice foi registrado na Alemanha por volta de 1948, onde houve os primeiros indícios de sintetizar informações acerca da qualidade da água, em relação a pureza e o nível de poluição, além de observações quanto a ocorrências de comunidades macroscópicas como peixes, e microscópicas como organismos bentônicos e plantas. Assim, categorizavam os corpos hídricos de acordo com os níveis de poluição, no entanto, somente a partir de 1965 estas observações e a busca pela padronização ocorreram, e que através do índice de Horton, utilizou escala numérica, onde foi apresentada como uma

ferramenta para a avaliação de programas de redução de poluição e de custo público (DERÍSIO, 2017).

A partir do estudo de Horton, vários outros tipos de índices surgiram, atendendo a um tipo de configuração na seleção de parâmetros, atribuição de pesos aos índices, agregação de subíndices, e nesta configuração cada parâmetro possui sua influência em relação à qualidade da água, que pode afetar a sensibilidade do índice, fazendo necessário ponderar padrões de acordo com o tipo de destinação dado a água, a fim de minimizar falsas ponderações, são utilizados métodos Delphi e AHP para gerar pesos relativos de parâmetros (MUKATE, 2019).

O método Delphi, foi desenvolvido por Brown *et al.* (1970) em parceria com a *National Sanitation Foundation* (NSF), nos Estados Unidos (EUA), denominado IQA – NSF, que entrevistou 142 especialistas para definir a relevância dos parâmetros que entrariam no índice, onde cada parâmetro teria um peso atribuído, assim surgido nove curvas do IQA: oxigênio dissolvido – OD (peso 17 %); coliformes termotolerantes – CT (peso 15 %); pH (peso 12 %); demanda bioquímica de oxigênio – DBO (peso 10 %); fosfato total (peso 10 %), nitrato (peso 10 %); temperatura (peso 10 %); turbidez (peso 08 %) e por fim sólidos totais (8 %) (OLIVEIRA, 2014).

No Brasil, o índice mais conhecido e utilizado, foi o IQA da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, que se trata de uma adaptação do IQA – NSF elaborado em 1970, nos Estados Unidos (EUA), como seu antecessor também utilizou uma pesquisa de opinião junto a especialistas em qualidade de águas, que indicaram variáveis com seus respectivos pesos, inseridos em uma escala de valores “*rating*”, ao qual 35 variáveis propostas, somente 09 foram selecionadas (CETESB, 2008).

Figura 1 - Fórmula do Produtório Ponderado das Qualidades de Água.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

FONTE: CETESB, 2008.

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, que compreende o intervalo de 0 e 100;

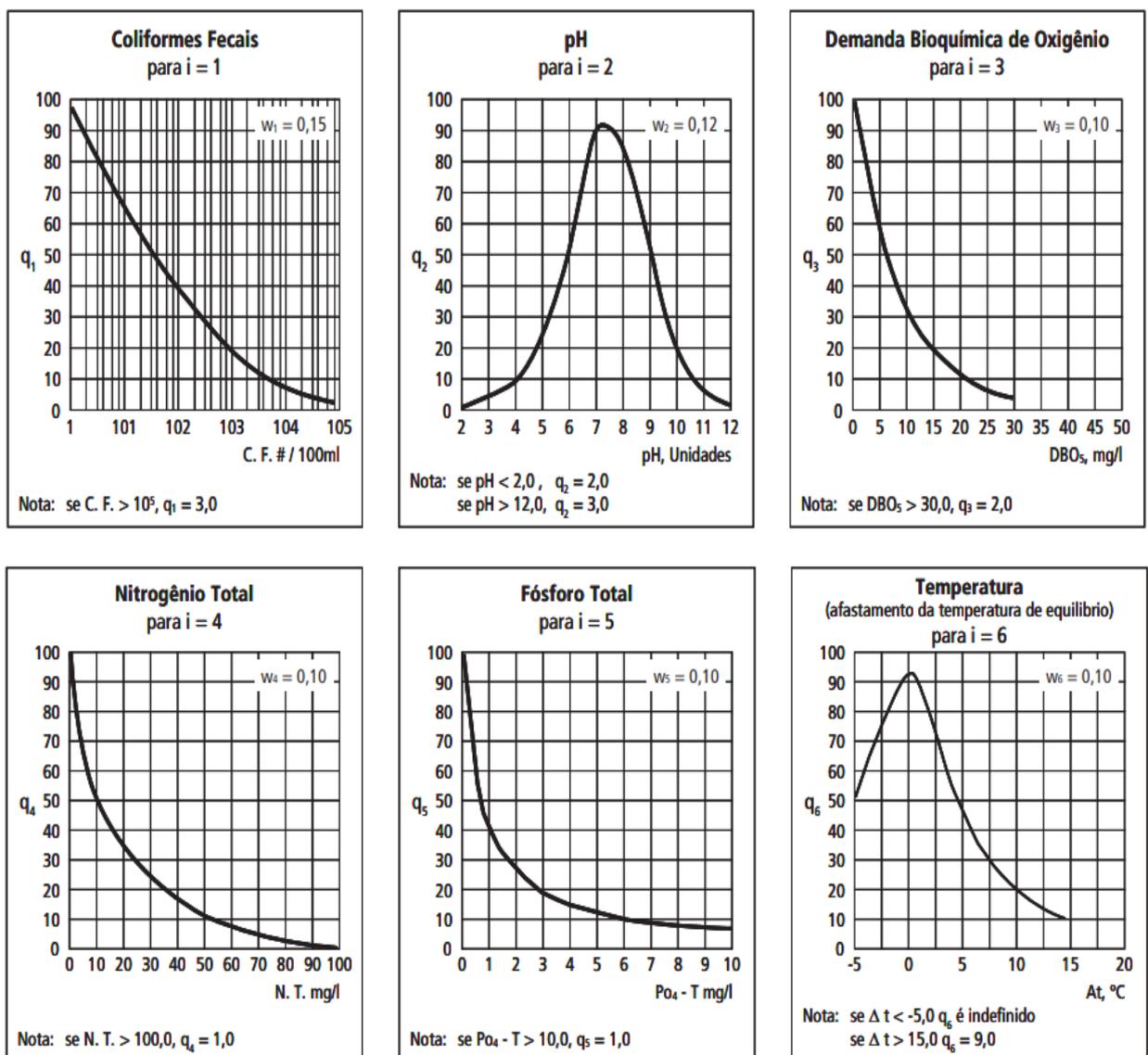
q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função da sua concentração ou medida;

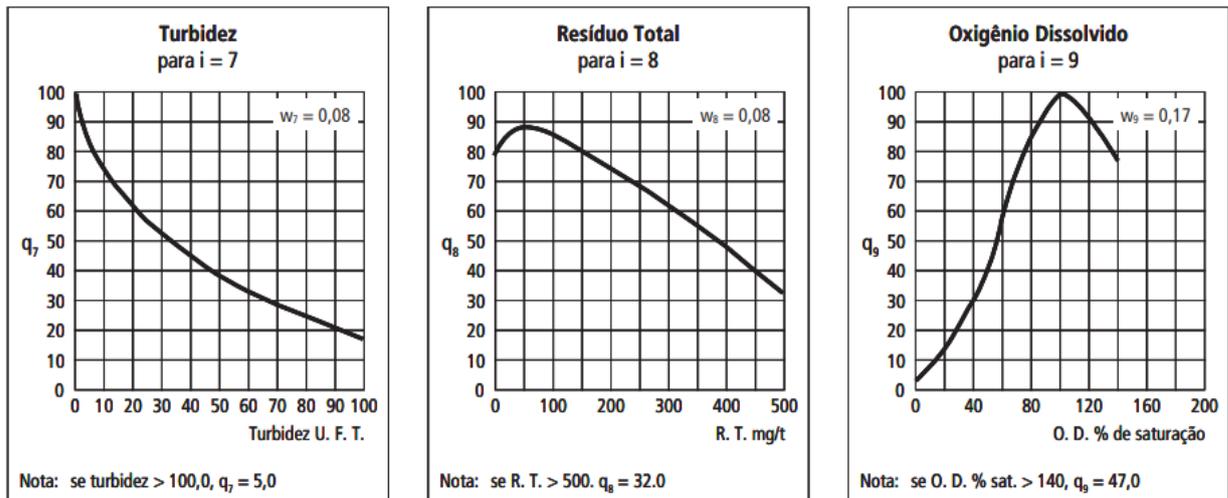
w_i : peso referente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, que corresponde a função da sua importância, para a conformação global de qualidade, onde:

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

As curvas de variação por sua vez, estão concentradas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro com o seu peso correspondente:

Figura 2 - Curvas médias de variação de qualidade das águas.





FONTES: CETESB, 2008.

2.6 Legislação ambiental das águas

A preocupação com o recurso hídrico no cenário mundial teve seu início entre as décadas de 1970 e 1980, considerada como 2ª revolução sanitária, com origem na saúde ambiental esta revolução atingiu também o cenário do pós-guerra, a ciência sanitária recebeu mais importância, sendo atribuída diretamente ao sucesso humano e econômico. Entidades internacionais como o Banco Mundial, Programa das Nações Unidas e Organização Mundial de Saúde, fomentaram o interesse e a participação em água e saneamento, e principalmente a discussão quanto ao direito e acesso de todos os indivíduos, ao recurso hídrico (MCMILLEN, 2020).

O direito ao acesso a água tornou-se um assunto debatido vigorosamente, e em 1977 a ONU (Organização das Nações Unidas) afirmou que todos os indivíduos, independente de classe social, tinham o direito ao acesso a água, de qualidade e suficientemente capaz para suprir suas necessidades básicas. No entanto, o reconhecimento deste direito só acontece em 2010, através de uma Assembleia Geral das Nações Unidas, com a instituição da Resolução nº 64 de 2010 (A/RES/64/292), que prevê o acesso a água potável e ao saneamento básico como um direito essencial, fundamental e universal, sendo indispensável a vida com dignidade (FORTES, 2018).

No contexto nacional, o direito ao acesso a água enquanto recurso básico e fundamental para a garantia da vida humana, não é expresso na Constituição Federal do Brasil, de 1988, enquanto direitos humanos, somente em relação a um bem de consumo e propriedade, neste caso da união, como também sua competência legislativa, conforme previsto nos artigos nº 20, 21, 22 e 26 (BRASIL, 1988).

Ainda neste contexto, o caminho legislativo se moveu a passos lentos, em 1916, após a instituição do Código Civil Brasileiro (Lei nº 3.071 de 01 de janeiro de 1916), apenas mencionava o uso da água como bem de consumo privado, em seu art. 565 cita: “*O proprietário de fonte não captada, satisfeitas as necessidades de seu consumo, não pode impedir o curso natural das águas pelos prédios inferiores*”. Atualmente, esta legislação encontra-se revogada pela nova Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002, que instituiu o novo código civil. (BRASIL, 1916).

Assim o uso da água no Brasil, passa a ser abordado no Código de águas, instituído em 1934, através do Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934, que preconiza o tipo de uso, apropriação, aproveitamento de energia hidráulica, concessões, autorizações e fiscalização, novamente o código trata o recurso somente como um bem de consumo. Entretanto, traz uma nova perspectiva quanto à sua utilização, culminando posteriormente na necessidade da criação de um instrumento que viesse a gerir os recursos hídricos (BRASIL, 1934).

DE OLIVEIRA CARNEIRO (2018) mencionam que o uso da água passou a ser tornar cada vez mais problemático, devido ao crescimento população, em consequência do aumento da malha urbana, êxodo rural e surgimento da revolução industrial, esta pressão no sistema hídrico obrigou que houvesse medidas em relação a distribuição da água, tratamento de efluentes e controle de problemas de saúde, relacionados a ausência de saneamento.

Diante disso, a PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos) foi instituída em 08 de janeiro de 1997, através da Lei nº 9.433, ao qual estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal, e implementou o SINGREH (Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos). A política possui um caráter descentralizador, uma vez que envolve estados, municípios e sociedade civil no que se refere a gestão dos recursos hídricos promovendo, condições para identificar conflitos motivados pelo uso da água, através de planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas (ANA, 2023).

A PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos) por sua vez tem por objetivo garantir a sustentabilidade quanto ao uso do recurso, garantindo a disponibilidade para gerações futuras, atendendo aos padrões de qualidade; utilização racional, incluindo os meios de navegação; prevenção contra eventos hidrológicos críticos, tanto de origem natural ou oriundas do uso irracional dos recursos naturais e incentivar e promover a captação de águas pluviais (BRASIL, 1997).

Nessa perspectiva MESQUITA (2018) destaca que a criação do plano nacional em princípio a nova forma de gestão aproximaria as demandas locais da tomada de decisão,

considerando que o intuito do plano é admitir uma política hídrica descentralizadora. Após o ano de 1997, ocorre a criação da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que institui a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), entidade federal com a finalidade de implementar a PNRH, tornando-a responsável pela instituição de normas de referência para a adequação dos serviços de saneamento público (BRASIL, 2000).

A ANA possui então a responsabilidade de acompanhar a qualidade da água dos corpos hídricos do país, bem como a reserva disponível e realiza a divulgação dos relatórios periódicos sobre a oferta e demanda dos recursos hídricos (ANA, 2023).

Simultaneamente em 1981, ocorre através da Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, a instituição da Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA apresenta em seus objetivos a racionalização quanto ao uso da água e o acompanhamento do estado da qualidade ambiental dos recursos naturais (BRASIL, 1981).

Em relação aos padrões da qualidade da água, a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, foi instituída para classificar os corpos d'água e as diretrizes ambientais de enquadramento. Assim, a nº 357/2005 foi alterada pelas Resoluções CONAMA nº 393/2007; 397/2008; 410/2009 e nº 430/2011, atendendo outras particularidades dos padrões de qualidade da água, e atividades desenvolvidas que utilizam o seu recurso.

Outro setor envolvido fortemente com a atividade portuária, é a Marinha do Brasil, que através das Normas da Autoridade Marítima – NORMAM, instaurou uma norma específica para acidentes com embarcações que envolvam poluição hídrica. A NORMAN-20, trata deste tipo de poluição causada por embarcações, plataformas e instalações de apoio. Ainda estabelece os procedimentos administrativos adotados pela Autoridade Marítima; procedimentos de gestão da água de lastro e quanto ao uso de sistemas anti-incrustantes danosos ao meio ambiente marinho e/ou saúde humana (NORMAN, 2022).

Tabela 4 - Quadro das legislações brasileiras norteadoras.

Legislação	Objetivos
Constituição Federal de 1988	Constituição da República Federativa do Brasil
Código Civil Brasileiro de 1916	Código Civil dos Estados Unidos do Brasil
Lei nº 9.433	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos
Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA
Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981	Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente
Resolução CONAMA nº 357 de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais
Resolução CONAMA nº 397 de 2008	Altera o inciso II do § 4o e a Tabela X do § 5o, ambos do art. 34 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA nº 357, de 2005
Resolução CONAMA nº 410 de 2009	Altera o art. 44 da Resolução nº 357/2005 e o art. 3º da Resolução nº 397/2008. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3o da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008
Resolução CONAMA nº 430 de 2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA
NORMAN-20, 2022	Normas da Autoridade Marítima sobre Poluição Hídrica causada por Embarcações, Plataformas e suas Instalações de Apoio

Fonte: Adaptado, 2023.

Assim, a seguir a classificação das águas, quanto aos parâmetros estabelecidos na Resolução Conama nº 357/2005:

Tabela 5 - Classificação das águas quanto ao tipo

Tipo	Taxa de salinidade
I – Águas doces	Inferior ou igual a 0,5 %
II – Águas salobras	Superior a 0,5 % e inferior a 30 %
III – Águas salinas	Superior a 30 %

Fonte: Adaptado, Resolução CONAMA n° 357, 2005.

Tabela 6 - Classificação das águas doces

Classe	Tipo	Destinação
I – Especial	Doce	Abastecimento Humano, com desinfecção ; Preservação de comunidades aquáticas, ambientes e conservação de proteção integral.
Classe 1	Doce	Consumo humano, após tratamento simplificado ; Proteção de comunidades aquáticas; recreação; irrigação de hortaliças e frutas;
Classe 2	Doce	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer; aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	Doce	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado ; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário e dessedentação de animais.
Classe 4	Doce	Navegação e harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado, Resolução CONAMA n° 357, 2005.

Tabela 7 - Classificação das águas salinas

Classe	Tipo	Destinação
I - Especial	Salina	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe 1	Salina	Recreação de contato primário; à proteção das comunidades aquáticas; e aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 2	Salina	Pesca amadora; e recreação de contato secundário.
Classe 3	Salina	Navegação e harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado, Resolução CONAMA n° 357, 2005.

Tabela 8 - Classificação das águas salobras

Classe	Tipo	Destinação
I - Especial	Salobra	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe 1	Salobra	Recreação de contato primário; proteção das comunidades aquáticas; aquicultura e à atividade de pesca; abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.
Classe 2	Salobra	Pesca amadora e recreação de contato secundário.
Classe 3	Salobra	Navegação e harmonia paisagística.

Fonte: Adaptado, Resolução CONAMA n° 357, 2005.

2.7 Influência das atividades portuárias na qualidade da água

Após a compreensão dos parâmetros que devem ser analisados na qualidade da água, bem como a legislação aplicável, compreender a relação da atividade portuária e a sua influência na qualidade também é necessária.

Assim, os portos são áreas que abrigam inúmeras atividades poluentes e atuam como fontes secundárias de poluição para a área costeira próxima. O fator de grande relevância para a análise da influência na qualidade da água são os sedimentos, possuindo o papel de sumidouro final natural de poluentes. Estes sedimentos por sua vez, são reservatórios potenciais de metais pesados e contribuem para sua adsorção, estes elementos químicos causam sérios problemas ambientais devido seu alto poder tóxico, afetando severamente o meio ambiente e a biota aquática (SAKELLARIADOU, 2017).

O estudo realizado no Porto de Piraeus (Grécia) tratou da quantificação geoespacial de cargas poluentes nas áreas do porto e retroporto da cidade. As atividades desenvolvidas são reparo de navios, reparação de molhes, processos de oxidação dos cascos de navios, uso de agentes anti-incrustantes, além de uma instalação de fertilizantes. Na análise de sedimentos, os resultados apresentaram valores acima do permitido na legislação utilizada que foi a canadense, para elementos como Zn, Pb, Cu, Ni e Cd. O que reflete um enriquecimento significativo de

metais, além do potencial nocivo à saúde humana, também causam efeitos adversos aos organismos marinhos, o que sinaliza certa preocupação quanto ao descarte destes elementos no meio ambiente (SAKELLARIADOU, 2017).

Similarmente, outro estudo geofísico sobre a influência das atividades portuárias na qualidade da água, foi um ensaio, desenvolvido na cidade de Cirebon, província de West Java (Indonésia). Com características sedimentares peculiares, a cidade possui areia ferrífera sedimentada ao longo de sua costa, e é densamente povoada, desenvolve atividades industriais, de pesca, comércio e agricultura, possui característica portuária e está próxima do estuário. Além da caracterização do sedimento natural, o estudo também verificou a influência das atividades antropogênicas, através da presença de metais pesados, por meio de análises geomagnéticas e geoquímicas. Em suma, seus resultados apresentaram forte concentração de metais pesados como Cr e Zn, que excederam as Diretrizes de Qualidade dos Sedimentos, refletindo alta toxicidade para o meio ambiente e vida aquática. Através do Índice de Geoacumulação o depósito de areia da costa apresenta altos níveis de moderado a forte por cromo (Cr) e zinco (Zn) (NATHASA *et al.*, 2021).

Do mesmo modo, outro estudo em questão, este desenvolvido na cidade de Paradeep, Estado de Odish (Índia) realizou uma avaliação relacionando a contaminação de sedimentos marinhos, através da detecção da poluição oriunda do porto de Paradeep (DHARMENDRA *et al.*, 2020). Dentre suas atividades o porto atua com o carregamento e descarregamento de minerais, minérios, carvão, sucata de ferro, fertilizantes, produtos petrolíferos e produtos acabados. Semelhante a ênfase do estudo de NATHASA *et al.* (2021) em relação aos sedimentos marinhos, DHARMENDRA *et al.* (2020) também discutem a mesma abordagem, destacando que os íons metálicos presentes nos sedimentos superficiais integram vários mecanismos biogeoquímicos, e afetando o ecossistema marinho através de bioacumulação e bioampliação.

Ainda sobre a pesquisa indiana, uma das observações mencionadas remete à atividade de dragagem que é realizada no porto e que causou a ressuspensão e mistura das partículas de sedimento, o que intensificou a alteração da qualidade da água e contaminação por metais pesados e sólidos em suspensão. Outros parâmetros também sofreram alteração como o pH, salinidade o que permitiu o aumento na concentração de OD, estimulando a presença de íons na coluna d'água. Esta grande concentração de metais pesados é consumida e armazenada em animais aquáticos, causando impactos como: entrada destes na cadeia alimentar; redução na diversidade de espécies e degradação de ambientes marinhos (DHARMENDRA *et al.*, 2020).

JAHAN (2018) destaca em seu estudo, desenvolvido em 06 portos da Austrália, que também enfatizou a análise de sedimentos, como parâmetro principal e de suma importância para o equilíbrio marinho e estuarino. O estudo apontou que em todos os seis portos analisados, os resultados demonstraram que os sedimentos superficiais do Porto Eden, Kembla, Jackson e Newcastle apresentaram concentrações significativas de As, Cu, Fe, Pb, Ni, Co e Zn foram altamente superiores em relação aos valores de fundo, além do enriquecimento de Al, B, Co, Mo, Ba, Sn, Sr e Ti. As variações encontradas entre as áreas de fundo sugerem a forte influência da contribuição das atividades portuárias para a contaminação por metais pesados, espelhando os diferentes aspectos de poluição.

A importância de realizar um monitoramento frequente em áreas portuárias, permite compreender, que mesmo que os outros parâmetros sejam normalizados e depurados, ainda sim a atividade traz impactos significativos, uma vez que em sua maioria, os autores vêm destacando a importância de estar analisando sempre os metais pesados.

O estudo desenvolvido em 12 portos do Mar Adriático, aborda os parâmetros biológicos, poluição fecal, o que representam ameaças a saúde mundial, além da propagação de doenças infecciosas, que afetam tanto seres humanos quanto animais marinhos. A poluição oriunda de fontes pontuais e não pontuais, tais como: esgotos, drenagem de águas pluviais, áreas cultivadas e principalmente descargas de embarcações. Em áreas portuárias, o intenso tráfego marítimo e as atividades industriais que são desenvolvidas nos portos acarretam alta contaminação microbiana. Assim, os principais fatores que desencadeiam maior contaminação são a atividade de dragagem e troca de água de lastro, permitindo alto potencial de espalhamento de patógenos no mar (LUNA, 2019).

A atividade portuária exige diversos tipos de manutenção, neste caso a dragagem, que gera impactos ambientais na qualidade da água. Atentando a carga que é movimentada constantemente nos portos, tais como minérios, fertilizantes e contribuição de esgoto, a realização da dragagem, tem o intuito de manter os canais de acesso dos portos livres de sedimentos, que acabem diminuindo a profundidade do canal em virtude da necessidade de um determinado calado que atenda satisfatoriamente a manobra de grandes navios.

Diante disto, um estudo africano realizado no delta do rio Níger, aborda a atividade de dragagem enquanto impacto ambiental. A região é considerada o fio condutor da economia nigeriana, onde a exploração de petróleo é fortemente fomentada. Em seu estudo, OKOYEN (2020) aponta que dentre o rol de processos de perturbação antropogênica na utilização da água, as atividades de dragagem de rotas de navegação; navegação; atividades portuárias/ associadas

e derramamento de óleo e outros elementos químicos afetam diretamente a integridade ecológica dos sistemas aquáticos. Assim, a pesquisa enfatiza que a realização da dragagem mesmo sendo benéfica para a manutenção e desempenho das operações portuárias, interfere e afeta potencialmente o ambiente marinho e seus ecossistemas. Em consequência disto aumentam os níveis de turbidez e o assentamento de sedimentos finos em uma área extensa; introduz substratos duros em ecossistemas de sedimentos moles; perturbação excessiva de sedimentos e remoção de biomassa. Por fim, o aumento excessivo de sedimentos dispersos na coluna d'água limita a penetração da luz reduzindo a atividade primária do corpo hídrico.

Portanto a associação de problemáticas ambientais na qualidade da água com a atividade portuária em si e sua manutenção, são diversas e complexas, visto a necessidade de desenvolvimento de atividades como esta, os impactos devem ser considerados com sua devida importância, adotando medidas atenuantes para a garantia destes ecossistemas. A seguir, a importância dos estuários e seu funcionamento, uma vez que as atividades portuárias se localizam em sua maioria nestas regiões.

2.8. Estuários

O PVC e o TPM são localizados em áreas estuarinas, de tal modo que, compreender a qualidade da água e seus aspectos acerca dos corpos hídricos, permite observar a importância dos estuários para o equilíbrio de um ecossistema como também do meio ambiente. Os estuários por sua vez funcionam como polos de atração da atividade humana, e nas suas margens grandes metrópoles se desenvolvem. O avanço da malha urbana em direção aos estuários promove conflitos potenciais, como é o caso do desenvolvimento da atividade portuária nestas regiões (DA SILVA, 2000).

Por definição, na literatura a definição mais utilizada é de que estuários são corpos d'água costeiros semifechados que tem uma ligação livre com o mar, onde se diluem com a água doce proveniente da drenagem terrestre, e está sujeito a ação da maré (CAMERON & PRITCHARD, 1963).

DA SILVA (2000) elucida que de acordo com a definição de CAMERON & PRITCHARD (1963) os estuários apresentam o padrão de salinidade e densidade, devido a ligação com o mar e rio, entretanto outros aspectos também devem ser observados quanto às características químicas e biológicas.

Duarte (1997) caracteriza o estuário como uma área delimitada em função de parâmetros geomorfológicos, químicos ou biológicos. Por sua vez, FAIRDBRIGE (1980) menciona a separação do estuário em zonas: marinha, que está diretamente ligada ao mar; média, onde

acontece a mistura da água doce com a água salina e por fim fluvial, região que sofre ação diária da maré, a notar que essa delimitação não é fixa e pontual.

LESSA (2018) destaca que o estuário é uma feição geologicamente efêmera, que deixa de existir em decorrência da dinâmica dos sedimentos, a partir daí o estuário passa então a ser transformado em planície fluvial de maré.

GOMES et al. (2013) estabelecem que o estuário amazônico é influenciado pela macromaré (5,6 m), por sua vez transporta grande quantidade de sedimentos, com nutrientes e matéria orgânica, devido características geomorfológicas, e ocorrência de manguezais nas margens. Ainda, o clima da região influencia a qualidade das águas estuarinas, devido ao alto índice de pluviosidade e escoamento superficial continental também contribui com o transporte de sedimentos.

2.9 Software *P.A.S.T*

O programa *Paleontological Data Analysis* (PAST) foi inicialmente desenvolvido como uma sequência do PALSTAT, que era voltado para análises de dados paleontológicas pelos pesquisadores, e escrito por P. D. Ryan, D.A.T. Harper e J.S. Whalley. O Programa *PALSTAT* surgiu em 1980 com o objetivo de mitigar as dificuldades em desenvolver métodos quantitativos, tal solução buscou facilitar o processo, através de uma série de algoritmos que permitissem a experiência prática com métodos quantitativos. A primeira versão do programa *PALSTAT* foi elaborada por meio de microcomputador BBC, que incorporou ao conjunto estatísticas univariadas e multivariadas, além de funções analíticas específicas referente à paleontologia e ecologia (HAMER & HAPER, 2005).

Assim, conforme a modernização de computadores, a necessidade de mudanças na interface deste programa surge, com atualização e reformulação do programa, visto que para padrões hodiernos as configurações iniciais dificultavam o uso do software, outro fator que impulsionou este movimento também foi a expansão da paleontologia e requisitou sua reformulação. Em 1999, o programa foi redefinido e nomeado de *PAST (Paleontological Statistics)* com nova interface baseado em planilhas e gráficos, realiza análise de coordenadas, séries temporais (espectral e de autocorrelação), análise geométrica, modelagem de funções não lineares e bioestratigrafia quantitativa (HAMER, 2001).

O programa fornece base para a estatística básica de natureza gráfica, que permite a elaboração de diferentes tipos de gráficos, histogramas e gráficos de dispersão, além destes também atende a estatística descritiva oferecendo um cálculo simultâneo de valores mínimos,

máximos, médias, desvio padrão, moda, mediana, assimetria e curtose de um determinado grupo amostral e incluído na estatística padrão para dados univariados apresenta testes F e t, ANOVA unidirecional, teste de Mann-Whitney, *Kolmogorv-Smirnov* com características não paramétricas, já os paramétricos de ordem e classificação r de *Spearman* e t de *Kendall*, além dos índices de similaridade *Dice* e *Jaccard* que são capazes de comparar as associações limitadas a dados de ausência e presença. Por fim, o programa também é capaz de calcular matrizes de correlação e realizar análises de tabelas de contingência (DODONOV, 2012).

O uso do programa PAST é facilitado, gratuito e disponível para download livre na internet, possui uma interface do programa é intuitiva, permitindo a boa inserção de dados, bem como a escolha de análises conforme o objetivo de cada pesquisa. A geração de gráficos também é completa e acessível e oferece uma estética adequada e modos de salvamento diferenciados de formatos dos arquivos (SVG, PDF, JPG, TIF, GIF, PNG, BMP). Outro fator positivo para o uso do software está relacionado à compatibilidade com outras plataformas, como o programa de planilha Microsoft Excel o que viabiliza a transferência de dados organizados neste programa para o *PAST*, agilizando a seleção de dados e geração de gráficos. A versão mais atualizada, e utilizada neste estudo, está disponível para download, versão 4.3 e o seu manual, está na internet e em língua portuguesa.

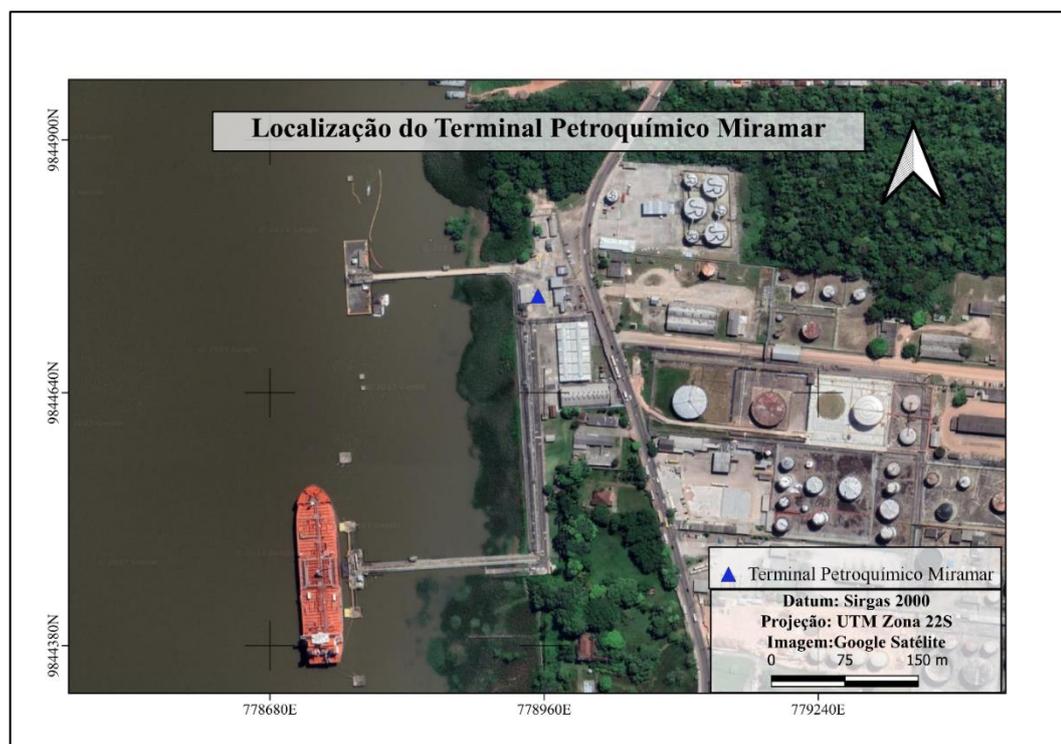
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Terminal Petroquímico de Miramar (TPM)

A baía do Guajará tem sua formação pela confluência entre os rios Acará e Guamá, estendendo-se por até 30 km de distância e 3,9 km de largura, situando-se a 120 km do Oceano Atlântico. Está cercada por ilhas ao seu entorno, dentre elas a ilha Jararaca, as Ilhas das Onças, Paquetá-Açu e Jutuba (MORAES, 2018).

O TPM ($01^{\circ}24'12.0''S$ / $48^{\circ}29'35.4''O$) está localizado na margem direita da baía do Guajará, em Belém, Pará. A atividade portuária em Belém teve início com a fundação da cidade, sendo um dos propósitos a sua localização privilegiada e, principalmente, a exportação de látex, em meados dos séculos XIX e XX (GOMES, 2019). Atualmente, um dos portos importantes para a região é o TPM, que se dedica exclusivamente à implantação de instalações para a movimentação de combustíveis líquidos e gasosos. Uma parcela desses combustíveis é consumida na capital, e a outra é direcionada para outras regiões da Amazônia, através dos modais rodoviário e aquaviário, tratando-se da porta de entrada para a distribuição de combustíveis em todo o Estado do Pará. Seu acesso é realizado por via terrestre, através da rodovia Arthur Bernardes, que está interligada à Rodovia BR-316, e pelo acesso ao estuário do rio Pará, que deságua no Oceano Atlântico, seguindo pela baía do Guajará (CDP, 2023).

Figura 3 - Instalação de Acostagem do Terminal Petroquímico de Miramar.



Fonte: Autor, 2024.

3.2. Porto de Vila do Conde (PVC)

O PVC ($01^{\circ}32'37.2''\text{S}$ / $48^{\circ}44'47.4''\text{W}$) está localizado no município de Barcarena, PA. O acesso rodoviário se dá através da rodovia PA-481, km 02. O acesso aquático está na margem direita do estuário do rio Pará, no local conhecido como Ponta Grossa, e fica a cerca de 3,3 km a jusante da Vila Murucupi (anteriormente denominada Vila do Conde), em frente à baía do Marajó, que é formada pela confluência dos rios Tocantins, Guamá, Moju e Acará. O PVC faz parte do Complexo Portuário Industrial de Vila do Conde (PDZ – PVC, 2021).

Figura 4 - Instalação de Acostagem - Porto de Vila do Conde, Barcarena - PA.



Fonte: Autor, 2024.

4. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

4.1. Caracterização ambiental

4.1.2. Clima e padrões meteorológicos

As cidades de Belém e Barcarena estão sob o regime do clima tropical chuvoso (úmido), de acordo com a classificação de Köppen, Af e Am. A temperatura média do ar está acima de 18 °C (DUBREUIL, 2017).

Localizadas na bacia hidrográfica amazônica, considerada a maior do mundo em relação à extensão, com uma área aproximada de $6,10 \times 10^6$ km², abrangendo sete países, cerca de 63% está presente no Brasil, e 37% está dividida entre Peru, Bolívia, Venezuela, Equador e Guiana. Esta região apresenta grande diversidade climática, e o trecho localizado no Brasil possui características tropicais (MOURA, 2019).

Com um clima quente e úmido, a região atinge temperaturas anuais variando de 21 °C a 42 °C, com uma média anual de 28 °C. A elevada umidade proporciona, nesta região, o desenvolvimento da vegetação ombrófila, chuvas frequentes, e um volume de precipitação que varia de 3.500 a 6.000 mm/ano. A velocidade dos ventos varia entre 4,68 e 4,14 km/h no período chuvoso, de janeiro a maio; a partir de maio, inicia-se o período de estiagem, que vai até novembro, com velocidades de 4,32 a 5,76 km/h. O regime é classificado como calmo (PROVÍNCIA HIDROGEOLÓGICA, 2015).

A região sofre influência climática da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), um dos principais sistemas que alteram o volume do regime de precipitação. Isso forma uma interação entre os ventos alísios e a temperatura da superfície do mar; o movimento da massa de ar desloca-se de norte a sul. Recebe, então, ventos alísios preferencialmente do leste, com variação sudeste-leste-nordeste (PRESTES, 2016).

O período de maior pluviosidade ocorre entre os meses de dezembro e maio, com precipitação acumulada na faixa de 283,5 a 323,6 mm. Os meses entre agosto e novembro (período seco) apresentaram índices que variam entre 128,7 e 120,1 mm. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os índices de umidade no referido período variaram de 88,1% a 83,7% (INMET, 2023).

4.1.3. Caracterização geomorfológica

A região é sustentada pelos sedimentos do Grupo Barreiras, com arenitos, argilitos e conglomerados. Entretanto, na margem, afloram sedimentos Pós-Barreiras (Plioceno), formados por areias argilosas, e, em segundo lugar, sedimentos litorâneos (Quaternário),

compostos por areias e pelitos. Por fim, ocorrem sedimentos aluvionares (Holoceno), formados por areias, pelitos e cascalhos fluviais (SILVA JÚNIOR et al, 2022).

O PVC está localizado na margem direita do ERP, favorecendo a hidrodinâmica (enchente/vazante). Em Barcarena, a geomorfologia é formada pelo Planalto Rebaixado da Amazônia, com relevos ondulados de até 60 m de elevação, e pela presença de planícies aluviais, caracterizadas como várzeas, com canais fluviais meandранtes e planícies de inundações. A planície do estuário possui áreas com maré lamosa, influenciada pelas águas do rio Tocantins, rio Pará e praias estuarinas (EL ROBRINI, SILVA e COIMBRA, 2023).

A geomorfologia local apresenta características de tabuleiros com baixa declividade e amplitude de relevo de 20 a 50 m, com planícies fluviais e declividade de 0-3°, e zero amplitude topográfica (IBGE, 2024). Na região, afloram os sedimentos consolidados do Grupo Barreiras e os arenosos inconsolidados do Grupo Pós-Barreiras (ROSSETI, 2001). Nas margens da Baía do Guajará, a 100-120 m da superfície, ocorre a Formação Pirabas (Oligo-Mioceno), e sobrepostos, a profundidades de 100-150 m, encontram-se os sedimentos (Terciário) do Grupo Barreiras. Em seguida, o Quaternário repousa sobre o Pleistoceno/Holoceno Médio-Inferior, sendo correlacionado aos sedimentos Pós-Barreiras, e, no topo da seção, estão os sedimentos recentes (PINHEIRO, 1987).

Na Baía do Guajará, ocorrem canais de enchente (Canal do Meio) e de vazante (Canal da Ilha das Onças) bem definidos (PINHEIRO, 1987; GREGÓRIO e MENDES, 2009). O Canal da Ilha das Onças começa ao sul da baía com o Canal do rio Guamá e bordejou a cidade de Belém com direção NE-SW (GREGÓRIO e MENDES, 2009b). Na Baía do Guajará, os bancos arenosos ocorrem ao norte e a sudoeste, enquanto, nas partes sul e sudeste, são encontrados bancos lamosos (do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) (GREGÓRIO e MENDES, 2009; BOCK, ASSAD e LANDAU, 2011). Os bancos são rasos (3 a 5 m de profundidade); entretanto, nos canais, a profundidade pode ultrapassar 25 m.

4.1.4. Condições oceanográficas

O estuário do rio Pará, com cerca de 300 km de extensão longitudinal e largura de 40 a 50 km na desembocadura, tem uma descarga líquida de $10^4 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$. A vazão associa-se aos picos de maré, variando de 300.000 m^3/s na vazante a 200.000 m^3/s na enchente. A alta descarga é perceptível no período de janeiro a junho, enquanto a baixa descarga ocorre entre julho e dezembro (PRESTES, 2016).

No estuário do rio Pará, a principal forçante M_2 gera componentes de maré semidiurna em águas rasas. Durante o período de menor descarga fluvial, foram identificados gradientes intensos de salinidade. Em contrapartida, no período de maior descarga fluvial, a estrutura vertical de salinidade foi diluída durante a baixa-mar (PRESTES, 2016). Assim, no período chuvoso, a salinidade varia de 0 a 11, e no período seco, de 1,7 a 2; essa variação está intimamente ligada às oscilações da onda de maré.

A Baía do Guajará está inserida em um local altamente dinâmico, com fortes correntes de maré, o que ocasiona a mistura das águas e a ressuspensão dos sedimentos de fundo. No período em que o volume de chuvas é reduzido, a salubridade das águas é maior devido à entrada da água do oceano (ALENCAR et al., 2019). O regime de marés apresenta características semidiurnas, com amplitudes de 2,1 m (quadratura) e 3,7 m (sizígia) (DHN, 2024). A velocidade máxima das marés ocorre durante a maré de sizígia, atingindo $1,74 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ na vazante e $2,10 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ (PINHEIRO, 1987).

A salinidade é relativamente baixa, em março (período chuvoso) varia de 0,02 a 0,01, em junho (período chuvoso) de 0,01 a 0, em setembro (período seco) de 0,07 a 0,06 e em dezembro (período seco) de 0,83 a 0,47 (AHNDREW, 2018). A salinidade mais elevada ocorre próximo ao fundo, indicando a penetração da maré salina sob a forma de cunha no canal de enchente (PINHEIRO, 1987). O estuário é classificado como do tipo hipossincrônico (BLANCO *et al.* 2015), onde os efeitos de fricção de fundo dominam e os da maré diminuem ao longo do estuário.

4.2. Infraestrutura portuária

4.2.1 Infraestrutura do TPM

O porto de PVC localizado nas proximidades dos municípios de Belém, Barcarena e Murucupi. Composto, pelo Porto de Belém; Terminal de Outeiro; TPM e PVC. Além dos Terminais de Uso Privado (TUPs), que são o Porto CRA, Terminal Portuário Granelero de Barcarena, Terminal da Montanha e Porto Murucupi (BRASIL, 2017).

O TPM, Nicolau Bentes Gomes atua com a movimentação de cargas derivadas do petróleo, os hidrocarbonetos, e é responsável pelo abastecimento do próprio Estado do Pará e de cidades do Amazonas, Amapá e Maranhão (PDZ-MIRAMAR, 2017).

Em relação a aspectos construtivos o terminal possui dois píeres e seis berços, mas atuando apenas quatro do total. O primeiro n.100, foi inaugurado em 1947, sua acostagem para embarcações é uma plataforma com dimensões de 77,5 m x 20 m e está atrelada a margem

através de uma passarela de 142 m de comprimento. Construído em concreto armado e perfis metálicos, o píer possui dois dolphins para amarração e atracação de embarcações e dois berços, sendo um externo n. 101 que movimenta o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) através de navios e um interno n. 102 que realiza a atracação de balsas tanques. Em 1980 então, foi construído o píer n. 200 com dimensões de 40 m x 15 m, também em plataforma de acostagem e com 04 dolphins para amarração e atracação de embarcações, a passarela que liga o píer até a margem possui 180 m de extensão.

Este segundo píer, também é construído em concreto armado, e realiza o carregamento e descarregamento de cargas através de dois berços, o n. 201 (externo) que é utilizado para atracação de navios de granéis líquidos, e o 203 (interno) utilizado para atracação de balsas tanques. Devido à localização do terminal estar à margem direita do estuário do rio Pará, e foz do rio Amazonas, onde há a movimentação intensa de sedimentos, a batimetria local restringe o acesso a navios de grande porte, sendo assim a profundidade onde estão localizados os berços n. 101, 102, 201 e 203 são respectivamente: 7,92 m; 2,50 m; 7,92 m e 1,75 m (PDZ – MIRAMAR, 2017).

Tabela 9 - Estrutura física do Terminal Petroquímico de Miramar

Píer	Berço	Atividade	Profundidade (m)
100	101	Movimenta GLP	7,92
	102	Atracação de Balsa Tanque	2,50
200	201	Atracação de navios de granéis líquidos	7,92
	203	Atracação de Balsa Tanque	1,75

Fonte: Adaptação PDZ MIRAMAR, 2017.

A área do retroporto é dividida entre as empresas que armazenam combustíveis. Onde 49 tanques, para as empresas BR Petrobrás Distribuidora, Petróleo Sabbá e Ipiranga armazenam: biodiesel, diesel S – 1800, Gasolina A, Gasolina de Aviação (AVGAS), Querosene de Aviação (QAV), Óleo Combustível (OC), Álcool Etílico Anidro Combustível (AEAC) e água. Seguido pela empresa Transpetro (4 tanques) que armazena Diesel S – 10; Paragás (1 tanque), Supergasbras (2 tanques) e Liquigas (1 tanque) que armazenam gás, totalizando 57 tanques dispostos no retroporto. Quanto aos equipamentos portuários o terminal conta com uma

grua e um caminhão para combate a incêndio e dutos que auxiliam na movimentação de cargas. Na Tabela 10 é apresentado o detalhamento volumétrico de cada tanque.

Além das estruturas dos tanques para a armazenagem de carga, o terminal possui cinco (05) estruturas esféricas, que abrigam Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) (Tabela 10).

Tabela 10 - Capacidade dos tanques para o armazenamento de combustível

Arrendatários	Quant.	Capacidade em Litros (L)
BR Petrobrás Distribuidora	21	81.689.846
Ipiranga	9	18.123.034
Petróleo Sabbá	19	38.195.706
Transpetro	4	35.488.000
Paragás	14	510.000
Supergasbras	12	1.147.098
Liquigas	18	526.016

Fonte: Adaptação Plano Mestre de Belém e Vila do Conde e PDZ Terminal de Miramar, 2017.

Tabela 11 - Capacidade das esferas de armazenamento de Gás GLP do Terminal de Miramar

Arrendatários	Capacidade	Quantidade
Paragás	1182770	1
Paragás	1178717	1
Transpetro	3181000	1
Transpetro	3180000	1
Transpetro	3180000	1

Fonte: Adaptação do PDZ Terminal de Miramar, 2017.

Quanto ao maquinário utilizado no terminal, e se tratando do tipo de carga específica, no caso combustíveis, é realizado através de mangotes, conectados a gruas que fazem a transferência dos hidrocarbonetos para os navios (Figura 5) (PDZ, 2017).

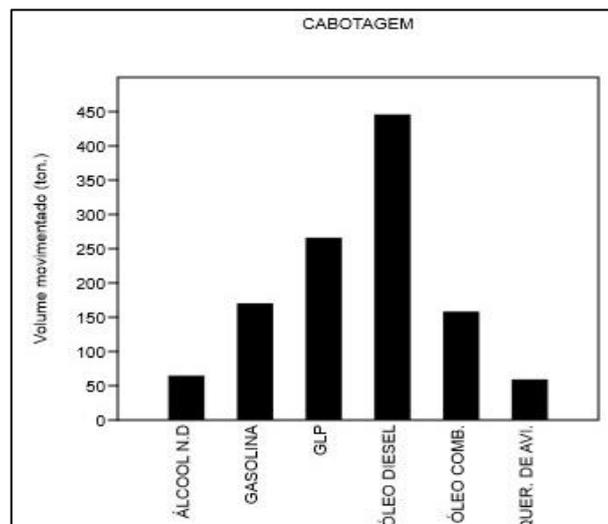
Figura 5 - Exemplificação do mangote de transferência de gás e hidrocarbonetos para navios.



Fonte: Google Imagens, 2023.

A movimentação de cargas no Terminal Petroquímico de Miramar é distribuída entre cabotagem, navegação de longo curso e navegação interior (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Movimentação de cargas, em ton., via cabotagem no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.

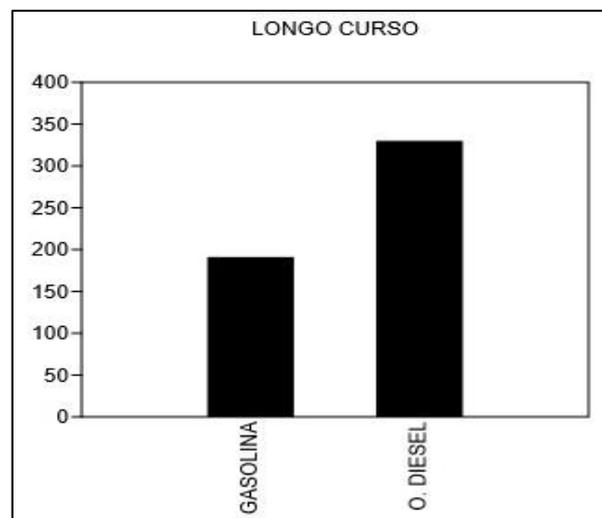


Fonte: Adaptação dos dados Estatísticos, CDP, 2023 (3).

No Gráfico 1, é apresentada a movimentação de cargas via cabotagem, que se trata da navegação entre portos. Assim, os três produtos mais comercializados no ano de 2020, foram:

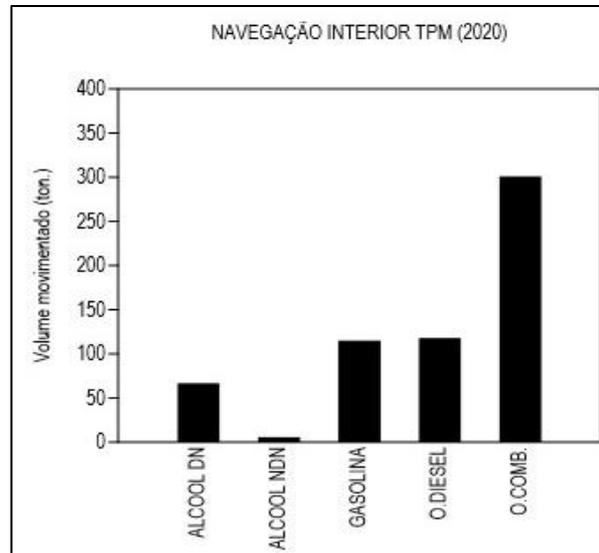
o óleo diesel, com uma movimentação de 444.913,2 ton.; em segundo lugar 265.113,50 ton. de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e a terceira carga mais movimentada é a gasolina, com 169.089,35 ton. Do mesmo modo a navegação de longo curso, apresentou movimentação apenas para as cargas de gasolina, que movimentou 190.179,58 ton. e 329.019,69 ton. de óleo diesel (Gráfico 2). Entretanto, a movimentação de cargas, via navegação interior apresentou movimentações expressivas para álcool desnaturado, com 65.647,34 de ton., seguindo de 114.045,88 ton. de gasolina e 116.918,96 de ton. de óleo diesel e uma movimentação pouco expressiva de 4.867,51 de ton. de álcool não desnaturada (Gráfico 3) (CDP, 2023 (3)).

Gráfico 2 - Movimentação de cargas, em ton., via longo curso no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.



Fonte: Adaptação dos dados Estatísticos, CDP, 2023 (3).

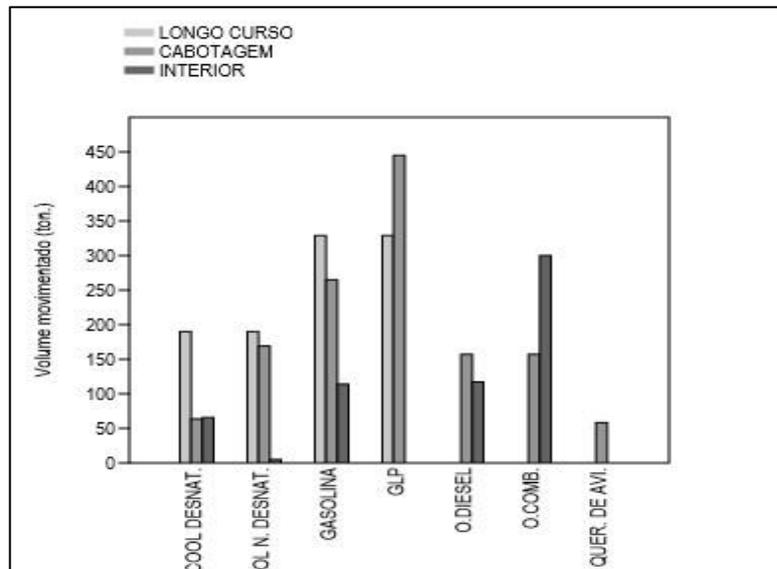
Gráfico 3 - Movimentação de cargas, em ton., via navegação interior no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.



Fonte: Adaptação dos dados Estatísticos, CDP, 2023 (3).

O Gráfico 4 apresenta um comparativo entre as movimentações de cargas, via cabotagem, a mais expressiva foi o óleo diesel (444.913,82 ton.), seguido de Gás GLP (265.113,50 ton.) e de óleo combustível (156.965,44 ton.) (CDP, 2023 (3)).

Gráfico 4 - Comparativo de movimentação, em ton., de cargas versus tipos de navegação no ano de 2020 – Terminal Petroquímico de Miramar.



Fonte: Adaptação dos dados Estatísticos, CDP, 2023 (3).

As cargas comercializadas através da navegação interior, atingiu 137.869,74 de ton. em óleo combustível, em segundo lugar a carga mais movimentada de 109.820,52 de ton. em óleo diesel e em terceiro lugar a carga mais movimentada foi a gasolina, com 83.665,99 de ton. comercializadas.

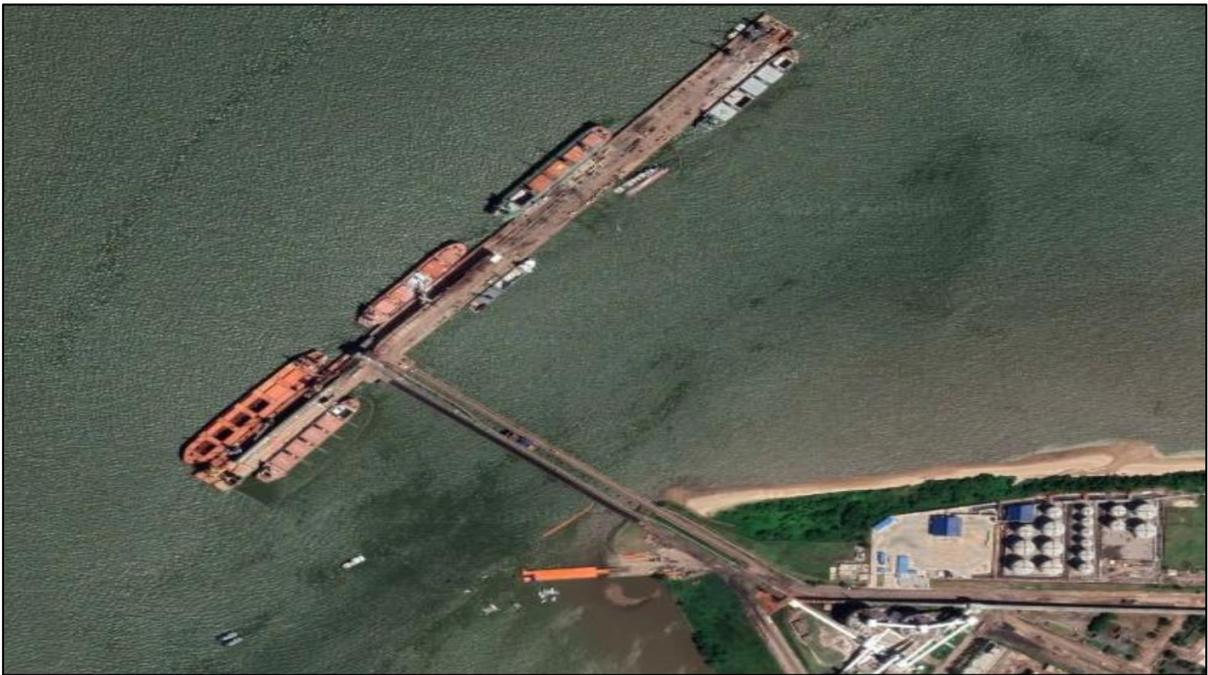
4.2.3 Infraestrutura do PVC

O PVC atua na movimentação de cargas diversas, e possui uma estrutura maior para o atendimento de grandes embarcações, opera fortemente na área do comércio exterior. O que é refletido na sua área de influência geoeconômica, que atinge mercados consumidores como Estados Unidos, Europa, China, Japão e América Central, caracterizando assim a sua *foreland*. A sua zona de influência portuária local, ou *hinterland* atinge os municípios de Barcarena, Oriximiná, Marabá, Paragominas, Castanhal, Ananindeua e Belém (PDZ, 2020).

Possui em sua planta industrial empresas que realizam o beneficiamento alumina, hidrato de alumina e alumínio. Além da fabricação de vergalhões e cabos de alumínio. Outros insumos também recebidos pelo porto, são coque, piche, carvão, soda cáustica e óleo combustível. A exportação de produtos, não se limita apenas ao minério e granéis líquidos, mas atua na comercialização de cargas como granéis sólidos e carga geral; contêineres e carga viva (PDZ, 2020).

Estruturalmente, o porto dispõe de uma edificação de 2.401 m de píer, que comporta 10 berços (Berços 101, 201, 301, 401, 402, 302 e 202) e dois pontos de atracação (R01 e R02), todos de uso público. Além de um Terminal de Granéis Líquidos (TGL), onde encontram-se os berços 501 e 502 (Figura 6).

Figura 6 - Píer do Porto de Vila do Conde e Berços.



Fonte: Imagem de Satélite Google Earth, 2023.

A caracterização dos berços, em relação a profundidade e carga movimentada está detalhada na tabela 10. Quanto ao armazenamento de cargas, o porto conta com quatro (04) pátios, sendo três (03) públicos e um (01) arrendado. O pátio que armazena os granéis sólidos possui uma área de 36.000 m² (P1) e o que armazena contêiner (P2), possui uma área de 86.600 m² e capacidade de 8.366 TEUs e do total de pátios, este encontra-se arrendado. O terceiro pátio (P3) é responsável por armazenar manganês e possui uma capacidade de 80.000 ton. Por fim, o último pátio armazena coque (PLANO MESTRE, 2017).

Tabela 12 - Caracterização dos berços do Porto de Vila do Conde

Berço	Comp. (m)	Profundidade atual (m)	Carga movimentada
101	293	18 a 20	Granel sólido
102	252	11,5	Granel sólido
201	210	18 a 20	Granel sólido e Carga Geral
202	180	11,5	Carga Geral
301	254	18 a 20	Contêiner
302	254	11,5	Contêiner e Carga Geral

40	254	18 a 20	Contêiner e Carga Geral
402	254	11,5	Contêiner e Carga Geral
501	285	16	Granel Líquido
502	125	11,5 a 16	Granel Líquido
R01	20	2,5	Carga Geral
R02	20	2,5	Carga Geral

Fonte: Adaptação Plano Mestre de Belém e Vila do Conde, 2017.

Além da utilização de pátios, para o armazenamento de cargas, há um total de sete (07) silos verticais, arrendados que armazenam alumina, os silos 1 e 2 (S1 e S2) possuem uma capacidade estática de 50.000 ton./unidade; o S3 com 25.000 ton.; S4 com 10.000 ton. e por fim o S5, S6 e S7 com 30.000 ton. cada. Outra estrutura de estocagem de cargas, são armazéns, sendo três (03) responsáveis por armazenar contêineres e carga geral, totalizando juntos uma área total de 8.836 m² e uma capacidade estática 64.750 m³ (PLANO MESTRE, 2017).

Por fim, o porto também possui tanques de armazenamento, um total de doze (12) tanques, oito (08) são arrendados e estão dentro da área do Porto Organizado, destinados a óleos combustíveis, totalizando uma capacidade estática total de 65.415 ton. e soda cáustica, contando com uma capacidade total de 54.500 ton. (PLANO MESTRE, 2017).

Quanto ao maquinário de apoio, encontrado na retro área do porto, estão ilustradas na Figura 7: 01. Pá carregadeira; 02. Empilhadeira Reach Stacker; 03. Cavalinho mecânico com carreta; 04. Empilhadeira de garfo; 05. Empilhadeira SMV e 06. Balança rodoviária. O maquinário presente no píer do PVC (Figura 8).

Figura 7 - Imagens ilustrativas dos equipamentos utilizados no retro área do PVC.





03



04



05



06

Fonte: Imagens Ilustrativas Google Imagens, 2023

Figura 8 - Imagens ilustrativas dos equipamentos portuários existentes no píer: 01. Correias transportadoras; 02. Carregador de navios; 03. Descarregador pneumático; 04. Carregador de navios McGregor Siwertell; 05. Moega; 06. Correia; 07. Fantuzzi MHC 130; 08. G.



01



02



03



04



05



06



07



08

Fonte: Imagens Ilustrativas Google Imagens, 2023.

Em relação a movimentação de cargas no PVC, no ano de 2020 e de acordo com os dados estatísticos da CDP (2023) a movimentação está dividida entre cargas gerais containerizadas e não containerizadas. No ano de 2020 dentre os três tipos de navegação, que são a cabotagem, longo curso e interior, foram expressivamente altas quanto a movimentação de containers, seguido do arroz e madeira. No carregamento e posterior exportação, na movimentação das cargas gerais containerizadas, a navegação de longo curso expressou dados relevantes no ranking de cargas mais movimentadas, em primeiro lugar o manganês com 285.842,82 ton., em segundo 263.845,9 ton. de madeira; em terceiro a carne bovina congelada com 145.313,95 ton. e por fim 57.631,51 ton., de caulim.

A cabotagem, apresentou movimentação expressiva no carregamento de alumínio e suas obras, contando com uma movimentação anual de 104.725,41ton.; em segundo lugar a carga reatores, caldeiras e máquinas foi de 33.148,79 ton. e em terceiro lugar containers movimentados em 21.525,90 de ton. É notória a forte movimentação de containers, representando uma movimentação de 29.558,56 ton., em segundo lugar a madeira com 2.057,78 ton. e em terceiro, produtos de conservação e limpeza com 1.624,41 de ton.

A navegação de longo curso por sua vez, apresentou resultados mais acentuados, no quesito cargas não containerizadas, para alumínio e suas obras que movimentou 134.905,97 ton.; a segunda carga mais movimentada foi o manganês com 96.076,48 e 66.073,18 de ton. de cargas vivas. A cabotagem não apresentou movimentações expressivas, onde a única carga mais movimentada foi: máquinas, aparelhos e materiais elétricos (Gráfico 10). A navegação interior por sua vez, apresentou movimentação mais expressivas para o Manganês com 5.350,93 ton.

Em relação especificamente a exportação de minério, via navegação de longo curso a Alumina apresenta valores consideráveis movimentados durante o ano de 2020, com 4.264.731,73 de ton.; de Manganês foi movimentado 1.016.178,64 ton.; 476.436,46 de ton. de Hidróxido de Alumínio e 24.167,56 ton. de minério de Ferro.

O ano de 2021, apresentou movimentações similares de carga geral, os granéis sólidos que através da navegação de longo curso foram movimentadas 5.137.002,40 ton. de Alumina; 613.200,22 ton. de Hidróxido de Alumínio; 546.312,76 ton. de Manganês; 183.539,90 ton. de Soja e 65.304,38 ton. de minério de Ferro. A navegação via cabotagem apresentou movimentação apenas para o Coque de Petróleo, com 8.036,89 ton. A via interior movimentou 2.432,14 ton. de Manganês.

5 METODOLOGIA

5.1. Pesquisa bibliográfica

A abordagem metodológica acerca do PVC e do TPM foi realizada por meio de levantamento de pesquisa bibliográfica nas plataformas de pesquisa da CAPES e SciELO, com o objetivo de obter informações relevantes sobre as técnicas utilizadas para a análise da qualidade da água, artigos científicos e documentos oficiais, bem como por visitas in loco às áreas de estudo.

5.2. Aquisição de dados

Os dados foram cedidos pela Companhia de Docas do Pará, por meio de solicitação formal através de ofício, durante o período anual de 2020 e 2021. A amostragem foi realizada em 07 (sete) pontos de coleta, com 02 (duas) coletas em cada ponto, na maré de enchente e na maré de vazante. As análises foram realizadas de acordo com as metodologias estabelecidas no padrão internacional de análises, o *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (SMEWW), elaborado pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Tabela 06). Os períodos analisados foram divididos pela sazonalidade, considerando os meses de janeiro e março (período chuvoso) e agosto e setembro (período seco).

Tabela 13 - Parâmetros físico-químicos analisados (siglas, símbolos, métodos e unidades)

Variável	Sigla/símbolo	Método	Unidade
Potencial Hidrogeniônico	pH	SMEWW, 23ª Ed. 4500-H+ B	
Temperatura	TEMP	SMEWW, 23ª Ed. 2550 B	°C
Salinidade	SAL	SMEWW, 23ª Ed. 2520 B	ppm
Condutividade Elétrica	CE	SMEWW, 23ª Ed. 2510 B	$\mu s. cm^{-1}$
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	SMEWW, 23ª Ed. 2510 A	$mg. L^{-1}$
Oxigênio Dissolvido	OD	SMEWW, 23ª Ed. 4500 O G	$mg. L^{-1}$
Turbidez	TUR	SMEWW, 23ª Ed. 2130 B	
Sólidos Totais em Suspensão	STS	Método Fotométrico 8006 HACH®	$mg. L^{-1}$
Sulfato	SO_4^{2-}	SMEWW, 23ª Ed. 4110 B	$mg. L^{-1}$
Coliformes termotolerantes	CTT	SMEWW, 23ª Ed. 9223 B	NMP.100 mL^{-1}

Fonte: *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (2017).

5.3. Processamento de dados

Assim, os dados foram tabulados no programa Excel, sistematizando as informações obtidas. Após o refinamento prévio, a análise estatística foi realizada no programa PAST, versão 4.13, estabelecendo valores de média, valores máximos e mínimos, desvio padrão e análise multivariada de componentes principais (PCA) para os períodos sazonais escolhidos, seco e chuvoso, e relacionados aos períodos de maré de enchente e vazante, gerados automaticamente pelo software.

A análise dos componentes principais (ACP ou PCA - *Principal Component Analysis*) tem por finalidade a análise de dados utilizando sua redução, eliminação de sobreposições e escolha das formas mais representativas dos dados, baseada em combinações lineares dos dados base, sendo uma metodologia capaz de identificar a relação entre características extraídas dos dados. Antes de inserir os dados no software utilizado no estudo (PAST, versão 4.3), os valores foram refinados por meio de estatística prévia, como: (i) cálculo da média dos dados; (ii) subtração da média de todos os itens; (iii) após esses passos, os dados refinados foram organizados e repassados para o software a fim de otimizar o tempo e a obtenção de gráficos padronizados. Após a entrada dos dados no software, foram geradas imagens gráficas que possibilitaram a interpretação do comportamento dos dados e possíveis correlações e interações.

5.4. Tratamento estatístico

Mediante a realização de pesquisas científicas, a utilização da ferramenta estatística permite descrever e compreender as relações entre diferentes características de uma população, além de fornecer subsídios para a tomada de decisões em determinados cenários, face às mudanças dinâmicas de perspectivas. Cabe, assim, aos métodos estatísticos aferir variações atuais e estabelecer o comportamento de cenários futuros mais prováveis, reduzindo incertezas referentes aos acontecimentos futuros (REIS, 1999).

Para Portilho (2021), a estatística é encarregada pelo planejamento de experimentos, além da interpretação de dados oriundos de pesquisas de campo e resultados, a fim de simplificar a escolha por parte do pesquisador que utiliza a ferramenta.

O software PAST é uma ferramenta estatística desenvolvida para a análise de dados multivariados e testes estatísticos. Este software é amplamente utilizado em pesquisas paleontológicas, biológicas, ecológicas, climáticas e outras áreas. O programa oferece uma ampla gama de funcionalidades, como análise de componentes principais, análise de

correspondência, testes t de amostras independentes ou pareadas, análise de variância, análise de regressão etc. Como produtos do programa, diante da entrada de dados estatísticos, o PAST permite a visualização de dados em gráficos 2D e 3D, tais como diagramas de dispersão, superfícies de resposta e outros.

Por fim, a metodologia adotada, em conjunto com a escolha do software, permitiu, nesta análise de dados de qualidade da água, a sistematização de um amplo número de dados brutos, tornando a pesquisa prática e objetiva, com o intuito de permitir a comparação dos resultados obtidos com outros estudos similares, a identificação de eventuais problemas e a proposição de soluções para melhorias na gestão ambiental dos portos em questão.

6 RESULTADOS

6.1. Resultados PVC

Após o processo metodológico de tabulação dos dados de qualidade da água referentes aos anos de 2020 e 2021 do PVC, a média de cada parâmetro em determinado período sazonal foi calculada e comparada com os limites estabelecidos na legislação ambiental vigente, a Resolução CONAMA nº 357/2005, que define os limites para cada parâmetro analisado (

Tabela 14).

No PVC (

Tabela 14), a média dos parâmetros esteve em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, exceto para o Alumínio (Al) e o Oxigênio Dissolvido (OD). O OD esteve acima do limite estabelecido pela legislação ambiental durante o período chuvoso de 2020 e 2021. Esse fator correlaciona-se diretamente com a manutenção da vida aquática presente no corpo hídrico. O metal pesado alumínio também apresentou valores superiores ao limite estabelecido pela legislação ambiental de 0,1 mg/L. Apenas no ano de 2021 e durante o período chuvoso houve medição, o que indica a forte presença do metal na água e nos sedimentos devido à intensa movimentação de alumina e bauxita no píer.

Tabela 14 – Valores médios dos parâmetros físico-químicos do PVC, nos anos de 2020 e 2021.

Parm.	Ano 2020		Ano 2021		Lim. CONAMA nº357/05	Conformidade
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso		
pH	7,68	7,26	7,08	6,37	de 6 a 9	Conforme
TEMP	31,75	28,63	30,23	29,3	<40°C	Conforme
CE	51,68	53,82	51,39	44,36	-	-
TUR	14,21	31,4	14,97	27,4	40(UNT)	Conforme
COR	28,4	39,32	33,5	26,96	até 75 mg Pt/L	Conforme
SAL	0,02	0,02	0,02	0,03	-	-
CTT	198,2	360,45	225,1	538,09	1000/ 100 mL	Conforme
OD	5,4	7,64	5,7	6,72	OD> 5 mg/L O2	Inconforme
AL	-	-	-	0,43	0,1 mg/L Al	Inconforme
STS	25,9	22,7	11	15,23	-	-
STD	25,9	24,71	22,1	25,86	1000 mg/L	Conforme

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O pH manteve-se na faixa média de 5 a 7, devido às características da água da região amazônica, que apresenta acidez elevada em função da alta taxa de matéria orgânica presente no corpo hídrico. Os demais parâmetros, como TEMP, CE, TUR, COR, SAL, CTT, STS e STD, encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pela resolução.

Para Bispo (2024), no Estado do Pará, as concentrações de metais pesados, como Pb, Hg, Al e Cr, são encontradas com maior incidência em amostras de sedimentos de fundo, em igarapés, rios e águas superficiais, além de serem detectadas em organismos de peixes e no cabelo humano. Arrifano et al. (2018) destacam que, nos municípios de Barcarena (onde o PVC está localizado) e Abaetetuba, rios e igarapés estão contaminados, e cerca de 40 mil indivíduos pertencentes aos povos tradicionais, como comunidades ribeirinhas, indígenas e quilombolas, tiveram o estado de saúde e a qualidade de vida afetados pela produção e movimentação de alumínio na região.

As análises estatísticas realizadas no Programa Past versão 4.3 geraram as correlações individuais entre parâmetros (Tabela 15). Assim, os parâmetros foram divididos em blocos em quatro blocos e correlacionados com os demais. O bloco 1 (pH, TEMP e CE); bloco 2 (OD, TUR e COR); bloco 3 (CTT, C.TOT, SAL) e bloco 4 (STD e STS).

Tabela 15 - Correlações individuais dos parâmetros analisados do PVC, nos anos de 2020 e 2021.

Períod.	Bl	Parm.	pH	TEMP	CE	TUR	COR	SAL	CTT	CT	STD	STS	OD	SO ₄ ²⁻
Chuvoso	1	pH	X	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
		TEMP	-	X	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+
		CE	+	-	X	-	-	+	+	-	+	-	-	+
Seco	1	pH	X	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
		TEMP	+	X	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+
		CE	+	+	X	-	+	+	-	-	-	-	+	+
Chuvoso	2	OD	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	X	+
		TUR	+	-	+	X	+	+	-	-	+	+	+	+
		COR	+	-	+	-	X	-	-	+	-	+	+	+
Seco	2	OD	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	X	+
		TUR	+	+	-	X	-	-	+	+	-	+	+	+
		COR	+	+	+	+	X	-	-	-	+	+	+	-
Chuvoso	3	SAL	-	+	+	+	-	X	-	+	-	+	+	-
		CTT	+	+	+	+	-	-	X	+	+	+	+	-
		CT	+	+	+	+	-	-	+	X	-	+	-	+
Seco	3	SAL	+	+	+	+	-	X	-	-	+	-	+	+
		CTT	+	-	-	+	-	+	X	+	-	-	+	+
		CT	+	-	+	+	+	-	+	X	+	+	+	+
Chuvoso	4	STD	-	+	+	+	-	+	+	+	X	+	+	+
		STS	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	X	+
Seco	4	STD	+	+	-	+	+	+	+	-	X	+	-	+

STS

+

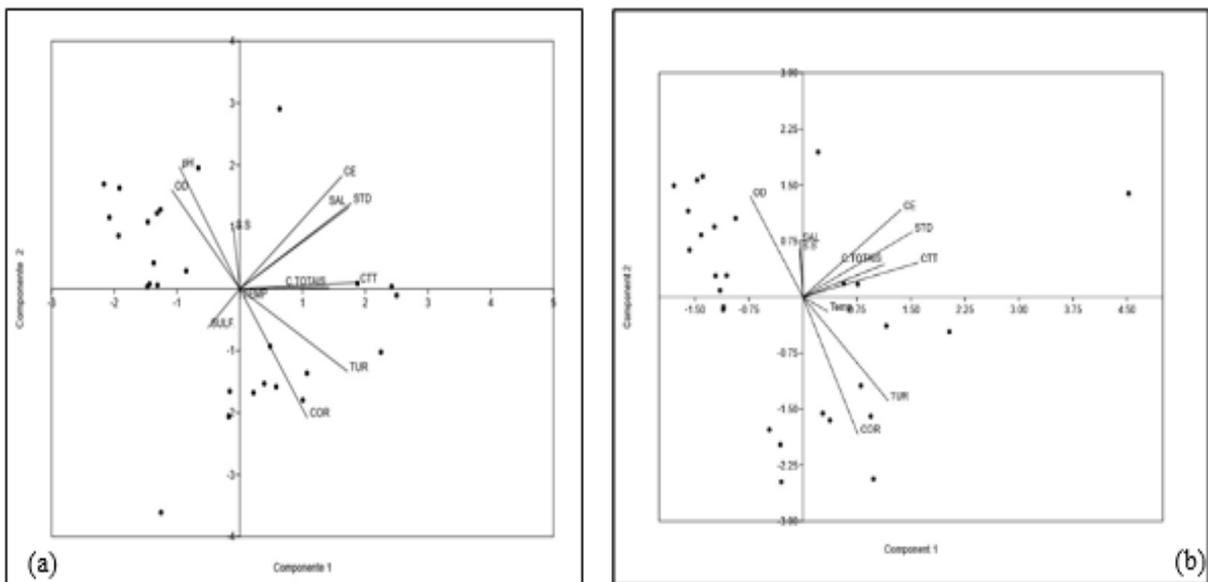
X

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Nota: (X) Parâmetros que não estão correlacionados, (+) Correlação positiva, (-) Correlação negativa.

Além dos testes de correlação individuais, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA), que também considerou os períodos sazonais e os regimes de maré. Durante o período chuvoso, tanto na enchente quanto na vazante, o comportamento foi semelhante em relação à primeira componente principal (CP1 - pH), que explicou 37,24% da covariância em relação aos demais parâmetros. A análise revelou a formação de grupos distintos: o primeiro grupo, formado por Cor e TUR, estava mais afastado da CP1; o segundo grupo, composto por CTT e CTT; e o terceiro grupo, que incluía SAL e STD, estava mais próximo do pH (Figura 9).

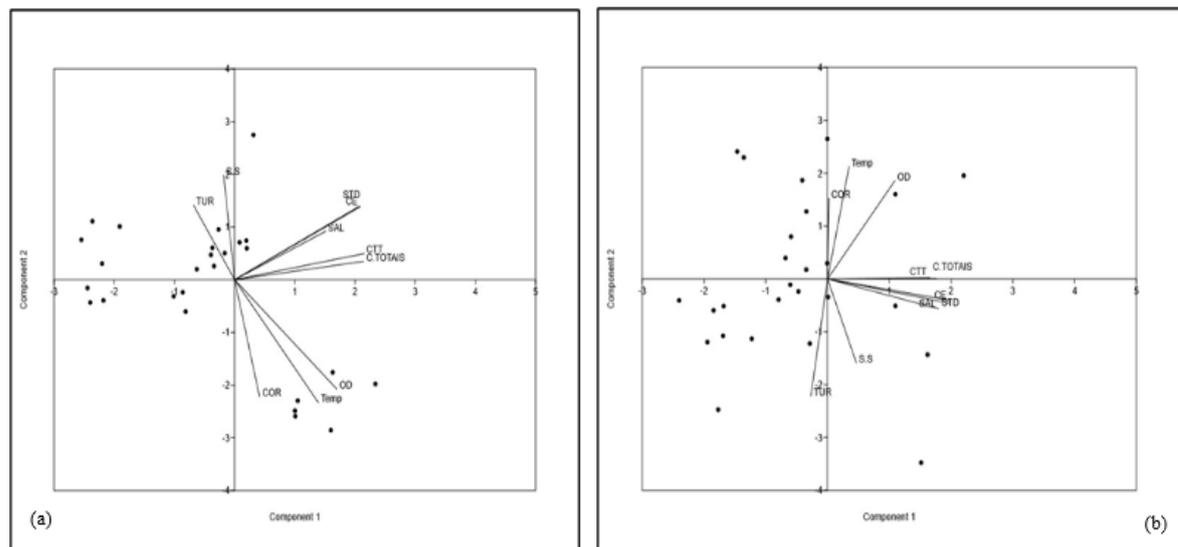
Figura 9 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso, regime de maré enchente (a) e maré vazante (b), gerado a partir do software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Durante o período seco, a Análise de Componentes Principais (PCA) formou grupos ao redor da CP1. Os grupos mais afastados, como Cor, TEMP, OD, TUR e S.S. (maré enchente), foram separados da CP1. Por outro lado, os grupos mais próximos ao eixo 'x' da CP1 incluíram CTT, C. TOTAIS, SAL, CE e STD (Figura 10).

Figura 10 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período seco (a) e seco (b).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357, o ERP é classificado como Classe II, adequada para abastecimento humano após tratamento, recreação de contato primário e pesca. A população utiliza este recurso para consumo, pesca e navegação. A concessionária de Barcarena visa alcançar 24% de cobertura de esgoto (Águas de São Francisco, 2023), enquanto apenas 36,35% da população tem acesso ao abastecimento de água (Municípios e Saneamento, 2023).

A análise de componentes principais revelou que os parâmetros da água são influenciados pela sazonalidade (períodos chuvosos e secos), mas o regime de maré não afeta os níveis de poluição nos estuários. Em períodos de maior precipitação, há uma diluição acentuada da matéria orgânica, mas também há um aumento na dispersão de poluentes atmosféricos e metais pesados, como o alumínio (Al), que interage significativamente com o pH. O pH explicou mais de 50% da covariância em ambos os períodos sazonais, seguido por TEMP e OD.

Em relação ao metal pesado Alumínio, durante a atividade portuária no PVC, destaca-se o carregamento de bauxita, a matéria-prima do alumínio, realizado por meio de descarregadores de navios e elevadores de caçambas. Esse processo pode resultar em perdas significativas de material, com dispersão na água, no píer e na atmosfera, uma vez que não há dispositivos adequados para conter essa dispersão. O pH da água apresentou pouca variação, com valores constantes que indicam uma tendência à alcalinidade, variando de 5,51 (ácido) a

8,26 (básico). A presença de alumínio foi um ponto crítico, com concentrações acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que é de 0,2 mg/L, com valores entre 0,32 mg/L e 0,43 mg/L nos pontos de coleta.

O alumínio, altamente reativo, tende a formar óxidos de alumínio (Al_2O_3), sendo insolúvel em um pH entre 6,0 e 8,0, o que leva ao aumento das concentrações de alumínio na água. Isso pode causar peroxidação lipídica nos hepatócitos da ictiofauna, afetando o metabolismo e a fisiologia reprodutiva dos peixes (ABDALLA et al., 2019). A contaminação por metais pesados, como o alumínio, é uma preocupação não apenas para a fauna aquática, mas também para as comunidades ribeirinhas, que consomem pescado contaminado. No Brasil, a média de consumo de peixe é de 9 kg por habitante por ano, e nas comunidades amazônicas, chega a 150 kg por pessoa por ano (BRASIL, 2023). A ingestão de alimentos contaminados com metais pesados pode resultar em sérios problemas de saúde, como o acúmulo em órgãos vitais e distúrbios metabólicos (Hu et al., 2020).

Além da bauxita, o carregamento de fertilizantes químicos também é realizado no PVC, o que contribui para a lixiviação de material no píer e no rio, além da dispersão de partículas no ar. Estudos indicam que a poluição por metais pesados e fertilizantes pode causar graves problemas de saúde, incluindo câncer e doenças respiratórias, além de problemas gástricos e neurológicos (CHEN, 2019; DHANKHAR e KUMAR, 2023). Os impactos desses poluentes na saúde humana e ambiental são significativos e exigem medidas de controle mais eficazes para reduzir os riscos associados à atividade portuária.

Os impactos ambientais originados da atividade portuária podem ser agrupados em dois grupos principais: o primeiro refere-se à biota aquática, qualidade da água e dos sedimentos, enquanto o segundo diz respeito à saúde e qualidade de vida humana. No primeiro grupo, os impactos observados incluem descargas de águas residuais, introdução de espécies não nativas e colisões com animais selvagens (JÄGERBRAND et al., 2019). Esses efeitos são prejudiciais à sensibilidade estuarina, afetando negativamente o nível trófico base da cadeia alimentar, como os plânctons, e resultam em consequências adversas em diversos níveis da cadeia (SHAIKH et al., 2021). Em Cochin, na Índia, VELAYUDHAM et al. (2020) documentaram a redução da comunidade de macrobentos próxima à área portuária. A qualidade dos sedimentos também é impactada pela atividade portuária, com concentrações significativas de metais pesados, como Al, B, Co, Mo, Ba, Sn, Sr e Ti, encontradas em amostras de seis portos na Austrália (JAHAN & STREZOV, 2018). Além disso, a ressuspensão de sedimentos e a erosão costeira são frequentes na área portuária (JÄGERBRAND et al., 2019).

Quanto à saúde e qualidade de vida humana, a atividade portuária contribui para emissões de gases de efeito estufa, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado (JÄGERBRAND et al., 2019). Na região de Barcarena, próxima ao PVC, PEREIRA (2019) observou altos níveis de metais pesados na população local, com cerca de 80% do grupo amostral apresentando concentrações de Pb acima dos limites recomendados. Elementos químicos como Cr e Ni tendem a bioacumular-se no corpo humano, provocando problemas graves no sistema nervoso, cardiovascular e respiratório (RODRIGUES e HAZEU, 2019; PEREIRA, 2019).

Assim, as principais medidas recomendadas por DU et al. (2019), ALAMOUSH, BALLINI e DALAKLIS (2021), TWRDY e ZANNE (2020), e TEERAWATTANA e YANG (2019) incluem investimentos na modernização sustentável das ferramentas portuárias, formulação de controles e planos com respostas imediatas, e a instalação de lavadores de chaminés para pequenas partículas, como óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Outras sugestões envolvem o uso de combustíveis alternativos limpos, novas tecnologias para tratamento das águas de lastro e redução do tempo de resposta dos navios, tecnologias para atenuação de ruídos, e a utilização de resíduos de dragagem para fins próprios. Recomenda-se também o uso de água com lodo de celulose para minimizar a dispersão de material particulado na atmosfera, especialmente em pilhas de carvão e minério, além de auditorias internas anuais, revisão de indicadores ambientais e a implementação de Sistemas de Gestão Ambiental de acordo com a norma ISO 14001 para obter certificação.

Os resultados destacam os impactos das atividades portuárias no ERP, e apontam a influência significativa das operações portuárias na qualidade da água, da região. Em destaque a correlação do pH com o alumínio, mostrando que estão interligados de acordo com a sazonalidade e a concentração de poluentes no estuário. Diante disto, surge a necessidade de implementar medidas mitigadoras e práticas sustentáveis para enfrentar os desafios ambientais específicos, como o transporte de minérios e fertilizantes, que têm potencial para afetar os ecossistemas aquáticos da região estuarina do ERP.

6.2. Resultados TPM

Na Tabela 16, os parâmetros médios do TPM estavam em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, exceto para TUR, CTT, OD e E. Coli. De acordo com a legislação ambiental, corpos hídricos de Classe 2 devem apresentar um limite máximo de 40 UNT. No entanto, nos dois anos analisados, 2020 e 2021, esse limite foi excedido, com valores de 67,24 UNT no período chuvoso de 2020 e 51,60 UNT no período seco de 2021.

O OD, também esteve acima do limite preconizado na legislação ambiental durante o período chuvoso de 2021. Os parâmetros microbiológicos como CTT e *E.Coli* também não estão em conformidade com o limite previsto, o que corrobora a presença de esgoto doméstico lançado diariamente, oriundo da população de Belém. Quanto a presença dos hidrocarbonetos, dentre os dados cedidos, somente o Xileno foi concedido para esta pesquisa, e estava em conformidade com a resolução CONAMA, devido a isto não foi possível estudar outros HPA's e verificar sua presença no corpo hídrico.

Tabela 16 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos do TPM, nos anos de 2020 e 2021.

Parm.	Ano 2020		Ano 2021		Lim. CONAMA n°357/05	Conformidade
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso		
pH	6,13	5,23	6,26	5,76	de 6 a 9	Conforme
TEMP	30,33	28,78	30,08	28,91	<40°C	Conforme
CE	33,56	38,19	77,06	31,79	-	-
TUR	42,31	67,24	51,60	36,54	40(UNT)	Inconforme
COR	27,62	56,62	23,25	47,5	até 75 mg Pt/L	Conforme
SAL	0,013	0,015	0,033	0,014	-	-
CTT	27872,56	83161,25	275432,3	124996,7	1000/ 100 mL	Inconforme
OD	3,84	4,46	4,44	6,16	OD> 5 mg/L O2	Inconforme
DQO	7,93	10,25	14,08	15,94	30 mg/L	Conforme
SO ₄ ²⁻	1,59	1,24	2,23	1,15	250 mg/L	Conforme
E.COLI	5401,25	66280	5639	17433	250/100 mL	Inconforme
NH ₄ ⁺	-	-	0,52	0,70	0,70 mg/L	Conforme
XILENO	-	-	-	0,51	300 µg/L	Conforme
STS	22,06	38,12	28,77	20,92	100 mg/L	Conforme
STD	16,69	19,12	47,3	16,55	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

No entanto, na literatura, há estudo dos sedimentos na baía do Guajará, e que apontam a alta presença de metais pesados como o Cádmio nos sedimentos e sendo acumulado ao longo do tempo, condições como mudanças de pH favorecem as condições redox e pH o que modifica e proporciona a biodisponibilidade para o meio e ecossistema aquático atingindo a saúde humana, por meio do processo de biomagnificação (DOS SANTOS, 2018).

SODRÉ (2017) aponta em seu estudo realizado na baía do Guajará próximo ao TPM que as concentrações de HPA's encontradas nos sedimentos está sob forte influência de atividades urbanas e portuárias, devido à forte contribuição das atividades industriais da região e as características dos sedimentos que propiciam a acumulação destes hidrocarbonetos. Em que, o grau de contaminação destes sedimentos é medido baseado na classificação internacional da USEPA, e categorizado como "altamente contaminados" aos valores médios analisados durante 10 anos de estudo da região, uma vez que apresentam concentração média de \sum HPA's entre 608,7 e 2812,6 ng g⁻¹ considerando seu peso seco. Ainda, o autor enfatiza que nos locais mais próximos ao TPM a contribuição é maior e tende a diminuir a medida que se distancia da área portuária.

As análises estatísticas realizadas no Programa Past versão 4.3 geraram as correlações individuais entre parâmetros (Tabela 17). Assim, os parâmetros foram divididos em blocos em quatro blocos e correlacionados com os demais. O bloco 1 (pH, TEMP e CE); bloco 2 (TUR, COR, SAL); bloco 3 (STS, STD, OD); bloco 4 (DQO, *E. COLI*, CT) e bloco 5 (NH_4^+ , SO_4^{2-}).

No bloco 1, a correlação do pH foi mais expressiva com a maioria dos parâmetros, exceto com a DQO e TEMP no período chuvoso. No período seco, o pH apresentou correlação mais acentuada com o OD, STS, COR, DQO, NH_4^+ , NO_3^- e Cl^- . Quanto à correlação da TEMP com os demais parâmetros, no período chuvoso, não houve correlação com OD, TUR, STS e NH_4^+ , e a situação foi similar no período seco. Por fim, a CE esteve positivamente correlacionada com OD, TEMP, DQO, SO_4^{2-} , SAL e CT.

Tabela 17 – Correlações individuais dos parâmetros analisados do TPM, nos anos de 2020 e 2021.

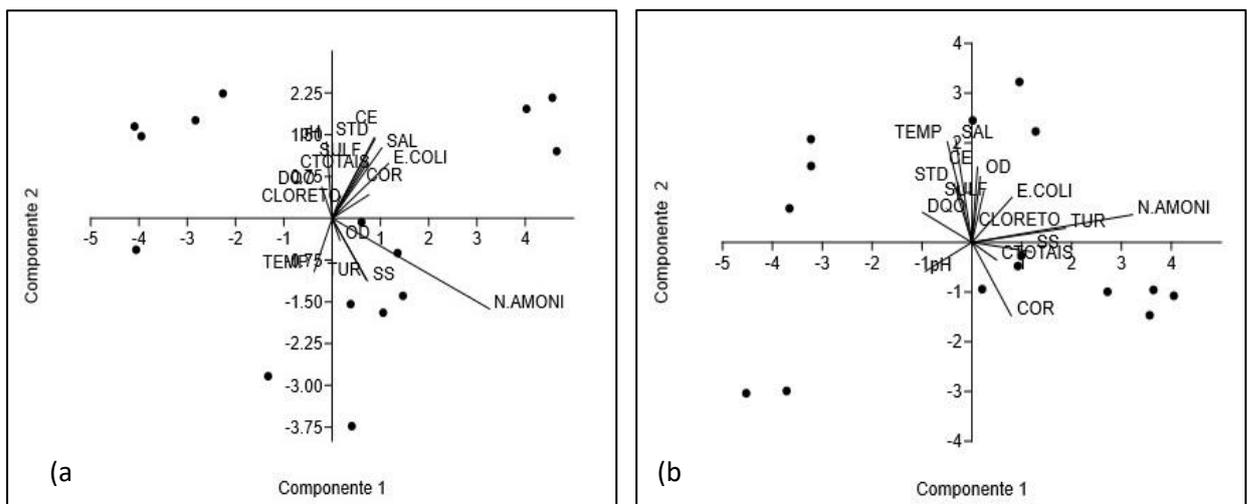
Périod.	Bl.	Parm.	pH	TEMP	CE	TUR	COR	SAL	CTT	CT	STD	STS	OD	DQO	SO ₄ ²⁻	E.COLI	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	
Chuvoso	1	pH	X	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	
		TEMP	+	X	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
		CE	+	+	X	-	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
Seco	1	pH	X	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	
		TEMP	+	X	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+
		CE	-	-	X	-	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+
Chuvoso	2	SAL	-	+	-	-	+	X	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	
		TUR	+	+	+	X	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-
		COR	-	-	-	+	X	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-
Seco	2	SAL	+	+	-	+	+	X	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	
		TUR	+	+	+	X	+	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+
		COR	-	-	+	-	X	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	+	-
Chuvoso	3	STD	+	+	+	-	+	+	+	-	X	-	+	-	+	-	-	+	+	
		STS	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	X	+	+	-	+	-	+	+
		OD	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	X	-	+	+	-	+	+
Seco	3	STD	+	+	+	+	-	+	+	+	X	+	-	+	-	+	+	-	+	
		STS	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	X	+	+	-	+	+	-	
		OD	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	-	X	-	+	+	-	+	+
Chuvoso	4	CT	+	+	-	+	-	+	+	X	-	-	+	-	-	+	+	+	+	
		DQO	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	+	+	X	+	+	-	-	+
		E.COLI	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	X	+	+	-
Seco	4	CT	-	+	+	+	+	+	+	X	-	+	+	+	-	+	+	-	+	
		DQO	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	X	+	+	+	+	+
		E.COLI	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	X	+	-	-
Chuvoso	5	NH ₄ ⁺	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	X	-	-	
		SO ₄ ²⁻	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	+	-	X	+	+	-	-
Seco	5	NH ₄ ⁺	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	X	-	+	
		SO ₄ ²⁻	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	X	-	-	+	+

Fonte: Elaborado pelos autores, 2024.

Nota: (X) Parâmetros que não estão correlacionados, (+) Correlação positiva, (-) Correlação negativa.

Além dos testes de correlação individuais, a Análise de Componentes Principais (PCA) também observou os períodos sazonais (chuvoso e seco) e os regimes de maré (enchente e vazante). A Componente Principal 1 (CP 1 - pH) representou uma covariância de 48,31%, enquanto a Componente Principal 2 (CP 2 - TEMP) apresentou uma covariância de 19,93% em relação aos demais parâmetros no período chuvoso. Observou-se a formação de grupos: o primeiro grupo, composto por NH_4^+ , STS, TUR e OD, estava mais afastado da CP 1; o segundo grupo, formado por COR, E. COLI, SO_4^{2-} , STD e CE; e o terceiro grupo, composto por cloreto, demanda química de oxigênio (DQO) e carga total de sólidos (CTT), que estavam mais próximos ao pH (Figura 11) durante a maré enchente. Na maré vazante, o NH_4^+ e o OD estiveram próximos do primeiro grupo, enquanto o indicador COR esteve mais afastado dos demais grupos.

Figura 11 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso, enchente (a) e vazante (b).

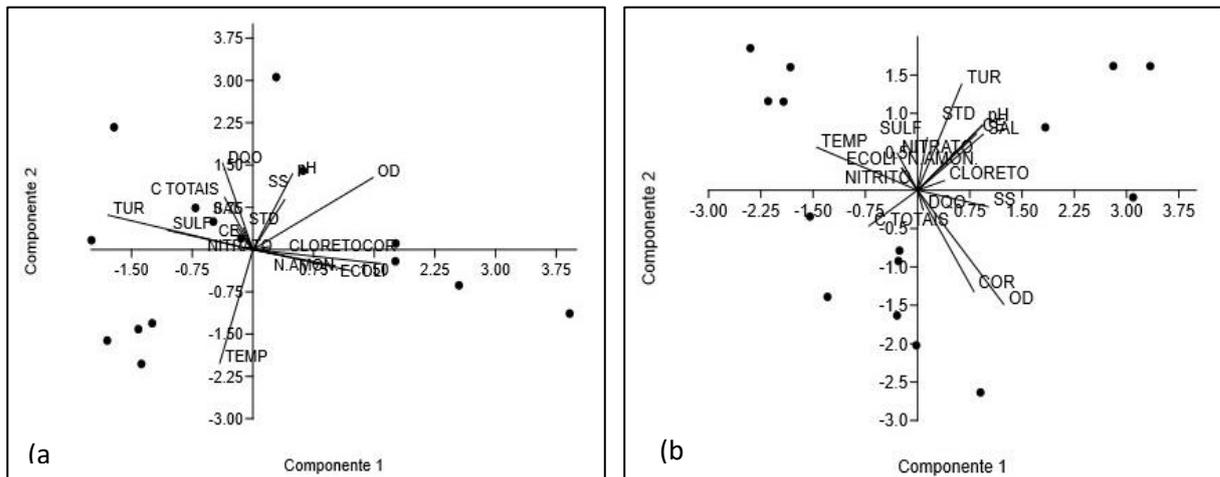


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No período seco, a Componente Principal 1 (CP 1 - pH) representou uma covariância de 29,76%, e a Componente Principal 2 (CP 2 - TEMP) apresentou uma covariância de 19,26% em relação aos demais parâmetros. Durante o período chuvoso (maré enchente), observou-se a formação dos seguintes grupos: o primeiro grupo, composto por STS, STD e OD; o segundo grupo, formado por CTT, TUR, SO_4^{2-} , CE, NO_3^- , STD e DQO; e o terceiro grupo, composto por NH_4^+ , E.Coli, COR e Cl^- , que estavam mais próximos ao pH. O parâmetro que esteve mais afastado desses grupos foi a TEMP (Figura 12). Na maré vazante, o NH_4^+ e o OD

estiveram próximos do primeiro grupo, enquanto o indicador COR esteve mais afastado dos demais grupos.

Figura 12 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período seco, enchente (a) e vazante (b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

A análise de componentes principais permitiu compreender que os parâmetros estão condicionados e afetados pela influência dos períodos de sazonalidade (chuvoso e seco). O regime de maré, por outro lado, não afeta os níveis de poluição nos estuários. Em contrapartida, parâmetros como a condutividade elétrica (CE) e os sólidos totais dissolvidos (STD) apresentam alterações significativas quando há a entrada de águas continentais na baía, devido à quantidade de sal presente no período de setembro a janeiro. Em períodos de maior precipitação, a diluição aumenta e, conseqüentemente, diminui a concentração de sólidos dissolvidos e a salinidade, devido ao aumento do volume de chuvas na Baía do Guajará (ALENCAR, 2019).

Diante disto, os impactos ambientais da atividade de transporte e armazenamento de combustíveis e produtos químicos podem ser divididos em dois grupos: o primeiro afeta a biota aquática, a qualidade da água e dos sedimentos, e o segundo impacta a saúde e a qualidade de vida humana. No que diz respeito à biota aquática, os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, quando expostos à luz ultravioleta, como a luz solar, aumentam sua toxicidade, prejudicando o desenvolvimento de peixes e crustáceos e causando danos genéticos em mamíferos (SUN et al., 2021). Quanto à qualidade da água e dos sedimentos, os hidrocarbonetos têm baixa solubilidade, acumulando-se em partículas e matéria orgânica, o que reduz a transferência de

oxigênio e afeta peixes e organismos que entram em contato com os sedimentos contaminados (AHMED & FAKHRUDDIN, 2018).

7. CONCLUSÃO

Em suma, os estudos realizados sobre os impactos das atividades portuárias tanto no PVC quanto no TPM evidenciam uma influência significativa na qualidade das águas dos respectivos estuários e da Baía do Guajará. A análise revelou correlações importantes entre variáveis como pH e concentração de alumínio, indicando uma interligação direta influenciada pela sazonalidade e pela presença de poluentes nos ecossistemas aquáticos estudados.

Os resultados apontam a urgente necessidade de implementação de medidas mitigadoras e práticas sustentáveis para enfrentar os desafios ambientais específicos impostos pelas operações portuárias. Tais medidas não apenas visam preservar a integridade dos recursos hídricos locais, mas também promover a qualidade do ar e a qualidade de vida das comunidades próximas aos terminais portuários. A gestão adequada, aliada a investimentos em tecnologias mais limpas e à promoção de uma cultura de responsabilidade ambiental, é crucial para minimizar os impactos negativos detectados.

Além de contribuir para a compreensão da complexa relação entre atividades industriais e o meio ambiente, este estudo também aponta para a necessidade de futuras pesquisas que aprimorem a gestão ambiental portuária. A continuidade dessas investigações é fundamental para desenvolver estratégias mais eficazes e sustentáveis, capazes de mitigar impactos ambientais adversos e garantir o desenvolvimento econômico compatível com a conservação ambiental.

Em resumo, este trabalho não apenas analisou os desafios atuais enfrentados pelos portos estudados, mas também propôs soluções concretas e sustentáveis para promover um ambiente marinho mais saudável e equilibrado. Suas conclusões servem de base para discussões futuras e para a implementação de políticas públicas e empresariais que visem a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável das regiões costeiras afetadas pelas atividades portuárias.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, R. P. et al. **Exposure to aluminum, aluminum+ manganese and acid pH triggers different antioxidant responses in gills and liver of *Astyanax altiparanae* (Teleostei: Characiformes: Characidae) males.** *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 215, p. 33-40, 2019.

AHMED, A. N. et al. **Machine learning methods for better water quality prediction.** *Journal of Hydrology*, v. 578, p. 124084, 2019.

ALAMOUSH, A. S.; BALLINI, F.; DALAKLIS, D. **Port sustainable supply chain management framework: Contributing to the United Nations' sustainable development goals.** *Maritime Technology and Research*, v. 3, n. 2, p. 137-161, 2021.

ALTHOUSE, L. A.; WARE, W. B.; FERRON, J. M. **Detecting Departures from Normality: A Monte Carlo Simulation of a New Omnibus Test Based on Moments.** *Annual Meeting of the American Educational Research Association*.1998.

ARRIFANO, G.D.P.F; et al. **Assessing mercury intoxication in isolated/remote populations: increased S100B mRNA in blood in exposed riverine inhabitants of the Amazon.** *Neurotoxicology*, v. 68, p.151-158. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2018.07.018>. Acesso em: 01 fev.2023.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/ptbr/acessoainformacao/acoeseprogramas/cooperacaointernacional/aguanomundo#:~:text=Estima%2Dse%20que%2097%2C5,%25%20encontra%2Dse%20nos%20rios.>> Acesso em: 28 jan.2023.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2022. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/rede-nacional-rede-monitoramento.aspx>> Acesso em: 01 fev.2023.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestaodasaguas/politicanacionalderecursoshidricos#:~:text=Institu%C3%ADa%20pela%20lei%20n%C2%BA,criou%20o%20Sistema%20Nacional%20de>>. Acesso em: 06 fev.2023.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023. **Panorama das Águas.** Disponível em:<<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/panorama-das-aguas>. > Acesso em: 06 fev.2023.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2022. **Estatístico Aquaviário.** Disponível em: <<https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html#>>. Acesso em: 14 fev.2023.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2023. **Estatístico Aquaviário.** Disponível em:<<https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/Relatorio.html#pt>>. Acesso em: 07 dez.23.

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários, 2011. **O Porto Verde: modelo ambiental portuário.** Disponível em:< <http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/210>>. Acesso em: 07 dez. 2023.

BARCARENA. Secretaria Municipal de Saúde. **Relatório Condensado Geral de Sintomas Caso Hydro Alunorte.** Barcarena: SEMUSB, 2019.

BEYER, A. **Inland waterways, transport corridors and urban waterfronts.** In *International Transport Forum Discussion Paper*, p. 17. Paris, França: OECD Publishing. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/c78b9c58-en>>. Acesso em: 07 dez.2023.

BISPO, C. J. C. et al. **Heavy Metals in Surface Waters in A State of The Brazilian Amazon: An Integrative Review.** *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 18, n. 6, p. e06952-e06952, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n6-102>>. Acesso em: 02 fev.2024.

BLANCO, C. et al. **Hydrodynamic evaluation of a flood embankment in the Amazon estuary region, Brazil.** In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering*. Thomas Telford Ltd, v. 166, Ed. 6, p. 49-55. 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1680/cien.13.00004>>. Acesso em: 02 fev.2024.

BÖCK, C. S.; ASSAD, L. P. F.; LANDAU, L. **Influence of bottom morphology on the hydrodynamics of Guajará Bay (Amazon, Brazil)**. Journal of Coastal Research, p. 981-985, 2011. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/26482320>>. Acesso em: 02 ago.2023.

BRASIL. **Código Civil. Lei n 3.071, de 1 de janeiro de 1916**. Diário Oficial da União, Brasília, 1 jan. 1916.

BRASIL, 1997. **Lei N9.432 de 08 de janeiro de 1997**. Dispo sobre a ordenao do transporte aquaviário e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.

BRASIL, 2013. **Lei N12.815 de 05 de junho de 2013**. Dispo sobre a explorao direta e indireta pela União de portos e instalaes portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2013.

BRASIL, 2015. **Resoluo n4.502 de 03 dezembro de 2015**. Dispo sobre o sistema de gestão de processos e documentos arquivísticos eletrnicos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2015.

BRASIL. **Lei n 9.433/1997**. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

BRASIL. **Lei n 9.939/1981**. Instituiu a Política Nacional de Meio Ambiente. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

BRASIL. **Decreto n 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de guas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, seo 1, p. 14738, 20 jun. 1934.

BRASIL. **Lei n 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispo sobre a criao da Agência Nacional de guas-ANA, entidade federal de implementao da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenao do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. 2000.

BRASIL. **Ministério dos Transportes**. PNL 2035. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/planejamento-integrado-de-transportes/copy_of_planejamento-de-transportes/pnl-2035> . Acesso em: 05 dez.2023.

BRASIL, 2023. **Ministério da Agricultura e Pecuária**. Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mpa/rede-do-pescado/consumo-e-tipos-de-peixes-no-brasil>>. Acesso em: 30 ago.2023.

BRASIL. Secretaria Nacional de Portos e UFSC - **Plano Mestre - COMPLEXO PORTUÁRIO DE BELÉM E VILA DO CONDE** - Sumário Executivo, 2017. Disponível em: <<https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/portoseaerportos/ptbr/assuntos/transporteaquaviario/planejamentoportuario/planodedesenvolvimentoezoneamentopdz/arquivospdz/PlanoMestredeBelmVida doConde2017.pdf>>. Acesso em: 30 ago.2023.

CAMERON, W. M.; PRITCHARD, D. W.; HILL, M. N. **The sea: Ideas and observations on progress in the study of the seas**. The Composition of Sea-Water, Comparative and Descriptive Oceanography, p. 306-324, 1963.

CARDANHA, B. H. et al. **Logística fluvial de gros no Arco Norte: um estudo da eficiência operacional de comboios**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especializao em Gestão do Negócio) – Fundao Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Manaus, 2020. Disponível em: <<http://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/436>>. Acesso em: 30 ago.2023.

CDP, 2022. **Notícias**. Disponível em: <<https://www.cdp.com.br/estudos-sobre-o-profundamento-dos-canalais-quiriri-e-espadarte-ampliam-as-expectativas-de-escoamento-pelo-porto-de-vila-do-conde/>>. Acesso em: 06 dez.2023.

CDP, 2023 (1). **reas do Porto Organizado**. Disponível em:<<https://www.cdp.com.br/areas-de-porto-organizado/>>. Acesso em: 08 fev.2023.

CETESB – COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO. AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 2008. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 08 fev.2023.

CHEN, B. et al. **In search of key: Protecting human health and the ecosystem from water pollution in China**. Journal of Cleaner Production, v. 228, p. 101-111, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.228>>. Acesso em: 08 mar.2023

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ - Administradora do Porto de Vila do Conde. **Plano de desenvolvimento e zoneamento do Porto organizado de Vila do Conde**, 2020. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/portos-e-aerportos/ptbr/assuntos/transporte-aquaviario/planejamentoportuario/planodedesenvolvimentoezoneamentopdz/arquivospdz/pdz_vila_do_conde_portaria_591_2021-e-alterado-pela-portaria-36_2023.pdf>. Acesso em: 08 mar.2023.

CONAB, 2023. **Portos do Arco Norte são o principal eixo para o escoamento de milho nos três primeiros meses de 2023**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4986-portos-do-arco-norte-e-principal-eixo-para-o-escoamento-de-milho-nos-tres-primeiros-meses-de-2023> . Acesso em: 06 dez.2023.

BRASIL, **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. 1988. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 01 fev.2023.

DA SILVA, M. C. **Estuários - Critérios para uma classificação ambiental**. RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, p. 25-35. 2000. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://abr.s3.saeast1.amazonaws.com/Sumarios/46/7161b046e6907a38deb3a62ff4a7bd9e_66c624b2b1068f9fe795e92709e8375e.pdf>. Acesso em: 01 fev.2023.

DA SILVA, R. C. Derrocamento do Pedral do Lourenço. **Revista do Clube Naval**, v. 3, n. 395, p. 52-55, 2020. Disponível em: < <https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/clubenaval/article/view/1359>>. Acesso em: 01 fev.2023.

DE LA ROCHA DOMINGUES, M. V. **Cidades portuárias medievais: dos primórdios das técnicas de engenharia naval e portuária à origem etimológica da palavra porto**. BIBLOS, v. 21, p. 91-104, 2007.

DE OLIVEIRA CARNEIRO, M. C. M., et al. **A gestão do saneamento no Brasil e sua relação com a gestão de recursos hídricos**. INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797), v. 6, p. 101-116, 2018. Disponível em: < <https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1785>>. Acesso em: 03 fev.2023.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 5ª Ed. – São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

DHANKHAR, N.; KUMAR, J. **Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review**. Materials Today: Proceedings, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.766>>. Acesso em: 04 fev.2023.

DHARMENDRA, S. et al. **Assessment of marine sediment contamination and detection of their potential sources at Paradip port, East Coast of India**. Research Journal of Chemistry and Environment, v. 24, n. 6, 2020. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/341700801_Assessment_of_marine_sediment_contamination_and_detection_of_their_potential_sources_at_Paradip_port_East_Coast_of_India/references>. Acesso em: 05 fev.2023.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Obras Civas, 2022. **Notícias**. Disponível em:< <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-e-ibama-visitam-pedral-do-lourenco-no-rio-tocantins-pa>>. Acesso em: 05 dez.2023.

DO BRASIL, Senado Federal. **Constituição da república federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico, 1988.

DOS SANTOS, L. F.; DE SOUSA, A. M. L.; FAIAL, K. D. C. F. **Análise de metais no sedimento na baía do Guajará Belém/PA**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 9, n. 4, p. 314-325, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0025>>. Acesso em: 05 dez.2023.

DODONOV, P.; DOS, REIS; M.G., **Paleontological Statistics Version. 2.16**. Manual de Referência. Tradução e Revisão. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 187p, 2012.

DUARTE, A. A.L.; VIEIRA, J.M.P. **Caracterização dos ambientes estuarinos: mistura em estuários**. Revista Engenharia Civil, ISSN 0873-1152.6, p. 41-55. 1997. Disponível em: < <https://hdl.handle.net/1822/2495>>. Acesso em: 05 dez.2023.

DUBREUIL, V. et al. **Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015**. EchoGéo, n. 41, 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.4000/echogeo.15017>>. Acesso em: 06 dez.2023.

DU, K.; MONIOS, J.; WANG, Y. **Green port strategies in China**. In: Green ports Inland and Seaside Sustainable Transportation Strategies, p. 211-229, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814054-3.00011-6>>. Acesso em: 07 dez.2023.

FORTES, A. C. C. et al. **Índice de qualidade de água para consumo humano: uma proposta de ferramenta para a vigilância da qualidade da água comunicar os resultados à sociedade**. Tese de Doutorado. Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, Brasil.2018. Disponível em: < <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/61969#:~:text=https%3A//www.arca.fiocruz.br/handle/icict/61969>>. Acesso em: 08 dez.2023.

GARCIA, A. C. A. **Portos insulares atlânticos dos impérios marítimos português e inglês: uma abordagem comparativa (séculos XV-XVIII)**. Tese de Doutorado. Universidade Nova de Lisboa (Portugal). Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. 2021. Disponível em:< <https://www.proquest.com/openview/b4226202e1235cc313c69788f8ca68c5/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar&parentSessionId=QUQKFM2dcl6iDZitQs0gHFULW7oCo0u5dtM7nk3FAao%3D>>. Acesso em: 08 dez.2023.

GARCIA, D. S. S. **A poluição da água pela atividade portuária: Análise das formas de poluição, da regulamentação existente e proposta de melhorias**. ÁGUA, SUSTENTABILIDADE E DIREITO (BRASIL-ESPANHA), p. 93, 2015.

GOMES, E. B. D. O, et al. **A História da Construção do Porto de Belém, e sua relação com a Arquitetura da Cidade**. 3º Congresso Internacional de História da Construção Luso-Brasileira. ResearchGate. 2019. Disponível em:< <https://www.researchgate.net/publication/348281325>>. Acesso em: 09 dez.2023

GOMES, V. J.C.; FREITAS, P. T.A.; ASP, N. E. **Dynamics and seasonality of the middle sector of a macrotidal estuary**. Journal of Coastal Research, n. 65 (10065), p. 1140-1145, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.2112/SI65-193.1>>. Acesso em: 09 dez.2023.

GONÇALVES, F. D. et al. **Técnicas automáticas para geração de mapas de índices de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na Baía de Guajará, Belém-PA**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 58, n. 3, p. 255-262, 2006. Acesso em: 09 dez.2023.

GREGÓRIO, A. M. D. S.; MENDES, A. C. **Batimetria e sedimentologia da baía do Guajará, Belém, estado do Pará, Brasil**. 2009. Disponível em: < <http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/369>>. Acesso em: 10 dez.2023.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. **PAST–Paleontological statistics**, ver. 1.34. Paleontological Museum of Oslo, 2005.

HAMMER, O.; HARPER, David AT. **Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis**. Paleontologia electronica, v. 4, n. 1, p. 1, art.4, 2001. Disponível em: < chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://doc.rero.ch/record/15326/files/PAL_E2660.pdf>. Acesso em: 10 dez.2023.

HU, B. et al. **Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level**. *Environmental Pollution*, v. 266, p. 114961, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114961>>. Acesso em: 10 dez.2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. **Panorama sobre as cidades brasileiras**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>>. Acesso em: 01 mar.2023.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2023. **Gráficos climatológicos**. Disponível em: < <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>>. Acesso em: 15 fev.2023.

IPEA - Instituto de pesquisa econômica aplicada. **Hidroviás no Brasil: Perspectiva histórica custos e institucionalidade**, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2714/1/TD_1931.pdf>. Acesso em: 04 dez.2023.

IPEA – Instituto de pesquisa econômica aplicada, 2023. **Agropecuária Brasileira: evolução, resiliência e oportunidades**. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Disponível em: < <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/12242>>. Acesso em: 04 dez.2023.

JACOMY, B. **Une histoire des techniques**. Paris: Seuil, 1990. Coll. Points, Série Sciences, 67. 384p.

JÄGERBRAND, A. K. et al. **A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems**. *Science of the Total Environment*, v. 695, p. 133637, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133637>>. Acesso em: 04 dez.2023.

JAHAN, S.; STREZOV, V. **Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metals in the sediments of seaports of NSW, Australia**. *Marine pollution bulletin*, v. 128, p. 295-306, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.036>>. Acesso em: 05 dez.2023.

LESSA, G. C. et al. **Brazilian estuaries: A geomorphologic and oceanographic perspective. Brazilian Estuaries: A Benthic Perspective**, p. 1-37, 2018. Disponível em: < DOI 10.1007/978-3-319-77779-5_1>. Acesso em: 05 dez.2023.

LI, P.; WU, J. **Drinking water quality and public health**. *Exposure and Health*, v. 11, n. 2, p. 73-79, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00299-8>>. Acesso em: 05 dez.2023.

LI, Z. et al. **Objectives and indexes for implementation of Sponge Cities—A case study of Changzhou City, China**. *Water*, v. 10, n. 5, p. 623, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.3390/w10050623>>. Acesso em: 12 dez.2023.

LUNA, G. M. et al. **Status of faecal pollution in ports: A basin-wide investigation in the Adriatic Sea**. *Marine pollution bulletin*, v. 147, p. 219-228, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.050>>. Acesso em: 10 dez.2023.

MacDonald D.D., et al, 1996. **Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters**. *Ecotoxicology*, 5: 253– 278. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/BF00118995>>. Acesso em: 11 dez.2023.

MANTUANO, T. V. **A revolução dos vapores na navegação marítima**. In: XII Congresso Brasileiro de História Econômica & 13ª Conferência Internacional de História de Empresas. 2017. Disponível em: < DOI <https://doi.org/10.29182/hehe.v21i2.574>>. Acesso em: 10 dez.2023.

MARTÍNEZ-MOYA, J.; et al. **Energy efficiency and CO2 emissions of port container terminal equipment: Evidence from the Port of Valencia**. *Energy Policy*, v. 131, p. 312-319, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.04.044>>. Acesso em: 10 dez.2023.

MCDONALD, R. I.; MARCOTULLIO, P. J.; GÜNERALP, B. **Urbanization and global trends in biodiversity and ecosystem services**. *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities*, p. 31-52, 2013. Disponível em: < DOI 10.1007/978-94-007-7088-1>. Acesso em: 13 dez.2023.

MCMILLEN, C. **A água e o fim da ambição na saúde global, c. 1970-1990**. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 27, p. 211-230, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0104-59702020000300011>>. Acesso em: 14 dez.2023.

MELO, B. A. P. et al. **RELACIONAMENTO COM A COMUNIDADE: A responsabilidade social das empresas na perspectiva das comunidades vizinhas ao polo industrial de Barcarena-PA**. *Colóquio Organizações, Desenvolvimento e Sustentabilidade*, v. 11, n. 1, 2021. Disponível em: < <https://revistas.unama.br/index.php/coloquio/article/view/2195>>. Acesso em: 10 dez.2023.

MENEZES, J. M. et al. **Índices de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidade**. *Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto de Mudanças Ambientais*. 1ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, v. 1, p. 325-352, 2010. Disponível em: < [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221814/1/Cap-Livro-manejo-pag-325-352.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221814/1/Cap-Livro-manejo-pag-325-352.pdf)>. Acesso em: 05 dez.2023.

MESQUITA, L. F. G. **Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamento integrado na Política Nacional de Recursos Hídricos**. *Desenvolvimento e Meio ambientes*, v. 45, 2018. Disponível em: < DOI: 10.5380/dma. v45i0.47280. e-ISSN 2176-9109>. Acesso em: 05 dez.2023.

MITRA, S. et al. **Water quality assessment of the ecologically stressed Hooghly River Estuary, India: A multivariate approach**. *Marine pollution bulletin*, v. 126, p. 592-599, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.053>>. Acesso em: 12 nov.2022.

MORAES, D. S. D. L.; JORDÃO, B. Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**. *Revista de saúde pública*, v. 36, p. 370-374, 2002.

MOURA, M. M. et al. **Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin**. *Science of the Total Environment*, v. 651, p. 1639-1651, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.242>>. Acesso em: 12 nov.2022.

MOURÃO, F. V. et al. **Dinâmica Sazonal de Nutrientes em Estuário Amazônico**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 01, p. 372-381, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>>. Acesso em: 12 nov.2022.

MUKATE, S. et al. **Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water**. *Ecological indicators*, v. 101, p. 348-354, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.034>>. Acesso em: 13 nov.2022.

MURENA, F. et al. **Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy**. *Atmospheric Environment*, v. 187, p. 70-83, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.056>>. Acesso em: 14 nov.2023.

NATHASA, R. et al. **Magnetic and Geochemical Characterizations of Ironsand Deposits from Cirebon Coastal Area, West Java**. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. p. 012076. Disponível em: < DOI 10.1088/1755-1315/873/1/012076>. Acesso em: 14 nov.2023.

NOBRE, M.; SANTOS, F. R. D. **O mercado de transporte marítimo: especialização, evolução e os reflexos na logística internacional**. *XII SIMPEP 2005*, 2005.

NORMAN – Normas da Autoridade Marítima, **NORMAN-20**, 2022. Disponível em: <NORMAM-20-3aREV-MOD.1-10AGO22-REVISADO---LIMPA.pdf (marinha.mil.br) >. Acesso em: 15 mar.2023.

OKOYEN, E. et al. **Governing the environmental impact of dredging: Consequences for marine biodiversity in the niger delta region of Nigeria**. *Governing the Environmental Impact of Dredging: Consequences for Marine Biodiversity in the Niger Delta Region of Nigeria*. *Insights Mining Science and*

Technology, v. 2, n. 3, p. 555586, 2020. Disponível em: < DOI: 10.19080/IMST.2020.02.555586>. Acesso em: 15 mar.2023

OLIVEIRA, D. A. U. D. et al. **As Grandes Navegações: aspectos matemáticos de alguns instrumentos náuticos**. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: < <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9838>>. Acesso em: 16 mar.2023.

OLIVEIRA, M. D. de et al. **Nova abordagem do índice de qualidade de água bruta utilizando a lógica fuzzy**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, p. 361-372, 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000803>>. Acesso em: 16 mar.2023.

PARÁ. Assembleia Legislativa do Estado. **Relatório final: Comissão Parlamentar de Inquérito: “Danos ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pará”**. Belém: ALEPA, 2018. Disponível em: https://www.alepa.pa.gov.br/midias/midias/135_0445fa8da93940afabc5c36edd7ab1e1.pdf. Acesso em: 07 dez.2023.

PDZ. **Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário – Porto Organizado de Belém/PA – Terminal de Miramar**. Companhia de Docas do Pará – CDP. 2017.

PINHEIRO, R. V. L. et al. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)**. 1987. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Curso de Pós – Graduação em Geociências, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987. Disponível em: < <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/14938>>. Acesso em: 07 dez.2023.

PORTILHO, G. R. et al. **A importância da estatística descritiva no setor de qualidade em uma empresa de garrafas plásticas**. Revista Mythos, v. 15, n. 1, p. 45-57, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.36674/mythos.v15i1.549>>. Acesso em: 09 dez.2023.

PRESTES, Y. O. **Interações Físicas entre o Estuário do rio Pará e a Plataforma Continental**. Dissertação de Mestrado, 2016. Disponível em: < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/17884>>. Acesso em: 10 dez.2023.

RODRIGUES, C. C. D. S. et al. **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em sedimentos superficiais de sistemas aquáticos amazônicos (Estados do Pará e Amapá)**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: < <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/9803>>. Acesso em: 5 dez.2023.

RODRIGUES, J. C.; HAZEU, M. T. **Projetos de infraestrutura, desastres e indicativos para novos desastres em Barcarena, Pará, Brasil. DRd –Desenvolvimento Regional em debate, Canoinhas/Santa Catarina**, v. 09, p. 818-838, 2019. Disponível em: < <https://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/2457> . Acesso em: 07 de dez. 2023.

SILVA JÚNIOR, A.G.D. et al. **Vulnerabilidade e risco à erosão costeira: Estuário do Rio Pará**. Gestão de riscos e desastres (livro eletrônico): experiências e desafios, Belém, Pa, Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres na Amazônia, p. 7-19, 2022. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.researchgate.net/profile/JosianeSantos3/publication/363064417_Diagnostico_da_precipitacao_em_50_anos_na_cidade_de_Belem_Para/links/630cbb9f61e4553b9549cf85/Diagnostico-da-precipitacao-em-50-anos-na-cidade-de-Belem_Para.pdf>. Acesso em: 01 fev.2023.

SHAIKH, S. M. S. et al. **Impact of Port and harbour activities on plankton distribution and dynamics: A multivariate approach**. Marine Pollution Bulletin, v. 165, p. 112105, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112105>>. Acesso em: 01 fev.2023.

SODRÉ, S. D. S. V. et al. **Preliminary assessment of Miramar Petrochemical Harbor as PAH source to Guajará bay (Belém-PA-Brazil) surface sediments**. REM-International Engineering Journal, v. 70, n. 4, p. 415-420, 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/0370-44672016700082>>. Acesso em: 01 fev.2023.

TEERAWATTANA, R.; YANG, Y. **Environmental performance indicators for green port policy evaluation: case study of Laem Chabang port**. The Asian Journal of Shipping and Logistics, v. 35, n. 1, p. 63-69, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ajsl.2019.03.009>>. Acesso em: 01 fev.2023.

TEIXEIRA, C. A. N. et al. **Navegação interior brasileira**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.47, p. 437-482, 2018. Disponível em:< <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15380>>. Acesso em: 02 fev.2023.

TRADE MAP. 2023. **Trade Statistics for International Business Development Monthly, quarterly and yearly trade data**. Disponível em: < https://www.trademap.org/Country_SelProduct_Map.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c1%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c3>. Acesso em: 04 dez.2023.

TWRDY, E.; ZANNE, M. **Improvement of the sustainability of ports logistics by the development of innovative green infrastructure solutions**. Transportation Research Procedia, v. 45, p. 539-546, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.059>>. Acesso em: 04 fev.2023.

VELAYUDHAM, N. et al. **Macrobenthic diversity and community structure at Cochin Port, an estuarine habitat along the southwest coast of India**. Regional Studies in Marine Science, v. 34, p. 101075, 2020. Disponível em:< <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101075>>. Acesso em: 04 dez.2023.

ANEXO I

INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS NA QUALIDADE DAS ÁGUAS ESTUARINAS NO PORTO DE VILA DO CONDE (SETOR 03: CONTINENTAL ESTUARINO AMAZÔNIA ORIENTAL)

RESUMO

O Porto de Vila do Conde (PVC) está situado na Ponta Grossa (Barcarena), à margem direita do Estuário do Rio Pará (ERP). O clima é equatorial úmido (subdomínio oriental), com precipitação superior a 2.001 mm/ano, a temperatura do ar se mantém em média de 22,5 °C a 28,2 °C, ventos do NE com média diária de $1,06 \text{ m s}^{-1}$, e a mesomaré atinge altura máxima de 3,4 m. O artigo objetiva analisar a influência das atividades do PVC na qualidade das águas do ERP, utilizando a metodologia estatística de Análise de Componentes Principais com auxílio do software PAST 4.3. Foram realizadas 04 campanhas sazonais de amostragem (chuvoso - 2, seco - 2), em 7 pontos de coleta no entorno do PVC, em momentos de enchente e vazante. Os procedimentos foram realizados conforme o Guia americano *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (SMEWW)*. Os resultados permitiram inferir que, no PVC, valores significativos na concentração de alumínio maior que 0,43 mg/L (maré enchente), excederam o limite máximo da Resolução CONAMA n° 357, seguido por valores altos de Coliformes Termotolerantes e intensificado pela presença de um grau de acidez elevado, os parâmetros de Coliformes Termotolerantes, turbidez e CE tiveram valores elevados, respectivamente de 360,4 NMP. 100 ml⁻¹, 19,5 NTU, 53,82 $\mu\text{s. cm}^{-1}$ no chuvoso, a concentração de OD foi de 7,64 mg.L^{-1} , maior que no seco, com 5,41 mg.L^{-1} . Assim, sugere-se medidas mitigadoras de modernização de equipamentos e monitoramento contínuo da água.

Palavras-chave: Porto de Vila do Conde; Barcarena; Estuário do rio Pará; Sazonalidade.

INFLUENCE OF PORT ACTIVITIES ON THE QUALITY OF ESTUARINE WATER IN THE PORT OF VILA DO CONDE (SECTOR 03: CONTINENTAL ESTUARINE EASTERN AMAZON)

ABSTRACT

The Port of Vila do Conde (PVC) is located at Ponta Grossa (Barcarena), on the right margin of the Pará River Estuary (PRE). The climate is humid equatorial (eastern subdomain), with precipitation exceeding 2,001 mm/year, the temperature remains on average between 22.5 °C and 28.2 °C, winds from the NE with a daily average of $1,06 \text{ m s}^{-1}$, and the mesotidal reaches a maximum height of 3.4 m. The article aims to analyze the influence of PVC activities on the quality of ERP waters, using the statistical methodology of Principal Component Analysis with the aid of PAST 4.3 software. Four sampling campaigns were carried out two in the rainy season and two in the dry season, at 7 collection points around the PVC, in times of flood and low water. The procedures were carried out according to the methods of the American Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (SMEWW). The results allowed us to infer that, in PVC, significant values in aluminum concentration greater than 0.43 mg/L were observed in the flood tide, which exceeded the maximum limit allowed by CONAMA Resolution n° 357/2005, followed by high values of thermotolerant coliforms and intensified by the presence of a high degree of acidity, the parameters of thermotolerant coliforms, turbidity and electrical conductivity had high values, respectively of 360.4 NMP. 100 ml⁻¹, 19.5 NTU, 53.82 $\mu\text{s. cm}^{-1}$ in the rainy season, the OD concentration was 7.64 mg.L^{-1} , higher than in the dry,

with $5,41 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Therefore, mitigating measures of equipment modernization and continuous water monitoring are suggested.

Keywords: Port of Vila do Conde; Barcarena; Estuary of the Pará River; Seasonality.

Introdução

O estuário do Rio Pará (ERP) localizado na região amazônica brasileira, desempenha um papel vital na manutenção da biodiversidade e no equilíbrio ambiental. No entanto, a expansão das atividades portuárias em locais estratégicos, como Vila do Conde, em Barcarena - PA, tem suscitado crescente preocupação quanto aos potenciais impactos ambientais, especialmente na qualidade da água estuarina.

Na região Norte, os rios navegáveis são de grande extensão. A Hidrovia do rio Amazonas é responsável por um escoamento de 65% de grãos, combustíveis, óleos e produtos diversos e alcança 29 municípios dos estados do Amapá, Pará e Amazonas (CARDANHA, 2020).

Em novembro de 2022, o Porto de Vila do Conde (PVC) teve movimentação acumulada refletida em: alumina (4.479.821ton.), bauxita (4.133.586 ton.), soda cáustica (1.140.835 ton.), soja (1.086.089 ton.), por fim commodities agrícolas, fertilizantes (856.099 ton.) (CDP/PA, 2023).

Devido a sua posição estratégica e crescente importância econômica, o PVC emerge, como um elemento fundamental na infraestrutura logística da região, a notar pelas obras de hidrovias, que visam o aprofundamento dos canais do Quiriri e do Espadarte, com o intuito de analisar a viabilidade e os limites de dragagem dos dois canais, permitindo no futuro a ancoragem de navios maiores e garantindo maior competitividade no mercado internacional (CDP, 2022).

Contudo, a expansão dessas instalações portuárias muitas vezes acarreta em uma série de desafios ambientais, com potenciais consequências adversas para o ecossistema aquático e as comunidades que dependem diretamente dos recursos naturais locais.

Estas consequências observadas no ecossistema aquático são evidenciadas em diversos estudos, tais como NATHASA et al. (2021), que investigaram a qualidade da água, no porto de Cirebon (Indonésia), e assim como o PVC também está localizada no estuário comprovam fortes indícios de altas concentrações de metais pesados, como cromo (Cr) e zinco (Zn) nos sedimentos de fundo relacionadas à atividade portuária.

De acordo com NATHASA et al. (2021) e DHARMENDRA et al. (2020) a geoacumulação de metais pesados no porto de Paradeep (Índia) é devido à movimentação de minerais, carvão e produtos petrolíferos. A influência das atividades portuárias na qualidade da água também foi observada por JAHAN & STREZOV (2018), que encontraram concentrações de metais pesados devido a atividade portuária.

LUNA (2019) destacou a elevada carga de poluição microbiana associada a atividade portuária (dragagem e águas de lastro) na região de doze portos do Mar Adriático (Bari, Ancona, Veneza, Trieste, Koper, Pula, Rijeka, Sibenik, Split, Ploce e Durres). ELGOHARY (2018) identificou uma correlação entre as atividades portuárias e a qualidade da água no Porto de Damietta (Egito). A movimentação intensa na água resulta em aumento dos sólidos totais dissolvidos e da turbidez, reduzindo a penetração da luz, eleva a temperatura e reduz o Oxigênio Dissolvido, tornando a área, propícia ao crescimento de patógenos e à reatividade dos metais pesados. No Estado do Pará, estudos sobre a qualidade da água são desenvolvidos sobre a influência das atividades antrópicas na Baía do Guajará e Rio Pará: “Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago água preta”, (OLIVEIRA, 2018); “Influência azonal e antrópica na qualidade da água e ecossistemas aquáticos da Amazônia Oriental: qualidade da água em ecossistemas amazônicos”, (DE SOUSA MOURA, 2021); “Análise de Metais nos sedimentos da baía do Guajará Belém – Pa”, (DOS SANTOS, *et al*, 2018); “Spatial-temporal analysis of the surface water quality of the Pará River Basin through statistical techniques”, (OLIVEIRA, *et al*, 2019).

Este artigo visa analisar a influência atividades do PVC na qualidade das águas do ERP.

Localização da Área de Investigação

O PVC (01°32'37.2''S/ 48°44'47.4''W) está localizado na Ponta Grossa (município de Barcarena), a 3,3 km a jusante da Vila Murucupi (antes denominado Vila do Conde), em frente ao ERP, formado pela confluência dos rios Tocantins, Guamá, Moju e Acará, e faz parte do PVC (PDZ - PVC, 2021). O acesso pode ser realizado, saindo de Belém, através da BR - 316 até o município de Marituba seguindo pela Alça Viária até o entroncamento com a PA - 151, e segue para a Vila do Conde, no km 2 da PA - 481.

Figura 13 – O Porto de Vila do Conde.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Caracterização da Área de Investigação

Clima

De acordo com Novais (2023), a região de estudo localiza-se na Zona Climática Tórrida (muito quente), situada no paralelo $11^{\circ}43'30''$, denominado de subequador meridional e apresenta características particulares, em que a insolação durante o ano é intensa e a duração do dia e da noite são aproximadamente iguais. A temperatura do ar, se mantém em média de $22,5^{\circ}\text{C}$ a $28,2^{\circ}\text{C}$, predominante em toda extensão da floresta amazônica.

Quanto à classificação do domínio climático, é atribuído ao equatorial úmido. Ainda, os domínios são subdivididos, que de acordo a quantidade de meses apresentam clima mais seco ou mais úmido. Assim, a região de estudo encontra-se no subdomínio oriental. A precipitação média é superior a 2.001 mm/ano , característica esta devido às influências dos ventos alísios oriundos do oceano Atlântico Norte (NOVAIS, 2023). O período de maior pluviosidade ocorre entre os meses de dezembro a maio, a precipitação acumulada está na faixa de 283.5 a 323.6

mm. Os meses entre agosto a novembro (período seco) apresenta índices que variam entre 128.7 a 120.1 mm. De acordo com Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), o índice de umidade no referido período varia de 88.1 a 83.7 %.

Condições hidrológicas

A área de estudo ocorre no trecho inferior do ERP, onde a vazão atinge o pico de 300.000 m^3/s (vazante) e 200.000 m^3/s (enchente), o que caracteriza um regime hidrológico turbulento, estratificado e difuso permitindo o avanço da salinidade dentro do estuário (PRESTES, 2016). Ainda, a variação do aporte fluvial está intimamente ligada ao regime de precipitação, sendo condicionado à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A estação chuvosa observada de dezembro a maio é influenciada pela atuação da ZCIT que está próxima ao litoral, quando a ZCIT é reposicionada ao Norte em agosto, ocorre a redução do volume da precipitação, caracterizando o período seco (RIBEIRO, 2022).

Estuário do Rio Pará

O ERP está inserido no Golfo Marajoara e corre paralelo ao estuário do rio Amazonas, é conectado a um conjunto de estuários, inseridos na área de drenagem do rio Pará. A componente semi-diurna apresenta a M_2 , como a principal forçante de maré de águas rasas, no entanto, durante o momento de maior descarga fluvial a estrutura vertical de salinidade fica diluída durante a estufa da baixamar no ERP (PRESTES, 2016).

O trecho estudado é classificado, como um grande sistema estuarino tropical e está inserido no estuário superior (Zona do Rio), os fundos estão na faixa de 15 a 35 m na foz, e 80 m (falha) no estuário superior. O ERP que recebe contribuições do Rio Amazonas, através do Estreito de Breves, que corre em direção leste ao sul da ilha do Marajó, até sua confluência com o rio Tocantins (AZEVEDO E EL-ROBRINI, 2023).

Condições geológicas e geomorfológicas

A região é sustentada pelos sedimentos do Grupo Barreiras, com arenitos, argilitos e conglomerados. Entretanto, na margem, afloram sedimentos Pós-Barreiras (Plioceno), formados por areias argilosas; e em segundo, sedimentos litorâneos (Quaternário),

compostos por areias e pelitos. Por fim, ocorrem sedimentos aluvionares (Holoceno) formados por areias, pelitos e cascalhos fluviais (SILVA JÚNIOR et al, 2022).

O PVC está localizado a margem direita do ERP, favorecendo a hidrodinâmica (enchente/vazante). Em Barcarena, a geomorfologia é formada pelo Planalto Rebaixado da Amazônia, com relevos ondulados até 60 m de elevação; presença de planícies aluviais, caracterizada como várzeas, com canais fluviais meandranes e planícies de inundações; a planície do estuário possui áreas com maré lamosa, influenciada pelas águas do rio Tocantins, rio Pará e praias estuarinas (EL ROBRINI, SILVA e COIMBRA, 2023).

Condições oceanográficas

O ERP tem características de macromaré, na zona costeira, mesomaré na zona de mistura e micromaré na foz do Rio Tocantins. O fluxo é unidirecional forçado pela energia potencial, já os fluxos bidirecionais causados pela maré em um padrão semidiurno ocorre ao longo de todo estuário, com saída de maré a 300 km de distância da foz. As correntes de maré atingem velocidade de $1,93 \text{ m.s}^{-1}$, podendo chegar a $2,9 \text{ m.s}^{-1}$, evidenciando padrões hidrodinâmicos intensos com inclusão da energia hidrocínética no sistema (PRESTES, 2016).

A distribuição de salinidade no ERP depende fortemente da variação da maré. No período chuvoso, a salinidade atinge valores maiores, do que no seco, exibindo gradiente de salinidade médio no período em que há alta e baixa descarga, com 3 e 9 PSU, apresenta rápida diluição e valores médios menores de 20 PSU (ROSÁRIO, 2016).

No trecho superior do ERP, a maré tem predomínio de regime semidiurno, com mistura acentuada, no período chuvoso, ocorrem a maré salina e no seco a maré dinâmica, a direção das correntes possui sentido SW/WSW (enchente) e ENE/NE (vazante) (EL ROBRINI, SILVA e COIMBRA, 2023).

Atividades do PVC

O PVC atua na movimentação de cargas diversas, e possui uma estrutura para o atendimento de grandes embarcações. A planta industrial em Barcarena é composta por empresas que realizam o beneficiamento da alumina, hidrato de alumina, alumínio, fabricação de vergalhões e cabos de alumínio. Insumos, como coque, piche, carvão, soda cáustica e óleo combustível são recebidos pelo porto (PDZ, 2020).

O PVC dispõe de edificação de 2.401 m de píer, que comporta 10 berços (101, 201, 301, 401, 402, 302 e 202) e dois pontos de atracação (R01 e R02), todos de uso público, além do Terminal de Granéis Líquidos (TGL), com 10 berços (501 e 502). De acordo com CDP (2023), o ano de 2020 teve destaque na movimentação de 147.559,47 ton. de containers (carga diversa), para navegação de longo curso; 142.723,05 ton. também de containers (carga diversa), 51.980,78 ton. de arroz e 14.636,32 ton. de madeira, para navegação de cabotagem.

Entretanto, em 2021, houve movimentação (navegação de longo curso) de alumina com 5.137.002,40 ton., hidróxido de alumínio com 613.200,22 de ton., manganês com 546.312, 76 ton., 183.539,90 ton. de soja; 149.873,51 ton. de milho e 65.304,38 ton. de minério de ferro.

Metodologia

Amostragem

Foram adquiridos dados ambientais durante duas campanhas: chuvoso (janeiro e março) e seco (agosto e setembro), durante os anos de 2020 e 2021. A coleta foi realizada em sete pontos nas adjacências do PVC (14 amostras, 7 - maré enchente e 7 - vazante) em um total de 28 amostras para cada parâmetro (pH, TEMP, CE, OD, TUR, COR, SAL, CT, CTT, STD, STS).

Análises físico-químicas e microbiológicas

Os dados foram disponibilizados pela CDP, as análises laboratoriais realizadas para a verificação da qualidade da água, seguiram os guias padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2017) e *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Tabela 01).

Tabela 18 - Parâmetros físico-químicos, siglas, símbolos, métodos e unidades.

Variável	Sigla/símbolo	Método	Unidade
Potencial Hidrogeniônico	pH	SMEWW, 23ª Ed. 4500-H+ B	
Temperatura	TEMP	SMEWW, 23ª Ed. 2550 B	°C
Salinidade	SAL	SMEWW, 23ª Ed. 2520 B	ppm
Condutividade Elétrica	CE	SMEWW, 23ª Ed. 2510 B	$\mu s. cm^{-1}$
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	SMEWW, 23ª Ed. 2510 A	$mg. L^{-1}$
Oxigênio Dissolvido	OD	SMEWW, 23ª Ed. 4500 O G	$mg. L^{-1}$

Variável	Sigla/símbolo	Método	Unidade
Turbidez	TUR	SMEWW, 23ª Ed. 2130 B	mg/L
Sólidos Totais em Suspensão	STS	Método Fotométrico 8006 HACH®	mg. L ⁻¹
Coliformes termotolerantes	CTT	SMEWW, 23ª Ed. 9223 B	NMP.100 mL ⁻¹

Fonte: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

Análises estatísticas

Após tabulação das 28 amostras, dos 11 parâmetros, adotando a maré enchente e vazante, e sazonalidade (períodos seco e chuvoso), as médias e desvios padrão foram calculados. Em seguida, o refinamento dos dados foi realizado, a fim de igualar os valores dentro de uma mesma unidade para uso posterior na Análise estatística de Componentes Principais (PCA ou ACP em português). Assim o refinamento dos dados brutos foi feito através de dois passos: (i) cálculo da média dos dados; (ii) subtração da média de todos os itens; (iii), após estes passos os dados refinados foram organizados e repassados para o software *Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis – PAST*, versão 4.13 para gerar a análise PCA e imagens gráficas relacionadas, além de gráficos individuais de cada parâmetro estudado, separado pelos pontos de coleta e regime de marés, também como cálculos de média, moda e mediana.

Resultados

Parâmetros físico-químicos

O pH atingiu uma média próxima da neutralidade de 7,26 (período chuvoso), e 7,68 (seco). No entanto observou-se valores (5,50 a 6,09) isolados, com grau de acidez maior, no chuvoso, e maré vazante (março de 2021), registrados, o período da maré em que a água apresentou maior acidez, foi durante a maré vazante, com média de 6,27 no período chuvoso (Tabela 19).

Tabela 19 - Pontos de coleta, valores alterados de pH.

Ponto de Coleta	Valor (pH)
P01	5,95
P02	5,92
P03	5,60

Ponto de Coleta	Valor (pH)
P04	5,61
P05	5,50
P06	5,51
P07	6,09

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A TEMP da água, apresentou média de 28,63 °C no período chuvoso e 30,33 °C no seco (2020) e máxima de 31,75 °C. Em 2021 valores médios foram aproximados de 29,30 °C e 30,23 °C nos mesmos períodos respectivamente, caracterizando a variação climática equatorial úmida conforme classificação de NOVAIS (2023).

A CE apresentou 53,82 $\mu\text{s. cm}^{-1}$ e variação máxima de 121 $\mu\text{s. cm}^{-1}$ (chuvoso de 2020) e 51,68 $\mu\text{s. cm}^{-1}$ e variação máxima de 106 $\mu\text{s. cm}^{-1}$ (seco de 2020). A TUR apresentou média e variação máxima maior no período chuvoso (2020) de 19,5 UNT e 31,4 UNT respectivamente, do que o seco com média de 14,21 UNT e variação máxima de 25,7 UNT (Tabela 03). No ano de 2021 variação semelhante é observada, com média de 18,62 UNT, máxima de 27,4 UNT (período chuvoso), média de 14,97 UNT e variação máxima de 24,6 UNT (seco).

O CTT, de forma semelhante ao parâmetro TUR e CE de 2020, tiveram valor maior no período chuvoso, média de 360,4 NMP. 100 ml⁻¹ e máxima de 1986,3 NMP. 100 ml⁻¹, enquanto que no seco o valor médio foi de 198,22 NMP. 100 ml⁻¹ e máximo de 1203,3 NMP. 100 ml⁻¹. Em 2021 e também no período chuvoso obteve média de 538,08 NMP. 100 ml⁻¹ e variação máxima de 2419,6. No período seco, o valor médio foi de 225,08 NMP. 100 ml⁻¹ e variação máxima de 1203,3 NMP. 100 ml⁻¹, e mostra que excedeu os valores máximos de 200 NMP. 100 ml⁻¹ estabelecido na Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

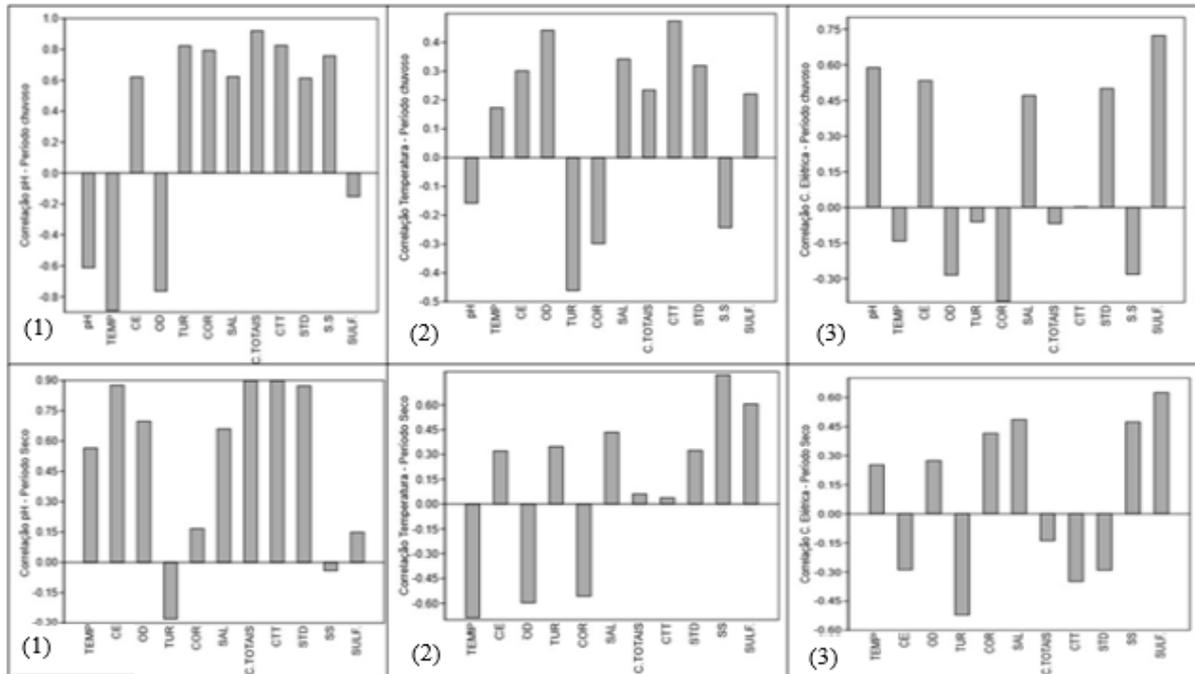
O OD teve valor maior proporcional ao período chuvoso dos dois anos, em que em 2020, a média foi de 7,64 mg. L⁻¹ e máximo de 10,09 mg. L⁻¹ (período chuvoso), em seguida a média foi de 5,41 mg. L⁻¹ e máximo de 6,35 mg. L⁻¹ (seco). Já em 2021, a média foi de 6,72 mg. L⁻¹ com variação máxima de 10,26 mg. L⁻¹, o menor valor registrado foi de 4,88 mg. L⁻¹, na maré enchente (período chuvoso) e em seguida no segundo semestre os valores para média e variação máxima foram, respectivamente: 5,70 mg. L⁻¹ e 8,1 mg. L⁻¹. O metal AL, foi identificado somente a partir de 2021, com valor médio de 0,21 mg/L (período chuvoso), no

entanto a maior concentração foi de 0,43 mg/L (março), maré enchente, excedendo o valor de 0,2 mg/L preconizado na Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

Testes estatísticos

As figuras Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17 representam as correlações individuais, de um parâmetro em relação aos demais. No primeiro bloco (Figura 14) são analisadas as correlações entre pH, TEMP. e CE. Assim, a correlação do pH, foi mais forte com: CE, TUR, COR, SAL, C. TOTAIS, CTT, S. S (período chuvoso) e correlação negativa com TUR e STS (período seco); A temperatura teve correlação acentuada com: CE; OD, SAL, CT, CTT, STD, pH, TUR e COR (período chuvoso), no período seco não foi correlata com O.D e COR.

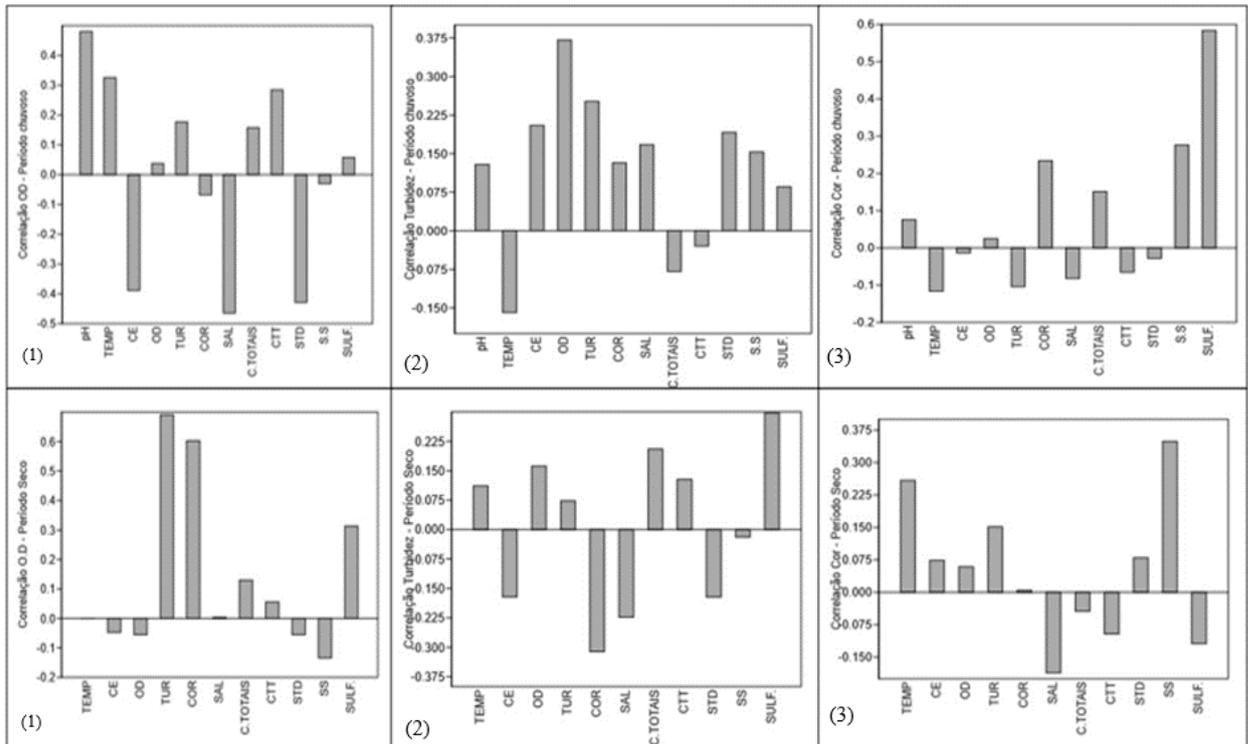
Figura 14 - Gráficos de correlação pH (coluna 01), Temperatura (coluna 02) e Condutividade Elétrica (coluna 03), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No terceiro bloco (Figura 15), foram analisados OD, TUR, COR e O.D. correlacionado positivamente com pH, TEMP, TUR, C. TOTAIS, CTT (período chuvoso) e negativamente com TUR, COR, CTOTAIS e CTT (seco); A TUR, também não se correlacionou positivamente com a TEMP, C. TOTAIS E CTT (chuvoso) e CE, COR, SAL, STD e SS (seco). Por fim a COR, que esteve relacionada positivamente com pH, OD, C. TOTAIS, S.S (chuvoso), como também TEMP, CE, OD, TUR, STD, S.S (seco).

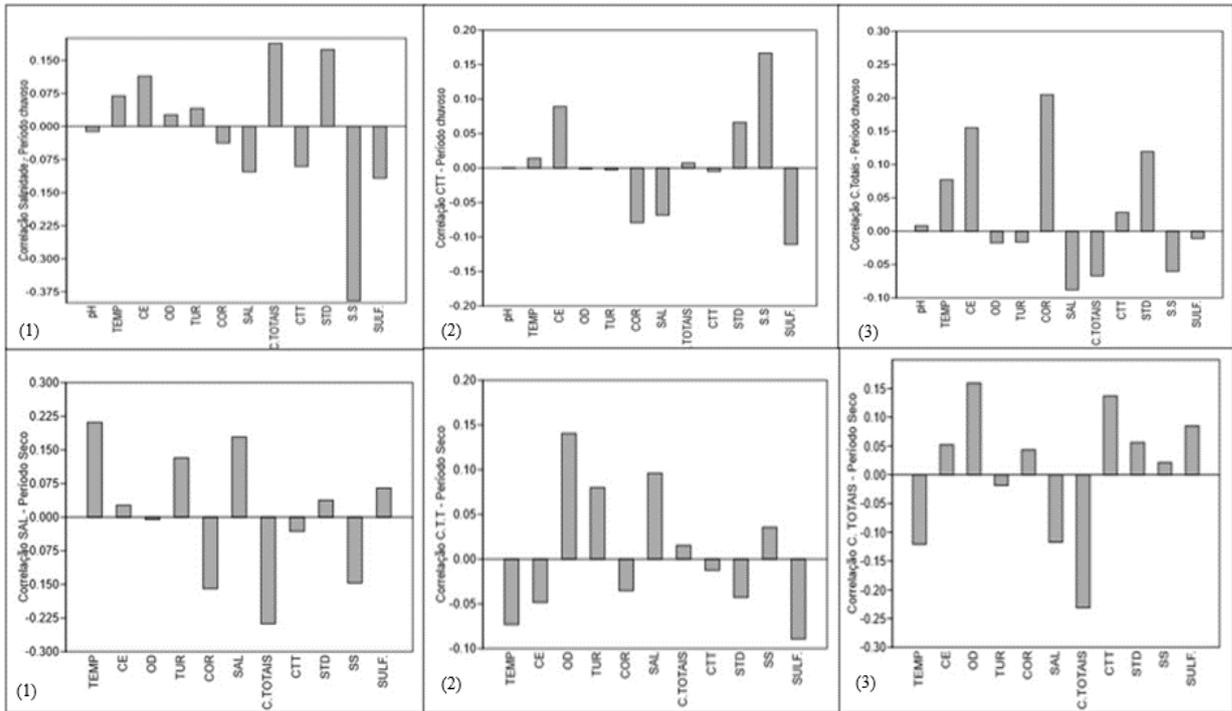
Figura 15 - Gráficos de correlação O.D (01), Turbidez (02) e Cor (03), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O terceiro bloco (Figura 16): a Salinidade se correlacionou positivamente com TEMP, CE, OD, TUR, C. TOTAIS, STD (período chuvoso) e no seco com TEMP, CE, TUR, STD. Os CTT tiveram correlação positiva com TEMP, CE, C. TOTAIS, STD, S.S (chuvoso) e no seco apenas com OD, TUR, SAL, S.S. Já os C. Totais, no período chuvoso teve correlação positiva com TEMP, CE, COR e STD e no seco com CE, OD, COR, CTT, STD e SS.

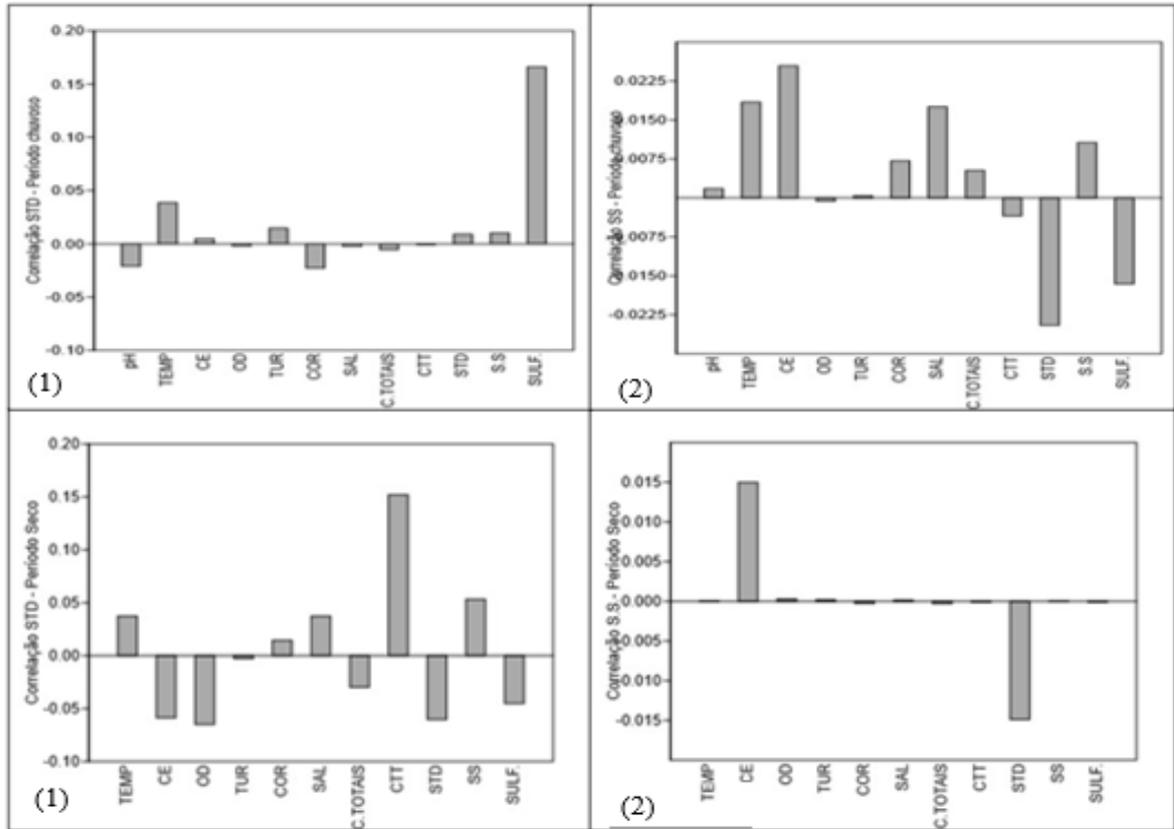
Figura 16 - Gráficos de correlação Salinidade (01), Coliformes Termotolerantes (CTT) (02) e Coliformes Totais (C. Totais) (03), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Por fim o quarto e último bloco de correlação (Figura 17), avaliou os STD, que no período chuvoso se correlacionou com TEMP, TUR, S.S, no seco com TEMP, COR, SAL, CTT e S.S. Os S.S tiveram correlação com TEMP, CE, COR, SAL e C. TOTAIS no período chuvoso e no seco apenas com CE. Em geral, a correlação avaliada foi satisfatória, pois apresenta a interação e linearidade entre parâmetros.

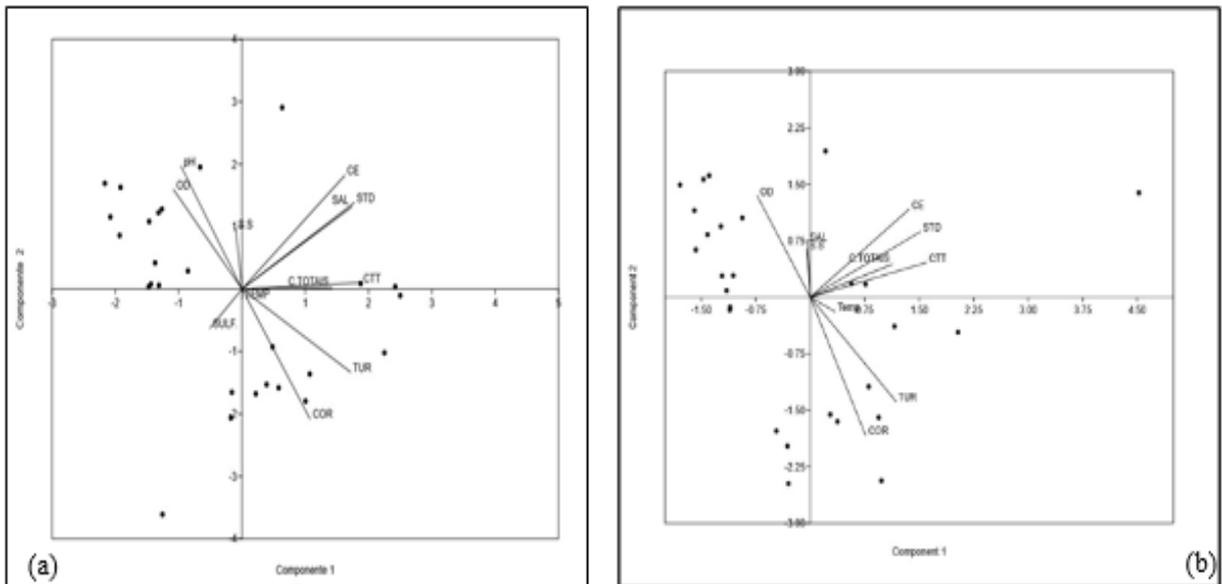
Figura 17 - Gráficos de correlação Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (01) e Sólidos em Suspensão (S.S) (02), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Além dos testes de correlação individuais, a Análise PCA, também calculada observou os períodos sazonais e regimes de maré, no período chuvoso, tanto na enchente quanto na vazante, o comportamento foi semelhante no que diz respeito a componente principal 1(CP 1 - pH) que representou uma covariância de 37,24% em relação aos demais parâmetros, e a formação de grupos: Cor e TUR, mais afastados da CP 1, e o segundo grupo dos CTT, CTT e o terceiro grupo SAL e STD, que estavam mais próximos ao pH (Figura 18).

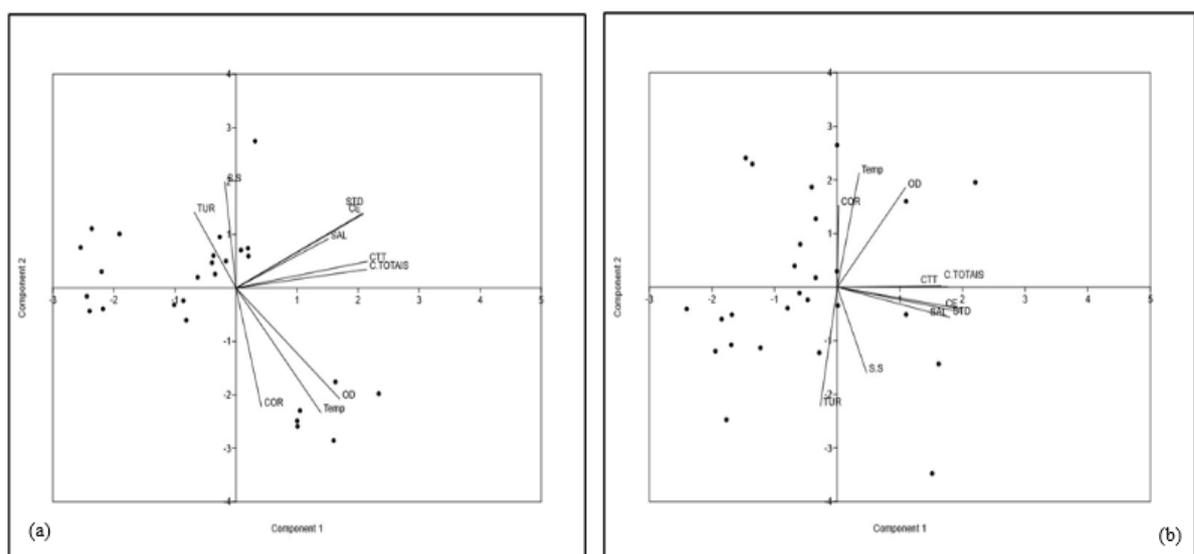
Figura 18 (a) e (b)- Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso, regime de maré enchente (a) e maré vazante (b), gerado a partir do software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No período seco a Análise PCA formou grupos ao entorno da CP1, mais afastados como Cor, TEMP, OD, TUR e S.S. (maré enchente) e os grupos mais próximos observados ao eixo 'x' da CP1, foram CTT e C. TOTAIS, SAL, CE e STD (Figura 19).

Figura 19 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso (a) e seco (b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Discussão

De acordo com a Resolução CONAMA n° 357, o ERP reflete através de seus usos uma classificação sendo de Classe II, água doce, onde é destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, recreação de contato primário e atividade de pesca. Uma vez que a população utiliza o recurso para consumo e atividade de pesca, além da navegação. Atualmente, a concessionária de Barcarena, pretende alcançar 24 % de cobertura de esgotamento sanitário (Águas de São Francisco, 2023). Conforme a plataforma Municípios e Saneamento (2023), somente 36,35 % da população é atendida com abastecimento de água.

Forçantes no estuário superior

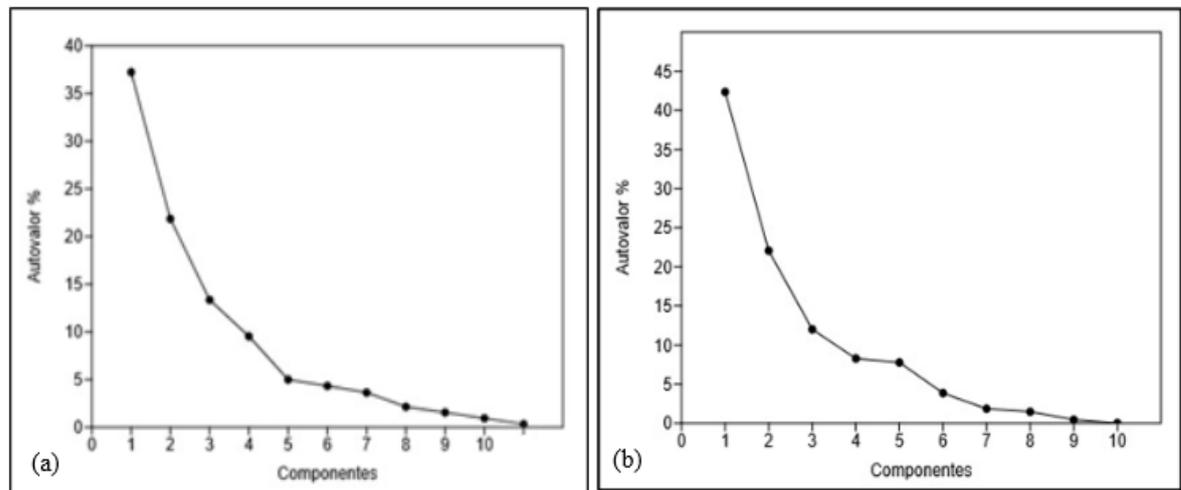
GOMES et al. (2013) estabelecem que o estuário amazônico é influenciado pela macromaré (5,6 m), por sua vez transporta grande quantidade de sedimentos, com nutrientes e matéria orgânica, devido características geomorfológicas, e ocorrência de manguezais nas margens. Ainda, o clima da região influencia a qualidade das águas estuarinas, devido ao alto índice de pluviosidade e escoamento superficial continental também contribui com o transporte de sedimentos.

No ERP, a principal forçante M_2 gera componentes de maré semidiurna de águas rasas. A salinidade, identificou no período de menor descarga fluvial, gradientes intensos de salinidade. Em contrapartida, no período de maior descarga fluvial a estrutura vertical de salinidade foi diluída durante a estufa da baixa-mar (PRESTES, 2016). Assim, no período chuvoso a salinidade varia de 0-11, e no seco de 1,7-2, esta variação está intimamente ligada às oscilações de onda de maré.

Análise de Componentes Principais (PCA)

Os testes estatísticos de PCA refletiram para ambos os períodos sazonais (seco e chuvoso), o destaque à duas componentes: pH e TEMP, onde no período chuvoso, juntos explicam cerca de 59,09% da variância total, indicando uma forte relação linear entre as duas componentes. No período seco, a mesma relação é observada, e maior por parte do pH (44,95%) e temperatura (24,16%), portanto as análises geradas estão pautadas nestas duas componentes (Figura 20 e 11) quanto ao regime de marés a covariância permaneceu inalterada.

Figura 20 (a) e (b) - Percentual de correlação entre as componentes pH (01), TEMP (02), OD (3), TUR (04), COR (05), SAL (06), C. TOTAIS (07), CTT (08), STD (09), S.S (10), SULF. (11), no período chuvoso (a) e seco (b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A análise de componentes principais permitiu compreender que os parâmetros estão condicionados e afetados pela influência dos períodos de sazonalidade (chuvoso e seco), e o regime de maré não afeta os níveis de poluição nos estuários. Em períodos onde a precipitação é maior, a diluição de matéria orgânica nos estuários é mais acentuada, no entanto toda a poluição atmosférica, material particulado, que estão presentes na atmosfera e solo são “lavados” e dispersos no corpo hídrico, no caso os metais pesados, como o alumínio (Al) que reagem significativamente com o pH conforme discutido extensivamente neste artigo, parâmetro que explicou uma covariância de mais de 50% em ambos períodos sazonais, seguido da TEMP e OD.

Parâmetros físico – químicos

A percepção dos parâmetros físico-químicos nos dois anos foi semelhante, evidenciando uma forte influência da sazonalidade do clima equatorial amazônico. As variações estão intimamente ligadas à precipitação, aos ventos alísios, à descarga fluvial e aos efeitos de maré. As temperaturas das águas estuarinas permaneceram relativamente altas e estáveis, especialmente durante o período seco (agosto e setembro), devido à intensa insolação na região amazônica, característica típica das águas tropicais.

Os parâmetros que apresentaram desempenho semelhante nos dois anos consecutivos (2020 e 2021), com valores maiores e próximos, entre os dois anos, no período chuvoso: TUR (19,5

e 18,62 UNT); CE (53,82 e 51,39 $\mu\text{s.cm}^{-1}$); OD (7,64 e 6,72 mg.L^{-1}) e CTT (360,4 e 538,08 NMP.100 mL^{-1}). No período seco, os valores foram nos dois anos seguidos: TUR (14,21 e 14,97 UNT); CE (51,68 e 44,36 $\mu\text{s.cm}^{-1}$); OD (5,41 e 5,70 mg.L^{-1}) e CTT (198,22 e 225,08 NMP.100 mL^{-1}). Os parâmetros CTT e OD excederam os limites estipulados na Resolução CONAMA n° 357/2005, de acordo com a classificação do corpo hídrico, e o metal pesado Al, também encontrado em alta concentração no ano de 2021.

Alumínio e pH

Durante a atividade portuária no PVC, entre os diversos tipos de operações, ressalta-se o carregamento de bauxita (matéria prima do alumínio), realizado através de descarregador de navios e elevador de caçambas, onde podem ocorrer perdas significativa do material, na água, píer e dispersão na atmosfera, uma vez que não há dispositivos adequados que impeçam essa dispersão.

O pH foi o parâmetro enfatizado, mostrando valores constantes com pouca variação e tendência a alcalinidade, com o mínimo de 5,51 (ácido) e máximo de 8,26 (básico). Foi destacada a presença do alumínio, devido à movimentação significativa de bauxita pelo PVC, com valores acima dos padrões estabelecidos da Resolução CONAMA n° 357/2005 de 0,2 mg/L de alumínio dissolvido na água, assim dentre os sete pontos de coleta, o valor mínimo foi de 0,32 mg/L e máximo de 0,43 mg/L, inconforme com a legislação vigente.

Assim, o alumínio é altamente reativo e tende a formar óxidos de alumínio (Al_2O_3), sendo insolúvel em um pH entre 6,0 e 8,0. Isso leva ao aumento das concentrações de alumínio na água, o que pode resultar na peroxidação lipídica nos hepatócitos da ictiofauna, afetando seu metabolismo e fisiologia reprodutiva (ABDALLA *et al.*, 2019).

Além da população que vive nos entornos destas atividades, dentro da cadeia alimentar os seres humanos são consumidores do pescado, conforme o Ministério da Agricultura e Pecuária (BRASIL, 2023), no país o consumo de peixes pela população brasileira é em média 9kg/hab./ano, e na região amazônica o consumo pelas comunidades ribeirinhas chega a per capita de 150 kg/ano. Hu *et al.* (2020) destacam os efeitos da contaminação de metais pesados no metabolismo humano através de fontes diversas, como alimentos, água e ar contaminado. No ser humano, acumulam-se em rins, cérebro, coração e fígado e destroem os processos metabólicos do corpo e desequilíbrios antioxidantes e os principais metais pesados são cádmio, alumínio, mercúrio e ferro.

PRASAD *et al.* (2020) concluíram que a poluição por metais pesados são uma séria ameaça, pois estão propensos à bioacumulação e amplificação em níveis tróficos. Além de, alterar o caráter ecológico dos sistemas fluviais e oferecer risco à saúde, a maior dissolução destes metais é maior no período sazonal chuvoso.

Não somente a bauxita, mas outras operações de carregamento são também movimentadas, como o fertilizante químico, importado frequentemente, quando recebido e retirado por meio do “*grab portuário*” (maquinário) dos porões dos navios e transferido para caminhões, neste processo ocorre a lixiviação de material no píer e no rio e dispersão de material particulado no ar.

Diante disso, CHEN (2019) identificou a associação de doenças, como câncer de pâncreas, cérebro, leucemia, tireóide e cólon associadas à contaminação de metais pesados na água na China Continental, exceto as regiões de Hong Kong, Macau e Taiwan.

DHANKHAR e KUMAR (2023) evidenciam as consequências dos fertilizantes presentes na água, e que no corpo humano causam graves problemas de saúde, como dores no estômago, de cabeça, tonturas, vômito, náuseas, problemas nos olhos e na pele. Exposições prolongadas podem resultar em efeitos de 102 a 104 vezes maior em relação a poluição do ar e água, e que podem causar dificuldades respiratórias, erupções cutâneas, alergias leves, câncer, neurotoxicidade e anomalias do sistema reprodutor.

Impactos ambientais

Oriundos da atividade portuária, em várias etapas, seja na fase de implantação, seja na fase de operação do empreendimento e agrupados em dois grupos, o primeiro composto pela biota aquática, qualidade da água e dos sedimentos, e o segundo relacionado a saúde e qualidade de vida humana. Em relação ao primeiro grupo são observados os impactos, como descargas de águas residuais, introdução de espécies não nativas e colisões com animais selvagens (JÄGERBRAND *et al.*, 2019). Em relação à sensibilidade estuarina, efeitos que atingem negativamente o nível trófico base da cadeia alimentar, os plânctons, trazendo consequências negativas em diversos níveis da cadeia (SHAIKH *et al.*, 2021). Em Cochin, Índia, VELAYUDHAM *et al.* (2020) apontam a redução da comunidade de macrobentos próxima a área portuária.

Quanto à qualidade dos sedimentos, também afetados pela atividade portuária, concentrações significativas de metais pesados (AL, B, Co, Mo, Ba, Sn, Sr e Ti) foram

encontrados em amostras realizadas em seis portos da Austrália (JAHAN & STREZOV, 2018). Outro fator é a ressuspensão de sedimentos e a erosão costeira, frequente na área portuária (JÄGERBRAND *et al.*, 2019).

Em relação a saúde e qualidade de vida humana efeitos, como emissões de gases do efeito estufa, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado são oriundos desta atividade (JÄGERBRAND *et al.*, 2019). Na região de Barcarena, próxima ao PVC e a comunidades ribeirinhas PEREIRA (2019) destaca altos níveis de metais pesados encontrados na população que fez parte do estudo, em que cerca de 80% do grupo amostral apresentou concentrações de Pb acima do limite recomendado. Elementos químicos, como Cr e Ni, bioacumulam-se no corpo humano, causando problemas graves no sistema nervoso, cardiovascular e respiratório (RODRIGUES e HAZEU, 2019; PEREIRA, 2019).

Medidas Mitigadoras

Assim, as principais medidas destacadas por DU *et al.* (2019), ALAMOUSH, BALLINI e DALAKLIS (2021), TWRDY e ZANNE (2020), TEERAWATTANA e YANG (2019) são investimentos em modernizações mais sustentáveis das ferramentas portuárias; formulação de controles e planos com respostas imediatas; lavadores de chaminés de pequenas partículas (SO_x e NO_x); combustíveis alternativos limpos; novas tecnologias que realizem o tratamento das águas de lastro e redução do tempo de resposta dos navios; tecnologias que amenizem os ruídos; utilização dos resíduos da dragagem para uso próprio; uso de água com lodo de celulose para reduzir a dispersão de material particulado na atmosfera, especialmente em pilhas de carvão e minério; auditorias internas anuais, revisão de indicadores ambientais e a implementação de Sistemas de Gestão Ambiental conforme a ISO 1400 para alcançar certificação.

Conclusão

Os resultados destacam os impactos das atividades portuárias no ERP, e apontam a influência significativa das operações portuárias na qualidade da água, da região. Em destaque a correlação do pH com o alumínio, mostrando que estão interligados de acordo com a sazonalidade e a concentração de poluentes no estuário. Refletindo a necessidade de implementar medidas mitigadoras e práticas sustentáveis para enfrentar os desafios ambientais específicos, como o transporte de minérios e fertilizantes, que têm potencial para afetar os ecossistemas aquáticos da região estuarina do ERP.

Assumindo a gestão adequada, investimentos em tecnologias mais limpas e promoção de práticas sustentáveis aplicadas a todas as fases das operações portuárias frente a estes impactos, a integridade dos recursos hídricos locais, qualidade do ar e qualidade de vida da população que reside próximo será garantida.

Este estudo destaca os desafios atuais e sugere futuras pesquisas para aperfeiçoar a qualidade da gestão ambiental portuária em questão. Além de salientar a promoção de uma cultura de responsabilidade ambiental essencial ao processo, portanto ações semelhantes exigem implementações imediatas, contínuas e efetivas. Por fim, contribui para entender a relação complexa entre a atividade e o meio ambiente, fornecendo subsídios para discussões posteriores.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Naval (PPGENAV), do Instituto de Tecnologia (ITEC) e ao Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da Universidade Federal do Pará; a Companhia de Docas do Pará (CDP), que nos cedeu gentilmente os dados ambientais.

Referências

ABDALLA, R. P. *et al.* *Exposure to aluminum, aluminum+ manganese and acid pH triggers different antioxidant responses in gills and liver of Astyanax altiparanae (Teleostei: Characiformes: Characidae) males. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 215, p. 33-40, 2019.

ÁGUAS DE SÃO FRANCISCO. Disponível em: <https://aguasdesaofrancisco.com.br/esgotamento-sanitario/>. Acesso em: 29 ago.2023.

ALAMOUSH, A. S.; BALLINI, F.; DALAKLIS, D. *Port sustainable supply chain management framework: Contributing to the United Nations' sustainable development goals. Maritime Technology and Research*, v. 3, n. 2, p. 137-161, 2021.

AZEVEDO, T. N. A.; EL-ROBRINI, M.; SAAVEDRA, O. R. *Assessment of Tidal Current Potential in the Pará River Estuary (Amazon Region–Brazil). Cleaner Energy Systems*, v.6, dez. 2023.

BRASIL, 2023. Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/mpa/rede-do-pescado/consumo-e-tipos-de-peixes-no-brasil>. Acesso em: 30 ago. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 de março de 2005. Seção 1, p. 65.

CARDANHA, B. H. *et al.* *Logística fluvial de grãos no Arco Norte: um estudo da eficiência operacional de comboios*. 2020. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) – Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Manaus, 2020.

CDP, 2022. *Notícias*. Disponível em: <https://www.cdp.com.br/estudos-sobre-o-profundamento-dos-canais-quiriri-e-espadarte-ampliam-as-expectativas-de-escoamento-pelo-porto-de-vila-do-conde/>. Acesso em: 06 dez.2023.

CDP, 2023. *Boletim Estatístico*. Disponível em: <https://www.cdp.com.br/estatisticas/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CHEN, B. *et al.* *In search of key: Protecting human health and the ecosystem from water pollution in China*. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 101-111, ago. 2019.

DE SOUSA MOURA, H. T. G. *et al.* *Influência sazonal e antrópica na qualidade da água em ecossistemas aquáticos da Amazônia Oriental: qualidade de água em ecossistemas amazônicos*. Researchgate, dez.2021.

DHANKHAR, N.; KUMAR, J. *Impact of increasing pesticides and fertilizers on human health: A review*. **Materials Today: Proceedings**, abr. 2023.

DOS SANTOS, L. F.; DE SOUSA, A. M. L.; FAIAL, K. D. C. F. *Análise de metais no sedimento na baía do Guajará Belém/PA*. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 314-325, 2018.

DU, K.; MONIOS, J.; WANG, Y. *Chapter 11 – Green Ports Strategies in China*. In: **Green ports. Inland and Seaside Sustainable Transportation Strategies**, p. 211-229. 2019.

ELGOHARY, T. *The relation between cargo operation and water pollution in Damietta harbor*. **Journal of Al-Azhar University Engineering Sector**, v. 13, n. 46, p. 1-13, 2018.

HU, B. *et al.* *Current status, spatial features, health risks, and potential driving factors of soil heavy metal pollution in China at province level*. **Environmental Pollution**, v. 266, p. 114961, 2020.

INMET, 2023. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em: 15 fev.2023.

JÄGERBRAND, A. K. *et al.* *A review on the environmental impacts of shipping on aquatic and nearshore ecosystems*. **Science of the Total Environment**, v. 695, dez. 2019.

JAHAN, S.; STREZOV, V. *Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metals in the sediments of seaports of NSW, Australia*. **Marine pollution bulletin**, v. 128, p. 295-306, 2018.

LUNA, G. M. *et al. Status of faecal pollution in ports: A basin-wide investigation in the Adriatic Sea*. **Marine pollution bulletin**, v. 147, p. 219-228, out. 2019.

EI-ROBRINI, M.; SILVA, P. V. M.; COIMBRA, M. V. R. *MORFODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM PRAIAS AMAZÔNICAS DE MESO-MARÉS: O CASO DA VILA DO CONDE (BARCARENA/PARÁ)*. **Caderno de Geografia**, v.33, n.75, 2023.

Municípios e Saneamento. 2023. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/>. Acesso em: 29 ago.2023.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. *Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais*. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 1-39, 2023.

OLIVEIRA, J. C. *et al. Spatial-temporal analysis of the surface water quality of the Pará River Basin through statistical techniques*. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, p. e2322, 2019.

OLIVEIRA, G. M. T. S. *et al. Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil)*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 599-605, 2018.

PARÁ. Assembleia Legislativa do Estado. Relatório final: Comissão Parlamentar de Inquérito: "Danos ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Pará". Belém: ALEPA, 2018. Disponível em: https://www.alepa.pa.gov.br/midias/midias/135_0445fa8da93940afabc5c36edd7ab1e1.pdf. Acesso em: 07 dez.2023.

PAZ, A. C.; FRÉDOU, F. L.; FRÉDOU, T. *Caracterização da atividade pesqueira em Vila do Conde (Barcarena, Pará), no estuário amazônico*. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 6, p. 307-318, 2011.

PRASAD, S. *et al. Heavy metal pollution in surface water of the Upper Ganga River, India: human health risk assessment*. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 11, pág. 742, 2020.

PRESTES, Y. O. *Interações Físicas entre o Estuário do rio Pará e a Plataforma Continental no Norte do Brasil*. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Pernambuco. 2016.

RIBEIRO, S. R. *et al. Morfogênese e evolução paleogeográfica da foz do Rio Tocantins, Estado do Pará, durante o Holoceno*. Tese de Doutorado – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.

RODRIGUES, J. C. O ARCO NORTE E AS POLÍTICAS PÚBLICAS PORTUÁRIAS PARA O OESTE DO ESTADO DO PARÁ (ITAITUBA E RURÓPOLIS): APRESENTAÇÃO, DEBATE E ARTICULAÇÕES. **Revista NERA**, n. 42, p. 202-228, 2018.

ROSÁRIO, R. P. *et al.* *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará*. 2016. 138 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2016. Programa de Pós – Graduação em Geofísica.

SERAFIN, I. T.; HENKES, J. A. *Água de lastro: um problema ambiental*. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 92, jun. 2013.

SHAIKH, S. M. S. *et al.* *Impact of Port and harbour activities on plankton distribution and dynamics: A multivariate approach*. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112105, 2021.

SILVA JÚNIOR, A.G.D. *et al.* *Vulnerabilidade e risco à erosão costeira: Estuário do Rio Pará*. *Gestão de riscos e desastres (livro eletrônico): experiências e desafios*, Belém, Pa, Programa de Pós-graduação em Gestão de Risco e Desastres na Amazônia, p. 7-19, 2022.

TEERAWATTANA, R.; YANG, Y. *Environmental performance indicators for green port policy evaluation: case study of Laem Chabang port*. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 35, n. 1, p. 63-69, 2019.

TWRDY, E.; ZANNE, M. *Improvement of the sustainability of ports logistics by the development of innovative green infrastructure solutions*. **Transportation Research Procedia**, v. 45, p. 539-546, 2020.

VELAYUDHAM, N. *et al.* *Macrobenthic diversity and community structure at Cochin Port, an estuarine habitat along the southwest coast of India*. **Regional Studies in Marine Science**, v. 34, p. 101075, 2020.

ANEXO II

**INFLUÊNCIA DAS ATIVIDADES PORTUÁRIAS NA QUALIDADE DAS
ÁGUAS ESTUARINAS NOS ENTORNOS DO TERMINAL
PETROQUÍMICO DE MIRAMAR (SETOR CONTINENTAL
ESTUARINO - AMAZÔNIA ORIENTAL)**

RESUMO

O Terminal Petroquímico de Miramar (TPM) está situado à margem direita da baía do Guajará (Belém, Pará). O clima é equatorial úmido (subdomínio oriental), com precipitação superior a 2.001 mm/ano, a temperatura do ar se mantém em média de 22,5 °C a 28,2 °C, ventos do Nordeste com média diária de 1,06 $m s^{-1}$, e a mesomare atinge altura máxima de 3,7 m. O artigo objetiva analisar a influência das atividades portuárias do TPM na qualidade das águas da Baía do Guajará, utilizando a metodologia estatística de Análise de Componentes Principais com auxílio do software PAST 4.3. Foram realizadas 04 campanhas sazonais de amostragem (chuvoso - 2, seco - 2, 2020 e 2021), em 5 pontos de coleta no entorno do TPM, em momentos de enchente e de vazante. Os procedimentos foram realizados conforme o Guia americano *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (SMEWW)*. Os resultados permitiram inferir que, no TPM, valores significativos na concentração de Coliformes termotolerantes (CTT) (períodos chuvoso e seco), excederam o limite máximo da Resolução CONAMA n° 357 e baixa concentração de Oxigênio Dissolvido (OD) de 3,42 mg/L, e intensificado pela presença de um grau de acidez elevado, os parâmetros de Coliformes Termotolerantes, turbidez e Condutividade Elétrica (CE) tiveram valores médios elevados, respectivamente de 104.911,00 NMP. 100 ml^{-1} , 66,94 NTU, 44,38 $\mu s. cm^{-1}$ no chuvoso, a concentração de OD foi de 4,30 $mg. L^{-1}$, similar ao período seco, com 4,23 $mg. L^{-1}$. Assim, sugere-se medidas mitigadoras de modernização de equipamentos e monitoramento contínuo da água.

Palavras-chave: Terminal Petroquímico de Miramar; Belém; Baía do Guajará; Sazonalidade.

***INFLUENCE OF PORT ACTIVITIES ON THE QUALITY OF ESTUARINE WATER AT THE
MIRAMAR PETROCHEMICAL TERMINAL (SECTOR 03: ESTUARINE CONTINENTAL -
EASTERN AMAZON)***

ABSTRACT

The Miramar Petrochemical Terminal (MPT) is located on the right side of Guajará Bay (Belém, Pará). The climate is humid equatorial (eastern subdomain), with precipitation exceeding 2,001 mm/year, the air temperature remains on average between 22.5 °C and 28.2 °C, winds from the Northeast with a daily average of 1.06 m/s^{-1} , and the mesotidal reaches a maximum height of 3.7 m. The article aims to analyze the influence of MPT port activities on the water quality of Guajará Bay, using the statistical methodology of Principal Component Analysis with the aid of PAST 4.3 software. Four seasonal sampling campaigns were carried out (rainy - 2, dry - 2, 2020 and 2021), at 5 collection points around the MPT, in times of flood and low water. The procedures were carried out in accordance with the American Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (SMEWW) Guide. The results allowed us to infer that, in the MPT, significant values in the thermotolerant coliform concentration (rainy and dry periods) exceeded the maximum limit of CONAMA Resolution n° 357 and a low concentration of Dissolved Oxygen (DO) of 3.42 mg/L, and intensified by the presence of a high degree of acidity, the parameters of Thermotolerant Coliforms, turbidity and Electrical Conductivity (EC) had high average values, respectively of 104,911.00 NMP.100 ml^{-1} , 66.94 NTU, 44.38 $\mu s. cm^{-1}$

in the rainy season, the DO concentration was 4.30 mg/L^{-1} , similar to the dry period, with 4.23 mg/L^{-1} . Therefore, mitigating measures of equipment modernization and continuous water monitoring are suggested.

Keywords: Miramar Petrochemical Terminal; Belém; Guajará Bay; Seasonality.

Introdução

A baía do Guajará, localizada na Amazônia brasileira, desempenha um papel vital na manutenção da biodiversidade e no equilíbrio ambiental. No entanto, a expansão das atividades portuárias em locais estratégicos, como o TPM, em Belém, tem suscitado crescente preocupação quanto aos potenciais impactos ambientais, especialmente na qualidade da água estuarina.

Na região Norte, destaca-se a abundância de rios navegáveis de grande extensão. A Hidrovia do rio Amazonas, é responsável pelo escoamento da produção da região, representando 65% e alcança 29 municípios dos estados do Amapá, Pará e Amazonas, as cargas movimentadas em sua maioria são grãos, combustíveis, óleos e produtos diversos (CARDANHA, 2020).

A baía do Guajará tem sua formação através da confluência entre os rios Acará e Guamá, se estende até 30 km de distância e possui 3,9 km de largura e está a 120 km de distância do Oceano Atlântico. Está cercada por ilhas ao seu entorno, dentre elas a ilha Jararaca, Ilhas das Onças, Paquetá-Açu e Jutuba (MORAES, 2018).

O TPM, inserido na malha urbana de Belém é responsável pela distribuição de combustíveis para a cidade e demais municípios do Estado. O terminal atua com ambos tipos de navegação, como a cabotagem e a de longo curso, somente em 2020, os três produtos mais comercializados em ambas modalidades, foram: 890.842,85 ton de óleo diesel; 473.314,81 ton de gasolina e 265.113,50 ton de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) (CDP, 2023).

O desenvolvimento de atividades que movimentam este tipo de carga (produtos químicos e petrolíferos) oferece uma infinidade de riscos e impactos ambientais, com potenciais consequências adversas para o ecossistema aquático e as comunidades que dependem diretamente dos recursos naturais locais. As principais fontes de poluição neste tipo de atividade, que atua com derivados do petróleo como o TPM, ocorrem no transporte marítimo, vazamentos e derrames de óleo bruto na água, descargas de águas de lastro e águas servidas dos navios, além do próprio processo de combustão de combustíveis fósseis, liberados pelas chaminés de navios (LI et al., 2019).

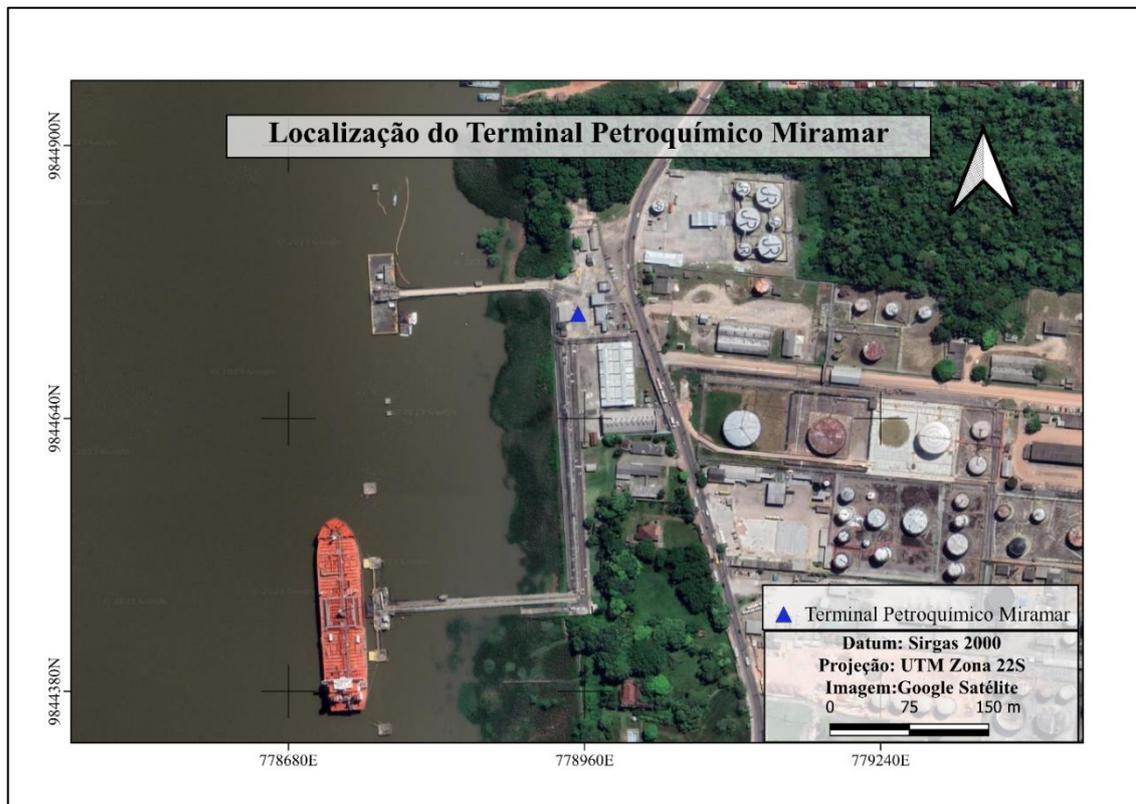
Estas consequências são observadas como o estudo de LI et al. (2015), que ressaltam a alta contaminação por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (derivados do petróleo) presentes na água da região portuária de Yangshan, China. SIMPSON et al. (1996) destacam que a presença de tais componentes químicos na água e em seus sedimentos geram doenças nos seres humanos de ordem mutagênica, carcinogênica e persistente. ITE et al. (2018) destacam que os derivados de petróleo e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PHAP), contendo de dois a cinco anéis aromáticos oferecem mais riscos devido ao seu caráter lipofílico e estabilidade eletroquímica, e quando presente na natureza é persistente e tem caráter cancerígeno, mutagênico ou teratogênico.

Neste contexto, torna-se imperativo a investigação, sobre como as operações portuárias podem impactar a qualidade das águas estuarinas nos entornos do TPM. Este artigo visa analisar a influência das atividades do TPM na qualidade das águas da Baía do Guajará.

Localização da Área de Investigação

O TPM ($01^{\circ}24'12.0''\text{S}$ / $48^{\circ}29'35.4''\text{S}$) está localizado à margem direita da baía do Guajará (Belém, Pará). As atividades consistem na movimentação de combustíveis líquidos e gasosos que são distribuídos na região metropolitana de Belém e no interior do Estado do Pará, através do modal rodoviário e aquaviário. O acesso é realizado por via terrestre através da Rodovia Arthur Bernardes, que está interligado à BR-316, e aquaviário por meio do estuário do rio Pará, que deságua no oceano Atlântico, seguindo através da baía do Guajará (CDP, 2023).

Figura 21 – O Terminal Petroquímico de Miramar.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Caracterização da Área de Investigação

Clima e Parâmetros Meteorológicos

De acordo com Novais (2023), a região de estudo localiza-se na Zona Climática Tórrida (muito quente), situada no paralelo $11^{\circ}43'30''$, denominado de subequador meridional e apresenta características particulares, em que a insolação durante o ano é intensa e a duração do dia e da noite são aproximadamente iguais. A temperatura do ar, se mantém em média de $22,5^{\circ}\text{C}$ a $28,2^{\circ}\text{C}$, predominante em toda extensão da floresta amazônica. A região de estudo encontra-se no domínio climático é equatorial úmido e subdomínio oriental. A precipitação média é superior a 2.001 mm/ano, característica esta devido às influências dos ventos alísios oriundos do oceano Atlântico Norte (NOVAIS, 2023). O período de maior pluviosidade ocorre entre os meses de dezembro a maio, a precipitação acumulada está na faixa de 283.5 a 323.6 mm. Os meses entre agosto a novembro (período seco) apresenta índices que variam entre 128.7 a 120.1 mm. De acordo com Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), o índice de umidade no referido período varia de 88.1 a 83.7 %.

As características climáticas da região de Belém apresentam características quanto ao regime de precipitação intimamente ligada à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), resultante da junção dos ventos alísios de nordeste e sudeste, como ventos fracos e precipitações intensas e brisas marítimas que penetram nos sistemas frontais do sul vindos do continente unido a fonte de vapor d'água produzida pela extensa cobertura vegetal (VIANELLO, 1991). A estação chuvosa observada de dezembro a maio é influenciada pela atuação da ZCIT que está próxima ao litoral, quando a ZCIT é reposicionada ao Norte em agosto, ocorre a redução do volume da precipitação, caracterizando o período seco (RIBEIRO, 2022).

Condições hidrológicas

A Baía do Guajará é localizada na confluência dos rios Acará e Guamá, e possui 30 km de extensão e 3,9 km de largura e está a 120 km de distância do oceano Atlântico. Na região, o tráfego de embarcações é grande, devido a grande concentração de portos na margem direita da Baía e está sob influência das atividades antrópicas de Belém (MORAES e FILHO, 2018). A vazão de $830 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ provêm da contribuição do rio Guamá (67%) e do rio Acará-Moju (33%), no período de estiagem AHIMOR (1998).

Aspectos Geomorfológicos

A geomorfologia local apresenta características de tabuleiros com baixa declividade e amplitude de relevo de 20 a 50 m, com planícies fluviais e declividade de $0-3^\circ$ e zero amplitude topográfica (IBGE, 2024). Na região, afloram os sedimentos consolidados do Grupo Barreiras e arenosos inconsolidados do Grupo Pós-Barreiras (ROSSETI, 2001). Nas margens da Baía de Guajará, a 100-120 m da superfície, ocorre a Formação Pirabas (Oligo-Mioceno) e, sobrepostos, em profundidade entre 100-150 m os sedimentos (Terciário) do Grupo Barreiras. Em seguida, o Quaternário, está repousando ao Pleistoceno/Holoceno Médio-Inferior, sendo correlacionado aos sedimentos Pós-Barreiras, e, no topo da seção, estariam os sedimentos recentes (PINHEIRO, 1987). Na Baía de Guajará, ocorrem os canais de enchente (Canal do Meio) e de vazante (Canal da Ilha das Onças) bem definidos (PINHEIRO, 1987; GREGÓRIO E MENDES, 2009a). O Canal da Ilha das Onças começa ao sul da baía com o Canal do rio Guamá, e bordeja a cidade de Belém com direção NE-SW (GREGÓRIO e MENDES, 2009b). Na Baía de Guajará, os bancos arenosos ocorrem ao norte e a sudoeste, nas partes sul e sudeste são os bancos lamosos (do Meio, da Cidade e do Sul da Cidade) (Gregório e Mendes, 2009b; Bock, Assad e Landau, 2011). Os bancos são rasos (3 a 5 m de profundidade), entretanto, nos canais a profundidade podem ultrapassar 25 m.

Condições oceanográficas

A Baía do Guajará está inserida em um local altamente dinâmico, com fortes correntes de maré, o que ocasiona a mistura das águas e ressuspensão dos sedimentos de fundo, no período em que o volume de chuvas é reduzido a salubridade das águas é maior devido a entrada da água do oceano (ALENCAR *et al.*, 2019). O regime de marés apresenta características semi-diurnas com 2,1m (quadratura) e 3,7m (sizígia) (DHN, 2024). A velocidade máxima das marés, ocorre durante a maré sizígia com $1,74 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ na vazante e $2,10 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ (PINHEIRO, 1987). A salinidade é relativamente baixa, em março (período chuvoso) varia de 0,02 a 0,01, em junho (chuvoso) de 0,01 a 0, em setembro (seco) de 0,07 a 0,06 e em dezembro (seco) de 0,83 a 0,47 (AHNDREW, 2018). A salinidade mais elevada ocorre próximo ao fundo, indicando a penetração da maré salina sob a forma de cunha no canal de enchente (PINHEIRO, 1987). O estuário é classificado como do tipo hipossincrônico (BLANCO *et al.*, 2015), onde os efeitos de fricção de fundo dominam e os da maré diminuem ao longo do estuário.

Atividades do TPM

O TPM Nicolau Bentes Gomes atua com a movimentação de cargas derivadas do petróleo, os hidrocarbonetos, e é responsável pelo abastecimento do próprio Estado do Pará e de cidades do Amazonas, Amapá e Maranhão (PDZ-MIRAMAR, 2017). O TPM possui dois píeres e seis berços, mas atuando apenas quatro do total, conta com dois dolphins para amarração e atracação de embarcações e dois berços, em que o primeiro, externo, movimenta o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) através de navios e um interno que realiza a atracação de balsas tanques (PDZ - MIRAMAR, 2017).

Tabela 20 - Estrutura física do TPM

Pier	Berço	Atividade	Profundidade (m)
100	101	Movimenta GLP	7,92
	102	Atracação de Balsa Tanque	2,50
200	201	Atracação de navios de granéis líquidos	7,92
	203	Atracação de Balsa Tanque	1,75

Fonte: Adaptação PDZ MIRAMAR, 2017.

A capacidade volumétrica da retroárea do TPM está subdividida em tanques para armazenamento de combustível e Gás GLP (Tabela 21 e Tabela 22).

Tabela 21 - Capacidade dos tanques para o armazenamento de combustível

Arrendatários	Quant.	Capacidade em Litros (L)
BR Petrobrás Distribuidora	21	81.689.846
Ipiranga	9	18.123.034
Petróleo Sabbá	19	38.195.706
Transpetro	4	35.488.000
Paragás	14	510.000
Supergasbras	12	1.147.098
Liquigas	18	526.016

Fonte: Adaptação Plano Mestre de Belém e Vila do Conde e PDZ TPM, 2017.

Tabela 22 - Capacidade das esferas de armazenamento de Gás GLP do TPM

Arrendatários	Capacidade	Quantidade
Paragás	1182770	1
Paragás	1178717	1
Transpetro	3181000	1
Transpetro	3180000	1
Transpetro	3180000	1

Fonte: Adaptação do PDZ TPM, 2017.

Metodologia

Amostragem

Foram adquiridos dados ambientais durante duas campanhas: chuvoso (janeiro e março) e seco (agosto e setembro), durante os anos de 2020 e 2021. A coleta foi realizada em cinco pontos nas adjacências do TPM, totalizando 10 amostras, 5 amostras coletadas na maré enchente e 5 amostras na maré vazante,

para cada parâmetro (pH, TEMP, CE, TUR, COR, SAL, STD, STS, OD, CTT, DQO, E. COLI, N. AMONIACAL, SULF e Cloreto).

Análises físico-químicas e microbiológicas

Os dados foram disponibilizados pela CDP, as análises laboratoriais realizadas para a verificação da qualidade da água, seguiram os guias padrões do *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater* (2017) e *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Tabela 01).

Tabela 23 - Parâmetros físico-químicos, siglas, símbolos, métodos e unidades.

Variável	Sigla/símbolo	Método	Unidade
Potencial Hidrogeniônico	pH	SMEWW, 23 ^a Ed. 4500-H+ B	
Temperatura	TEMP	SMEWW, 23 ^a Ed. 2550 B	°C
Salinidade	SAL	SMEWW, 23 ^a Ed. 2520 B	ppm
Condutividade Elétrica	CE	SMEWW, 23 ^a Ed. 2510 B	$\mu s. cm^{-1}$
Sólidos Totais Dissolvidos	STD	SMEWW, 23 ^a Ed. 2510 A	$mg. L^{-1}$
Oxigênio Dissolvido	OD	SMEWW, 23 ^a Ed. 4500 O G	$mg. L^{-1}$
Turbidez	TUR	SMEWW, 23 ^a Ed. 2130 B	mg/L
Sólidos Totais em Suspensão	STS	Método Fotométrico 8006 HACH®	$mg. L^{-1}$
Coliformes termotolerantes	CTT	SMEWW, 23 ^a Ed. 9223 B	NMP.100 mL^{-1}
N. Amoniacal	N-NH ₃	SMEWW, 23 ^a Ed. 4110 B	$mg. L^{-1}$
Sulfato	SO ₄ ²⁻	SMEWW, 23 ^a Ed. 4110 B	$mg. L^{-1}$
Cloreto	Cl ⁻	SMEWW, 23 ^a Ed. 4110 B	$mg. L^{-1}$

Fonte: Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater (2017).

Análises estatísticas

Após tabulação das 10 amostras e dos 15 parâmetros, adotando os momentos da maré enchente e vazante, e da sazonalidade (períodos seco e chuvoso), as médias e desvios padrão foram calculados. Em seguida, o refinamento dos dados foi realizado, a fim de igualar os valores dentro de uma mesma unidade para uso posterior na Análise estatística de Componentes Principais (PCA ou ACP em português). O refinamento dos dados brutos foi feito através de dois passos: (i) cálculo da média dos dados; (ii) subtração da média de todos os itens; (iii), após estes passos os dados refinados foram organizados e transferidos para o software *Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis* – PAST, versão 4.13 para gerar a análise PCA e imagens gráficas relacionadas, além de gráficos individuais de cada parâmetro estudado, separado pelos pontos de coleta e regime de marés, também como cálculos de média, moda e mediana.

Resultados

Os parâmetros físicos apresentaram valores dentro da normalidade. A TEMP da água permaneceu entre 28,75 °C (período chuvoso) e 30,35°C (seco), caracterizando a variação climática equatorial úmida conforme NOVAIS et al. (2023). Já a CE esteve em média de 31, 61 (período chuvoso) e 55,22 (seco). O parâmetro STD apresentou média de 16,50 mg/L^{-1} (período chuvoso) e 32,83 mg/L^{-1} (seco). O OD apresentou média de 4,28 mg/L^{-1} (período chuvoso) e de 4,29 mg/L^{-1} (seco). A TUR foi de 53,95 mg/L (período chuvoso) e 41,88 mg/L (seco). Os STS tiveram média de 29,83 mg/L^{-1} (período

chuvoso) e $24,97 \text{ mg/L}^{-1}$ (seco), indicando pouca variação. A COR apresentou valores mais expressivos com média de 51,75 (período chuvoso) e 26,67 (seco).

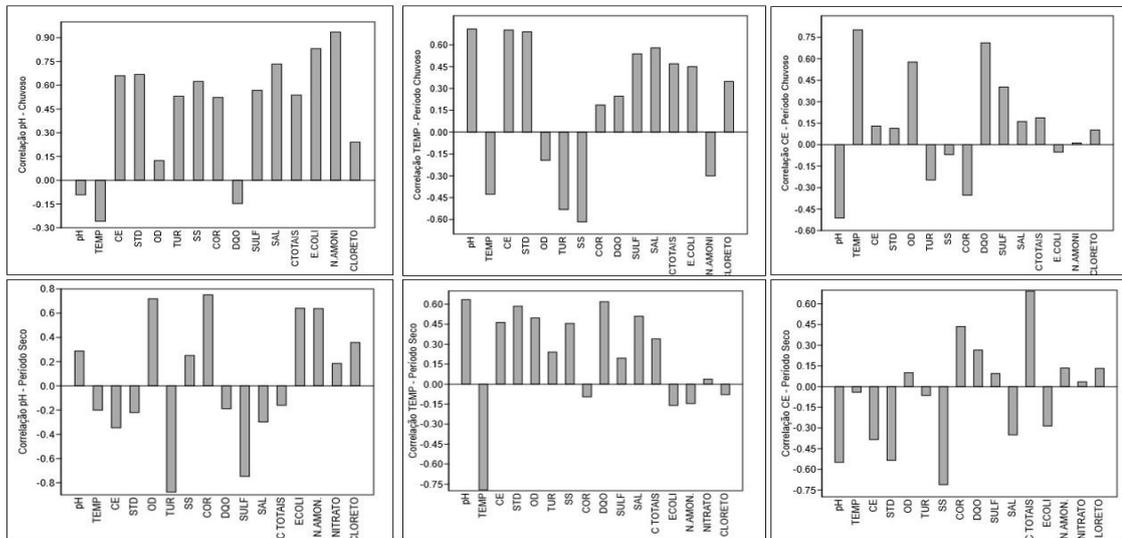
A média do parâmetro DQO manteve-se a mesma com $13,08 \text{ mg O}_2/\text{L}$ e $13,16 \text{ mg O}_2/\text{L}$ nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. A SAL ficou em média de 0,1 (período chuvoso) e 0,02 (seco). O CTT no período chuvoso atingiu valores médios de $121.312,22 \text{ NMP.100/mL}^{-1}$ e no seco $53.378,94 \text{ NMP.100/mL}^{-1}$, o que indica a forte presença de contaminação da água. O Nitrogênio Amoniacal (NH_3) no período chuvoso foi de $0,63 \text{ mg/L}$ e no seco de $0,49 \text{ mg/L}$. Por fim o Cloreto que no período chuvoso apresentou média de $3,02 \text{ mgCl}^-/\text{L}$ e no período seco, e no chuvoso $9,54 \text{ mgCl}^-/\text{L}$.

Parâmetros físico-químicos

As figuras 2, 3, 4 e 5 representam correlações individuais de um parâmetro em relação aos demais. No primeiro bloco (Figura 2) são analisadas as correlações entre pH, TEMP e CE. Assim, a correlação do pH, foi mais expressiva: com a maioria dos parâmetros, exceto DQO e Temp. no período chuvoso. No período seco o pH teve correlação mais acentuada com OD, SS, COR, DQO, N. AMONIACAL, NITRATO e CLORETO. Quanto a correlação da TEMP com os demais parâmetros, no período chuvoso, não esteve correlata com os parâmetros OD, TUR, SS e N. AMONIACAL, e similar no período seco. Por fim a CE esteve positivamente correlacionada com o OD, TEMP, DQO, SULF, SAL e C. TOTAIS.

Testes estatísticos

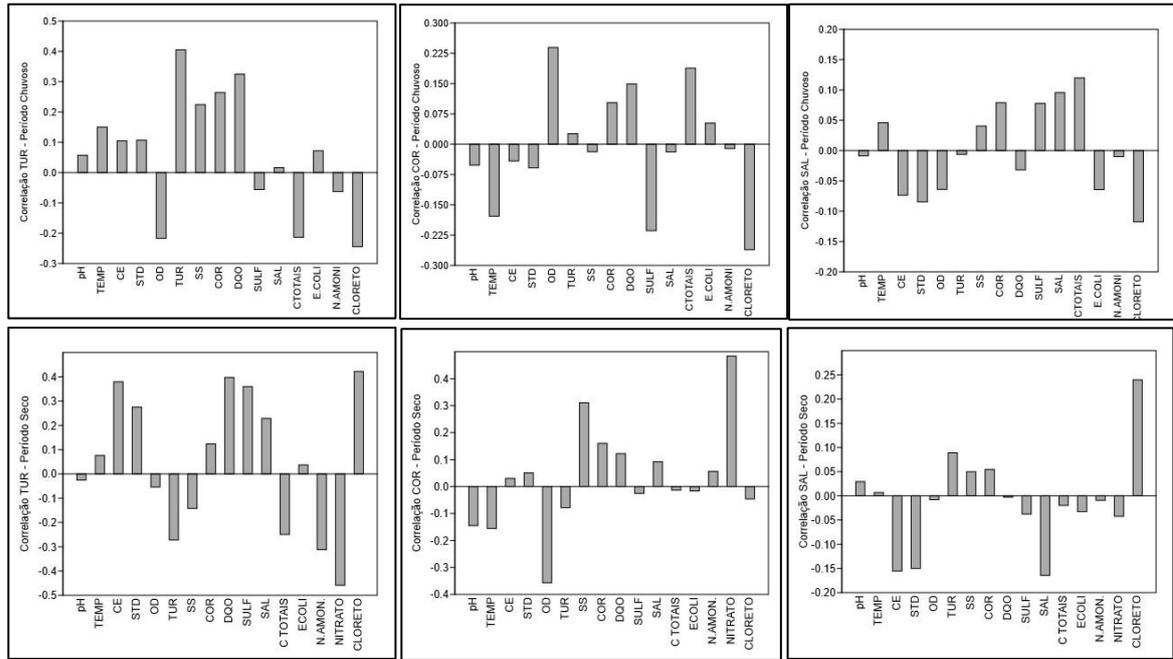
Figura 22 - Gráficos de correlação pH (coluna 01), Temperatura (coluna 02) e Condutividade Elétrica (coluna 03), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No segundo bloco (Figura 3), foram analisados TUR, COR e SAL. A TUR no período chuvoso foi mais expressiva com os parâmetros SS, STD e COR, e no período seco foi correlato positivamente com CE, STD, DQO, SULF, SAL e CLORETO. O segundo parâmetro, COR, no período chuvoso esteve mais correlacionada com OD, TUR, DQO e CT. No período seco a CE esteve mais correlata com SS, DQO e NITRATO e correlacionou positivamente TEMP, SS, SULF, CT.

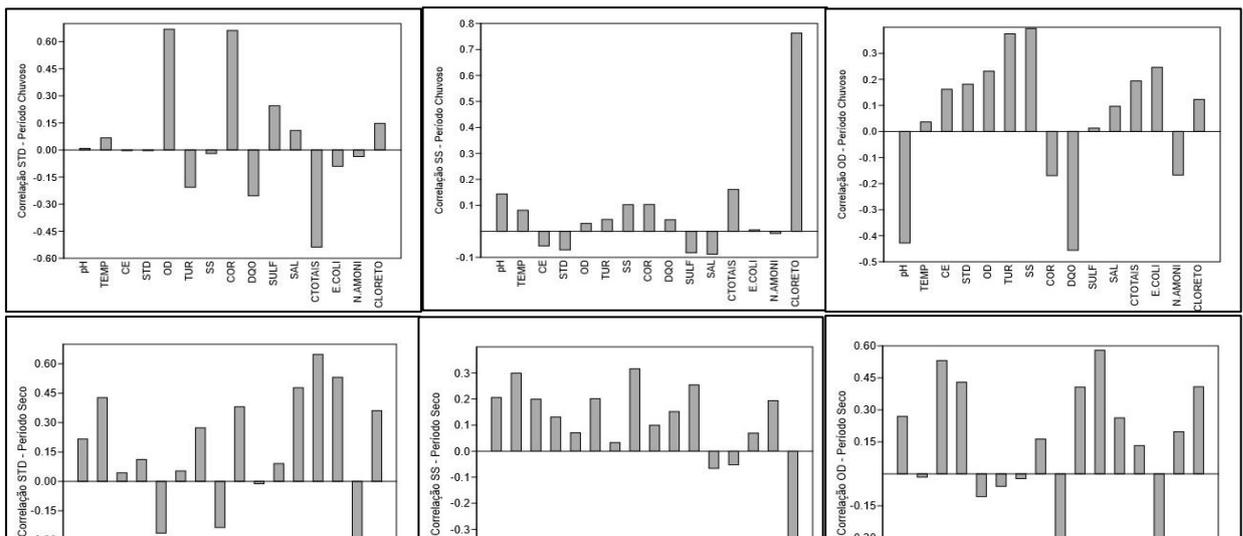
Figura 23 - Gráficos de correlação Turbidez (01), Cor (02) e Salinidade (03) nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O terceiro bloco (Figura 4) apresenta as correlações dos parâmetros STD, STS e OD, nos referidos períodos sazonais. A primeira coluna expõe a correlação do STD com os demais parâmetros analisados, no período chuvoso a correlação foi mais expressiva com OD, COR, SAL e Cloreto; já no período seco a correlação foi negativa com OD, COR e nitrato e com os demais positiva. Na segunda coluna, os STS não tiveram correlação apenas com CE, STD, SULF e SAL, com os demais foi positivo no período chuvoso; e no seco o referido parâmetro não esteve associado apenas aos parâmetros CTT, E. Coli e Cloreto. Por fim, na terceira coluna do bloco o OD, que no período chuvoso esteve correlacionado com os demais parâmetros, exceto pH, COR, DQO e N. amoniacal.

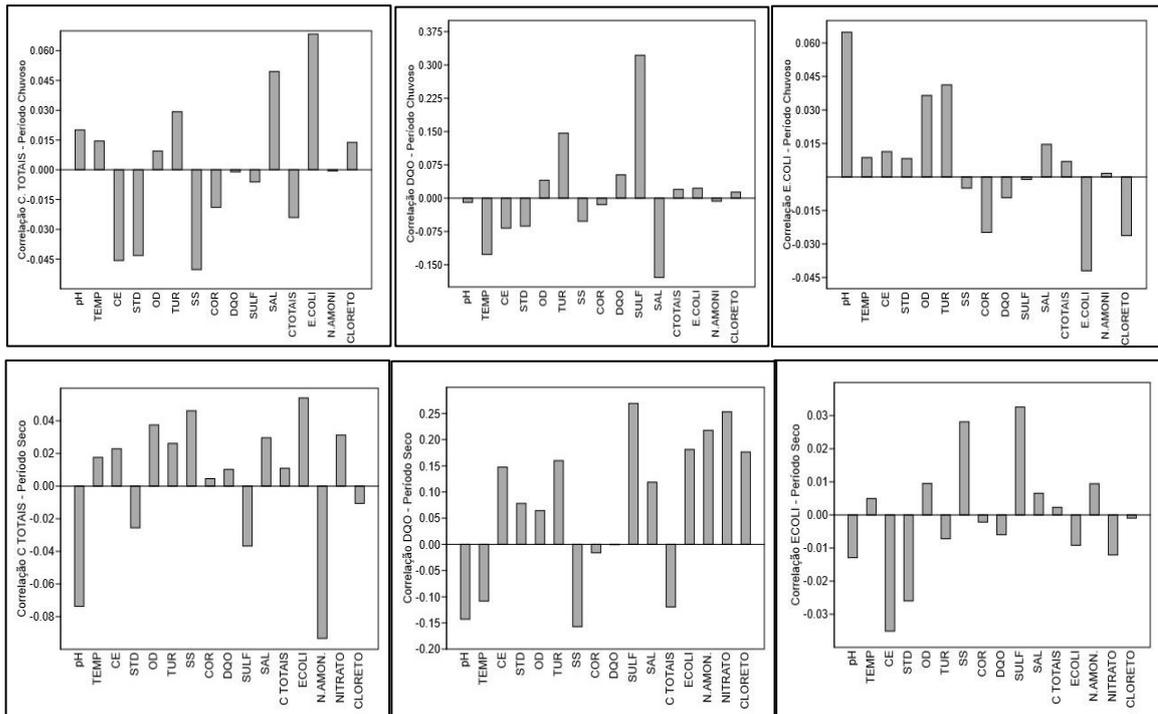
Figura 24 - Gráficos de correlação Sólidos Totais Dissolvidos (01), Sólidos Totais em Suspensão (02) e Oxigênio Dissolvido (03) nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No quinto bloco (figura 05), a primeira coluna expõe a correlação entre o CTT e demais parâmetros, no primeiro período (chuvoso), não se correlacionou positivamente com CE, STD, STS, COR e CT, enquanto que no segundo período (seco) apenas pH, STD, SULF. e N. AMONIACAL. O DQO exposto na segunda coluna demonstrou a correlação negativa com a maioria dos parâmetros analisados, exceto OD, TUR, DQO, SULF., CTOTAIS, E. COLI e Cloreto. Por fim, a terceira coluna que apresenta a correlação da E. COLI com os demais parâmetros, no período chuvoso somente os únicos parâmetros que não correlacionaram positivamente foram STS, COR, DQO, SAL e cloreto; no período seco a associação foi menor, apenas com TEMP, OD, STS, SULF, CTT.

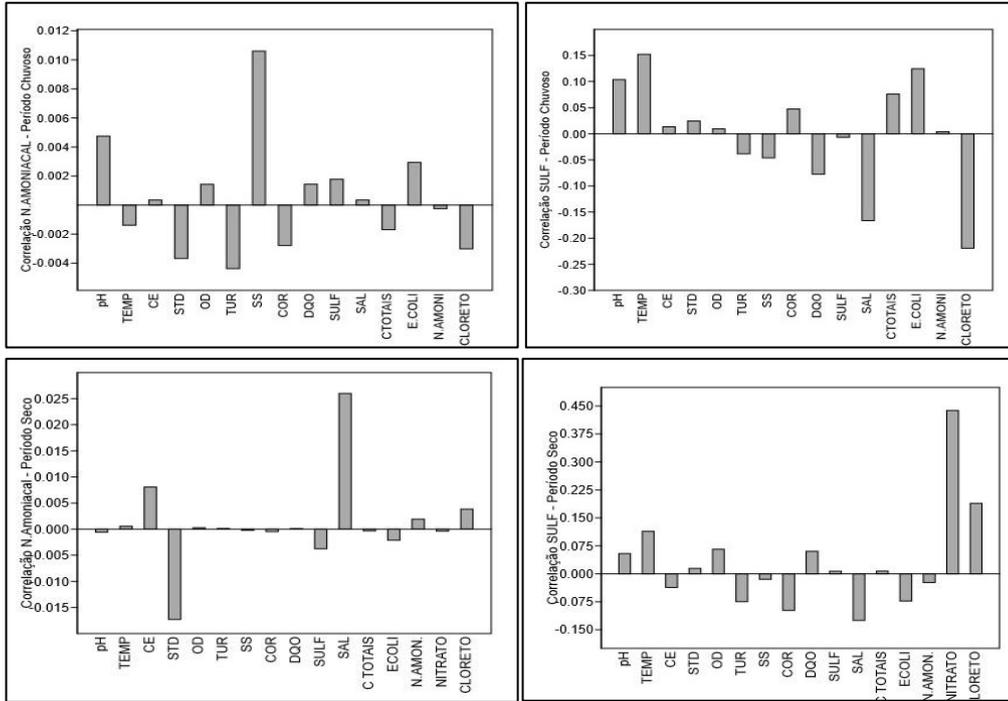
Figura 25 - Gráficos de correlação Coliformes Totais (01) e Demanda Química de Oxigênio (02) e E. Coli (3), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No sexto e último bloco (Figura 26), no período chuvoso o N. Amoniacal esteve correlacionado positivamente com pH, CE, OD, STS, DQO, SULF, SAL, E. COLI, entretanto, no período seco só esteve correlacionado com a CE, SAL e Cloreto. Na coluna 02, o SULF esteve correlacionado positivamente apenas com a maioria dos parâmetros, exceto TUR, STS, DQO, SAL e Cloreto, no período chuvoso; no seco esteve correlacionado positivamente pH, TEMP, OD, DQO, SULF, CTT, Nitrato e Cloreto.

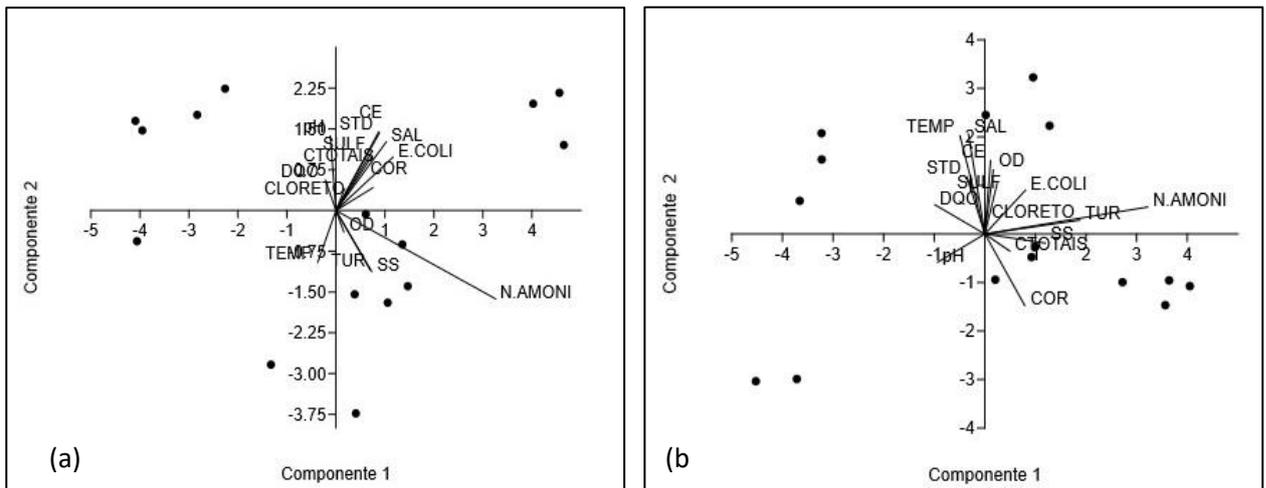
Figura 26 (a) e (b)- Gráficos de correlação Nitrogênio Amoniacal (01) e Sulfato (02), nos períodos chuvoso e seco, elaborados no software PAST 4.3.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Além dos testes de correlação individuais, a Análise PCA, também calculada observou os períodos sazonais (chuvoso e seco) e regimes de maré (enchente e vazante). A componente principal 1 (CP 1 - pH) representou uma covariância de 48,31% e a componente 2 (CP 2 – TEMP) apresentou uma covariância de 19,93% em relação aos demais parâmetros no período chuvoso, e a formação de grupos: Amoniacal, STS, TUR, OD mais afastados da CP 1, e o segundo grupo dos parâmetros COR, E.COLI., SULF, STD e CE; o terceiro grupo com Cloreto, DQO e CTT, que estavam mais próximos ao pH (Figura 19) na maré enchente. Na maré vazante, o N. Amoniacal e OD estiveram próximos do primeiro grupo e o indicador COR esteve mais afastado dos demais grupos.

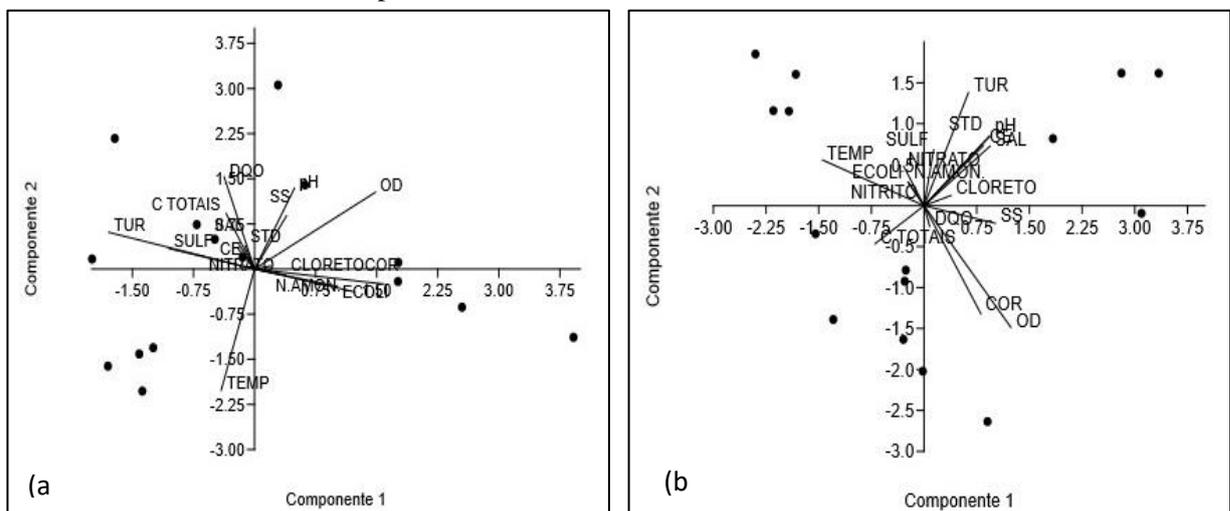
Figura 27 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período chuvoso, enchente (a) e vazante (b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No período seco, a componente principal 1 (CP 1 - pH) representou uma covariância de 29,76% e a componente 2 (CP 2 - TEMP) apresentou uma covariância de 19,26% em relação aos demais parâmetros no período chuvoso (maré enchente), e a formação dos grupos: STS, STD, OD; o segundo grupo dos parâmetros CTT, TUR, SULF, CE, Nitrato, STD e DQO; o terceiro grupo com Amoniacal, E.Coli, COR e Cloreto, que estavam mais próximos ao pH, e o parâmetro que esteve afastados destes grupos foi a TEMP (Figura 28) na maré enchente. Na maré vazante, o N. Amoniacal e OD estiveram próximos do primeiro grupo e o indicador COR esteve mais afastado dos demais grupos.

Figura 28 - Análise PCA dos parâmetros pH, TEMP, SAL, CE, STD, OD, TUR, STS, CTT, COR, período seco, enchente (a) e vazante (b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

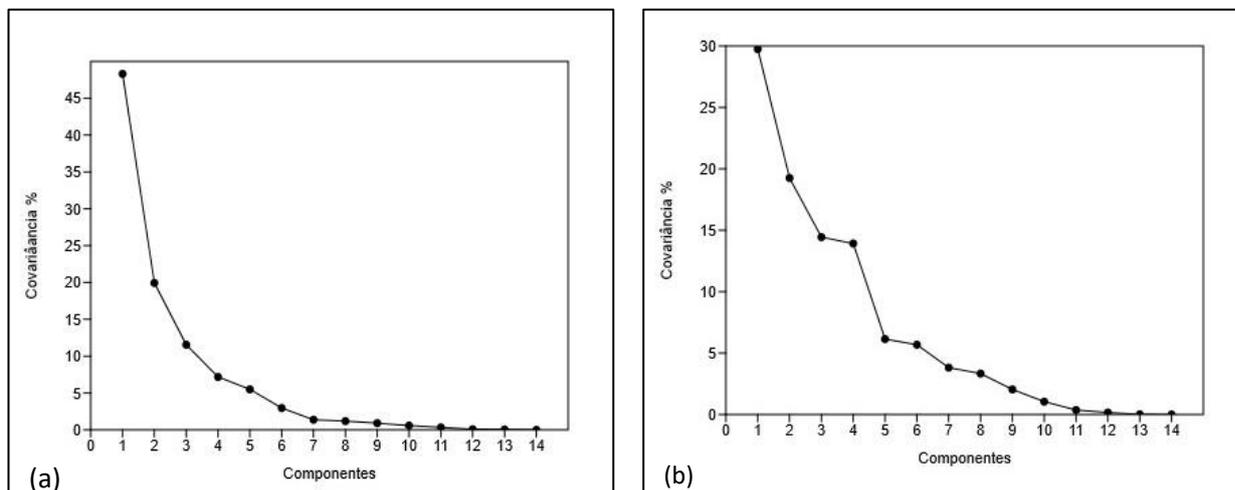
Discussão

As águas estuarinas da Baía do Guajará apresentam características de uso e destinação, que de acordo com a Resolução CONAMA n° 357/2005 estão classificadas como água doce, Classe II destinada ao abastecimento e consumo humano após tratamento convencional, recreação de contato primário e atividade de pesca. Nesta região a contribuição de poluentes é intensa, devido ao fato de que esgotos de determinadas indústrias são lançados na Baía de Guajará, além da contribuição do esgoto doméstico lançado in natura (ALENCAR, 2019 e SANTOS, 2018).

Análise de Componentes Principais (PCA)

Os testes estatísticos de PCA refletiram para ambos os períodos sazonais (seco e chuvoso), o destaque à duas componentes: pH e TEMP, onde no período chuvoso, juntos explicam cerca de 34,13% (enchente) e 33,08% (vazante) da variância total, indicando uma forte relação linear entre as duas componentes. No período seco, o pH apresentou uma covariância média de 33,41% e a segunda componente, a temperatura com 20,45%, o que indica uma forte interação das duas componentes em relação aos demais parâmetros (Figura 29).

Figura 29 - Percentual de correlação entre as componentes pH (01), TEMP (02), CE (03), STD (04), OD (05), TUR (06), STS (07), COR (08), DQO (09), SULF (10), SAL (11), CTT (12), E.COLI (13), N.Amoniacal (14), no período chuvoso (a) e seco (b).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A análise de componentes principais permitiu compreender que os parâmetros estão condicionados e afetados pela influência dos períodos de sazonalidade (chuvoso e seco), e o regime de maré não afeta os níveis de poluição nos estuários, em contrapartida os parâmetros como CE e STD apresentam alterações significativas quando há a entrada de águas continentais na baía, por conta da quantidade de sal presente no período de setembro a janeiro (Figura 29). Em períodos em que a precipitação é maior, a diluição aumenta e conseqüentemente diminuem a concentração de sólidos dissolvidos e baixa salinidade devido ao aumento do volume de chuvas na Baía do Guajará (ALENCAR, 2019).

Parâmetros físico – químicos

A percepção dos parâmetros físico-químicos nos dois anos foi semelhante, evidenciando uma forte influência da sazonalidade do clima equatorial amazônico. As variações estão intimamente ligadas à precipitação, aos ventos alísios, à descarga fluvial e aos efeitos de maré. As temperaturas das águas estuarinas permaneceram relativamente altas e estáveis, especialmente durante o período seco (agosto e setembro), devido à intensa insolação na região amazônica, característica típica das águas tropicais.

Os parâmetros CTT e OD excederam os limites estipulados na Resolução CONAMA nº 357/2005. Os CTT excederam o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 ml, o que indica a forte contribuição de poluição oriunda do esgoto doméstico da cidade de Belém. Isto ocorre, devido a intensa urbanização sem infraestrutura adequada, em que os efluentes domésticos são despejados sem nenhum tipo de tratamento nos corpos hídricos (igarapés, rios, canais) e interfere na qualidade da água diretamente (COSTA, 2022).

A concentração de O.D. também esteve abaixo do limite estabelecido na legislação vigente de 5 mg/L, em questão no período seco e maré enchente, valores de até 3,42 mg/L foram registrados, o que propicia um ambiente desfavorável para a manutenção da vida aquática e dificulta processos de autodepuração.

Devido à movimentação de cargas no TPM, que são compostas por hidrocarbonetos (gasolina, óleo diesel), amostras de compostos químicos, como Tolueno e Xileno, não foram inseridas na pesquisa uma vez que os valores apresentados dos 15 parâmetros analisados, registraram valores abaixo do nível

permitido por legislação de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, em que o Tolueno apresentou uma média de $0,36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o Xileno de $0,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ apenas no período chuvoso, o que reflete a conformidade com a legislação ambiental.

O N.Amoniacal também está em conformidade com os padrões em vigor, de $3,7 \text{ mg/L}$, apresentou uma média de $0,67 \text{ mg/L}$ no período chuvoso, já no seco foi de $0,52 \text{ mg/L}$. O Cloreto, que para esta classificação o valor máximo permitido é de 250 mg/L Cl , teve valores de $4,03 \text{ mg/L Cl}$ (período chuvoso) e $8,67 \text{ mg/L Cl}$ (seco). Por fim o Sulfato, que possui um limite máximo de 250 mg/L SO_4 , obteve médias de $1,20 \text{ mg/L SO}_4$ e $1,91 \text{ mg/L SO}_4$ nos períodos chuvoso e seco, respectivamente.

Impactos ambientais

Os impactos ambientais oriundos da atividade de transporte e armazenamento de combustíveis e produtos químicos, são divididos em dois grupos: o primeiro, formado pela biota aquática, qualidade da água e dos sedimentos; e o segundo relacionado a saúde e qualidade de vida humana. Os impactos ambientais observados dentro do primeiro grupo, precisamente na biota aquática em relação aos hidrocarbonetos de acordo com SUN et al. (2021), os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos aumentam seus efeitos tóxicos quando há a presença de luz ultravioleta, no caso a luz solar o que indica a fototoxicidade e prejuízo ao desenvolvimento de peixes e crustáceos, em experimentos com mamíferos os danos genéticos oxidativos nas células da pele.

AHMED & FAKHRUDDIN (2018) destacam que na qualidade da água e dos sedimentos a solubilidade dos hidrocarbonetos é baixa, e estes se aglomeram em partículas e na matéria orgânica, impedindo a transferência de oxigênio, já nos sedimentos de fundo ficam acumulados e afetam peixes e organismos que estão em contato com estes sedimentos.

Medidas Mitigadoras

LECUE e DARBRA (2019) definiram como medidas mitigadoras para a diminuição da ocorrência de sinistros como derrame de óleo na água, ligados ao tipo de transporte da carga, a automatização de procedimentos na indústria naval, além da capacitação dos operadores portuários e implementação de novas medidas de segurança. Para a qualidade da água, AHMED & FAKHRUDDIN (2018) sugerem a biorremediação com uso de bactérias na água, como as espécies de *Alcanivorax*, *Marinobacter* e *Prosthecochloris* que são degradadoras de hidrocarbonetos em casos de derrame de óleo, além do uso da *Bacillus spp* apresenta uma degradação de 92,5% dos hidrocarbonetos na água, em casos de derrame de óleo lubrificante. MOJIRI (2019) sugere a fitorremediação, através do uso de plantas, pois proporciona maior proteção ecológica e benefícios, assim as plantas funcionam como bioacumuladores de contaminantes e bioindicadores e os lipídios vegetais são os principais compostos químicos responsáveis pelos contaminantes orgânicos. MOHAMMADI et al. (2020) mencionam que as principais fontes de emissões de hidrocarbonetos são as atividades petroquímicas de transporte e industriais, assim sugere que métodos como a adsorção é uma saída adequada quando combinada com outros métodos promovendo baixo custo e eficiência na remoção destes compostos.

Conclusão

Os resultados destacam os impactos das atividades portuárias na Baía do Guajará, e apontam a influência significativa das operações portuárias na qualidade da água. A alta contribuição de poluentes oriundos do esgotamento sanitário precário na cidade de Belém e os seus efeitos negativos no meio ambiente aquático e na saúde humana, são impactos sinérgicos quanto a possíveis contaminações ligadas ao transporte de hidrocarbonetos e produtos químicos no TPM, devido sua área de influência, neste caso a Baía do Guajará.

A gestão ambiental adequada, trata-se de um conjunto de medidas mitigadoras, que deverão assegurar as atividades de movimentação de produtos químicos e derivados do petróleo no TPM. E que, por sua vez demandam investimento em modernização na movimentação da carga, técnicas mais adequadas à realidade, tais como a remediação física/mecânica e a biorremediação, aplicadas quando houver a ocorrência de sinistros na água e que não interferirão nos aspectos químicos do corpo hídrico,

além da baixa interferência no meio; Transporte de cargas automatizados e atualização na capacitação dos operadores portuários conforme os padrões internacionais.

A promoção de uma cultura de responsabilidade ambiental é essencial para o desenvolvimento da atividade portuária, portanto ações semelhantes exigem implementações imediatas, contínuas e efetivas como mencionadas neste estudo. Por fim, contribui para entender a relação complexa entre a atividade em questão e o meio ambiente no âmbito geral, fornecendo subsídios para discussões posteriores.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Naval (PPGENAV), do Instituto de Tecnologia (ITEC) e ao Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da Universidade Federal do Pará; a Companhia de Docas do Pará (CDP), que nos cedeu gentilmente os dados ambientais.

Referências

AHIMOR – Administração Hidroviária Oriental, 1998. Dragagens da Baía de Guajará e Canal do Tapanã. Belém, 32p. Relatório Técnico.

Ahmed, F.; Fakhruddin, A. N. M. 2018, v. 11, n. 3, p. 1-7. A review on environmental contamination of petroleum hydrocarbons and its biodegradation. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources* [Online]. Disponível em: DOI 10.19080/IJESNR.2018.11.555811

Ahndrew, L. M. S. 2018, 72p. Variação espaço-temporal de Cladocera (Crustacea- Branchiopoda) em uma região portuária amazônica (Brasil). Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

Alencar, V. E. S. A. et al. 2019, v. 12, n. 2, p. 661-680. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará–Belém–PA. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online]. Disponível em: www.ufpe.br/rbgfe.

Blanco, C. et al. 2015, p. 49-55. Hydrodynamic evaluation of a flood embankment in the Amazon estuary region, Brazil. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Civil Engineering*. Thomas Telford Ltd [Online]. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/cien.13.00004>.

Bock, C. S.; ASSAD, L. P. F.; LANDAU, L. 2011, p. 981-985. Influence of bottom morphology on the hydrodynamics of Guajará Bay (Amazon, Brazil). *Journal of Coastal Research* [Online]. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26482320>.

BRASIL, C. D. M. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, v. 18, n. mar, p. 58-63, 2005.

Cardanha, B. H. et al. 2020. Logística fluvial de grãos no Arco Norte: um estudo da eficiência operacional de comboios. Disponível em: <http://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/436>.

CDP, 2023 (1). Áreas do Porto Organizado. Disponível em: <https://www.cdp.com.br/areas-de-porto-organizado/>. Acesso em: 08 fev.2023.

Costa, G. M. M., et al (2022). CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL NOS DISTRITOS ADMINISTRATIVOS DO MUNICÍPIO DE BELÉM – PA. *Caderno Prudentino De Geografia*, 1(44), 120–137. Recuperado de <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7529>

De Fátima Rossetti, D. 2001, v. 14, n. 1, p. 77-89, 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Pará, Brazil, within the context of sea level changes. *Journal of South American Earth Sciences* [Online]. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(01\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(01)00008-6).

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. (2024). *Dados de maré*. <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>.

Gregório, A. M. D. S., & Mendes, A. C. (2009). Batimetria e sedimentologia da baía do Guajará, Belém, estado do Pará, Brasil. *Ciências da Terra e Ecologia* [Online]. Disponível em: <http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/369>. Acesso em: 08 fev.2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2024). Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 05 jun.2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2024). Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 05 jun.2024.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2023). Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em: 15 fev.2023.

Ite, A. E., Harry, T. A., Obadimu, C. O., Asuainko, E. R., & Inim, I. J. (2018). Petroleum hydrocarbons contamination of surface water and groundwater in the Niger Delta region of Nigeria. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 6(2), 51-61.

Lecue, M., & Darbra, R. M. (2019). Accidents in European ports involving chemical substances: Characteristics and trends. *Safety science*, 115, 278-284. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.02.015>. Acesso em: 06 fev.2023.

Li, J. Y., Yu, W., Yin, J., Chen, Y., Wang, Q., & Jin, L. (2019). Reduced bioavailability and ecological risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in Yangshan port of East China Sea: Remediation effectiveness in the transition from construction to operation. *Science of the total environment*, 687, 679-686 [Online]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.040>. Acesso em: 04 fev.2023.

Mendes, C. A. C., El-Robrini, M., & de Moraes, H. B. (2022). Dinâmica dos fundos das áreas de disposição de sedimentos dragados na Baía de Guajará, Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(1), 1078 [Online]. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i1.1962>. Acesso em: 05 fev.2023.

Mohammadi, L., Rahdar, A., Bazrafshan, E., Dahmardeh, H., Susan, M. A. B. H., & Kyzas, G. Z. (2020). Petroleum hydrocarbon removal from wastewaters: a review. *Processes*, 8(4), 447 [Online]. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/pr8040447>. Acesso em: 08 fev.2023.

Mojiri, A., Zhou, J. L., Ohashi, A., Ozaki, N., & Kindaichi, T. (2019). Comprehensive review of polycyclic aromatic hydrocarbons in water sources, their effects and treatments. *Science of the total environment*, 696, 133971 [Online]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133971>. Acesso em: 08 fev.2023.

Moraes, D. S. D. S. (2017). Contribuição das chuvas do período da tarde em Belém do Pará para os totais mensais e possíveis relações com a média climatológica [Online]. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/1424>. Acesso em: 08 fev.2023.

Novais, G. T., & Machado, L. A. (2023). Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 32, 1-39 [Online]. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163>. Acesso em: 09 fev.2023.

Companhia de Docas do Pará. (2017). *PDZ: Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário – Porto Organizado de Belém/PA – Terminal de Miramar*. Disponível em: <https://www.cdp.com.br/companhia-docas-do-para/pdz-plano-de-desenvolvimento-e-zoneamento/>. Acesso em: 09 fev.2023.

Pinheiro, R. V. L. (1987). Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA).

Ribeiro, S. R. (2022). Morfogênese e evolução paleogeográfica da foz do Rio Tocantins, Estado do Pará, durante o Holoceno. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/44469>. Acesso em: 09 fev.2023.

SANTOS, L. F. D. (2018). Avaliação da qualidade ambiental da baía do Guajará em Belém-PA.

Simpson, C. D., Mosi, A. A., Cullen, W. R., & Reimer, K. J. (1996). Composition and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in surficial marine sediments from Kitimat Harbor, Canada. *Science of the total environment*, 181(3), 265-278.

SUN, Kailun et al. A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics. *Science of The Total Environment*, v. 773, p. 145403, 2021 [Online]. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)05026-4](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)05026-4). Acesso em: 10 fev.2023.

Vianello, R. L., & Alves, A. R. (1991). *Meteorologia e aplicações* (1ª ed.). Editora UFV.

