



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA

LUIZA DE CÁSSIA SANTA BRÍGIDA GOMES

**AMEAÇAS AMBIENTAIS NA REGIÃO PORTUÁRIA DE VILA DO CONDE
(BARCARENA-PA): ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E MICROBIOLÓGICO DE
POTENCIAIS IMPACTOS A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARÁ,
APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA E CONCEPÇÃO DE MAPA DE RISCO**

BELÉM-PA
2025

LUIZA DE CÁSSIA SANTA BRÍGIDA GOMES

**AMEAÇAS AMBIENTAIS NA REGIÃO PORTUÁRIA DE VILA DO CONDE
(BARCARENA-PA): ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E MICROBIOLÓGICO DE
POTENCIAIS IMPACTOS A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARÁ,
APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA E CONCEPÇÃO DE MAPA DE RISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia da Universidade Federal do Pará (PPGGRD-UFPA), Como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em gestão de riscos e desastres naturais.

Área de Concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Linha de pesquisa: Ameaças naturais no ambiente amazônico.

Orientador: Prof. Dr. Dorsan do Santos Moraes
Coorientador: Prof Dr. Bruno Santana Carneiro

**BELÉM-PA
2025**

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)

- G633a Gomes, Luiza de Cássia Santa Brígida.
Ameaças ambientais na região portuária de Vila do Conde (Barcarena-PA): estudo físico-químico e microbiológico de potenciais impactos a qualidade da água do rio Pará, aplicação do método FMEA e concepção de mapa de risco / Luiza de Cássia Santa Brígida Gomes. — 2025.
111 f. + Produto Técnico-Tecnológico (8f.: il. Color).
- Orientador(a): Prof. Dr. Dorsan dos Santos Moraes Coorientador(a): Prof. Dr. Bruno Santana Carneiro Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2025.
Produto Técnico-Tecnológico: “Tabela FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)”.
1. Risco. 2. Região Portuária. 3. Água. 4. Vulnerabilidade.
I. Título. II. Título Produto Técnico-Tecnológico: “Tabela FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*)”.
-

LUIZA DE CÁSSIA SANTA BRÍGIDA GOMES

**AMEAÇAS AMBIENTAIS NA REGIÃO PORTUÁRIA DE VILA DO CONDE
(BARCARENA-PA): ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E MICROBIOLÓGICO DE
POTENCIAIS IMPACTOS A QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARÁ,
APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA E CONCEPÇÃO DE MAPA DE RISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia da Universidade Federal do Pará (PPGGRD-UFPa), Como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em gestão de riscos e desastres naturais.

Área de Concentração: Minimização de Riscos e Mitigação de Desastres Naturais na Amazônia

Linha de pesquisa: Ameaças naturais no ambiente amazônico.

Data de Aprovação: 12 de junho de 2025

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente
DORSAN DOS SANTOS MORAES
Data: 05/08/2025 21:05:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Dorsan dos Santos Moares - Orientador
Orientador - PPGGRD/IG/UFPa
Doutor em Química
Universidade Federal do Pará



BRUNO SANTANA CARNEIRO
Data: 06/08/2025 11:00:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Santana Carneiro - Coorientador
Doutor em Saúde Coletiva
Instituto Evandro Chagas



Documento assinado digitalmente
JOAO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR
Data: 16/10/2025 11:34:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João de Athaydes da Silva Júnior - Membro Interno
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará



Documento assinado digitalmente
SAMARA CRISTINA CAMPELO PINHEIRO
Data: 24/10/2025 13:11:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Samara Cristina Campelo Pinheiro - Membro Externo
Doutor em Saúde Coletiva
Instituto Evandro Chagas



Documento assinado digitalmente
KELSON DO CARMO FREITAS FAIAL
Data: 24/10/2025 16:17:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Kelson do Carmo Freitas Faial - Membro Externo
Doutor em Química
Instituto Evandro Chagas

RESUMO

Os recursos hídricos localizados próximos a regiões portuárias estão sujeitos aos chamados “riscos tecnológicos ambientais”, que demandam constante monitoramento. O Porto de Vila do Conde, no município de Barcarena-PA, já foi acometido por diversos acidentes ambientais passíveis de causar danos ao rio Pará, no qual está inserido. Diante disso, é essencial avaliar os riscos associados às atividades desenvolvidas na região e suas interferências nas condições naturais desse recurso, bem como nos modos de vida das comunidades do entorno. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da água do rio Pará através da análise de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e concentração de metais, buscando evidenciar possíveis alterações nesses indicadores correlatos a acidentes ambientais anteriores. Foram utilizados dados históricos do Instituto Evandro Chagas (2013 a 2023), além de coletas e análises. Com base no levantamento dos acidentes ambientais ocorridos na região, aplicou-se a metodologia *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), resultando na elaboração de um mapa de risco. As atividades desenvolvidas incluíram: levantamento bibliográfico, coleta de amostras, análises laboratoriais e aplicação do método FMEA, o qual consistiu na identificação dos acidentes (potenciais e reais), na caracterização dos riscos, seus efeitos (alterações nos indicadores), causas e na classificação dos impactos de acordo com severidade, ocorrência, facilidade de detecção e abrangência, culminando no cálculo do *Risk Priority Number* (RPN). A partir do RPN, foi possível categorizar os riscos, propor medidas mitigadoras e identificar aqueles de maior recorrência e criticidade. A análise permitiu a elaboração de um mapa de risco que apontou os rios Curupeté e Dendê como áreas de alto risco ambiental, ambos com RPN igual a 36, evidenciando a vulnerabilidade desses sistemas. Os dados obtidos revelaram que os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, turbidez, cor, nitrato, coliformes termotolerantes, alumínio, bário, cádmio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco estiveram acima dos Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Esses resultados demonstram que, apesar das grandes dimensões e vazões do rio Pará, o mesmo já apresenta sinais de degradação ambiental. Em relação à vulnerabilidade populacional, observou-se que as comunidades do entorno vêm sendo constantemente afetadas pelos acidentes ocorridos na seja pela escassez de água, pela impossibilidade de realizar atividades cotidianas como caça e pesca, pelo surgimento de doenças, ou ainda pelas frequentes desapropriações, que acarretam perdas na identidade cultural dessas populações.

Palavras-chave: riscos; região portuária; água; vulnerabilidade.

ABSTRACT

Water resources located near port areas are subject to so-called "technological environmental risks," which require constant monitoring. The Vila do Conde Port, located in the municipality of Barcarena, Pará, has been affected by several environmental accidents capable of harming the Pará River, into which it discharges. Therefore, it is essential to assess the risks associated with activities carried out in the region and their impact on the natural conditions of this water body, as well as on the livelihoods of surrounding communities. This study aimed to evaluate the water quality of the Pará River by analyzing physicochemical, microbiological, and metal concentration parameters, seeking to identify possible changes related to previous environmental accidents. Historical data from the Evandro Chagas Institute (2013–2023), along with new sample collections and analyses, were used. Based on the environmental accidents recorded in the region, the *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) methodology was applied, resulting in the creation of a risk map. The activities included bibliographic research, sample collection, laboratory analyses, and the application of FMEA, which consisted of identifying potential and actual accidents, characterizing the associated risks, their effects (parameter changes), causes, and classifying the impacts according to severity, frequency of occurrence, ease of detection, and extent—culminating in the calculation of the *Risk Priority Number* (RPN). Based on the RPN, it was possible to categorize the risks, propose mitigation measures, and identify the most recurrent and critical hazards. The risk map highlighted the Curupeté and Dendê rivers as areas of high environmental risk, both with an RPN of 36, demonstrating the vulnerability of these systems. The results showed that several parameters—such as pH, dissolved oxygen, turbidity, color, nitrate, thermotolerant coliforms, aluminum, barium, cadmium, copper, iron, manganese, nickel, lead, and zinc—exceeded the Maximum Permitted Values (MPV) established by CONAMA Resolution No. 357/2005. These findings indicate that, despite its large size and flow, the Pará River is already undergoing environmental degradation. Regarding population vulnerability, it was observed that nearby communities have been consistently impacted by regional accidents, whether due to water scarcity, the inability to perform daily subsistence activities such as hunting and fishing, the emergence of diseases, or frequent displacements that contribute to the loss of cultural identity.

Keywords: risks; port area; water; vulnerability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Descrição dos acidentes ambientais do complexo industrial de Vila do Conde ...	31
Figura 1 - Uso da água na Mineração	39
Figura 2 - Fluxograma de etapas de estudo	45
Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo	46
Figura 4 - Mapa hidrográfico das proximidades do complexo industrial.....	48
Quadro 2 - Descrição dos pontos de coleta	48
Quadro 3 - Métodos e equipamentos utilizados	49
Quadro 4 - Valores Máximos Permitidos pela resolução CONAMA nº367/05	51
Quadro 5 - Score de severidade do impacto	54
Quadro 6 - Score de ocorrência do impacto	55
Quadro 7 - Score de detecção do impacto	55
Quadro 8 - Score de Abrangência do impacto	56
Figura 5 - Gráfico Scree de perfil de autovalores das componentes principais.....	67
Figura 6 - Gráfico de cargas das duas primeiras componentes.....	68
Figura 7 - Dendrograma das variáveis de estudo.....	70
Quadro 9 - Medidas Mitigadoras	80
Figura 8 - Mapa de risco (descrição dos pontos)	82
Figura 9 - Mapa de risco	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo ponderação de risco.....	57
Tabela 2 - Exemplo classificação de risco.....	58
Tabela 3 - Resultados dos parâmetros Físico-químicos da água anos de 2013 a 2023	59
Tabela 4 - Resultados Físico-químicos por período e por maré de 2013 a 2023.....	61
Tabela 5 - Resultado das análises microbiológicas de 2013 a 2023.....	62
Tabela 6 - Resultados das análises microbiológicas por período e por maré de 2013 a 2023.	63
Tabela 7 - Resultado das análises de metais de 2013 a 2023	64
Tabela 8 - Resultados das análises de metais por período e por maré de 2013 a 2023	66
Tabela 9 – Resultado da análise do componentes principais e suas cargas	69
Tabela 10 – Resultado FMEA	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALBRAS	Alumínio Brasileiro
ALUBAR	Alumínio de Barcarena
ALUNORTE	Alumina do Norte do Brasil
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CDP	Companhia Docas do Pará
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração Mineral
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COSIPAR	Companhia Siderúrgica do Pará
CPC	Centro de Perícias Científicas
CPI	Comissão Parlamentar de Inquérito
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CT	Coliformes Totais
CTT	Coliformes Totais Termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEMA	Delegacia de Meio Ambiente
DIGEM	Diretoria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DRS	Depósito de Resíduos Sólidos
EC	Escherichia coli
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
HCA	Análise de Agrupamentos Hierárquicos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICP OES	Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado
IEC	Instituto Evandro Chagas
LAQUANAM	Laboratório de Química Analítica e Ambiental
LGS	Laboratório de Geoquímica e Saúde
MPF	Ministério Público Federal

OD	Oxigênio Dissolvido
PC	Polícia Civil
PCA	Análise de Componentes Principais
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RPN	Número de Prioridade de Risco
SEAMB	Seção de Meio Ambiente
SEDEME	Secretaria Estadual de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TCU	Tribunal de Contas da União
TC	Termo de Compromisso
USIPAR	Usina Siderúrgica do Pará
UTE CELBA	Usina Termelétrica – Centrais Elétricas Barcarena S.A.

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Ba	Bário
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cl ⁻	Cloreto
Co	Cobalto
Cu	Cobre
Cr	Cromo
Fe	Ferro
HNO ₃	Ácido Nítrico
K	Potássio
µl	Microlitro
Mg	Magnésio
ml	Mililitro
Mn	Manganês
Na	Sódio
Ni	Níquel
N-NH ₃	Nitrogênio Amoniacal
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
SO ₄	Sulfato
T°	Temperatura
Turb	Turbidez
Zn	Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 Conceito de risco	16
3.2 Gestão e análise de risco.....	18
3.2.1 FMEA.....	19
3.3 Riscos ambientais	20
3.3.1 Risco tecnológico ambiental.....	21
3.4 Histórico do porto de Vila do Conde	22
3.5 Histórico de acidentes ambientais na região portuária de Vila do Conde	23
3.6 Vulnerabilidade social das comunidades tradicionais de Vila do Conde.....	33
3.7 A importância da água comunidades tradicionais de Vila do Conde.....	36
3.8 O uso da água nos empreendimentos minero-metalúrgicos	37
3.9 Empreendimentos do complexo industrial de Vila do Conde	39
3.9.1 ALUNORTE.....	39
3.9.2 ALBRÁS	40
3.9.3 ALUBAR.....	39
3.9.4 ImeryS rio capim caulim e Pará pigmentos.....	41
3.9.5 Bunge fertilizantes S. A.	41
3.9.6 Votorantim cimentos N/NE S.A.....	41
3.9.7 USIPAR.....	42
3.9.8 Oxbow Brasil Energia e Comércio LTDA/TECOP	42
3.9.9 Terminal de uso privativo – Hidrovias do Brasil S.A.	43
3.9.10 Terminal de Grãos Ponta da Montanha	44
3.9.11 Eurochem fertilizantes Tocantins S.A.	44
3.9.12 Usina Termelétrica – Centrais Elétricas Barcarena S.A.....	44
4 METODOLOGIA	45
4.1 Área de estudo.....	45
4.1.2 Clima.....	46
4.1.3 Vegetação	46
4.1.4 Solo	47

4.1.5	Hidrografia.....	47
4.2	Coletas	48
4.2.1	CONAMA 357/2005	51
4.3	Tratamento estatístico	51
4.3.1	Estatística descritiva	51
4.3.2	Estatística multivariada.....	52
4.3.2.1	<i>Análise dos Componentes Principais (PCA)</i>	52
4.3.2.2	<i>Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA)</i>	52
4.4	Metodologia FMEA	53
4.4.1	Primeira etapa	53
4.4.2	Segunda etapa	53
4.4.3	Terceira etapa.....	53
4.4.4	Quarta etapa	54
4.4.5	Quinta etapa	54
4.4.5.1	<i>Severidade</i>	54
4.4.5.2	<i>Ocorrência</i>	55
4.4.5.3	<i>Detecção</i>	55
4.4.5.4	<i>Abrangência</i>	56
4.4.5.5	<i>Número de Prioridade de Risco (RPN)</i>	56
4.5	Mapa de risco	58
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Resultados Físico-químicos.	59
5.2	Resultados microbiológicos	62
5.3	Resultados de metais	64
5.4	Estatística multivariada	67
5.4.2	<i>Análise dos Componentes Principais (PCA)</i>	67
5.4.3	<i>Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA)</i>	67
5.5	Tabela FMEA	71
5.6	Medidas mitigadoras	79
5.6	Mapa de risco a partir do RPN	81
6	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A – MATERIAL DE APOIO PARA REUNIÃO	100
	APÊNDICE B – PRODUTO TÉCNICO	104

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso diretamente ligado à manutenção da vida na terra. Segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433 (1997), a água é um bem de domínio público, natural e limitado. Tendo em vista tal importância, é preciso promover a gestão desse recurso de maneira assertiva visando manter as atividades por meio dele exercidas.

Segundo Freitas (2023), o Brasil possui 12% das reservas de água doce superficial presentes no planeta terra. Dessa forma torna-se indispensável manter esse recurso não somente em quantidade como também em qualidade (Giatti, 2007). Von Sperling (2018), afirma que a qualidade de um corpo hídrico pode ser determinada através da soma de fatores naturais e antrópicos exercidos na bacia hidrográfica de interesse, de modo que as atividades realizadas as margens desse recurso podem influenciar diretamente na alteração das condições naturais do mesmo. Desse modo, torna-se cada vez mais importante a realização do monitoramento ambiental dos rios e demais contribuintes das bacias hidrográficas visando à proteção da população ao seu redor (Silva, 2021).

Historicamente, muitas cidades se iniciaram próximas às margens de rios, principalmente pela facilidade de escoamento de matéria-prima produzida nessas localidades. Posterior à revolução industrial, muitas empresas também passaram a adotar esses ambientes para alocação de suas sedes, visto que há a facilidade de obtenção de um grande volume de água para realização dos processos de produção (Costa, 2020). Batista e Miranda (2019) associaram os rios amazônicos como local de desenvolvimento desses chamados “hidronegócios”, onde se promovem polos industriais, grandes projetos mineradores e a evasão de commodities.

Dentro desse contexto encontra-se o porto de Vila do Conde no Município de Barcarena, Estado do Pará, inaugurado no ano de 1985 e a margem do rio Pará, formado por um complexo industrial que tem como principais atividades as operações com graneis minerais, agrícolas, líquidos, cargas vivas. Funciona como plataforma logística na Amazônia oriental e possui em sua extensão a maior refinaria de alumina do mundo (Costa; Silva, 2016; CDP, 2022).

De acordo com Rodrigues (2008), as atividades desenvolvidas no espaço físico do porto de Vila do Conde podem ser inseridas dentro do conceito de “risco tecnológico ambiental”, que se caracterizam como eventos acidentais dentro de um ambiente construído pelo homem, dos quais decorrem danos geralmente associados a processos industriais.

Existe na região um cenário recorrente de acidentes ambientais de grandes proporções, como: vazamento de caulim, transbordamento de bacia de rejeitos, explosões e até mesmo naufrágio, que podem alterar significativamente a qualidade dos corpos hídricos das proximidades e as atividades neles exercidas (Fiocruz, 2014).

Em 2018, a câmara legislativa do Pará entregou um relatório onde descreve pelo menos 26 acidentes ocorridos na zona portuária de Vila do Conde no período de 2000 a 2018, demonstrando assim que eventos como esses se tornaram costumeiros (Pará, 2018). Segundo o Instituto Evandro Chagas (IEC), é possível listar diversos acidentes no porto de Vila do Conde acarretando em concentrações de metais no rio Pará e em rios próximos acima dos permitidos nas resoluções pertinentes, e alterações de parâmetros físico-químicos da água (Lima, 2018). Demonstrando assim, os riscos a qualidade da água do rio Pará.

Dessa forma, há a necessidade em se buscar ferramentas para determinação e quantificação dos riscos ambientais a que está submetido um corpo hídrico. Para Buzzy, Larios e Kunz (2015), a identificação dos agentes de risco presentes no ambiente só podem ser determinados a partir do seu gerenciamento. À vista disso, Vieira (2012), atesta que através de um mapa de risco é possível visualizar os pontos críticos de um sistema e Matos (2014), completa dizendo que a metodologia FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) pode ser utilizada como ferramenta de avaliação da qualidade da água através da determinação de possíveis falhas e seus efeitos.

Assim, é de fundamental importância a avaliação constante dos recursos hídricos das proximidades do porto de Vila do Conde, não unicamente pelos acidentes recorrentes em seu entorno, como também pela deposição de efluentes industriais nas águas estuarinas do rio Pará tendo em vista a vulnerabilidade a que está submetido esse recurso hídrico e a importância econômica do maior porto da região norte do Brasil, não tão somente pela sua extensão, como também pela movimentação de mercadoria.

Nesse sentido, este trabalho tem por finalidade avaliar a série histórica de dados do IEC de 2014 a 2023. Identificando os acidentes ambientais ocorridos na linha do tempo deste estudo, visando assim destacar as possíveis alterações decorrentes dos mesmos e através da metodologia FMEA classificar e identificar os riscos de acidente na região e quais efeitos são gerados a qualidade da água, como também, fornecer subsídios para a construção de um mapa de risco da região portuária e assim identificar as áreas de maior vulnerabilidade populacional e as ameaças hídricas as quais as comunidades próximas estão expostas e como isso pode afetar sua subsistência.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar as possíveis ameaças à qualidade da água do rio Pará, nas proximidades do porto de Vila do Conde, município de Barcarena-PA, por meio da determinação de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e metais na zona de influência do porto, a partir da série histórica de dados do IEC, de 2013 a 2023. Realizar o levantamento da ocorrência de acidentes ambientais e das prováveis alterações causadas, visando definir os riscos associados a eles e sua relação com as alterações nos indicadores do estudo.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos: pH, turbidez, temperatura, cloretos, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos, nitratos, sulfato, demanda química de oxigênio (DQO), coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* na água do rio Pará.
- Determinar a quantificação dos metais: Alumínio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Níquel, Sódio e Zinco.
- Aplicar técnicas de estatística descritiva e multivariada a fim de identificar os valores máximos, mínimos, média, mediana e desvio padrão e avaliar as prováveis interações entre os parâmetros, a influência da sazonalidade e/ou da maré.
- Diante dos resultados, demonstrar de que forma as possíveis alterações ambientais podem causar impactos sobre as populações do entorno, considerando as vulnerabilidades sociais e os efeitos socioambientais decorrentes.
- Adotar a metodologia FMEA para gestão de riscos e realizar a concepção de mapa de risco da região portuária.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Conceito de risco

O conceito de risco está atrelado a probabilidade de ocorrência de um evento acidental, ou seja, a chance de que ocorra um sinistro. A ABNT NBR ISO 31000/2018 define risco como “efeitos de incertezas em objetivos”, já o Controle de Vigilância Sanitária (CVS) de São Paulo define como a “possibilidade de ocorrer um dano devido a um perigo” (Magnanelli, 2012). Santos, Rocha e Andrade (2016), afirmam que o conceito de risco é amplo e complexo e que diversos autores possuem compreensões distintas sobre ele.

Apesar do vasto entendimento de risco é preciso diferenciá-lo de outras palavras que facilmente são associadas a ele. Dagnino e Carpi Junior (2007) afirma que risco está presente em situações em que existem as palavras probabilidade, susceptibilidade, vulnerabilidade, acaso ou azar de ocorrer algum tipo de crise, ameaça, perigo, problema ou desastre. Outros termos como perigo e vulnerabilidade estão inteiramente ligados a ele e são importantes ao entendimento de risco, sendo o primeiro o dano potencial ligado a uma determinada atividade ou local e o segundo a fragilidade do ambiente ao ser exposto ao risco (Maio Junior *et al.*, 2018).

Para Rocha (2005) perigo “é uma situação potencial de ameaçar a vida humana, à saúde, a propriedade ou o ambiente”. Para Tominaga (2009) é “a possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer num determinado local e num período de especificado”, Brasil (2006) exemplifica a diferença entre risco e perigo na seguinte situação “uma água de consumo contendo patógenos constitui-se em um perigo, já o seu fornecimento à população caracteriza-se como um risco, pois pode ser quantificado e expresso como uma probabilidade.

A vulnerabilidade, contudo, trata-se da compreensão de elementos pertencente a um sistema que esteja sob ação de um perigo, ou seja, o quão susceptível um agente pode estar, dentro desse conceito são levados em consideração as forças e fraquezas do sistema, sua possibilidade de resposta ao risco. O Relatório do Desenvolvimento Humano de 2014 teve como tema “sustentar o progresso humano: reduzir vulnerabilidades e reforçar resiliência” o relatório aborda como comunidades expostas ao mesmo risco podem ter respostas completamente diferentes abordando como as desigualdades sociais são fatores cruciais a vulnerabilidade (Pnud, 2014).

O entendimento de vulnerabilidade social está ligado as fragilidades de uma população ao passo que quanto maior o seu grau maior será também a exposição ao risco. Essa vulnerabilidade pode estar relacionada a diversos fatores, como pobreza, localização geográfica, cultura ou qualquer outro que gere exclusão. No caso das comunidades ribeirinhas, está diretamente relacionada ao corpo hídrico que fazem parte e das atividades exercidas nele ou em sua proximidade (Scherer, 2004).

Tominaga (2009) torna esses conceitos em uma fórmula onde é possível compreender como cada um deles contribuem ao risco. O risco (R) então é o produto entre o perigo (P) a vulnerabilidade (V) e o Dano Potencial (DP), que pode ser expresso pela equação 3.1.

$$R = P \times V \times DP \quad (3.1)$$

Santos Rocha e Andrade (2016) exemplificam essa fórmula ao seguinte exemplo: hajam na mesma cidade dois bairros sujeitos a fortes chuvas, o bairro 1 possuem alto nível de urbanização, casas de alto padrão e drenagem eficiente, o bairro 2 apresenta residências de baixo padrão, sistemas sanitários precários ou inexistentes e fica próximo a um morro. Dessa forma evidencia-se a vulnerabilidade do bairro 2 sujeito a danos potenciais maiores em vista de sua pouca ou nenhuma capacidade de resposta e das condições físicas do ambiente em questão, susceptível a alagamentos e/ou enxurradas e movimento de massas. Os autores concluem que o conhecimento dos riscos viabiliza sua redução através da diminuição das vulnerabilidades sociais.

Vieillard-Baron (2007), levanta o conceito de risco social que seria fruto da soma de fatores endógenos como é o caso dos terremotos, inundações, erupções vulcânicas; e fatores exógenos dos quais a sociedade é agente principal, seja pelos processos de industrialização ou pelo desenvolvimento urbano. Logo, risco social é uma definição que abrange todos os riscos que incidem sobre uma sociedade.

O conceito de risco ambiental abrange tanto os chamados riscos naturais quanto os tecnológicos (produzidos pelo homem), assim devem ser geridos e tratados de maneira conjunta visto que ambos afetam a sociedade (Dagnino; Carpi Junior, 2007). Dessa forma, o risco deve ser observado a partir de uma perspectiva mais abrangente, o ambiente.

O entendimento e a percepção dos riscos se fundem, Dagnino e Carpi Junior (2007) afirmam que o termo citado por Rebelo (2003) de “Bacias de Risco” nada mais é que a existência de um ou mais riscos dentro de um determinado sistema, como exemplo os autores citam uma região onde há forte precipitação e existe a ocupação irregular das margens de um

rio somadas a estruturas de retificação do rio, neste exemplo é possível observar pelo menos três riscos associados, o risco natural, social e tecnológico. Nesse caso a eficiência da minimização dos riscos encontra-se no gerenciamento dos mesmos, ou seja, na gestão de riscos.

3.2 Gestão e análise de risco

A gestão de risco consiste de maneira geral em um processo de tomada de decisão que visa minimizar ou extinguir riscos, sendo possível encontrar diversos modelos de aplicação dos processos de gestão (Rosa, 2003). De acordo com a ABNT NBR ISO 31000/2018 a gestão de risco consiste em atividades para direcionar, dirigir e controlar uma organização no que diz respeito a risco. Para a Associação Brasileira de Gestão de Risco é uma metodologia que visa minimizar situações com potencial de dificultar a execução de um processo, um conjunto de ações e estratégias destinada a identificar, conduzir, administrar e prevenir riscos.

No intuito de lidar com os riscos e alcançar os objetivos pretendidos, diversos empreendimentos e organizações buscam metodologias de gestão estruturadas e sistematizadas. Historicamente, sabe-se que desde a antiga Babilônia é possível encontrar práticas de minimização de riscos (Hubbard, 2009). A partir de 1921 através da obra de Frank Knight "*Risk, Uncertainty and profit*" (risco, incerteza e lucro) foram adotados conceitos, princípios e sistemas (Brasil, 2018).

De acordo com a ABNT NBR ISO 31000/2018 a gestão de risco envolve os processos de: identificação do risco, análise e avaliação, seleção, implementação de resposta, monitoramento de riscos, controles e comunicação do risco, dentro desse contexto a análise de risco consiste na compreensão e determinação do nível de risco, e a partir dela outros processos como avaliação e tratamento podem ser desenvolvidos.

Para Araújo Junior (2016) a análise de risco funciona como uma fonte de informações base para a tomada de decisão, dessa forma o entendimento de um sistema, de suas possíveis falhas e seus agentes permite determinar decisões de forma assertiva.

A avaliação de risco se funde ao processo de análise e de maneira sistêmica, dá um parecer diante de parâmetros que podem influenciar o conjunto avaliado. Dessa forma, consegue atribuir uma magnitude ao risco (Brasil, 2018).

Para atribuição dos níveis de risco o Tribunal de Contas da União (TCU) de Brasília em seu referencial de gerenciamento de risco define as seguintes etapas: se um risco necessita de tratamento e prioridade, se uma determinada atividade deve ser realizada ou

descontinuada, se existem controles interno implementados e se já existirem se devem ser modificados ou eliminados e a partir dessas premissas estabelece níveis de risco baseados em probabilidades e impactos causados (Brasil, 2018).

Vieira (2012), divide 3 etapas a análise de risco: avaliação, gerenciamento e comunicação, já Brasil (2006) divide em: identificação do perigo, avaliação da dose-resposta, avaliação da exposição, onde são levantadas as vulnerabilidades da população diante do agente nocivo, caracterização dos riscos, onde seja possível qualificar e quantificar os riscos.

Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009) dividem a análise de risco em 3 etapas, a de avaliação de risco caracterizada como etapa inicial onde são levantadas as possíveis falhas do sistema, o gerenciamento que trata-se das ações corretivas ou de melhorias que tem como objetivo a minimização ou extinção das falhas e a comunicação que trata-se da divulgação do risco a quem for necessário a fim de estabelecer meio de proteção individual entre os componentes do sistema.

A análise e risco pode ser categorizada em quantitativa, qualitativa e híbrida, segundo Marhaviilas, Koulourotis e Gemini (2011), para o TCU em métodos quantitativos, qualitativos e semiquantitativos. Os métodos qualitativos definem os riscos em categorias (alto, médio, baixo), os métodos quantitativos atribuem algum valor numérico ao risco, já os métodos semiquantitativos ou híbridos mesclam ambas as metodologias, onde atribui-se valores a escalas qualitativas (Brasil, 2018).

Entre as metodologias qualitativas de análise e avaliação de riscos encontra-se a FMEA cujo objetivo principal é detectar falhas e ordena-las por ordem de importância visando a melhoria do sistema.

3.2.1 FMEA

A metodologia FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é traduzida como “Análise dos modos e efeitos de falha”, pode ser definida como um método de gestão, observação e categorização de eventos (falhas) dentro de um sistema, identificando e promovendo uma classificação desses eventos a partir do reconhecimento dos modos de falha e consequentes efeitos ocasionados a partir deles, dessa forma, objetiva estabelecer ações prioritárias de correção e/ou eliminação de falhas, sejam elas conhecidas ou potenciais, através de um score promovido por um produto de índices, é um método qualitativo de aplicação contínua e adaptável utilizado para melhoria de um sistema (Zambrano e Martins, 2007).

Esse método de categorização de risco foi criado na década de 40 implantada pelas forças armadas dos Estados Unidos em operações militares, na década de 60 foi empregada pelo setor da indústria aeroespacial e em seguida foi difundida na identificação de falhas nas linhas de montagem automotivas e diferentes indústrias por ser uma metodologia flexível e aplicável a diversos setores. E atualmente está ligada a sistemas de gestão da qualidade e requisitos de segurança como a ABNT NBR ISO 9001/2015.

Tradicionalmente, a FMEA é discutida em uma equipe multidisciplinar que tenha alguma relação com o sistema e que possa visualizar diferentes perspectivas diante do objeto analisado. O ideal é que a metodologia seja empregada antes da implementação do projeto para que as mudanças necessárias sejam realizadas antes de um evento de falha, o que garante adaptações de menor custo, porém a FMEA pode ser utilizada a qualquer tempo para corrigir ou mitigar riscos.

3.3 Riscos ambientais

O conceito de risco ambiental é normalmente associado aos danos possíveis em um determinado ambiente, ou seja, fatores presentes no meio, seja ele natural ou construído. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) define como o potencial de perda ou dano à saúde humana, meio ambiente ou outro bem fruto do produto entre a probabilidade de ocorrência, vulnerabilidade e a magnitude das perdas e danos, ou seja, o acontecimento, os fatores que o influenciam e as consequências (Cetesb, 2004).

Castro, Peixoto e Rio (2005) afirmam que “risco ambiental” abrange tantos os riscos “naturais”, quanto tecnológicos e sociais e que essa definição tão logo cairá em desuso visto não ser mais possível distingui-las em função da complexidade desses termos e da maneira como estão intrinsecamente ligados.

O termo “risco natural” é abordado segundo alguns autores como risco geológico ou risco geomorfológico visto que o entendimento atual desse tipo de risco não pode mais ser atrelado a palavra natural. O que é amplamente difundido academicamente para este termo é dado de acordo com White, Kates e Burton (2001) como o risco associado ao uso de recursos naturais, risco esse diretamente associado ao nível de vulnerabilidade de uma população. Ao passo que por vezes esse risco pode ser potencializado pelo crescimento populacional desordenado (Castro; Peixoto; Rio, 2005).

Junto ao conceito de risco ambiental funde-se também a compreensão do impacto ambiental que compreende as alterações físicas, químicas e biológicas proveniente de ações

humanas capazes de causar dano. De acordo com a resolução CONAMA nº 1 de 23 de janeiro de 1986 a definição deste termo nada mais é que:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I- A saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II- As atividades sociais e econômicas;

III- A biota;

IV- As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V- A qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986).

Dessa forma, o entendimento de risco pode estar atrelado a diversas definições e classificações de risco dentre os seus mais diversos tipos e abordagens por diferentes autores. Neste estudo abordar-se-á os riscos associados ao porto de Vila do Conde capazes de causar dano as comunidades próximas.

3.3.1 Risco tecnológico ambiental

O risco tecnológico ambiental está diretamente associado ao uso de tecnologias industriais e os eventos gerados a partir do vazamento de produtos químicos, explosões, e demais outros acidentes provenientes de atividades industriais, que podem gerar impactos de curto, médio e longo prazo ao meio ambiente e a comunidade, o que acarreta em danos significativos. A análise de risco, nesse caso, envolve inicialmente a identificação das possíveis fontes, análise de seus impactos, zona de abrangência e a probabilidade de ocorrência (Maio Junior *et al.*, 2018).

Após a revolução industrial a expansão tecnológica e automotiva dos processos de produção passou a acontecer de maneira cada vez mais rápida, expandindo também a circulação de produtos químicos e o desenvolvimento de ambientes fabris que corroboraram ao cenário do chamado risco tecnológico ambiental (Mendonça; Lima, 2020).

Para Lourenço (2007) é necessário observar algumas catástrofes de maneira mais aprofundada distanciando-as das causas naturais e demonstrando a ação do homem em sua ocorrência, quer seja pelo descumprimento de normas ou pelos diversos processos e manuseio de produtos em meio tecnológico. Sendo assim, é importante avaliar e considerar os meios de produção e possíveis impactos por eles causados no desatendimento das legislações pertinentes.

O estudo de Rodrigues (2008) aborda e insere a região do porto de Vila do Conde dentro do conceito de risco tecnológico ambiental. Esse tipo de risco caracteriza-se como ameaças ambientais provenientes do uso de tecnologias de fontes distintas inclusas as

técnicas de produção industrial, transporte e armazenamento de substâncias químicas perigosas e a geração de resíduos tóxicos.

O terminal portuário de Vila do Conde é um local de transporte constante de materiais como alumínio, alumina, bauxita, soda cáustica, óleos combustíveis e possui fluxo constante de embarcações. Além disso, o complexo industrial localizado nas proximidades também realiza atividades de potencial risco ao meio ambiente seja através da geração de rejeitos tóxicos a exemplo das bacias de rejeito ou mesmo falha de equipamentos e processos produtivos, ou ainda no modo de manipulação de produtos químicos.

3.4 Histórico do Porto de Vila do Conde

Na primeira metade da década de 50 no contexto da Amazônia legal, na sua parcela oriental em que constituem-se os estados do Pará, Amapá, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso, o Brasil adquiriu diversos investimentos de capital externo que visavam o desenvolvimento socioeconômico e industrial da região, dentre eles projetos de infraestrutura para transportes minerais e agrícolas, objetivando melhorar e expandir o escoamento e exploração dos recursos do território (Pinto, 2010; Rodrigues; Castro, 2013).

Em 1973, o Brasil firmou um acordo com o Japão para a implantação de uma fábrica de alumínio localizada na Amazônia oriental e iniciou um dos seus maiores empreendimentos minero-metalúrgicos que originou o projeto ALBRAS/ALUNORTE que compõe o atual complexo industrial de Vila do Conde em Barcarena, estado do Pará (Rocha, 2004; Pinto, 2010).

Em 1985, concomitante ao surgimento da ALBRAS/ALUNORTE inaugurou-se o porto de Vila do Conde em vista da necessidade de um porto que pudesse fazer parte do processo de expansão industrial e no intuito de escoar os produtos e subprodutos do complexo alumínico, ali situado. Além disso, nas proximidades do porto é possível encontrar outras indústrias do ramo têxtil, terminais cauliníferos, transportadoras de minério e diversos outros empreendimentos.

O porto foi alocado de maneira estratégica em função da sua localização geográfica privilegiada que beneficia os processos de importação e exportação com proximidade da capital e a extensa frente acostável, possui 10 braços de atracação com possibilidade de expansão (Pinto, 2010; Embrapa, 2020; CDP, 2022).

3.5 Histórico do Porto de Vila do Conde e acidentes ambientais na Região Portuária de Vila do Conde

O porto de Vila do Conde já esteve por diversas vezes relacionado a acidentes ambientais dos quais decorreram danos, afetando não somente a população em seu entorno como a qualidade da água do rio em que está inserido, o rio Pará, portanto é necessário abordar uma revisão de literatura dos acidentes ambientais identificados nas proximidades do porto provenientes de fonte antrópica e os conceitos necessários a compreensão do risco associado as atividades desenvolvidas na região portuária.

Dessa forma, serão listados 26 acidentes ambientais ocorridos na região do porto de Vila do Conde listados pelo movimento “Barcarena Livre” na publicação: “37 anos de desastres socioambientais em Barcarena, abordados também no documento intitulado “Danos ambientais na Bacia Hidrográfica do rio Pará” escrito por uma Comissão Parlamentar de investigação (CPI) composta por 14 deputados e entregue a câmara legislativa do estado do Pará no ano de 2018, acrescido de demais acidentes encontrados em literaturas pertinentes. Autores como Pereira Neta (2023) também realizaram levantamento na região chegando ao numero de 35 ocorrências de diversas origens e afirmando que a população do entorno está exposta a diferentes tipo de contaminantes seja pelo consumo da água ou mesmo pelo ar.

O primeiro desastre socioambiental listado no documento data do ano 2000 onde o naufrágio da balsa Miss Rondônia causou o derramamento de cerca de 2 milhões de litros de óleo BPF no rio Pará. Esse tipo de óleo é derivado do petróleo e possui baixa fluidez, houve na ocasião a quebra de uma bomba de sucção, que levou o material escuro a se dispersar nas águas do rio Pará (Pará, 2018; Cetesb, 2023; Pereira Neta, 2023).

Maia (2017), cita eventos em 1991 que levaram a casos de fluorose e aponta a responsabilidade a mineradora Albrás, já no ano de 1996 a retirada de areia da praia do Conde para fins de construção do porto da Ponta da Montanha também indicava alterações ambientais e a saúde das populações do entorno do complexo industrial.

No ano de 2002, houve o derramamento de aproximadamente 100 kg carvão mineral, acidente ambiental gerado após uma falha no transporte do material que ocasionou o aparecimento de uma extensa macha negra ao longo do rio Pará (Pará, 2018).

O ano de 2003 teve diversos desastres listados, o primeiro data, do dia 04 de abril onde foram relatadas pelos moradores alterações visuais da água do rio Murucupi e o aparecimento de peixes mortos e forte odor característico da presença de enxofre no local,

provenientes de uma tubulação exposta, ficando caracterizado pelo Centro de Perícias Científicas Renato Chaves (CPC Renato Chaves) a ocorrência de dano ambiental decorrente do vazamento de efluentes domésticos e industriais *in natura*. A despeito deste evento a Delegacia de Meio Ambiente (DEMA) e o CPC Renato Chaves consentem que houveram alterações à qualidade da água como diminuição do Oxigênio Dissolvido, e aumentos da turbidez que demonstram risco a saúde da população (DEMA, 2003; DEMAS, 2003 b; PC, 2003).

Após esse evento a DEMA indiciou a Alunorte e a prefeitura de Barcarena por crime ambiental de acordo com o Art. 54, & 2º, inciso V, Lei nº 9605/98 (DEMA, 2003b).

Ainda no ano 2003 no mês de maio segundo relato dos moradores à DEMA a coloração da água novamente foi alterada e desde o evento ocorrido não havia mais a presença de peixes na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Murucupi. Assim, a delegacia especializada declarou a materialidade do delito (DEMA, 2023c). Já a SEMAS, lavrou ato de infração pela alteração da coloração natural das águas do rio Murucupi e do igarapé Pramajozinho em função do vazamento de lama vermelha da Alunorte (SECTAM, 2003).

O IEC realizou vistorias no local onde foi possível determinar as alterações causadas ao rio Murucupi por meio do transbordamento de material lixiviado da célula de contenção do DRS 1 (Depósito de Resíduos Sólidos) que atingiu a água, vegetação e solo as proximidades do rio Murucupi. Após a realização da amostragem realizada pelo instituto em comparação a Resolução CONAMA 357/2005 o parâmetro cor esteve 3 vezes acima do estipulado na referida resolução, a intrusão de soda cáustica elevou a presença de elementos como sódio (Na) a concentrações da ordem de 202,2 mg/L (IEC, 2003).

O diretor industrial da Alunorte informou que:

[...] Que no dia 11/04/2003 foi constatada por funcionários da empresa que havia uma trinca no rejuntamento da manilha que conduz os efluentes já tratados para descarte no rio Pará. Que diante dessa inspeção a empresa adotou as medidas de prática, fazendo recuperação das juntas revestindo com cimento que esse vazamento foi percebido no dia 11 após as 17 horas e o serviço foi executado no dia seguinte a partir das 08 horas da manhã (Sectam, 2003b).

No mês de junho observou-se a morte de peixes na praia Itupanema em função do vazamento de compostos álcalis que ocasionaram a elevação da temperatura e pH da água do rio Pará. O IEC após análise de 8 espécies distintas declarou que as amostras apresentavam morte por quadro de hemorragia, encontrado em casos de contato com compostos álcalis. No evento, após perícia ficou constatada responsabilidade da refinaria Alunorte (CPC, 2003; Brabo; Lima e Santos, 2003).

O CPC declarou a existência de três condensadoras no sistema de produção da refinaria, e que no dia 16/06/03 a condensadora C, em fase de construção, ocasionou a contaminação do rio Pará em função de uma falha na válvula de vazão de licor cáustico (CPC, 2003b).

O inquérito da Polícia Civil do Pará (PC) nº 40/2003.000189-4 concluiu que o lançamento de efluentes líquidos no rio Pará ocasionou a morte de peixes pela presença de compostos álcalis na água (PC, 2003).

Em novembro de 2003 uma chuva de fuligem e fumaça atingiu as proximidades do porto de vila do conde, onde houve a dispersão de material particulado de cor escura e os moradores relataram problemas respiratórios e alergias. Marinho (2016) afirma que o número de casos de doenças respiratórias aumentou no município de Barcarena e que a possível causa desse aumento pode ocorrer em função dos processos da indústria de beneficiamento de caulim.

No primeiro semestre de 2004, um transbordamento de caulim causou alterações ao rio Dendê e ao igarapé do Curuperé, causando coloração esbranquiçada na água e aparecimento de animais mortos segundo depoimentos da própria comunidade listados no inquérito nº 0040/2004.000292-3. De acordo com o CPC (2004) as alterações causadas pelo carreamento de minério de caulim alterou condições de acidez da água com pH variando da ordem de 2 a 4 (extremamente ácido).

Ainda de acordo com o CPC, no laudo policial nº 017/04 o transbordamento de uma pilha de caulim atingiu o rio Dendê esse fato de acordo com o laudo teve influência da intensa pluviosidade e da ineficiência da bomba do sistema de comportas. A conclusão da perícia confirma a poluição ambiental do rio Dendê e do Curuperé (CPC, 2004).

Ainda em 2004 um novo acidente causou a contaminação do ar, praias e rios próximos ao complexo industrial pela presença de fuligem da Alunorte (Pará, 2018).

Em 2005 ficou constatada contaminação por soda cáustica no rio Pará novamente causada pela Alunorte (Pará, 2018).

Em julho de 2006 nova infiltração na bacia de rejeitos ocasionou vazamento de caulim ao rio Dendê e ao igarapé do Curuperé, gerando contaminação dos poços das comunidades próximas e o lançamento de fuligem das chaminés da Imerys. No mesmo ano foi possível observar a floração de algas no igarapé Muruçá e na praia do Caripi (Pará, 2018).

Os moradores do bairro industrial localizado próximo a empresa Imerys observaram coloração esbranquiçada das águas subterrâneas da comunidade, na ocasião a empresa

passou a fornecer água mineral e potável para os moradores. O inquérito policial nº 0040/2006.000267-9 confirmou a infiltração da bacia de rejeito nº 03 e que a mudança das características naturais das águas subterrâneas correspondia a intrusão de caulim. (PC, 2006).

Na ocasião o IEC em seu relatório 005/2007 afirmou após a coleta em 7 pontos amostrais distintos que houve alteração de acidez da água confirmada nas análises de pH (IEC, 2007).

Em 2007, novamente uma mudança de coloração da água foi observada pelos moradores, essa alteração se deu em razão de uma fissura no talude da barragem que ocasionou o vazamento de mais de 200.000 m³ de rejeitos de caulim no rio Dendê e no igarapé do Curuparé, onde conforme relatos dos moradores e inquéritos policiais instaurados, houve poluição do solo e da água evidenciada pela alteração da cor das águas subterrâneas, segundo relatório da câmara dos deputados do Estado do Pará o vazamento percorreu cerca de 19 km chegando a atingir o rio Pará (Pará, 2018).

De acordo com o Laboratório de Química Analítica e Ambiental da Universidade Federal do Pará (LAQUANAM) elevadas concentrações de bário atingiram e contaminaram o Curuparé e o Dendê de forma que as alterações causadas a natureza desses recursos hídricos já tomam proporções tamanhas que há a necessidade que os órgãos competentes exijam o tratamento de efluentes dispostos nesses corpos d'água (LAQUANAM, 2007). Lemos (2018), afirma que os acidentes recorrentes de vazamento de caulim demonstram a falta de manutenção dos equipamentos e a incapacidade em armazenar os rejeitos gerados. De acordo com o relatório nº 005/2007 do IEC os impactos causados atingiram as comunidades do bairro Industrial e da ilha São João e que as famílias dessas localidades encontram-se em risco constante pela proximidade a bacia de rejeitos (IEC, 2007).

O CPC concluiu a existência do dano ambiental às águas dos rios Dendê e ao igarapé Curuparé e ainda a praia de Vila do Conde causando a inutilidade desses corpos d'água seja para consumo ou recreação. A perícia atestou a presença de pequenos movimentos de massa nos taludes de característica mecânica e reitera os riscos de ruptura dessas estruturas, o que gera risco direto para as comunidades próximas. Além disso, demonstra a ausência de monitoramento constante desses ambientes e de um plano de contingência que possa nortear as ações em caso de emergência (CPC, 2007).

Ainda no ano de 2007 a COSIPAR (Companhia Siderúrgica do Pará) foi indicada no discurso do senador José Nery como a causadora de dano ambiental ao rio Arianga, em função de um vazamento da Usipar (Usina Siderúrgica do Pará) evidenciado pela

mortandade de peixes observada pelos moradores das proximidades e casos de alergias e mal-estar da população que consumiu ou esteve em contato com a água (Senado Notícias, 2007).

Em 2008, um vazamento de caulim atingiu o rio das Cobras, o Curuperé, o Dendê e o São João. Um naufrágio do rebocador Jeany Glalon XXXII, próximo ao furo do arrozal, gerou o derramamento de cerca de 30 mil litros de óleo combustível que se visualizou em uma mancha de aproximadamente 17 km de extensão (Pará, 2018).

Em abril de 2009, após fortes chuvas foi comprovado transbordamento de barreira de contenção escoando lama vermelha para o rio Murucupi e o furo do Arrozal. Na ocasião os parâmetros cor, turbidez, OD, cloreto, alumínio, cádmio, cobre e pH apresentaram alterações e valores acima do máximo permitido na resolução CONAMA 357/2005. Além disso, também foram constatadas mudanças bióticas e observou-se o aparecimento de espuma sobre o leito do rio, levando a constatação pelo CPC do transbordamento de quantidade expressiva do sobrenadante das bacias de rejeito (CPC, 2009).

No site da empresa Hydro/Alunorte o seguinte texto foi publicado:

[...] Mesmo assim, em 2009, depois de uma das piores chuvas já registradas, a Alunorte, uma refinaria de alumina do Brasil na qual a Hydro tem participação, vivenciou o transbordamento de água e lama vermelha dos canais de drenagem do complexo industrial.

O incidente levou efluentes ao Rio Murucupi, cujas águas adquiriram a coloração vermelha da lama. Em cooperação com as autoridades locais a Alunorte instaurou uma investigação. Os efluentes continham vestígios e hidróxido de sódio, que é usado no processo de produção de alumina a partir da bauxita, mas não foram identificados danos maiores em consequência do vazamento (Pará, 2018).

Novembro de 2011 foi marcado pelo rompimento de um mineroduto e vazamento de poupa de caulim da empresa Imerys que acabou atingindo o igarapé Maricá causando alterações na coloração da água. O CPC em laudo afirma que houve dano causado aos recursos hídricos próximos corroborando resultados encontrados pelo LAQUANAM, que em seu relatório afirma, o vazamento causou a contaminação de rios, o que foi confirmado pelas análises de turbidez (LAQUANAM, 2011).

No mês de julho de 2012 novo vazamento de caulim ocasionou alterações no igarapé Maricá e no rio Dendê que afetou as comunidades de ilha São João, Maricá e Dendê. O CPC em parceria com IEC afirmou que a poluição do igarapé Maricá ocasionou danos desde a sua nascente (CPC, 2012).

Em agosto de 2013 a substituição de um mineroduto causou o vazamento de cerca de 500 L de caulim diluído em água que atingiu o igarapé e a comunidade do Curuperé (CPC, 2013).

No ano de 2014 outro vazamento de caulim na bacia 5C atingiu o Curupeté confirmado pelo CPC que as atividades exercidas pela Imerys Rio Capim comprometeram as características naturais do igarapé causando poluição ambiental (CPC, 2014).

Em 2014 a Imerys assinou um TAC (Termo de Ajustamento de Conduta) nº 001/2014 onde a empresa foi obrigada a fornecer água as comunidades atingidas nos acidentes de 2007 e de 2014 e a realização de reparos nas suas instalações (Pará, 2018).

Em 2015 a multinacional Bunge Alimentos S/A foi multada por crime ambiental e proibida de utilizar as margens de rios, praias, aningaís, barrancos e matas ciliares para fins de atracação utilizando somente o porto do qual possuem licença para a prática. No dia 22 de junho de 2015 as comunidades do assentamento Jesus de Nazaré e a Associação de Moradores da Fazendinha moveram uma ação civil pública contra a empresa de alimento Bunge e Amaggi Exportação e Importação Ltda., face a junção de ambas para utilização dos portos de Miritituba e Barcarena com uma “joint venture” para fins de escoamento de grãos (O impacto, 2015).

Contudo os portos de Barcarena e Miritituba possuem licença apenas para carregamento e descarregamento e não para estacionamento de barcas, transporte este que vem ocasionando impacto as matas ciliares das margens do furo do Arrozal, pelo alto fluxo demandado, cita-se nos autos do processo que em certa ocasião uma das barcas carregada com soja apodreceu o que gerou grande quantidade de metano, que supostamente causou a morte de 3 pessoas e por conta do odor gerado a carga foi despejada nas águas do furo do Arrozal (O impacto, 2015).

Um dos acidentes mais conhecidos da região de Vila do Conde data do dia 06 de outubro de 2015, onde o naufrágio do navio Haidar ocasionou a morte de mais de 4 mil bois vivos e o derramamento de cerca de 730 mil litros de combustíveis do navio. Após o ocorrido as comunidades próximas relataram o aparecimento da carcaça desses animais, em estado de putrefação, perda de redes de pesca, trapiches, ancoradouros e currais (Pará, 2018).

Na ocasião o CPC constatou a poluição do rio Pará, solo e proximidades pelo expressivo volume de combustível derramado, houve o desmatamento de uma área localizada na comunidade do Pedral onde foram feitas duas covas para deposição das carcaças dos animais, o odor fétido que decorreu da situação prejudicou o desenvolvimento de atividades turísticas afetando economicamente a comunidade. Na apuração das investigações em relatório da marinha do Brasil ficou constatado que o naufrágio ocorreu

pela soma de 5 vetores: Incompetência, caso fortuito, irresponsabilidade, omissão e ausência de plano de emergência (Pará, 2018).

Além disso, o relatório afirma também que 3 fatores foram responsáveis pela ocorrência do naufrágio: humano, material e operacional. Em conclusão as consequências evidenciam-se em danos ambientais, sociais e econômicos, manifestados em riscos de ordem física, química e biológica ao meio ambiente e a saúde humana (Pará, 2018).

Em outubro de 2016 novamente um vazamento de caulim causado por uma fissura na tubulação de transporte da polpa de caulim atingiu o Curuperé, Dendê e São João (PC, 2019).

Ainda em 2016 ocorreu o naufrágio do rebocador ciclope e nova contaminação por concentrações elevadas de metais atingiu o rio Pará e Dendê (Pará, 2018).

Em 16 e 17 de fevereiro de 2018, um vazamento de efluente atingiu o rio Murucupi afetando a comunidade Bom Futuro, durante o ocorrido os moradores relataram a presença de espuma branca nas águas dos poços. Tão logo o acidente foi atribuído a uma suposta chuva decamilenar que de acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) não ocorreu (Pará, 2018). Na ocasião verificou-se a existência de uma tubulação clandestina da refinaria Alunorte que ocasionou vazamento de resíduos tóxico e consequente acidente ambiental (PC, 2018) e constatou-se o vazamento de bacia de rejeitos de produção de alumina que tornou a coloração do rios avermelhada.

Em estudos realizados pelo LAQUANAM em 90 moradores de 14 comunidades de Barcarena, através de amostras de cabelo analisadas por ICP OES para determinação de 21 elementos, foi confirmada a presença de Al, B, Cr, Co, Ca, K, Fe, Mg, Mn, Ni, P, V, Cu, B, Si, Sr, Sn, Ti, Zn e Pb, este último com concentrações superiores a 10 µg/g em 80 % das amostras, valor esse considerado como controle por alguns autores visto que, no Brasil não há valor de referência estabelecido em norma.

A Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) nº04/2018 instaurada para investigar o ocorrido em fevereiro de 2018 teve como resposta os laudos do IEC que evidenciaram alterações da cor de igarapés atingidos, a inexistência de barreira protetora entre o empreendimento e a comunidade Bom Futuro, o que torna o ambiente passível de novos acidentes, no Depósitos de Resíduos Sólidos (DRS), verificou-se a presença de área alagada e uma tubulação clandestina fora das dependências da empresa (IEC, 2018b).

Em nota técnica (002/2018) a Seção de Meio ambiente (SEAMB), à época SAMAM, sugeriu a adoção de medidas cautelares que envolvem a viabilização para as comunidades de Bom Futuro e Vila Nova e a criação de plano de emergência de avaliação da qualidade das

águas superficiais dessas comunidades. Ainda na nota técnica 002/2018 do IEC conclui-se o vazamento de efluentes dos reservatórios da empresa não somente pela ocasião das chuvas, mas também pela ineficiência do empreendimento em tratar seus resíduos (IEC, 2018).

O Relatório Técnico SAMAM IEC 003/2018 avaliou a qualidade da água em 35 pontos distintos em sua maioria no rio Murucupi e em efluentes das bacias de rejeito. Na ocasião foram avaliados parâmetros como a concentração de metais de interesse, alcalinidade, cor verdadeira, temperatura, TDS, Sólidos Totais Suspensos, condutividade elétrica, pH, cloreto e sulfato. O relatório conclui apresentando dados sobre a presença de metais como alumínio, ferro, titânio, arsênio, bário, cádmio, cromo, manganês, mercúrio, urânio, níquel, chumbo, selênio, zinco, cobalto e cobre nas amostras avaliadas, em alguns pontos com concentrações superiores aos limites estabelecidos nas resoluções pertinentes (IEC, 2018b).

Diante dos laudos e estudos apresentados a CPI concluiu que houve dano ambiental por parte da Hydro/Alunorte, declarando a infração dos artigos: Art. 11 da lei estadual nº 5887 de 1995, que dispõe sobre a política estadual de meio ambiente e normatiza que a disposição e lançamento de resíduos quaisquer de fonte poluidora deve obedecer as normas e padrões estabelecidos nessa lei, o Art. 70 da lei federal nº 9605 de 1998, que caracteriza a infração administrativa na ação ou omissão que cause prejuízo ao meio ambiente e o Art. 225 da Constituição Federal de 1988 que garante o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e a qualidade de vida (Pará, 2018).

Na descrição dos autos listados pela CPI constam as seguintes infrações: a afirmação que no dia 17 de fevereiro de 2018 houve o lançamento de águas pluviais da usina sem tratamento no rio Pará, que a existência de 5 tubos do subsolo da área SUMP 45 que encontram-se com risco de vazamento de efluentes, que atingiriam diretamente áreas de floresta, que o item 13 da notificação nº 108/DLA/SAGRA/218 que apontava o limite das bordas livres a serem mantidos não foi cumprida, que o desvio da drenagem de água pluviais para drenagem de efluentes da refinaria ALBRAS necessitava de tratamento prévio, que do período de 20 a 25 de fevereiro de 2018 o canal de descarga de efluentes despejou seus resíduos no rio Pará sem a devida concessão e que neste mesmo período o “canal reserva” também teve como destino final o rio Pará e a ausência de autorização dos órgãos competentes (Pará, 2018).

Em decisão judicial no dia 28/02/2018 no processo nº 0002384-18201.814.0008 o juiz do caso deferiu as medidas cautelares requeridas pelo Ministério Público do Pará e

determinou a suspensão parcial de atividades da empresa Hydro/Alunorte afim de evitar maiores danos as comunidades envolvidas e ao meio ambiente (Pará, 2018).

Em setembro de 2018 a Alunorte por meio da assinatura de um TAC e de um Termo de Compromisso (TC) retomou as suas operações normais. No primeiro documento a empresa garante investir em melhorias técnicas e estudos, a concessão de um auxílio alimentação as famílias afetadas pelo empreendimento e a realização de auditorias. O TC envolve investimentos em melhorias sociais nas comunidades (Pará, 2018).

Ainda no documento desenvolvido pela CPI encontra-se a seguinte colocação:

Não é mais possível crer que é infinita a resiliência o meio ambiente local, como se este e as populações fossem capazes de suportar infinitas, crescentes e sobrepostas atividades poluidoras, fazendo parecer que a natureza local consegue absorver em rápido período de tempo os danos que lhe são infligidos.

É de se imaginar que esteja próximo ao ponto de ruptura, onde os danos ambientais sobrepostos não permitirão a coexistência das atividades produtivas e o modo de existência tradicional [...] (Pará, 2018).

Em 2021 a explosão de um galpão da mineradora Imerys causou a dispersão de fumaça branca sobre comunidades próximas ao empreendimento. O incêndio teria ocorrido em um depósito de produtos químicos da empresa. De acordo com a Imerys no local havia hidrossulfito de sódio, um pó branco com odor semelhante ao dióxido de enxofre. (Vila..., 2021).

O quadro 1 contém um resumo dos acidentes ambientais ocorridos na região portuária de Vila do Conde desde 1991 até 2021 que foram expostos neste estudo.

Quadro 1 – Descrição dos acidentes ambientais do complexo industrial de Vila do Conde.

Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano
1991	Albrás	Casos de Fluorose	
1996		Retirada de areia da praia	Praia do conde
2000		Naufrágio da balsa Miss Rondônia, com derramamento de aproximadamente 2 milhões de litros de óleo BPF	Rio Pará
2002	Albrás/Alunorte	Derramamento de coque (pó derivado do petróleo, também conhecido como carvão mineral), causado pela falha de transporte entre o navio e o complexo industrial Albrás/Alunorte, gerando mancha negra de 2 Km de extensão	Rio Pará
2003	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos, causando mudança de coloração da água e morte de peixes	Rio Murucupi

2003	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos, causando mudança de coloração da água e morte de peixes	Rio Murucupi e Pramajozinho
2003		Chuva de fuligem, praias, rios, residências e estabelecimentos comerciais foram cobertos de material particulado de cor preta que chegou a 5 centímetros de espessura, provocando reações alérgicas e complicações respiratórias nos moradores	
2003	Alunorte	Derramamento de compostos alcális	Rio Pará
2004	Imerys	Vazamento de caulim	Curupéré e Dendê
2004	Alunorte	Chuva de fuligem, praias, rios, residências e estabelecimentos comerciais foram cobertos de material particulado provocando reações alérgicas e complicações respiratórias nos moradores	
2005	Alunorte	Vazamento de soda cáustica	Rio Pará
2006		Floração de algas	Igarapé Mucuraça e Praia do Caripi
2006	Imerys	Vazamento de rejeitos que contaminou curso d'água e lençol freático	curupéré e Dendê
2007	Imerys	Vazamento de mais de 200 mil m ³ de caulim que percorrem 19km de distância do ponto de vazamento ao longo dos cursos d'água, tornando a água imprópria para consumo	Curupéré, Dendê e rio Pará
2007	COSIPAR	Morte de peixes	Rio Arienga
2008	Imerys	Vazamento de caulim	Rio das Cobras, Curupéré, Dendê e São João
2008	Petrobrás	Vazamento de óleo	Vila do Conde
2008		Naufrágio rebocador Jeany Glalon XXXII, causando o vazamento de aproximadamente 30 mil L de óleo e o surgimento de uma mancha negra de 17 Km de extensão	Furo do Arrozal
2009	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos, causando morte de peixes e danos aos moradores	Rio Murucupi
2010		Nuvem de fuligem	Bairro Industrial
2011	Imerys	Rompimento de duto com efluentes ácidos	Curupéré e Dendê
2012	Imerys	Rompimento de mineroduto, em função de uma fissura, entre o porto e a planta da empresa por cerca de 24 horas	Rio Maricá e Dendê
2013	Imerys	Substituição de mineroduto causou vazamento de caulim	Curupéré

2014	Imerys	Vazamento de caulim	Curupéré e Dendê
2015	Bunge/Amaggi	Impacto as matas ciliares pelo alto fluxo de embarcações, despejo de soja apodrecida no curso d'água	Furo do Arrozal
2015		Naufrágio do Navio Haidar, com 5 mil bois e 700 toneladas de óleo	Praia do conde e Beja
2016		Contaminação de praias por resíduos de esgotamento urbano	Rio Pará e Dendê
2016	Imerys	Vazamento de caulim	Rio cobras, Curupéré, Dendê, São João e praia Conde
2016		Naufrágio do rebocador Ciclope	
2018	Hydro/Alunorte	Vazamento de bacia de rejeitos	Curupéré e Dendê
2018		Tombamento de caminhão contendo lama vermelha	Murucupi e São Francisco
2019	Imerys	Vazamento de efluentes de caulim	Curupéré e Dendê
2021	Imerys	Explosão de depósito de produtos químicos	

Fonte: Adaptado de Barcarena Livre informa nº1 (2016); Maia (2017); Pará (2018); Vila... (2021).

Em suma a região de Vila do Conde, é constantemente impactada por novas transformações no uso e ocupação do solo, seja pelos constantes desmatamentos e abertura de estradas ou mesmo pela instalação de novos empreendimentos de grande ou pequeno porte como: comerciais, oficinas, marcenarias, entre outros. Esses empreendimentos, mesmo os de menor escala, são passíveis de gerar impactos ambientais significativos, sobretudo em áreas sensíveis e com baixa cobertura de infraestrutura urbana e de saneamento básico, somado a eles às comunidades do entorno configuram-se como uma das principais fontes de poluição difusa, contribuindo para a contaminação dos corpos hídricos da região. Essas alterações favorecem processos de degradação ambiental e reforçam a condição de vulnerabilidade das populações ribeirinhas que dependem diretamente da água para sua subsistência (Monteiro, 2017).

3.6 Vulnerabilidade social das comunidades tradicionais de Vila do Conde

Antes da implantação do porto de Vila do Conde, já estavam estabelecidas na região algumas comunidades de pescadores, extrativistas e agricultores. A partir de 1977, iniciaram-se os processos de desapropriação de terras para dar lugar aos grandes empreendimentos que sucederam os investimentos na Amazônia legal. Assim, muitas comunidades deixaram de

existir ou tiveram que mover-se para outro território. Apesar da saída das populações tradicionais houve também a chegada de milhares de pessoas atraídas por oportunidades de emprego (Nunes *et al.*, 2019).

A lei 13.125/15 em seu Art. 2º, inciso IV estabelece o conceito de comunidade tradicional como:

[...] grupo culturalmente diferenciado que se reconhece como tal, possui forma própria de organização social e ocupa e usa territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica, utilizando conhecimentos, inovações e práticas geradas e transmitidas pela tradição (Brasil, 2015).

O laudo técnico antropológico do Ministério Público Federal identificou os grupos culturais presentes em Vila do Conde indicando a presença de comunidades indígenas e das comunidades do Curupeté, Canaã, Maricá, Ilha São João, Acuí, Pramajó/Peteca, Dom Manoel, Bairro industrial, e as comunidades do rio Arienga (MPF, 2016).

Em 1977 o decreto nº 10.064 de 25 de abril de 1977 desapropriou um polígono pertencente ao município de Barcarena que chegando ao total de 513 famílias desapropriadas das mais diversas comunidades (Pará, 1977).

A desapropriação de terras no município de Barcarena foi realizada através da parceria do Instituto de Terras do Pará (INTERPA), Instituto de Colonização e Reforma agrária (INCRA), da Companhia de Desenvolvimento Industrial do Pará (CDI) e da Companhia de Desenvolvimento de Barcarena (CODEBAR) (Castro; Carmo, 2019).

Hazeu e Rodrigues (2019), demonstram que comunidades como a do Montanha foram totalmente descaracterizadas e deslocadas, formando a nova comunidade do Curupeté de onde foram novamente deslocados para a comunidade Nova Vida, o que gera perda da identidade cultural coletiva dessas famílias através do desaparecimento de atividades cotidianas. Os autores utilizam dos termos “Desposseção e Espoliação” para o fenômeno ocorrido nessa região. De acordo com Harvey (2004) esses termos podem ser entendidos como a remoção forçada dos moradores para privatização do território e de bens públicos e a mudança nas formas de produção alternativas para arrecadação de impostos e a mercantilização de recursos naturais.

Pereira neta (2021) afirma que na região destacavam-se como grandes produtores coloniais as olarias e engenhos, e que até antes da década de 70 a cidade ainda possuía suas características naturais preservada passando a sofrer modificações significativas de seu cenário cultural, natural e familiar a partir das intensas desapropriações, tendo em vista as formas de moradia e subsistência das populações que residiam na região.

A partir de 1980 com a chegada de aproximadamente 12 mil trabalhadores cerca de 10 mil moradores nativos deixaram seus lares e cerca de 3 comunidades deixaram de existir, são elas: Tauá, Montanha e Dom Manoel. A promessa de incorporação dos moradores ao quadro de funcionários dos empreendimentos futuros, não obteve sucesso, de maneira geral, poucos foram incorporados como mão-de-obra, pela baixa escolaridade e nível de instrução (Nunnes *et al.*, 2019; Gester *et al.*, 2023).

Para Marinho *et al.* (2016) o processo de migração para Barcarena foi intensificado pela promessa de obtenção de emprego atrelada a instalação de diversos empreendimentos, o que gerou a instalação desordenada desses migrantes causando inchaço populacional de comunidades como Vila do Conde, Itupanema e Laranjal e ainda o surgimento de aglomerados como o de Vila dos Cabanos e do Canaã e o bairro industrial.

Posterior aos empreendimentos que extinguiram ou mesmo alteraram de alguma forma as comunidades originais de Vila do Conde, os diversos acidentes ambientais que se sucederam a partir dessas intervenções continuaram a afastar cada vez mais os moradores que viram seus igarapés serem contaminados, seus poços tornarem-se inutilizáveis, a pesca tornar-se cada vez mais difícil, e os animais de caça cada vez mais escassos (Nunes *et al.*, 2019).

Esse cenário de conflitos constantes tornou o Brasil o 2º país com maior número de conflitos ambientais e socioambientais em 2019, sendo a Região de Integração RI-Tocantins, onde está inserido o município de Barcarena, a 3º com mais conflitos por água do espaço agrário paraense (Hazeu; Cruz, 2020; Gester *et al.*, 2023). Hazeu e Cruz (2020) afirmam ainda que os recursos hídricos tem sido alvo de “acumulação por espoliação”, sendo apropriados pelos detentores de capital causando a segregação do uso desse bem e aumentando desigualdades estruturais.

Além dos problemas ambientais a comunidade sofreu ao longo dos anos com problemas de saúde. Naka *et al.* (2019) evidenciou a alta concentração de cádmio em exames de sangue realizados na população de Vila do Conde.

Em relatos citados por moradores o banho de igarapé tornou-se impraticável em função do aparecimento de manchas na pele, inflamações e ardor nos olhos, dores de cabeça, diarreias, febre, vômitos e queda de cabelo (Hazeu; Cruz, 2020). Macêdo (2019) verificou que 603 atendimentos médicos tiveram sintomas comuns aos pacientes, que inclui enjojo, dor de cabeça e vômito após o naufrágio do navio Haidar.

Em audiência realizada na câmara dos deputados no ano de 2018 referente a CPI que investigou os acidentes ambientais recorrentes em Vila do Conde Alessandra Munduruku liderança indígena relatou:

Querem nos matar de sede, de fome e com ódio querem exterminar os povos originários dessa terra. Querem contaminar tudo, nossas terras, nossas águas, nossas vidas. Mas nossos guerreiros, nossos encantados e deuses não vão permitir que isso aconteça. Denunciamos esses projetos de morte e anunciamos nossa certeza de que isso não vamos permitir (Pará, 2018).

Atualmente ainda resistem no território a atividade de pesca e turismo, através dos bares e restaurantes do entorno da praia do Conde, ainda que a caça e agricultura tenham sido praticamente extintas. Nesse sentido, o rio Pará desempenha não somente o papel de via de escoamento como também tem seu uso voltado para recreação e pesca. Assim, a qualidade desse corpo hídrico deve adequar-se a todas as suas aplicações (Peixoto *et al.*, 2014).

3.7 A importância da água para as comunidades tradicionais de Vila do Conde

A água tem papel fundamental na vida dos moradores próximos a ela funciona não somente como uma fonte de abastecimento, mas também para atividades de subsistência como a pesca e para fins de recreação. Além disso, constitui-se como elemento cultural, de espiritualidade, com valor simbólico para essas comunidades (Castro, 2008).

No município de Barcarena, na região de Vila do Conde, as populações tradicionais tem forte relação com os corpos hídricos utilizando-os nas mais diversas atividades. Contudo, essa prática foi ao longo dos anos prejudicada com o a estruturação de grandes empreendimentos e constituição do complexo industrial (Miranda, 2016).

As operações envolvendo minério, fertilizantes, alumínio e combustíveis prejudicaram diversos corpo hídricos afetando diretamente o modo de vida da população, sua fonte de renda e causando insegurança alimentar. O conhecimento tradicional, repassado através de gerações, das técnicas de captura, defeso e a conservação de espécies é uma prática que tem se perdido ao longo dos anos pela constante degradação dos corpos hídricos (Gonçalves, 2006; Acsegrad, 2015).

A utilização da água pelas comunidades do entorno é marcada também pela ausência ou ineficiência de sistemas de tratamento de esgoto doméstico e resíduos gerados o que também pode ser uma fonte contaminante para os rios da região. Nesse contexto a água é um reflexo de injustiças socioambientais enfrentadas por essas comunidades que tem suas rotinas

e meios de subsistência impactados pelos grandes empreendimentos e seus “avanços” (Monteiro, 2017).

3.8 O uso da água nos empreendimentos minero-metalúrgicos

Para compreender o uso da água nos processos minero-metalúrgicos é importante compreender a relevância econômica desses empreendimentos. Segundo Sousa (2022) o estado do Pará possui grandes riquezas minerais capazes de gerar volumosos lucros e que demonstram a importância e valorização da exploração desses bens, a formação geológica do estado contribui a esse cenário onde é possível dispor de metais nobres ferrosos e não ferrosos, minerais e rochas.

De acordo com o relatório da Diretoria de Geologia, Mineração e transformação mineral (DIGEM) através da Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Mineração e Energia (SEDEME) sobre a produção mineral do Pará em 2020 o principal produto produzido foi a bauxita (28,7 Mt) seguida de manganês (1,3 Mt), caulim (906,7 mil t) e cobre (902,7 mil t). Assim o Pará foi o maior gerador de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) (Sedeme, 2020). De acordo com Carvalho, Mesquita e Cardelli (2017) as indústrias da mineração e da metalurgia são de extrema relevância a economia nacional por serem produtores de commodities, segundo os autores esses setores são indispensáveis ao desenvolvimento logístico do país, o que também gera grande movimentação econômica.

A Agência Nacional de Águas (Ana) entidade federal que autoriza o uso de recursos hídricos no Brasil através de outorgas de direito de uso de recursos hídricos nas atividades minerárias, afirma que essas atividades são capazes de causar danos aos recursos hídricos e degradação das áreas exploradas para esse fim (ANA, 2006).

Dessa forma, fica claro que a água é amplamente utilizada nos processos de mineração, seja na drenagem das águas em áreas de mina, seja no processo de beneficiamento do bem mineral sendo essencial que as água e soluções utilizadas nessas atividades não contaminem lençóis freáticos pois algumas dessas técnicas empregadas na mineração podem gerar fluídos altamente mineralizados que ao atingir os aquíferos podem causar contaminação hídrica (ANA, 2006). Ainda no livro produzido pela ANA e o Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram) é possível encontrar o seguinte trecho, que interliga o uso da água ao processo de mineração:

[...] absolutamente necessária para muitos dos processos e das operações a serem desenvolvidos, mas também elemento que origina problemas e implica custos adicionais importantes. [...] Em primeiro lugar, deve-se ressaltar que o sucesso de uma operação em mineração depende de suas interações com a água. [...] (ANA, 2006).

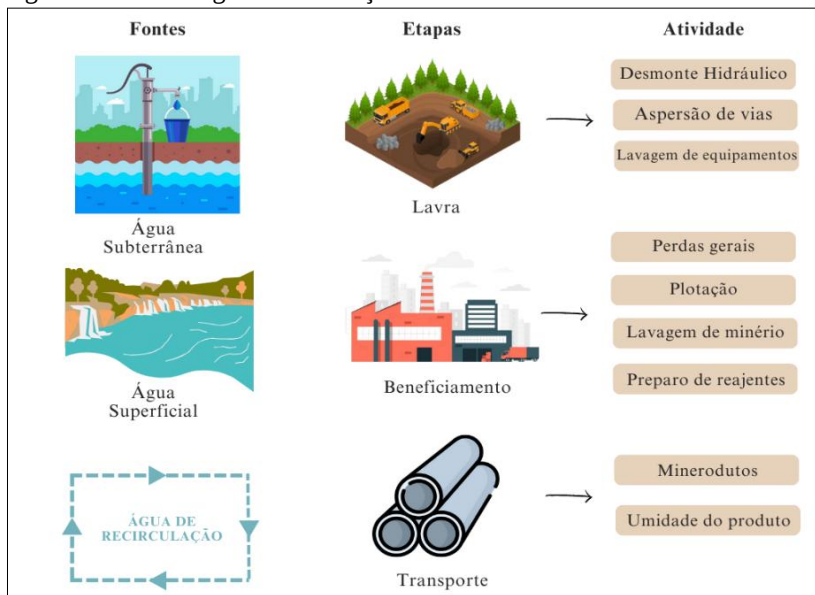
Freitas (2012), afirma que a água é utilizada desde a fase de estudo e pesquisa da existência do mineral em determinada área até a lavra, do transporte por mineroduto até a metalurgia extrativa, sendo utilizada de 3 principais fontes: subterrânea, superficial e de reúso. Essa última corresponde as águas dos processos de produção ou das barragens de rejeito. Ainda com a utilização de água reciclada o consumo de água nos processos de produção e mineração são de expressivo volume (Figura 1).

No complexo industrial de Vila do Conde em Barcarena é possível encontrar prioritariamente a atividade de refino do material já minerado, ou seja, no município realiza-se o processo de beneficiamento, em geral de bauxita e caulim (Lemos, 2021).

Ambos os setores, minerais e metalúrgicos, são empreendimentos causadores de danos ambientais tanto pelo grande volume de água utilizado como também pela geração de reagentes residuais em diversas formas. Seja no beneficiamento de minerais ou no processamento metalúrgico também são gerados efluentes líquidos que possuem diversos elementos dos reagentes utilizados nas atividades industriais que podem ser distinguidos de acordo com o volume produzido, de pequeno a grande porte, através da origem dos efluentes, orgânicos, inorgânicos, biodegradáveis, inflamáveis ou corrosivos, ou ainda podem ser classificados quanto a periculosidade, se reativos, tóxicos ou voláteis (Rubio; Oliveira; Silva, 2010). Os líquidos são tratados e dispostos em corpos hídricos já os resíduos sólidos são reciclados, quando possível, ou dispostos em aterros sanitários (Rubim, 2021).

No processo de beneficiamento de caulim, em Barcarena, ocorre a adição de produtos químicos desde seu transporte da mina localizada em Ipixuna, município no nordeste do Pará, até a obtenção do produto final, o caulim. No rejeito gerado após o beneficiamento desse material é possível encontrar metais como ferro, alumínio, bário, cádmio e zinco (Observatório da mineração, 2023). Segundo Rubio, Oliveira e Silva (2010) o meio mais usual de tratamento de efluentes da mineração e metalurgia é a construção e utilização de bacias de rejeito como é possível observar na região de Vila do Conde.

Figura 1 – Uso da água na mineração.



Fonte: Adaptado de (Freitas, 2012).

3.9 Empreendimentos do complexo industrial de Vila do Conde

De acordo com a Companhia de Desenvolvimento Econômico do Pará (CODEC) o distrito industrial de Barcarena possui 94 empresas num território de mais de 8 mil hectares (CODEC, 2023). Para fins deste estudo serão elencadas aqui as empresas que já estiveram associadas a algum acidente ambiental ou que tem proximidade com o rio Pará e seus contribuintes.

3.9.1 ALUNORTE

A Alunorte foi instalada em Barcarena no começo dos anos 80 e hoje é a maior refinaria de alumina do mundo fora da China. Atualmente a pertence a multinacional norueguesa Hydro (Hydro, 2023a). De acordo com o Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do porto de Vila do Conde a Alunorte em conjunto com a ALBRAS ocupa as áreas 1 (terminal de alumina) e 7 (terminal de granel líquido II) ambas têm como finalidade movimentar e armazenar mercadorias como bauxita, alumina, óleos combustíveis e coque somadas essas áreas ocupam 111.346 m² (Pará, 2022).

A alumina é a matéria-prima da qual se extrai o alumínio produzido pela Alunorte, trata-se de um composto químico que é produzido a partir da mineração de bauxita. A bauxita utilizada pela Alunorte é proveniente da mineração Paragominas e é transportada através de mineroduto até Vila do Conde (Hydro, 2023a).

Na etapa inicial ocorre a lavra da bauxita na mineração Paragominas, ocorre então a lavagem e extração da alumina através do processo de *Bayer* seguida do refinamento, processo no qual ocorre a purificação desse composto, a partir da dissolução em soda cáustica, aquecimento e filtragem obtém-se um pó que tem como característica ser fino e branco (Ibram, 2017). Através de cubas eletrolíticas no processo chamado *Hall-Hérault*, parte-se para a redução da alumina com a presença de oxigênio e carbono que origina o alumínio puro (Abal, 2023).

3.9.2 ALBRÁS

A ALBRÁS foi criada em 1978 e sua inauguração ocorreu em 1985 junto a abertura do porto de Vila do Conde atualmente é a maior produtora de alumínio primário do Brasil e tem como principal acionista a multinacional Hydro. A ALBRÁS produz lingotes de alumínio em liga p1020, lingotes PFA, P0610, P1015, barramentos e alumínio líquido (Hydro, 2023b).

A capacidade de produção da Albras pode chegar a 460.000 toneladas de alumínio primário por ano (Hydro, 2023b). Para realizar a produção de 1 tonelada de alumínio é necessário cerca de 4 a 5 toneladas de bauxita. O alumínio metálico só é obtido de fato na etapa de redução, onde ocorre a separação do oxigênio do alumínio, esse processo envolve um alto gasto energético que é suprido pela hidrelétrica de Tucuruí (Lima; Mota, 2009).

De acordo com Silva (2013) as atividades realizadas pela Albrás são potencialmente danosas a qualidade da água, pois utilização elementos como sódio, flúor, soda cáustica e amônia, além disso pode favorecer a ocorrência de chuva ácida na região.

3.9.3 ALUBAR

A ALUBAR é uma empresa brasileira, e a maior da América Latina na fabricação de cabos de alumínio para transmissão de energia elétrica (Alubar, 2023). A ALUBAR também fabrica vergalhões e ligas de alumínio. Ocupa a área 24 de acordo com o PDZ do porto de Vila do Conde que possui 62.850 m² e tem como finalidade o armazenamento de vergalhões e lingotes de alumínio (Pará, 2022).

Está dividida entre as empresas ALUBAR metais e cabos S. A. e a ALUBAR Energia S.A. a primeira fica localizada em Barcarena desde 1998 e fornece seu produto final não somente para o Brasil como também para concessionárias de diversas partes do mundo (Alubar, 2023).

3.9.4 Imerys rio capim caulim e Pará pigmentos

A Imerys Rio Capim S. A. é uma empresa de processamento de caulim que opera no Pará desde 1996 que adquiriu em 2010 a Pará Pigmentos S/A em Barcarena possui a maior planta de beneficiamento de caulim do mundo (Imerys, 2023).

O Caulim é mineral constituído essencialmente de caulinita. A extração do caulim utilizado pela Imerys é proveniente de minas em Ipixuna do Pará de onde são transportados por minerodutos de até 180 km de extensão (Rosa; Silva, 2013).

O Pará é responsável por ser o quinto maior produtor de caulim do mundo, os processos envolvidos após a lavra do caulim em Ipixuna dividem-se em duas etapas de beneficiamento. A primeira ocorre ainda no local da mina e compreende as etapas de dispersão, onde ocorre a inserção de agentes dispersantes, e desareamento para em seguida ocorre o transporte da polpa, adicionada de biocida glutaraldeído e sulfato de alumínio. Na segunda etapa do beneficiamento já na planta de Barcarena ocorrem as etapas de descarga da polpa, diluição, desareamento, separação magnética, pré-moagem, centrifugação, delaminação, alveamento e floculação, filtragem, redispersão, evaporação, e *spray dryer*, que é um processo de secagem (Rosa; Silva, 2013).

3.9.5 Bunge fertilizantes S.A.

A Bunge atua no Brasil em uma série de segmentos, agronegócio, alimentos e ingredientes e açúcar e bioenergia. Dentre as atividades da empresa há a compra, transporte e armazenamento de oleaginosas e grãos, produção de açúcar e etanol, e produção de fertilizantes. Em parceria com a Amaggi Exportação e Importação Ltda constituiu a *joint venture* Unitapajós (Navegações Unidas Tapajós S. A.) e é responsável pelo Terminal Portuário Fronteira Norte (Terfron), no município de Barcarena, que funciona prioritariamente para exportação e armazenamento de grãos como soja e milho (Bunge, 2023).

Em 2021, a Bunge vendeu a parte de produção de fertilizantes no Brasil para a Yara Brasil Fertilizantes que é a maior produtora de amônia do mundo através da fabricação de ácido nítrico (Bunge, 2021; Yara Brasil Fertilizantes, 2023).

3.9.6 Votorantim cimentos N/NE S. A.

A Votorantim cimentos é a maior produtora de cimento do Brasil, atua em Barcarena desde 2006 no setor de produção de cimentos, cal hidratada, argamassa e concreto. O grupo também tem uma instalação em primavera que é responsável pelo fornecimento de uma parte da matéria-prima de produção de cimento (IBRAM, 2011).

A Votorantim cimentos possui parceria direta com a USIPAR e fica está instalada dentro da área operacional da usina e faz parte do projeto: “projeto de moagem de cimento Barcarena” (Terra meio ambiente, 2009).

A produtora de cimento utiliza os rejeitos gerados na usina para produção, com ênfase ao uso da escória do alto-forno. As etapas de produção compreendem: unidade de secagem de escórias, moagem e ensacamento. As matérias-primas utilizadas são: escória, calcário, clínquer e gesso (Terra meio ambiente, 2009).

3.9.7 USIPAR

O complexo industrial da Usina Siderúrgica do Pará teve sua licença ambiental concedida em 2004 e sua licença de operação passou a ter vigência no ano de 2007 através da SEMAS. Possui uma planta de 9 milhões de m² que tem como finalidade produzir cerca de 500 mil t/ano de ferro gusa que segundo o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) com possibilidade de ampliação. O complexo compreende uma usina de produção de ferro gusa e um complexo portuário com finalidade a realizar atividades de tráfego de produtos e subprodutos da mineração de ferro, cimento, madeira, derivados de petróleo e soja. O complexo produz os seguintes resíduos: coque, minério de ferro, sílica, calcário, pó de balão e lama do alto-forno além dos gases gerados na produção (Terra meio ambiente, 2009).

No RIMA do complexo industrial da USIPAR descreve-se a utilização dos rios Pará e Arienga para tráfego, ou seja, após implementação da usina houve incremento do fluxo de tráfego fluvial nesses rios (Terra meio ambiente, 2009).

3.9.8 Oxbow Brasil energia indústria e comércio LTDA / TECOP

A Oxbow é a maior produtora de coque de petróleo calcinado do mundo foi inaugurada em Barcarena em 2012, apesar da empresa ser detentora da área de construção desde 2008, tinha como nome TECOP (Terminal de Combustíveis Sólidos da Paraíba), tem como principal atividade o beneficiamento de carvão mineral, é produtora do chamado coque

de petróleo , um combustível sólido, e coque metalúrgico, subproduto do carvão mineral, no ano de sua inauguração tinha como capacidade o beneficiamento de cerca de 4 mil t/ano (IOEPA, 2012)

O coque produzido pela Oxbow é amplamente utilizado como combustível em fábricas de cimento e cerâmica. O coque de petróleo é um subproduto, gerado pela indústria de petróleo, constitui-se em um sólido carbonáceo insolúvel em água, de cor preta. É utilizado como aditivo que auxilia no aumento do rendimento de coques como o coque metalúrgico (AGRA, 2016).

O coque metalúrgico é produzido a partir de carvões coqueificáveis, ou seja, a partir do carvão metalúrgicos, este é submetido a um procedimento em elevadas temperaturas e com ausência de oxigênio. Ao final deste processo obtém-se o coque metalúrgico, um produto de boa condutividade elétrica e térmica (Gurkewick e Antunes, 2021). O coque metalúrgico é aplicável na fabricação de aço e ferro gusa em alto-forno (Alves, 2017).

3.9.9 Terminal de Uso Privativo – Hidrovias do Brasil S.A.

A Hidrovias Brasil (HBSA) é uma empresa que realiza a movimentação e armazenagem de mercadorias em terminais aquaviários. De acordo com a SEMAS a HBSA foi licenciada em 2013 (Semas, 2020). O Terminal de Uso Privativo (TUP) da HBSA foi projetado para atender as atividades logísticas de exportação, importação e transbordo de produtos de origens diversas, como: grãos, farelo, fertilizantes, placas, bobinas, escoria, carvão, calcário e outros (Ambientare, 2012).

O RIMA do TUP da HBSA previa a movimentação de até 800 mil t/ano de fertilizantes, na área de influência direta as atividades realizadas pelo terminal, o documento cita como diretamente afetada as comunidades Vila Itupanema e Vila dos Cabanos, e o rio Pará já nas áreas de influência indireta constam os rios Barcarena, Murucupi, Igarapé Tauá, Itaporanga, Turuí, Bacuri e furo do Arrozal, além de afetar as atividades de pesca e a movimentação de embarcações de pequeno porte (Ambientare, 2012).

3.9.10 Terminal de Grãos Ponta da Montanha (TGPM)

O Terminal de Grão Ponta da Montanha (TGPM) é responsável pelo recebimento, armazenamento e embarque de grãos, que tem como capacidade armazenar 120 mil toneladas de grãos em 6 silos (Ponta..., 2023).

O TGPM possui 13 hectares dos quais 750 m tem frente para o rio Pará está instalado no complexo industrial de Vila do Conde desde os anos 90 e movimenta cerca de 324 mil toneladas de grão por mês (Ponta ..., 2023).

3.9.11 EUROCHEM Fertilizantes Tocantins S.A.

O grupo Eurochem é o maior produtor de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos (NPK). Em 2016 o controle da fertilizantes Tocantins foi adquirido pela Eurochem, garantindo as dependências da sede localizada em Barcarena (Revista campo e negócios, 2020).

Os fertilizantes do tipo NPK são fertilizantes mistos compostos por nitrogênio, fósforo e potássio, chamados de macronutrientes elementares pois são essenciais para o desenvolvimento de vegetais (Embrapa, 2022).

3.9.12 Usina Termelétrica – Centrais Elétricas Barcarena S.A. (UTE-CELBA)

A UTE CELBA recebeu sua licença de instalação em 2020 e ainda não iniciou a fase de operação, constitui-se em uma usina termelétrica de gás natural, um terminal de regaseificação e um gasoduto (Semas, 2020b). Localizada as margens do rio Pará a usina ocupa cerca de 30 hectares dentro da área da CDP.

A matéria-prima para a produção de energia da UTE CELBA será obtido a partir da importação de gás natural liquefeito. Entre as áreas de influência indireta (AID) o RIMA do empreendimento cita o rio Arienga, furo do Arrozal e rio Murucupi e afirma que haverá impactos a qualidade da água superficial na fase de operação do empreendimento pela disposição de efluentes no rio Pará (Genival Nunes, 2017).

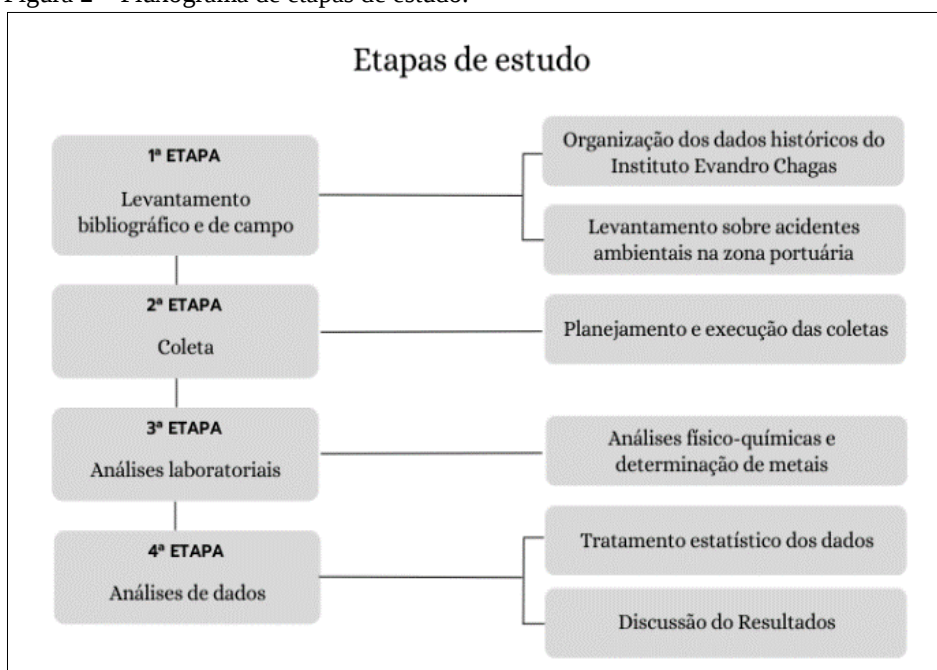
4 METODOLOGIA

A figura 2 descreve o fluxograma de atividades e de que forma está estruturado o desenvolvimento do trabalho por meio de quatro etapas: levantamento bibliográfico e de campo, coleta, análises laboratoriais e análise de dados.

Inicialmente foram organizados os dados analíticos do IEC que datam de 2013 a 2023 em 7 pontos de coleta no rio Pará nas proximidades do porto de Vila do Conde pertencentes a um projeto de monitoramento ambiental da qualidade da água dos portos de Belém e Barcarena, sendo utilizados neste estudo somente os dados do município de interesse.

Foi realizado também um levantamento bibliográfico sobre os acidentes ambientais ocorridos na região industrial do porto através de artigos, relatórios técnicos, notas técnicas e literaturas pertinentes. Também foram realizadas coletas nesses mesmos pontos amostrais de outubro de 2021 a setembro de 2023, totalizando 10 anos de dados (outubro de 2013 a setembro de 2023). As análises foram realizadas *in loco* e nos laboratórios da SEAMB do IEC. A quarta etapa consistiu em realizar o tratamento estatístico e discussão dos resultados.

Figura 2 – Fluxograma de etapas de estudo.



Fonte: Autora.

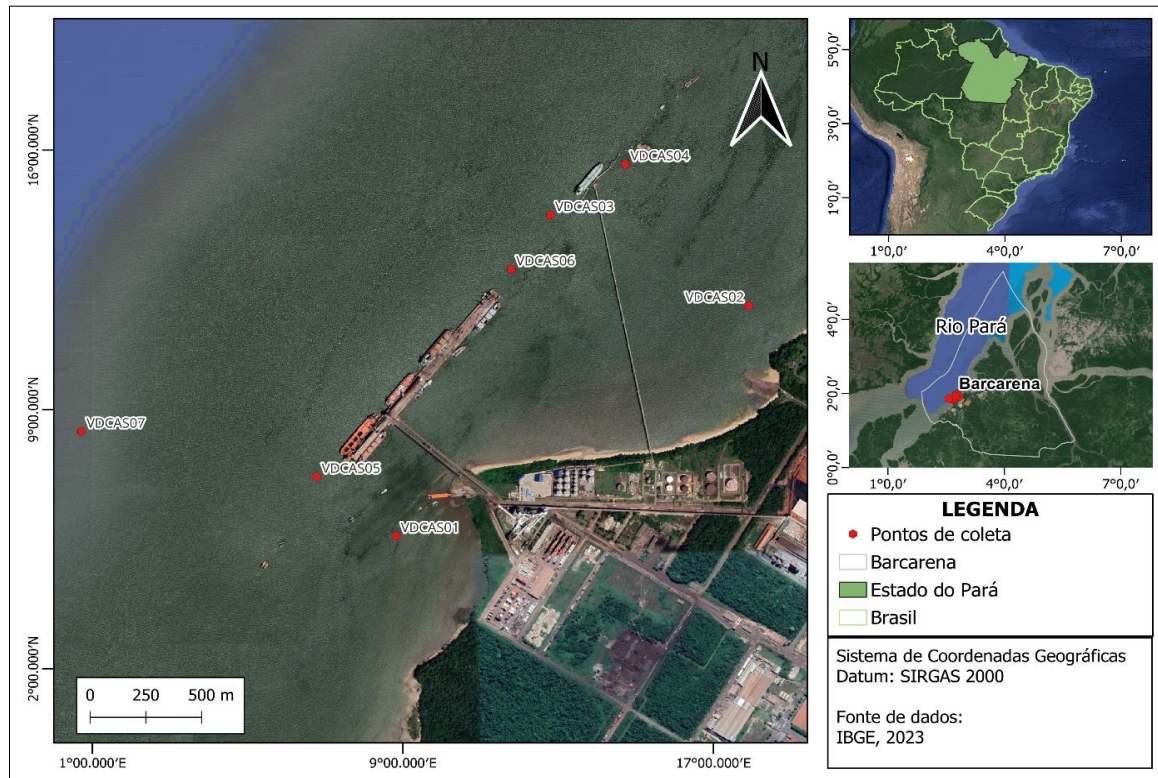
4.1 Área de Estudo

O trabalho foi desenvolvido no rio Pará nas proximidades do Porto de Vila do Conde (figura 3) no município de Barcarena, estado do Pará. A cidade pertence a região geográfica intermediária de Belém, e desde 2023 foi inserida na região metropolitana da capital. Está

situada ao norte do estado à 23 Km em linha reta da capital, possui cerca de 126.650 habitantes de acordo com o censo de 2022 (IBGE, 2022).

O município possui cerca de 1.310,588 Km² está localizada entre as coordenadas geográficas 48°52'19.907"W 1°8'53.381"S e 48°24'38.521"W 1°42'34.735"S. O porto de Vila do conde fica situado a margem direita do rio Pará na rodovia PA - 481 Km 2 de Barcarena.

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autora.

4.1.2 Clima

O clima predominante da região de Barcarena é tropical úmido do tipo Am de acordo com a classificação de Köppen (Tavares *et al.*, 2021). A temperatura média da cidade varia entre 24 a 32° C e o índice pluviométrico anual foi de cerca de 2.044,7 mm no ano de 2023 (Weartherspark; 2023).

4.1.3 Vegetação

De acordo com Tavares *et al* (2021), a vegetação do município de Barcarena é formada por matas primárias de terra firme, capoeiras, matas de várzea, campinas arenosas e praias de água doce.

As florestas de terra firme são altamente complexas com grande diversidade de espécies arbóreas, já as florestas de várzea têm sua vegetação desenvolvida nas proximidades dos rios e por isso os seres vivos desse tipo de ambiente precisam se adaptar a sazonalidade, o que é característica por um número reduzido de espécies o que explica a menor diversidade desse tipo de ambiente (Gama *et al.*, 2005). Os terrenos de capoeiras são de vegetações secundárias cuja vegetação primária foi queimada ou o solo passou por algum tipo de preparo para plantio (Lima; Teixeira, 2002), os terrenos de campinas arenosas constituem-se em solos pobres de baixa diversidade despidos de árvores (Guimarães; Bueno, 2019).

4.1.4 Solo

O solo da região de Barcarena divide-se em: latossolo amarelo distrófico de textura média e naturalmente ácido (pH 4,2 a 5), resultante da formação barreiras, pdzol hidromórfico formado por sedimentos arenosos e pelo concrecionário laterítico indiscriminado de característica areno-argilosa. O solo hidromórfico indiscriminado, corresponde a um solo frequentemente alagado, e solo aluvial comumente localizado a margens de corpos d'água sob florestas de várzea (RADAM, 1974).

4.1.5 Hidrografia

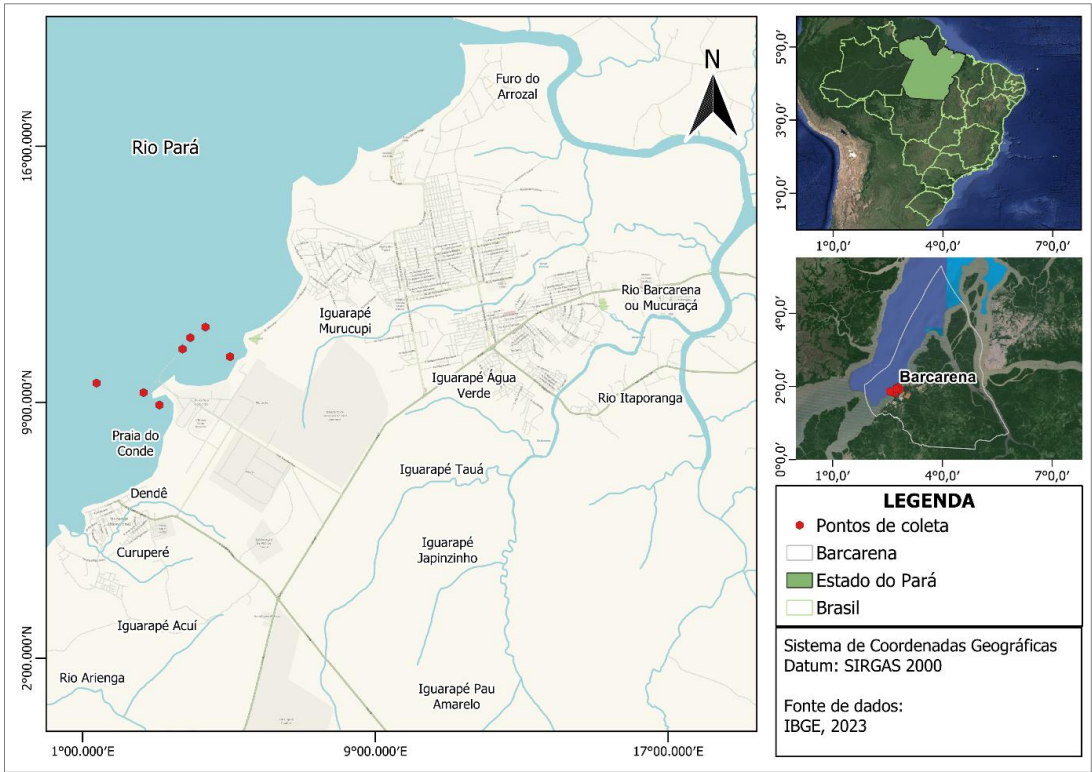
O município de Barcarena está inserido na bacia hidrográfica do Araguaia-Tocantins, a cidade é de vasta hidrografia dotada por diversos rios, são eles: Dendê, Arapiranga, Arienga, Murucupi e Barcarena; pelos igarapés: Tauá, Pau Amarelo, Bacuri, São Felipe, Tucumandeuá, Turuí, Guajará, Japinzinho, Arumandeuá, Mucuripe, Cujari, Água Boa, Maçarapo, Icarau, Água Verde, Curuperé e outros além dos furos do Arquiza, Arapari, Arrozal e Cafezal (Figura 4) (CDP, 2022).

O rio Pará é um estuário de grandes proporções no qual desaguam o rio Dendê, Arapiranga e o furo do Arrozal, onde desagua o rio Murucupi, pertence a sub-bacia Guamá-Moju com aproximadamente 1 Km de cabeceira e 50 Km em sua desembocadura, pode chegar a vazões da ordem de 300.000 m³/s, tem como principais tributários os rios Acará, Moju, Tocantins e Guamá, é fortemente influenciada pelas correntes marítimas e fluviais sendo um ambiente altamente dinâmico (Rosário, 2016; Santo, 2019; Costa *et al.*, 2022).

O rio Dendê fica localizado a margem esquerda do rio Pará. Sua nascente encontra-se nas proximidades da refinaria ALBRAS onde encontra-se também o Curuperé que nasce nas proximidades da empresa Imerys, e o igarapé Maricá, ambos desaguam no rio Pará. Tanto o

Dendê como o Curupéré fazem parte de uma Área de Proteção Permanente (APP) (Ferreira, 2015).

Figura 4 – Mapa Hidrográfico das proximidades do complexo industrial.



Fonte: Autora.

4.2 Coletas

As coletas das amostras forma realizadas nos meses de janeiro a dezembro evidenciando os períodos chuvoso e (dezembro a junho), menos chuvoso (julho a novembro) em 7 pontos distintos georreferenciados (Quadro 2) e em diferentes marés (enchente e vazante) buscando interpretar os dados de maneira a avaliar a influência da sazonalidade e da maré na alteração dos parâmetros.

Quadro 2 - Descrição dos pontos de coleta

Local da coleta	ID Ponto da coleta	Latitude	Longitude
À Montante da rampa	VDCAS01	1°32'39,37"S	48°45'13,97"W
Jusante do lançamento da ETE	VDCAS02	1°32'04,36"S	48°44'22,81"W
Montante do TGL	VDCAS03	1°31'50,59"S	48°44'51,59"W
Jusante do TGL	VDCAS04	1°31'42,87"S	48°44'40,68"W
Montante do píer 100	VDCAS05	1°32'30,35"S	48°45'25,46"W
Jusante do píer 400	VDCAS06	1°31'58,83"S	48°44'57,25"W
Background	VDCAS07	1°32'23,49"S	48°45'59,58"W

Com auxílio de um balde em inox esterilizado preso a uma corda foi retirado certo volume de água que posteriormente foi transferido a frascos de polipropileno de 1L devidamente etiquetados, destinado às análises físico-químicas e de metais, para as análises microbiológicas foi necessário retirar uma alíquota de 100 mL coletada em saco de plástico estéril (Nasco Standard Bags).

A quantificação dos parâmetros físico-químicos, Condutividade Elétrica (CE), pH, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura (T°) foi realizadas, *in loco*, com auxílio de medidor multiparâmetro modelo HI9829 da marca Hanna, a Turbidez (Turb) foi determinada através da utilização de um turbidímetro portátil modelo 2100Q da marca Hach. Os demais parâmetros foram determinados nos laboratórios da SEAMB. Para as análises físico-químicas foram adotados os métodos e equipamentos descrito no quadro 3.

Quadro 3 – Métodos e equipamentos utilizados.

Parâmetro	Sigla adotada	Método	Equipamento
Temperatura	T°	Termometria	Medidor Multiparâmetro HI9829 (Hanna®)
Oxigênio Dissolvido	OD	Potenciometria	Medidor Multiparâmetro HI9829 (Hanna®)
Potencial Hidrogênionico	pH	Potenciometria	Medidor Multiparâmetro HI9829 (Hanna®)
Condutividade Elétrica	CE	Potenciometria	Medidor Multiparâmetro HI9829 (Hanna®)
S. Dissolvidos	STD	Potenciometria	Medidor Multiparâmetro HI9829 (Hanna®)
Turbidez	Turb	Nefelometria	Turbidímetro Ap2000 - Policontrol®
Nitratos	NO ₃ ⁻	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
Nitritos	NO ₂ ⁻	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
N- Amoniacal	N-NH ₃	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
Sulfato	SO ₄ ²⁻	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
Cloreto	Cl ⁻	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
Demanda química de Oxigênio	DQO	Espectrofotometria	Espectrofotômetro Hach – DR 3900
Coliformes totais	CT	Membrana filtrante	Cartela, Seladora Quanti-Tray®/2000 e estufa Q316M2 Quimis©
Coliformes termotolerantes	CTT	Membrana filtrante	Cartela, Seladora Quanti-Tray®/2000 e estufa Q316M2 Quimis©
E-coli	EC	Membrana filtrante	Cartela, Seladora Quanti-Tray®/2000 e estufa Q316M2 Quimis©

Na determinação dos parâmetros microbiológicos foi utilizado o método da membrana filtrante para quantificação das bactérias do grupo coliforme, onde inicialmente ocorreu a filtração de certo volume amostral, as bactérias ficaram retidas em membranas e em seguida foram inoculadas em placas de Petri contendo um meio de cultura (mFC ou mENDO) e levadas a incubação em temperaturas da ordem de 35° C ($\pm 5^\circ$) por um período de 24 horas para posterior identificação e contagem das colônias formadas pelos microorganismos.

A análise dos metais foi realizada no Laboratório de Geoquímica e Saúde (LGS) do IEC, para quantificação elementar foi necessária uma alíquota de 50 mL por amostra, acidificada com 500 μ L de ácido nítrico Merck 65% ($\text{pH} \leq 2$). Em conjunto a leitura das amostras também foram analisados 3 controles (amostra certificada, amostra fortificada e branco fortificado) para comprovação da qualidade dos resultados.

Para a determinação da concentração dos metais foi adotada a metodologia 3120b do *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* através da técnica de Espectrometria de Emissão Óptica de Plasma Induzido no equipamento ICP OES, Vista MPX (Varian®). Essa técnica é baseada na radiação eletromagnética emitida por átomos ou íon excitados por um plasma nas regiões do espectro visível e ultravioleta (APHA; AWWA; WEF, 2017; Colzato, 2023).

Em conjunto com as amostras foram analisados mecanismos de controle de qualidade para validação dos resultados, são eles: Branco, que consiste em um branco de análise para verificar possível contaminação do ácido utilizado na conservação das amostras; branco de campo, que consiste em um branco utilizado no momento das coletas e que tem como objetivo avaliar possíveis contaminações do meio sobre a amostra; branco fortificado, que é um branco contaminado com uma concentração conhecida dos analitos de interesse; amostra fortificada, uma amostra cega, pertencente a um lote, que foi contaminada com concentrações conhecidas do analito de interesse e amostra certificada (1640a), um padrão de qualidade com concentração dos analitos descritas em certificado, cujos critérios se enquadram na ABNT NBR ISO 17034:2016.

Ambos os controles foram submetidos ao cálculo de recuperação sendo aceitáveis os limites de 80 a 120% de recuperação para cada um deles, no caso do branco de campo e branco de método os mesmos foram descontados do valor de análise da amostra nos casos em que suas concentrações foram superiores ao Limite de Quantificação (LQ).

4.2.1 CONAMA 357/2005

A título de comparação dos resultados obtidos foi utilizada a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/05 que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento” essa resolução estabelece diversos parâmetros a serem avaliados, que servem de instrumento para alcançar ou manter a qualidade do corpo hídrico por meio dos padrões nela preconizados (Brasil, 2005).

O quadro 4 apresenta os parâmetros contidos na resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2 que também foram avaliados neste estudo e subsidiaram a discussão dos resultados.

Quadro 4 – Valores Máximo Permitidos Resolução CONAMA nº 357/05.

PARÂMETRO	VMP ⁽¹⁾	Unidade
pH	6,0 a 9,0	-
Sólidos dissolvidos totais	500	mg/L
Turbidez	Até 100	UNT ⁽²⁾
Oxigênio Dissolvido	≥ 5	mg/L
Cloreto total	250	mg/L
Fósforo total	0,1	mg/L
Nitrato	10	mg/L
Sulfato	250	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio	≤ 5	mg/L
Alumínio	0,100	mg/L
Bário	0,700	mg/L
Cádmio	0,001	mg/L
Chumbo	0,010	mg/L
Cobre	0,009	mg/L
Níquel	0,025	mg/L
Cromo	0,050	mg/L
Ferro	0,300	mg/L
Manganês	0,100	mg/L
Coliformes Termotolerantes	1000	NMP/100mL

⁽¹⁾ VMP: Valor Máximo Permitido

⁽²⁾ UNT: Unidade de Turbidez

⁽³⁾ 3,7mg/L para $\text{pH} \leq 7,5$; 2,0 mg/L para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$; 1,0 mg/L para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$; 0,5 mg/L , para $\text{pH} > 8,5$

Fonte: Adaptado de (Brasil, 2005).

4.3 Tratamento estatístico

4.3.1 Estatística descritiva

A partir da obtenção dos dados foi possível submetê-los a estatística descritiva a fim de obter os valores mínimos, máximos, médias, medianas e desvio padrão com auxílio do software Excel.

4.3.2 Estatística multivariada

A análise multivariada foi obtida através do uso do software Minitab® 19, onde foram determinadas a Análise dos Componentes Principais (PCA) e a Análise dos Agrupamentos Hierárquicos (HCA).

4.3.2.1 Análise dos Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais (PCA) é um método estatístico, no qual é possível avaliar a interação de diversos parâmetros mediante um extenso número de dados demonstrando as informações mais significantes dentro do conjunto. Trata-se de uma análise exploratória de dados que adimensionaliza as variáveis e transforma-as em componentes ou vetores (Jolliffe, 2002). Esse método gera o mesmo número de componentes das variáveis que foram submetidas ao software, porém, para a determinação das componentes de interesse adotar-se-á critério de Kaiser que determina que o número de componentes de importância seja igual ao número de autovalores maiores que um.

O gráfico de cargas gerado leva em consideração as duas primeiras componentes cuja porcentagem das primeiras componentes somada tende a explicar a significância da maior parte dos dados, essas componentes refletem as associações e semelhanças encontradas e o gráfico de *scree* demonstra o perfil de autovalores (Lattin *et al.*, 2011).

Segundo Mingoti (2005), a partir de certo conjunto de dados busca-se definir quais variáveis são semelhantes entre si e apresentam certa coesão e é possível combiná-las e então torna-las um grupo, assim como a heterogeneidade entre os grupos pode diferenciá-los e no final pode ser traçado um perfil dos objetos de estudos.

4.3.2.2 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA)

A Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA) aglutina dados semelhantes e analisa o nível de distância entre eles por meio de uma medida de similaridade gerando um dendrograma, que consiste em um diagrama que contém os grupos formados diante dessa técnica de aglomeração. As classes ou clusters são agrupados de forma sequencial de modo que a similaridade diminui conforme o cluster aumenta. De forma visual, o dendrograma é capaz de diminuir um grande número de dados a um gráfico que consegue demonstrá-los de forma mais abreviada (Trindade, 2013).

A partir da análise dos clusters é possível classificar o meio líquido e definir um modelo de amostragem otimizado que leve em consideração o espaço amostral e o tempo entre as coletas (Shrestha; Kazama, 2007; Zhang *et al.*, 2011).

4.4 Metodologia FMEA

Adaptada neste estudo, a metodologia FMEA contou com uma equipe formada por 5 profissionais que já desenvolveram algum tipo de trabalho na região de vila do conde, sendo um doutor em química analítica cuja tese foi desenvolvida nos rios Murucupi e Pará, um doutor em saúde coletiva que coordenou um projeto de monitoramento da qualidade da água no rio Pará, uma bióloga e doutora em saúde coletiva, uma médica e doutora em saúde coletiva e um biomédico que atuou com análises de matrizes humanas na região.

A FMEA visa tabular e analisar os riscos ambientais da região do porto de Vila do Conde e promover um panorama dos acidentes ocorridos no porto correlatos as alterações da qualidade da água e impactos as populações do entorno, para tal foi dividida em 5 colunas que formaram o quadro FMEA, onde é possível identificar os riscos mais emergentes.

4.4.1 Primeira etapa

A primeira etapa consistiu em identificar acidentes ambientais ocorridos na região portuária do conde e em outras regiões portuárias semelhantes que sejam recorrentes nesse tipo de ambiente, levantadas através de estudos, notícias e documentos (revisão de literatura).

4.4.2 Segunda etapa

Posterior a identificação dos riscos, a segunda etapa consiste em distinguir os riscos em: Riscos reais, aqueles que já ocorreram, e riscos potenciais, aqueles que são passíveis de ocorrer. Aqui neste estudo tendo em vista o grande número de acidentes levantados na área do porto e a sua variabilidade, foram adotados apenas riscos reais.

4.4.3 Terceira etapa

Na terceira etapa, buscou-se descrever os efeitos do impactos identificados, sejam eles à biota, à qualidade da água (possíveis alterações dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos) e/ou à população.

4.4.4 Quarta etapa

Nesta etapa foram identificadas as causas dos impactos ambientais, as condições que propiciaram a ocorrência do evento.

4.4.5 Quinta etapa

A quinta etapa visou classificar os impactos para gerar um score, o *Risk Priority Number* (RPN) ou Número de Prioridade de Risco, através do RPN foi possível identificar as prioridades do sistema e assim otimizar o emprego de melhorias de maneira mais assertiva. Identifica-se através dele quais as necessidades mais emergentes e recorrentes do sistema para que essas possam ser atendidas de forma prioritária, ou seja, por grau de importância. Para tal, a equipe multidisciplinar julgou índices que foram levados em consideração para geração do RPN.

4.4.5.1 Severidade

O primeiro índice considerado na obtenção do RPN é a severidade do risco (S). A severidade como fator de risco pode ser entendida como o nível de agressividade de um evento acidental, ela está diretamente ligada à magnitude do evento e quais danos dele decorrem, sendo um agente importante no gerenciamento de riscos (Oliveira; Lima; Caiado, 2015). O quadro 5 contém o nível, a descrição e a classificação utilizadas para determinação da severidade.

Quadro 5 - Score de severidade do impacto

SEVERIDADE DO IMPACTO		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente que causam efeitos graves à saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade/ Afeta significativamente populações vulneráveis, causando desestruturação social, perda de meios de subsistência ou ameaça à segurança alimentar e saúde.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente que causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergia), com longo tempo de decomposição/ Populações vulneráveis enfrentam dificuldades temporárias, como perda parcial de renda ou acesso restrito a serviços básicos.	2

Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente que causam efeitos negativos à saúde humana, com curto tempo de decomposição/ Afeta uma pequena parcela da população, sem consequências graves para a saúde, renda ou acesso a serviços essenciais	1
-------	---	---

Fonte: Adaptado de Zambrano e Martins (2007); Vieira (2012).

4.4.5.2 Ocorrência

O índice ocorrência (O), está relacionado à probabilidade de ocorrência de um evento causador de impacto, e a sua frequência dentro do sistema. O quadro 6 norteia a classificação do nível de ocorrência dos acidentes ambientais.

Quadro 6 - Score de ocorrência do impacto

OCORRÊNCIA		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	O impacto é muito provável que ocorra de 75% a 100% (Acidentes recorrentes ou crônicos, com alto risco de repetição)	3
Moderada	O impacto é provável que ocorra a partir de 30% a 75% (Acidentes acontecem com alguma frequência e apresentam risco moderado de recorrência)	2
Baixa	O impacto é pouco provável que ocorra eventualmente até 30%(Acidentes raros ou isolados)	1

Fonte: Adaptado de Zambrano e Martins (2007); Vieira (2012).

4.4.5.3 Detecção

O índice detecção (D), relaciona-se a facilidade ou não de observar visualmente o impacto causado, ou seja, a capacidade de percepção e identificação do dano. No quadro 7 demonstra-se a classificação adotada neste estudo.

Quadro 7- Score de detecção do impacto

DETECÇÃO		
Nível	Descrição	Classificação

Alta	Para detectar a não conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeira e temporalmente)	3
Moderada	O impacto é percebido com utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros...)	2
Baixa	O impacto pode ser visto a olho nu	1

Fonte: Adaptado de Zambrano e Martins (2007); Vieira (2012).

4.4.5.4 Abrangência

A abrangência pode ser entendida como a proporção de um impacto, a capacidade de um impacto de se propagar e afetar ou influenciar áreas circunvizinhas. O quadro 8 evidencia a classificação de abrangência adotada.

Quadro 8- Score de abrangência do impacto

ABRANGÊNCIA		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	O impacto ocorreu fora dos limites de operação	3
Moderada	O impacto ocorre nas proximidades do local de operação (complexo industrial)	2
Baixa	O impacto ocorre no local de operação (porto)	1

Fonte: Adaptado de Zambrano e Martins (2007)

4.4.5.5 Número de Prioridade de Risco (RPN)

A partir do produto entre os índices foi possível gerar o Número de Prioridade de Risco (RPN), que definiu a ordem de importância de cada risco para realização de ações corretivas e demonstrou os riscos emergentes ou de maior recorrência na região.

A obtenção do RPN foi dada pela equação 4.1:

$$RPN = S \times O \times D \times A \quad (4.1)$$

A partir do resultado do RPN determinado pela equipe FMEA, foi realizada a ponderação dos riscos através da equação 4.2:

$$P = \frac{R_1}{\sum_n^1 R} \quad (4.2)$$

Onde:

P = Ponderação;

R_1 = Risco individual;

n = Quantidade de risco;

$\sum R$ = Soma dos riscos (Risco total)

A tabela 1 contém um exemplo da ponderação de risco aplicada de posse do RPN.

Tabela 1 - Exemplo ponderação de risco.

Evento	Tipo	Efeito	Causa	S	O	D	A	RPN	%
Derramamento de óleo	R	Morte de animais, alteração e/ou perda da fauna	Problemas operacionais no navio	2	3	1	3	18	25
Rompimento de Barragem de rejeito	R	Alterações da qualidade da água, perda de flora e fauna aquática	Falha de manutenção	3	2	2	3	36	50
Naufrágio de Cargas Vivas	R	Alterações da qualidade da água, perda de flora e fauna aquática	-	3	1	1	2	6	8,33
Explosões/incêndios	R	Alterações da qualidade do ar, impactos a saúde da população	-	3	2	1	2	12	16,66
Risco Total								72	100

Fonte: Adaptado de Vieira (2012); Araújo Junior (2016).

Através da ponderação dos riscos foi possível obter a porcentagem de relevância de cada risco em função do risco total ($\sum R$) e dessa forma categorizar os riscos associados a cada ponto de coleta em 5 classes distintas: desprezível, baixo, moderado, alto e crítico, semelhante ao executado por Vieira (2012). Para determinar o intervalo de classe dos riscos adotou-se o risco máximo encontrado após a elaboração da tabela FMEA que foi dado pelo produto dos índices, determinando assim a faixa de cada classe.

Tabela 2 - Exemplo de classificação de risco

Evento	RPN	Intervalo	Classe de risco
Derramamento de óleo	18		
Rompimento de Barragem de rejeito	36	$1 \leq x < 8$	Desprezível
		$8 \leq x < 16$	Baixo
		$16 \leq x < 24$	Moderado
Naufrágio de Cargas Vivas	6	$24 \leq x < 36$	Crítico
		$x \geq 36$	Alto
Explosões/ incêndios	12		

Fonte: Adaptado de Vieira (2012); Araújo Junior (2016).

4.5 Mapa de risco

O mapa de risco foi elaborado com o auxílio do software *Qgis* e levou em consideração os resultados obtidos a partir da classe de risco adquirida pela metodologia FMEA, utilizando os RPN. Semelhante ao desenvolvido por Araújo (2016).

Através dele foi possível visualizar as áreas de maior risco levando em consideração os acidentes ocorridos em cada ponto amostral. A diferenciação cromática (variando de verde a vermelho) evidência as categorias e regiões que demandam maior atenção quanto aos potenciais impactos ambientais e adoção de medidas mitigadoras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas apresentadas correspondem aos dados encontrados de agosto de 2013 a julho de 2023. Para melhor compreensão dos resultados obtidos, os mesmos serão divididos em: Físico-químicos, microbiológicos e de metais, além de demonstrar as diferenças entre os períodos (seco e chuvoso) e entre as marés (enchente e vazante) através de estatística descritiva e multivariada.

5.1 Resultados Físico-químicos

A tabela 3 contém a estatística descritiva referente às análises físico-químicas de todo o período. Entre os parâmetros avaliados identificou-se que os parâmetros: pH, OD, Turbidez, Cor e Nitrato apresentaram desconformidades quando relacionados a resolução CONAMA 357/2005.

Observando os dados na sua totalidade (por período e maré) identifica-se (Tabela 3) que o menor valor de PH (4,0) foi determinado em condições de período seco (menos chuvoso) na vazante e o maior valor (12,82) foi encontrado também no período seco, porém na maré enchente. O oxigênio dissolvido esteve em sua menor concentração (0,170 mg/L) durante o período chuvoso e em maré de alta formação. Quanto à cor verdadeira manteve-se acima do VMP (75 mg Pt-Co/L) pela resolução CONAMA 357/2005 nos dois períodos de estudo com destaque ao período chuvoso na maré vazante. Já o nitrato esteve fora do preconizado (10mg/L), pela mesma resolução, no período seco e maré vazante.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros Físico-químicos da água anos de 2013 a 2023.

(continua)									
Parâmetros	N	Unidade	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	VMP
pH	1428	-	4,92	7,24	12,82	7,21	7,47	0,92	6,0 - 9,0
TEMP	1428	°C	20,860	29,624	32,800	29,600	29,600	0,656	-
COND	1428	µS/cm	1,100	56,757	374,000	49,600	48,000	25,527	-
TDS	1428	mg/L	0,700	32,245	286,000	27,300	24,000	17,397	500 mg/L
SAL	mg/L	1428	0,010	0,026	0,840	0,020	0,020	0,026	-
OD	mg/L	1414	0,170	6,598	28,440	6,990	7,200	2,405	≥ 5 mg/L
TURB	UNT	1414	1,000	15,281	105,000	14,100	12,000	7,984	100 UNT
STS	mg/L	1385	0,500	11,435	107,000	10,000	10,000	6,713	-
COR	UH	1414	1,000	31,747	180,000	29,000	23,000	17,318	75 mg Pt-Co/L
DQO	mg/L	1410	1,000	16,367	121,000	12,000	8,000	14,717	-

Tabela 3 – Resultados das análises Físico-químicos dos anos de 2013 a 2023.

									(conclusão)
Parâmetros	Unidade	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	VMP
CL ₂ ⁻	mg/L	1414	0,060	3,295	35,000	2,920	1,900	2,133	250 mg/L
NO ₃ ⁻	mg/L	1260	0,001	0,480	11,100	0,100	0,100	0,965	10 mg/L
SO ₄ ⁻	mg/L	1413	0,008	2,329	38,500	1,500	1,000	3,446	-

Observados em períodos (chuvoso e seco), verifica-se que há uma distinção significativa entre os parâmetros, através da avaliação dos valores máximos, médias e medianas. Isto pode estar ligado diretamente às mudanças geradas pela sazonalidade, quer pela diluição dos poluentes, característica inerente ao comportamento da água, quer pelo processo escoamento de material particulado, comum nesse período em função das fortes chuvas (Tabela 4).

Identifica-se que a amplitude de pH foi maior no período seco do que no chuvoso, resultados semelhantes aos de temperatura (27,58° C) e condutividade (13µs/s) que mostraram suas mínimas no período seco, apesar de ambos apresentarem médias semelhantes às do período chuvoso. Turbidez e cor verdadeira tiveram comportamento semelhante, ambos com valores mais elevados no período chuvoso. De acordo com Pivelli e Kato (2018), a turbidez está diretamente relacionada à presença de sólidos diversos em suspensão, desde fragmentos de rocha até a presença de algas, já a cor verdadeira é determinada a partir da remoção das partículas em suspensão sendo causada pela presença de sólidos dissolvidos e coloides na água.

Observado o comportamento do leito hídrico em diferentes marés (Tabela 4), percebe-se que não há tanta distinção dos valores máximos, mínimas, médias e medianas nos parâmetros avaliados, porém é possível destacar a diferença das máximas dos sólidos suspensos e dissolvidos, sendo mais elevada na maré vazante. Quanto à salinidade percebe-se aumento significativo na maré de cheia demonstrando possível influência da intrusão salina. Estudos como o de Araújo (2018), também obtiveram valores mais elevados de salinidade na enchente em estudos realizados na Baía de Guajará.

Tabela 4 – Resultados físico-químicos por período e por maré de 2013 a 2023

Parâmetros	Unidade	VMP	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão
			Período Chuvoso							Período Seco						
pH	-	6,0 - 9,0	707	5,42	7,19	10,56	7,25	7,47	0,83	721	4,90	7,29	12,82	7,17	7,53	1,00
TEMP	°C	-	707	20,860	29,396	32,800	29,330	28,90	0,701	721	27,580	29,846	32,500	29,800	29,600	0,520
COND	µS/cm	-	707	13,000	55,608	324,000	49,600	48,00	22,6	721	1,100	57,931	374,000	49,600	46,000	28,072
TDS	mg/L	500 mg/L	707	6,000	31,533	286,000	27,000	24,00	17,134	721	0,700	32,972	226,000	28,000	21,000	17,635
SAL	mg/L	-	707	0,010	0,027	0,840	0,020	0,020	0,035	721	0,010	0,025	0,160	0,020	0,020	0,013
OD	mg/L	≥ 5 mg/L	707	0,170	6,517	18,540	6,820	7,060	2,512	707	1,420	6,677	28,440	7,090	7,300	2,292
TURB	UNT	100 NTU	693	1,000	17,052	105,000	15,200	10,00	9,046	721	2,000	14,644	55,000	13,500	11,000	6,605
STS	mg/L	-	682	0,500	12,944	89,000	11,000	10,00	7,057	703	1,000	9,972	107,000	10,000	9,000	6,014
COR	UH	75 mg Pt-Co/L	707	2,000	35,724	180,000	33,000	21,00	20,122	707	1,000	27,913	115,000	28,000	33,000	13,007
DQO	mg/L	-	703	1,000	16,562	99,000	12,000	9,000	14,159	707	1,000	16,184	121,000	12,000	7,000	15,236
CL2-	mg/L	250 mg/L	707	0,060	3,285	35,000	2,915	2,050	2,366	707	0,160	3,306	18,954	2,950	1,900	1,879
NO3-	mg/L	10 mg/L	609	0,001	0,557	10,000	0,100	0,100	1,062	651	0,001	0,404	11,100	0,100	0,100	0,852
SO4-	mg/L	-	706	0,008	2,273	38,500	1,434	1,000	3,718	707	0,070	2,383	29,342	1,559	1,000	3,156
Parâmetros	Unidade	VMP	Enchente							Vazante						
pH	-	6,0 - 9,0	714	5,15	7,27	12,82	7,21	7,43	0,99	714	4,92	7,21	10,97	7,21	7,70	0,84
TEMP	°C	-	714	26,200	29,587	32,000	29,555	29,40	0,631	714	20,860	29,66	32,800	29,600	29,600	0,678
COND	µS/cm	-	714	8,000	56,931	374,000	49,900	48,00	25,509	714	1,100	56,583	324,000	49,050	46,000	25,561
TDS	mg/L	500 mg/L	714	6,000	32,348	286,000	28,000	24,00	18,618	714	0,700	32,141	193,000	27,300	21,000	16,096
SAL	mg/L	-	714	0,010	0,026	0,840	0,020	0,020	0,033	714	0,010	0,026	0,200	0,020	0,020	0,016
OD	mg/L	≥ 5 mg/L	707	0,170	6,527	28,440	6,940	7,200	2,49	707	0,960	6,669	18,540	7,010	7,300	2,317
TURB	UNT	100 NTU	707	2,000	16,074	105,000	14,400	10,00	8,13	707	1,000	15,568	84,500	13,800	12,000	7,833
STS	mg/L	-	692	1,000	11,529	89,000	10,000	10,00	6,425	693	0,500	11,341	107,000	10,000	10,000	6,992
COR	UH	75 mg Pt-Co/L	707	2,000	31,491	143,000	28,000	24,00	17,588	707	1,000	32,003	180,000	30,000	15,000	17,054
DQO	mg/L	-	706	1,000	16,169	99,000	12,000	13,00	14,493	704	2,000	16,554	121,000	12,000	8,000	14,937
CL2-	mg/L	250 mg/L	707	0,069	3,257	35,000	2,835	2,800	2,216	707	0,060	3,335	18,954	2,950	1,900	2,046
NO3-	mg/L	10 mg/L	630	0,001	0,506	10,000	0,100	0,100	1,01	630	0,001	0,454	11,100	0,100	0,100	0,917
SO4-	mg/L	-	706	0,020	2,45	33,846	1,510	1,000	3,678	707	0,008	2,209	38,500	1,487	1,000	3,199

5.2 Resultados Microbiológicos

A tabela 5 apresenta os resultados das análises microbiológicas de todo o período de estudo. Vale ressaltar que a resolução CONAMA n° 357/2005 não cita valores de referência para avaliação de coliformes totais e *E-coli*. Em síntese, identifica-se que as máximas de coliformes totais foram determinadas no período chuvoso e maré vazante. Quanto aos coliformes termotolerantes também tiveram valores mais elevados no período chuvoso, porém na maré enchente. No comportamento da bactéria *E-coli* percebe-se maiores valores no período seco e maré vazante com diferença expressiva entre os períodos.

Tabela 5 – Resultados das análises microbiológicas de 2013 a 2023.

NMP/100 mL								
Parâmetros	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	VMP
Coliformes Totais	1414	6,670	1314,632	51.720,000	648,800	2419,600	2606,897	-
Coliformes Termotolerantes	1414	1,000	488,452	44.834,000	115,300	290,900	2403,239	1.000 NMP/100 mL
<i>E-coli</i>	1414	0,000	40,324	4.884,000	8,400	4,100	233,249	-

A diferença de comportamento dos parâmetros microbiológicos (Tabela 6) nos resultados reflete o impacto da sazonalidade na qualidade microbiológica da água. O período chuvoso apresentou concentrações mais elevadas, especialmente de *Coliformes Totais* e *Termotolerantes*. Já o período seco revelou maior estabilidade nos dados, com desvio padrão menor, embora tenha evidenciado possíveis fontes pontuais de contaminação, principalmente em relação parâmetro *E-coli*. Resultados semelhantes foram encontrados por (Gomes, 2020) no comportamento da bactéria nos períodos chuvoso e seco em análises de água realizadas no lago Bolonha, onde as concentrações da bactéria foram menores no período seco quando comparadas as campanhas do período chuvoso.

Entre as marés, enchente e vazante, não houve tanta distinção entre os valores médios dos parâmetros microbiológicos avaliados, no entanto percebe-se que a variável coliformes termotolerantes esteve muito acima do Valor Máximo Permitido estabelecido em norma tanto na preamar quanto na baixa-mar. De acordo com a definição abordada na resolução CONAMA n° 357/2005 o grupo de coliformes termotolerantes pode ser um indicador de contaminação fecal como também pode existir de forma natural no meio ambiente.

Tabela 6 – Resultados das análises microbiológicas por período e por maré de 2013 a 2023.

NMP/100 mL															
Parâmetros	VMP	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão
		Período chuvoso							Período Seco						
Coliformes Totais	-	693	7,50	1592,68	51.720,00	770,10	2419,60	3253,86	721	6,67	1047,89	24.196,00	547,50	2419,60	1734,883
Coliformes Termotolerantes	1.000	693	1,00	667,84	44.834,00	129,60	290,90	3324,22	721	1,00	315,50	15.531,00	105,00	6,30	790,127
E-coli	-	693	0,00	17,41	379	10,00	4,10	25,76	721	0,00	62,26	4.884,00	6,30	2,00	325,094
Parâmetros	VMP	Enchente							Vazante						
Coliformes Totais	-	707	6,67	1342,462	24.196,60	686,7	2419,6	2459,167	707	6,67	1286,762	51.720,00	613,1	2419,6	2748,358
Coliformes Termotolerantes	1.000	707	1	429,754	44.834,00	127	2419,6	1878,296	707	1	547,316	44.651,00	111,9	290,9	2833,866
E-coli	-	707	0	47,314	2851	8,6	4,1	236,792	707	0	33,354	4884	7,5	2	229,622

5.3 Resultado de Metais

Quanto aos resultados de metais todos os analitos avaliados neste estudo, com exceção de cromo e sódio, que não possui valor de referência, estiveram acima dos valores máximos permitidos pela resolução CONAMA n° 357/2005 (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados das análises de metais dos anos de 2013 a 2023.

Parâmetros	N	mg/L						
		Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	VMP
Al	1411	0,002	0,179	2,505	0,120	0,116	0,199	0,100
Ba	1400	0,001	0,025	0,702	0,022	0,02	0,025	0,700
Cd	1259	0,001	0,007	0,050	0,004	0,001	0,009	0,001
Cr	1273	0,001	0,002	0,012	0,002	0,001	0,002	0,050
Cu	1286	0,001	0,012	3,173	0,003	0,002	0,148	0,009
Fe	1413	0,002	0,271	1,684	0,230	0,069	0,185	0,300
Mn	1252	0,001	0,008	0,174	0,006	0,001	0,012	0,100
Na	1371	0,211	3,152	29,453	2,643	3,003	2,463	-
Ni	1245	0,001	0,006	0,099	0,004	0,001	0,010	0,025
Pb	1286	0,001	0,005	0,033	0,003	0,005	0,007	0,010
Zn	1315	0,001	0,014	0,357	0,006	0,001	0,027	0,180

Quanto ao comportamento do alumínio observa-se que as maiores determinações foram feitas no período chuvoso na maré de cheia, (Tabela 8) com desvio padrão inferior a 1, demonstrando pouca variabilidade dos dados, chegando à máxima de 2,505 mg/L. Pereira (2019), em estudo realizados na mesma região encontrou valores de alumínio que variaram de 0,002mg/L a 3,348 mg/L.

Bário e cádmio obtiveram maiores concentrações no período chuvoso em maré vazante. Diferentemente do cromo que teve suas máximas no período seco e maré enchente. Cobre esteve acima do VMP estabelecido pela resolução nos dois períodos atingindo a máxima de 3,72 mg/L no período seco e maré vazante. Soares (2012), obteve resultados inferiores a 0,005 mg/L para cádmio, cobre e chumbo e inferiores a 0,020 mg/L para níquel e cromo, em análises realizadas por ICP-OES em rios do estado de São Paulo, enquadrados no padrão e classe 2 de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 obtendo em todo seu estudo valores de metais inferiores ao VMP.

Ferro, manganês, chumbo e sódio tiveram comportamento semelhante obtendo suas máximas no período chuvoso na maré de cheia. Esse tipo de resultado corrobora a intrusão de material particulado, proveniente do aumento da pluviosidade no período, o que enriquece a coluna d'água com esses elementos e que somados a alta de maré pode provocar a ressuspensão de sedimentos promovendo a mistura e redistribuição dos metais (Soares, 2013).

O níquel, por outro lado, esteve em concentrações mais elevadas no período seco e maré enchente, o que de acordo com Silva (2021) pode indicar menor diluição desse analito, ou até mesmo contaminação por fontes antrópicas, como efluentes industriais ou portuários.

Melo (2008), afirma que comportamentos distintos entre elementos podem estar relacionados aos diferentes processos a que esses analitos estão atrelados, sejam eles influenciados por múltiplos fatores como: transporte, mobilidade e distribuição deles no ambiente, além do regime de chuvas, maré, atividades antrópicas, salinidade, correntes e coluna d'água.

Os elementos alumínio, bário, cádmio, cobre, ferro, manganês, chumbo níquel e zinco apresentaram valores acima do VMP em pelo menos uma das marés avaliadas. Foi possível observar algumas diferenças de comportamento dos metais nas diferentes marés como no caso do alumínio, cromo, ferro, manganês, sódio, níquel e chumbo cuja máxima foi superior na maré de enchente, já os elementos bário, cádmio, cobre e zinco tiveram médias superiores na maré vazante.

Tabela 8 – Resultados das análises de metais por período e marés 2013 a 2023.

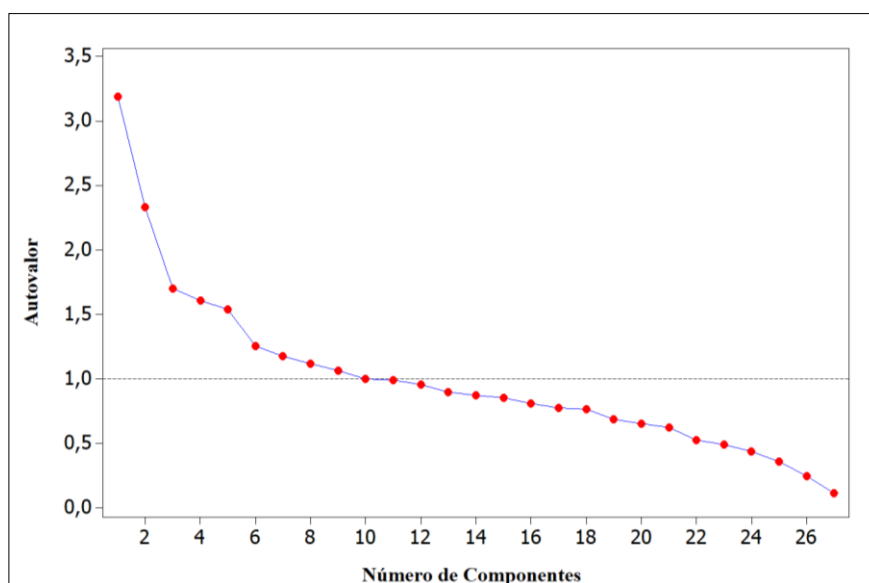
		mg/L													
Parâmetros	VMP	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão
		Período chuvoso							Período Seco						
Al	0,1	693	0,002	0,231	2,505	0,145	0,117	0,237	718	0,002	0,128	0,858	0,094	0,044	0,135
Ba	0,7	693	0,006	0,027	0,702	0,024	0,025	0,03	707	0,001	0,023	0,17	0,021	0,02	0,017
Cd	0,001	609	0,001	0,006	0,05	0,001	0,001	0,011	650	0,001	0,007	0,049	0,004	0,001	0,009
Cr	0,05	609	0,001	0,002	0,006	0,001	0,001	0,001	664	0,001	0,002	0,012	0,002	0,001	0,002
Cu	0,009	623	0,001	0,005	0,11	0,003	0,002	0,012	663	0,001	0,016	3,173	0,003	0,002	0,195
Fe	0,3	693	0,002	0,321	1,684	0,272	0,229	0,218	720	0,013	0,223	0,722	0,213	0,069	0,128
Mn	0,1	651	0,001	0,009	0,174	0,006	0,001	0,012	601	0,001	0,008	0,133	0,006	0,001	0,011
Na	-	693	0,627	3,159	29,453	2,609	1,788	2,666	678	0,211	3,145	23	2,674	0,898	2,236
Ni	0,025	609	0,001	0,005	0,026	0,003	0,001	0,006	636	0,001	0,007	0,099	0,004	0,001	0,013
Pb	0,01	636	0,001	0,004	0,033	0,003	0,001	0,126	650	0,001	0,005	0,03	0,004	0,006	0,004
Zn	0,18	637	0,001	0,011	0,357	0,005	0,002	0,029	678	0,001	0,017	0,139	0,006	0,001	0,024
Parâmetros	VMP	Enchente							Vazante						
		N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão	N	Mínima	Média	Máxima	Mediana	Moda	Desvio Padrão
Al	0,1	705	0,002	0,184	2,505	0,118	0,043	0,227	706	0,003	0,173	0,883	0,123	0,054	0,166
Ba	0,7	700	0,001	0,025	0,231	0,022	0,024	0,018	700	0,001	0,025	0,702	0,022	0,02	0,029
Cd	0,001	630	0,001	0,005	0,049	0,002	0,001	0,008	629	0,001	0,009	0,05	0,006	0,001	0,011
Cr	0,05	637	0,001	0,002	0,012	0,002	0,001	0,002	636	0,001	0,002	0,01	0,002	0,001	0,002
Cu	0,009	644	0,001	0,005	0,099	0,003	0,003	0,009	642	0,001	0,018	3,173	0,003	0,002	0,204
Fe	0,3	707	0,013	0,271	1,684	0,226	0,229	0,194	706	0,002	0,272	0,878	0,235	0,069	0,175
Mn	0,1	630	0,001	0,009	0,174	0,006	0,001	0,015	622	0,001	0,007	0,101	0,007	0,001	0,008
Na	-	686	0,41	3,203	29,453	2,609	1,788	2,542	685	0,211	3,099	29,336	2,673	2,853	2,381
Ni	0,025	623	0,001	0,007	0,099	0,004	0,001	0,014	622	0,001	0,005	0,023	0,004	0,001	0,004
Pb	0,01	643	0,001	0,006	0,033	0,003	0,005	0,008	643	0,001	0,004	0,03	0,003	0,006	0,004
Zn	0,18	658	0,001	0,014	0,139	0,006	0,001	0,02	657	0,001	0,015	0,357	0,005	0,001	0,032

5.4 Estatística Multivariada

5.4.1 Análise dos Componentes Principais (ACP)

Para determinar o número de componentes de interesse nesse estudo, será utilizado o critério de Kaiser que determina que o número de componentes seja igual ao número de autovalores > 1 (Lattin *et al.*, 2011). Foram determinadas 27 componentes em correspondência as 27 variáveis submetidas. Dessa forma, serão apresentados os resultados das 9 primeiras componentes que apresentaram autovalor > 1 como mostra a figura 5.

Figura 5 - Gráfico Scree de perfil de autovalores das componentes principais.



Fonte: Autor.

A figura 6 demonstra as principais correlações entre os parâmetros avaliados. Foi possível identificar a formação de três grupos de maior interação. O grupo A relacionou o maior número de variáveis, com a presença dos metais: Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Manganês, Níquel, e Zinco, além dos íons nitrato e cloreto, DQO e OD, *E-coli* e Coliformes termotolerantes.

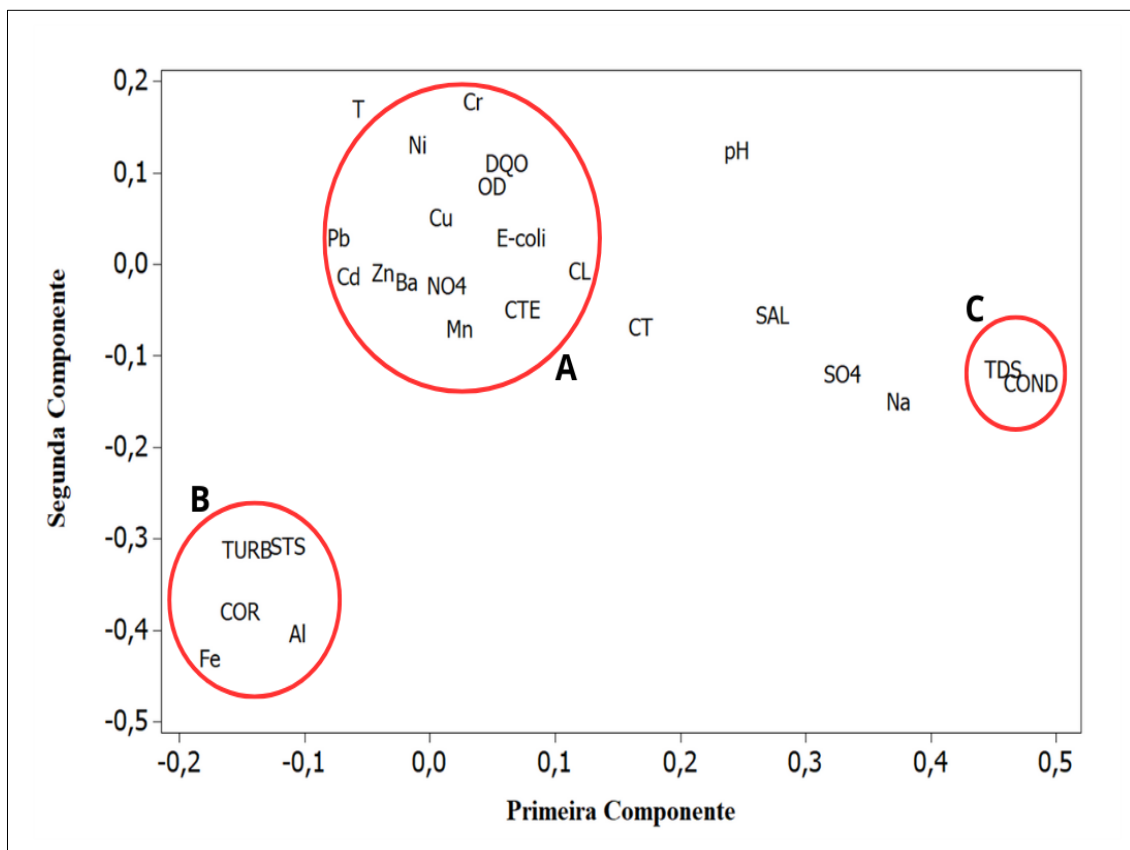
A relação observada entre DQO e OD está ligada diretamente a ambos os parâmetros serem quantificadores de oxigênio, quer seja pela quantidade necessária a decomposição de matéria orgânica ou pela quantidade deste presente na água.

Outra correlação observada foi entre os Coliformes termotolerantes e *E-coli*, de acordo com a Cetesb (2020) ambos podem ser indicadores de contaminação fecal, as bactérias do grupo *E-coli* pertencem as do grupo de termotolerantes.

O grupo B formado pela turbidez, sólidos totais suspensos, cor, ferro e alumínio demonstra interações claras e diretas desses parâmetros. Sabe-se que a turbidez da água está diretamente ligada a presença de sólidos em suspensão. De acordo com Braga (2014), turbidez, sólidos suspensos e cor frequentemente encontram-se associadas em análises estatísticas que envolvam componentes principais ele também afirma que essa interação quando relacionada aos elementos ferro e alumínio demonstra a inserção de matéria orgânica no corpo hídrico.

O grupo C relacionou condutividade e sólidos totais dissolvidos, Hem (1985), estabeleceu uma relação direta entre essas variáveis através da fórmula “ $STD_5 = CE \times K$ ”, onde K é um fator de conversão. APHA (2017) afirma que a contribuição de STD é significativa no valor final da condutividade, visto que as substâncias presentes nos sólidos em sua maioria são iônicas.

Figura 6 - Gráfico de cargas das duas primeiras componentes.



Fonte: Autora.

A tabela 9 contém a matriz de correlação entre às nove componentes de interesse e as variáveis de estudo, onde os valores em negrito representam as correlações acima de 0,300 em

módulo. Hair *et al* (2019), afirmam que cargas fatoriais iguais ou maiores que 0,300 possuem correlação moderada, acima de 0,500 correlação considerável e acima 0,700 correlação alta.

Destaca-se que as duas primeiras componentes explicam pouco mais de 20% dos dados e que as nove componentes com autovalor maior que 1 acumulam 55% da variância desses dados.

É possível identificar na primeira componente contribuição significativa e positiva de cinco variáveis (Condutividade, STD, DQO, SO_4^{2-} e Na^+), explicando 11,80% dos dados. A segunda componente obteve contribuição negativa de cinco variáveis (Turbidez, STS, cor, alumínio e ferro) formação que corroborou ao grupo C da HCA.

Pegatin (2022), afirma que variáveis como turbidez, sólidos suspensos e metais estão diretamente relacionados e podem ser usados como indicativo de poluição sendo um importante panorama situacional da qualidade da água e dessa forma subsidiar ações de gerenciamento desses recursos.

Tabela 9 – Resultado da análise dos componentes principais e suas cargas.

(continua)

Variável	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
pH	0,245	0,098	-0,237	-0,079	-0,118	0,161	-0,253	-0,036	0,279
T	-0,057	0,143	0,399	-0,176	0,066	0,245	0,121	-0,098	-0,069
COND	0,481	-0,157	-0,034	-0,114	-0,056	0,068	0,017	0,023	0,139
TDS	0,458	-0,142	-0,103	-0,088	-0,081	0,067	-0,001	0,030	0,155
SAL	0,274	-0,083	-0,071	-0,127	-0,082	0,079	0,064	0,000	0,129
OD	0,050	0,058	-0,048	-0,051	-0,102	-0,563	-0,301	0,068	0,200
TURB	-0,146	-0,339	-0,156	0,223	-0,255	-0,093	0,285	0,003	0,022
STS	-0,113	-0,335	-0,014	0,064	-0,163	-0,063	0,318	-0,011	0,136
COR	-0,151	-0,406	-0,040	-0,066	-0,070	-0,001	-0,028	-0,205	0,053
DQO	0,620	0,083	-0,109	0,005	-0,045	0,128	-0,267	0,163	-0,532
CL	0,120	-0,034	0,340	0,120	-0,034	0,340	-0,123	0,082	-0,254
NO_4	0,014	-0,051	-0,111	0,309	-0,386	-0,180	-0,035	-0,088	-0,146
SO_4	0,330	-0,147	0,183	0,095	-0,111	-0,139	0,075	0,092	-0,248
CT	0,169	-0,096	0,007	0,428	0,407	-0,054	-0,077	0,027	0,094
CTE	0,074	-0,077	-0,050	0,432	0,418	0,047	-0,126	0,035	-0,015
E-COLI	0,074	0,001	-0,003	0,370	0,220	0,055	0,210	-0,110	0,067
Al	-0,105	-0,431	-0,530	-0,160	0,203	0,017	-0,316	0,100	-0,064
Ba	-0,018	-0,046	0,023	0,117	-0,175	0,580	-0,025	0,188	0,090
Cd	-0,064	-0,040	0,380	-0,019	0,057	-0,087	-0,087	0,385	0,329

Tabela 9 – Resultado da análise dos componentes principais e suas cargas

(conclusão)

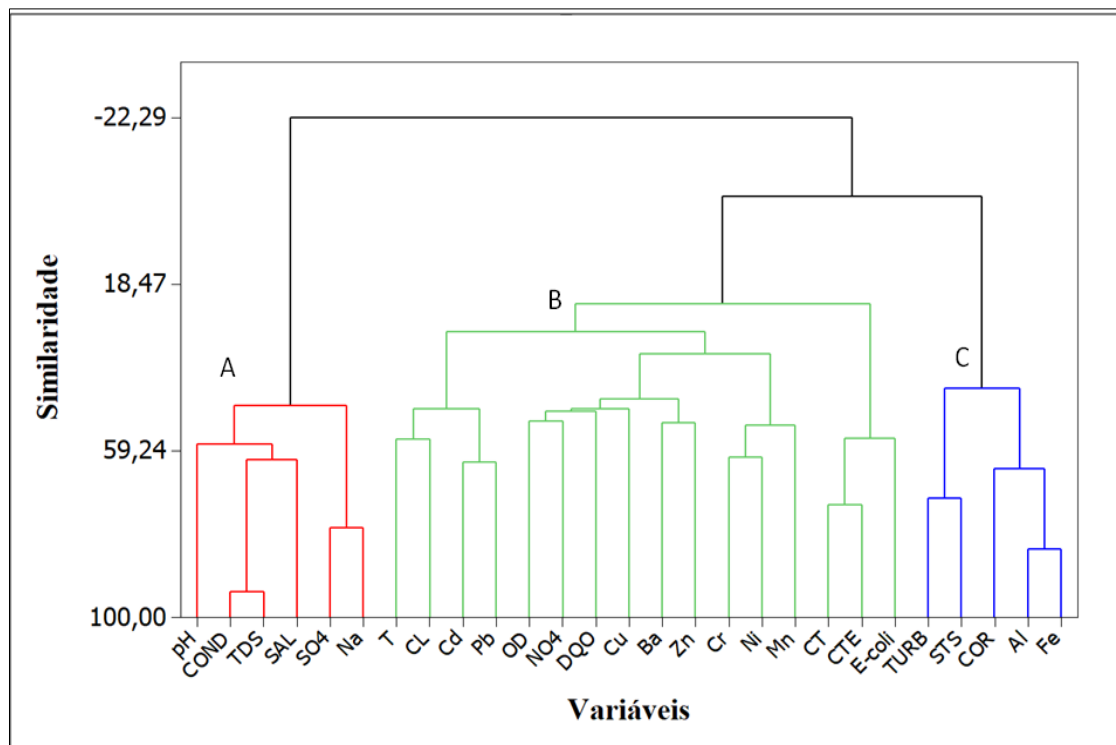
Variável	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
Cr	0,035	0,150	-0,387	-0,142	0,176	-0,201	0,227	0,237	-0,104
Cu	0,010	0,024	0,001	-0,060	0,029	0,015	0,008	-0,088	0,137
Fe	-0,175	-0,458	-0,040	-0,254	0,214	0,057	-0,236	0,017	-0,064
Mn	0,024	-0,098	-0,052	-0,204	0,206	0,043	0,488	0,134	-0,087
Na	0,375	-0,177	0,264	-0,065	0,042	-0,044	0,081	0,037	-0,211
Ni	-0,010	0,103	-0,186	-0,232	0,277	-0,126	0,194	0,117	0,181
Pb	-0,073	0,002	0,396	0,090	-0,098	-0,099	0,006	0,252	0,262
Zn	-0,037	-0,036	-0,024	0,060	-0,128	-0,035	0,031	0,672	-0,211
Autovalor	3,196	2,332	1,699	1,605	1,540	1,254	1,175	1,119	1,062
% de variância explicada	11,80	8,60	6,30	5,90	5,70	4,60	4,40	4,10	3,90
% Cumulativa de Variância	11,80	20,50	26,80	32,70	38,40	43,00	47,40	51,50	55,50

Fonte: Autor.

5.4.2 Análise de Agrupamentos hierárquicos (HCA)

A figura 7 apresenta o dendrograma formado a partir da Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) de todas as variáveis avaliadas neste estudo, no período de 2013 a 2023.

Figura 7 – Dendrograma das variáveis de estudo.



Fonte: Autora.

Na HCA foi possível identificar a formação de 3 grupos principais onde, no Grupo A, é possível identificar novamente a alta similaridade entre condutividade e TDS corroborando ao observado na PCA. Ao passo que, o grupo B da HCA é semelhante ao grupo A da PCA englobando o maior número de variáveis e o grupo C da HCA coincide ao observado no grupo B da PCA com expressiva relação entre os metais alumínio e ferro.

Em destaque na HCA é possível identificar também a relação do grupo coliforme demonstrando a hierarquia presente entre esses indicadores. Os coliformes totais englobam o subgrupo dos coliformes termotolerantes que por sua vez compreendem o subgrupo das bactérias *E-coli* que de acordo com a Cetesb (2022) representa cerca de 80% do subgrupo termotolerante e está diretamente associada à contaminação fecal sendo importante avaliar a proporção dessas variáveis nos corpos d'água.

5.5 Tabela FMEA

A tabela 10 contém os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia FMEA contendo o RPN definido para cada acidente conforme reuniões realizadas com equipe multidisciplinar envolvida na pesquisa.

As discussões levantadas pela equipe abordaram diversos olhares identificando diferentes problemáticas associadas a cada um dos acidentes ambientais discutidos não somente a degradação da qualidade das águas como, principalmente, os desafios enfrentados pelas comunidades e os problemas de saúde que podem estar associados.

O maior valor de RPN encontrado atingiu o índice 36 para o acidente ocorrido nos rios Curuparé e Dendê onde houve vazamento de rejeitos que contaminaram os cursos d'água e lençol freático afetando os poços das comunidades próximas, lançamento de fuligem das chaminés da Imerys e floração de algas (Pará, 2018).

Dentro da categorização de riscos adotada o acidente foi definido como “Alto”. No momento da reunião levantou-se a recorrência desse tipo de acidente, a gravidade dos rejeitos lançados nos corpos hídricos e a população afetada.

Outro risco de relevância na tabela FMEA foi o acidente ocorrido em 2018, também nos rios Curuparé e Dendê, onde uma tubulação clandestina ocasionou o vazamento de uma bacia de rejeitos (Pará, 2018). De acordo com a categorização foi definido como “Crítico”.

Outros 6 acidentes foram categorizados como “Moderado”, o que os leva a serem considerados dentro de um planejamento de risco. Os acidentes dessa categoria foram:

Vazamentos de caulim, vazamentos de bacias de rejeito de caulim e de lama vermelha (CPC, 004; CPC, 2007; CPC, 2009; CPC, 2014; Pará, 2018).

De posse da tabela FMEA é possível adotar dentro do planejamento de riscos já executado pelo empreendimento, medidas mitigadoras direcionadas aos riscos de maior potencial dentro de cenário observado (distrito industrial de Vila do Conde). O plano de risco dentro do contexto industrial é extremamente necessário a prevenção e minimização de acidentes e têm como objetivo identificar, avaliar e controlar processos associados a produção que podem causar algum dano aos ecossistemas e comunidades próximas. Dessa forma, a adoção da FMEA possibilita a implementação de medidas que podem reduzir a severidade, ocorrência e abrangência de acidentes, bem como a identificação e detecção de danos provenientes de acidentes.

No contexto de Vila do Conde, em função da atividade portuária e industrial, falhas que resultam em acidentes ambientais podem gerar sérias consequências para a qualidade da água e, atingir a fauna e flora aquáticas e os moradores. Os impactos gerados podem afetar diretamente a saúde das comunidades do entorno, que dependem dos recursos naturais para subsistência, alimentação e manutenção de seus modos de vida, a contaminação da água por metais pode causar distúrbios gastrointestinais, doenças dermatológicas e até neurológicas, já os ecossistemas podem ter alterações sistêmicas como diminuição dos níveis de fotossíntese, aumento dos níveis de mortalidade, redução dos níveis de oxigênio e até mesmo alterações na estabilidade das margens causando um agravamento à situação e ampliando perdas ambientais, econômicas e culturais.

Tabela 10- Resultado FMEA.

(continua)

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S O D A				RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano				S	O	D	A			
1991	Albrás	Casos de Fluorose	-	R	Processo químico de formação de alumínio pela empresa Albrás	Manchas nos dentes, sensibilidade dentária, dores, enfraquecimento do esmalte	1	1	2	1	2	0,50	Desprezível
1996	Imerys	Retirada de areia da praia	Praia do conde	R	Retirada de areia para construção de ponte por parte da empresa Imerys	Erosão, perda de biodiversidade, perda da proteção contramarés de tempestade	2	1	1	3	6	1,49	Desprezível
2000		Naufrágio da balsa Miss Rondônia, com derramamento de aproximadamente 2 milhões de litros de óleo BPF	Rio Pará	R	Rachadura na carcaça da bomba de sucção.	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	2	1	1	3	6	1,49	Desprezível
2002	Albrás/Alunorte	Derramamento de coque (pó derivado do petróleo, também conhecido como carvão mineral), gerando mancha negra de 2 km de extensão	Rio Pará	R	Falha no sistema utilizado para transportar o coque do navio para o interior do complexo industrial Albras/Alunorte	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, obstrução das brânquias de peixes e outros organismos aquáticos, perda da biodiversidade, aumento da acidez da água	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2003	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos	Rio Murucupi	R	Tubulação exposta	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo

Tabela 10- Resultado FMEA.

(continua)

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2003	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos	Rio Murucupi e Pramajozinho	R	Transbordamento de material lixiviado da célula de contenção do DRS 1 (Depósito de Resíduos Sólidos)	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2003	Imerys	Chuva de fuligem, praias, rios, residências e estabelecimentos comerciais foram cobertos de material particulado de cor preta que chegou a 5 centímetros de espessura		R		Reações alérgicas e complicações respiratórias nos moradores	2	2	1	3	12	2,97	Baixo
2003	Alunorte	Derramamento de compostos álcalis	Rio Pará	R	Falha na válvula de vazão de licor cáustico	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	1	2	2	12	2,97	Baixo
2004	Imerys	Vazamento de caulim	Curupeté e Dendê	R	Transbordamento de uma pilha de caulim por ineficiência da bomba do sistema de comportas e alta pluviosidade	Causando coloração esbranquiçada na água e aparecimento de animais mortos condições de acidez da água com pH variando da ordem de 2 a 4 (extremamente ácido)	3	2	1	3	18	4,46	Moderado

Tabela 10- Resultado FMEA.

(continua)

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2004	Alunorte	Chuva de fuligem, praias, rios, residências e estabelecimentos comerciais foram cobertos de material particulado		R	-	Provocando reações alérgicas e complicações respiratórias nos moradores	2	2	1	3	12	2,97	Baixo
2005	Alunorte	Vazamento de soda cáustica	Rio Pará	R			3	1	2	2	12	2,97	Baixo
2006	Imerys	Vazamento de rejeitos que contaminou curso d'água e lençol freático	Curupeté e Dendê	R	Infiltração na bacia de rejeitos	Contaminação dos poços das comunidades próximas e o lançamento de fuligem das chaminés da Imerys e floração de algas	3	2	2	3	36	8,91	Alto
2006	Imerys	Vazamento de rejeitos	Igarapé Mucuraça e praia do Caripi	R	Infiltração na bacia de rejeitos	Floração de algas	3	2	1	3	18	4,46	Moderado
2007	Imerys	Vazamento de mais de 200 mil m3 de caulim que percorrem 19 km de distância do ponto de vazamento ao longo dos cursos d'água, tornando a água imprópria para consumo	Curupeté, Dendê e rio Pará	R	Fissura no talude da barragem	Poluição do solo e da água evidenciada pela alteração da cor das águas subterrâneas, risco direto para as comunidades próximas, Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	3	18	4,46	Moderado
2007	COSIPAR	Morte de peixes	Rio Arienga	R	vazamento da Usipar	casos de alergias e mal-estar da população que consumiu ou esteve em contato com a água, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo

Tabela 10- Resultado FMEA.

(continua)

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2008	Imerys	Vazamento de caulim	Rio das Cobras, Curupeté, Dendê e São João	R	Desligamento das bombas que controlavam o volume das bacias de rejeito por falta de energia	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	3	18	4,46	Moderado
2008	Petrobrás	Vazamento de óleo	Vila do Conde	R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2008		Naufrágio rebocador Jeany Glalon XXXII, causando o vazamento de aproximadamente 30 mil L de óleo e o surgimento de uma mancha negra de 17 km de extensão	Furo do Arrozal	R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	2	1	1	3	6	1,49	Desprezível
2009	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos	Rio Murucupi e furo do arrozal	R	Transbordamento de barreira de contenção	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	3	1	2	18	4,46	Moderado

Tabela 10- Resultado FMEA.

(continua)

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S O D A				RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano				S	O	D	A			
2010		Nuvem de fuligem	Bairro Industrial	R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais.	2	2	1	3	12	2,97	Baixo
2011	Imerys	Vazamento de polpa de caulim	Curupeté e Dendê	R	Rompimento de duto com efluentes ácidos	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2012	Imerys	Rompimento de mineroduto por cerca de 24 horas	Rio Maricá e Dendê	R	Rompimento de mineroduto, em função de uma fissura, entre o porto e a planta da empresa	Problemas respiratórios, irritações na pele, aumento da turbidez, diminuição do OD, perda da biodiversidade, contaminação por metais	3	1	1	2	6	1,49	Desprezível
2013	Imerys	Vazamento de caulim	Curupeté	R	Substituição de mineroduto causou vazamento de caulim	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2014	Imerys	Vazamento de caulim	Curupeté e Dendê	R	Vazamento da bacia 5C	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	3	1	2	18	4,46	Moderado
2015	Bunge/Amaggi	Impacto as matas ciliares pelo alto fluxo de embarcações, despejo de soja apodrecida no curso d'água	Furo do Arrozal	R	Alto fluxo de embarcações e despejo de soja apodrecida no curso d'água	Erosão, perda de biodiversidade, perda da proteção contramarés de tempestade, contaminação por gás metano que supostamente levou a morte de 3 pessoas	2	1	2	3	12	2,97	Baixo

Tabela 10- Resultado FMEA.

(conclusão)

Evento			Tipo	Causa	Efeito	SODARPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data Empreendimento	Descrição	Local do Dano						
2016	Contaminação de praias por resíduos de esgotamento urbano	Rio Pará e Dendê	R		Doenças de veiculação hídrica, proliferação de vetores, problemas respiratórios, intensificação do processo de eutrofização, alteração de pH, perda da biodiversidade.	2 3 2 1 12	2,97	Baixo
2016	Imerys Vazamento de caulim	Rio cobras, Curuperé, Dendê, São João e praia Conde	R	Fissura na tubulação de transporte da polpa de caulim	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3 2 1 2 12	2,97	Baixo
2016	Naufrágio do rebocador Ciclope		R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	1 1 1 3 3	0,74	Desprezível
2018	Hydro/Alunorte Vazamento de bacia de rejeitos	Curuperé e Dendê	R	Tubulação clandestina e vazamento na bacia de rejeitos	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3 2 2 2 24	5,94	Crítico
2019	Imerys Vazamento de efluentes de caulim	Curuperé e Dendê	R	-	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3 2 1 2 12	2,97	Baixo
2021	Imerys Explosão de um galpão com hidrossulfito de Sódio	Comunidades próximas à empresa	R	-	Dispersão de fumaça branca, problemas respiratórios, irritação nos olhos e na pele.	2 1 1 3 6	1,49	Desprezível

5.5.1 Medidas Mitigadoras

Medidas mitigadoras configuram-se como proposições definidas com objetivo de reduzir ou neutralizar possíveis impactos negativos e vão desde ações estruturais como a construção de diques, barragens, reforços estruturais, até o desenvolvimento de protocolos operacionais como planos de emergência, planos de monitoramento, treinamento de equipe de trabalho (IBAMA, 2002).

Aliadas à metodologia FMEA as medidas mitigadoras foram empregadas levando em consideração os índices considerados na obtenção do RPN, ou seja, buscando minimizar a severidade dos danos ocasionados pelos eventos e sua ocorrência, buscando propiciar meios para detectar falhas ou consequências dos eventos e reduzir ao máximo o raio de abrangência de um acidente. O objetivo final da tabela FMEA é, não só identificar pontos críticos dentro de um sistema, mas também, propor medidas mitigadoras. Dessa forma, com bases nos dados históricos de acidentes na região de Barcarena e tendo em vista a recorrência e similaridades de alguns eventos, as medidas mitigadoras foram abordadas de maneira agrupada (Quadro 9).

Além disso, compreendendo as peculiaridades e particularidades da região amazônica foram propostas medidas mitigadoras de baixo custo que podem atender a região. A abordagem adotada para a região requer adaptações específicas que levem em consideração as condições socioambientais, limitações estruturais, logísticas e socioeconômicas. Somadas a pouca ou nenhuma infraestrutura sanitária, as dificuldades de acesso às comunidades e os custos associados à implantação de infraestruturas ou sistemas de monitoramento.

Nesse contexto, o uso de tecnologias sociais de baixo custo podem ser amplamente empregadas aliadas à promoção de programas de educação ambiental, voltados à valorização dos saberes e conhecimentos tradicionais articulados em conjunto ao conhecimento científico. Além do emprego do monitoramento participativo através das lideranças comunitárias (FBB, 2017).

Outro ponto que pode ser adotado na região é a elaboração de planos de contingência que podem e devem ser produzidos em parceria com as comunidades (MMA, 2012). A garantia da participação dos moradores locais garante um poder de resposta mais rápido e eficaz fortalecendo a resiliência local. Essa construção participativa contribui diretamente a valorização cultural e territorial reconhecendo as especificidades de cada localidade e a descentralização da tomada de decisões viabilizando também o uso de soluções inclusivas (Capobiano, 2011).

Quadro 9- Medidas Mitigadoras

TIPO DE ACIDENTE	FONTE
Vazamentos de rejeitos, caulim e lama vermelha: Reforço na estrutura das bacias de rejeitos, tubulações e minerodutos Instalação de sistemas de monitoramento contínuo e sensores de vazamento Planos de emergência e contingência para resposta rápida Recuperação e reabilitação das áreas impactadas	ICOLD, 2001; Brasil, 2010; Pinto, 2019.
Vazamentos e derramamentos de óleo (naufrágios e acidentes com embarcações): Instalação de barreiras de contenção (barreiras flutuantes); Uso de skimmers para remoção do óleo da superfície Limpeza das áreas afetadas e monitoramento da qualidade ambiental Remoção de animais mortos	CONAMA, 2008; American Petroleum Institute, 2010; IBAMA, 2013.
Emissão de fuligem e particulados atmosféricos: Instalação de filtros nas chaminés para reduzir a emissão de partículas; Manutenção regular dos equipamentos industriais; Monitoramento da qualidade do ar; Comunicação com a comunidade sobre os riscos.	EPA, 2003; Cetesb, 2014.
Vazamentos de produtos químicos perigosos (soda cáustica, compostos alcalis, hidrossulfito de sódio): Instalação de contenção secundária em tanques e estruturas de armazenamento; Treinamento de equipes para resposta rápida a emergências químicas; Armazenamento adequado de substâncias perigosas; Revisão dos protocolos de segurança e prevenção de incêndios.	Cetesb, 2011; UNEP, 2015.
Impactos diretos à fauna e flora aquática (ex: morte de peixes e degradação de matas ciliares): Controle de efluentes e tratamento de resíduos industriais; Implementação de rotas de navegação que minimizem impactos; Programas de recuperação da fauna aquática e das matas ciliares; Monitoramento da qualidade da água e do ecossistema local.	IBAMA 2014; MMA, 2007.
Contaminação por esgoto urbano: Implementação de sistemas de tratamento de esgoto; Campanhas de educação ambiental; Fiscalização das redes de coleta e despejo sanitário.	Jacobi 2003; FUNASA, 2019.
REGIÃO AMAZÔNICA	
Sistemas de captação e tratamento comunitário de água de chuva Unidades compactas de tratamento de efluentes (biofiltros, wetlands construídas) Monitoramento participativo da qualidade da água: Educação ambiental territorializada: Planos de Contingência Comunitários	Von Sperling, 2005; Capobiano, 2011; Loureiro, 2012; MMA, 2012; Lima; Moura, 2016.

5.6 Mapa de risco a partir do RPN

A metodologia desenvolvida permitiu identificar nas proximidades da região portuária de Vila do Conde 32 acidentes ambientais de 1991 a 2021. Para elaboração do mapa foram selecionados 16 pontos, visto que por vezes algumas localidades foram atingidas por mais de um acidente ambiental (figura 8). Nestes casos foi adotado o maior RPN atribuído a região.

O mapa de risco foi elaborado a partir do resultado do Número de Prioridade de Risco (RPN) em escala de cor que tem gradação do verde ao vermelho, representando a categorização dos riscos de baixo a alto, permitindo a rápida interpretação e diferenciação das áreas críticas e evidencia de maneira didática e elucidativa as regiões de maior atenção para o uso das medidas mitigadoras abordadas no quadro 9. Deixa claro também, para o poder público e empreendimentos interessados, quais áreas têm sido mais afetadas nas ocasiões em que há acidentes ambientais e permite visualizá-las de maneira objetiva.

Destacaram-se em vermelho os rios Curupéré e Dendê nas proximidades da empresa Imerys, onde o RPN foi igual a 36 (risco alto), seguido do igarapé São João, rio das Cobras, igarapé Mucuraçá, praia do Caripi e furo do Arrozal (risco moderado), que de acordo com o RPN são as áreas de maior vulnerabilidade.

As figuras 8 e 9 representam respectivamente os pontos de acedentes levantados através do seu RPN e a área de influência de cada evento. Identifica-se em destaque a região nas proximidades do empreendimento Imerys nas comunidades do Curupéré e Dendê onde foram registrados o maior número de eventos e os de maior criticidade.

Figura 8- Mapa de risco (descrição dos pontos)

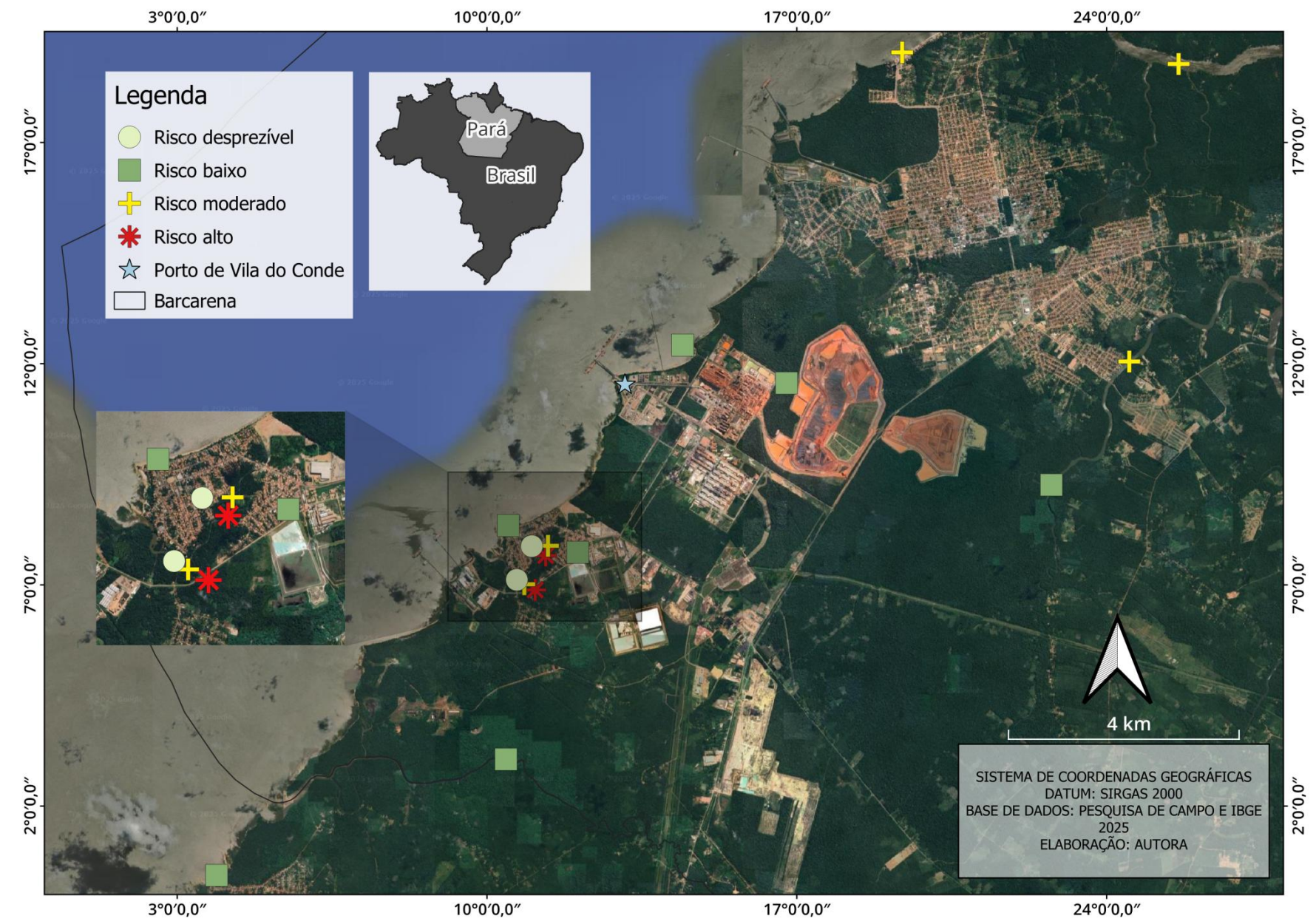
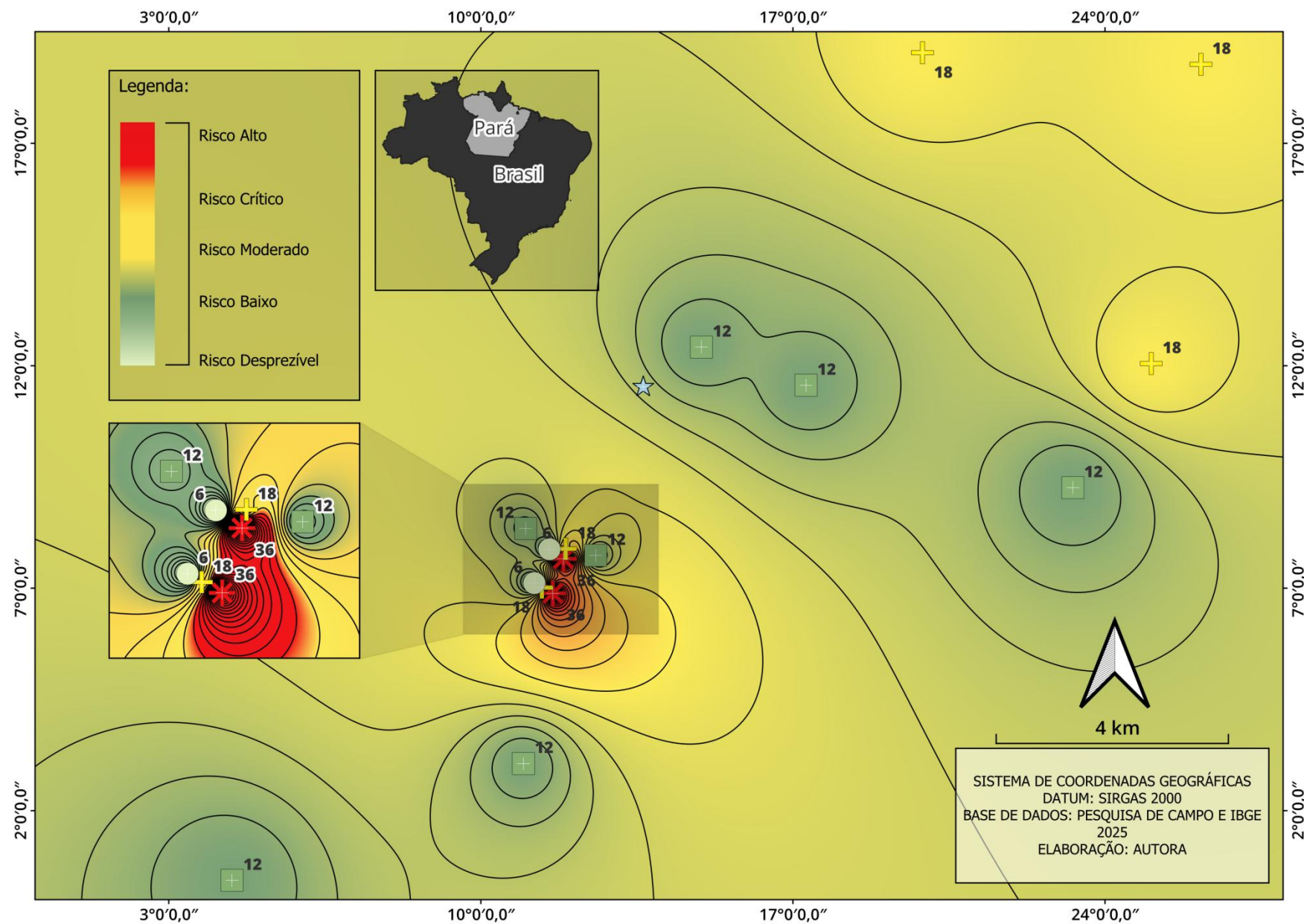


Figura 9 - Mapa de risco



Fonte: Autora.

6 CONCLUSÃO

Os dados obtidos neste trabalho permitiram visualizar um panorama da qualidade da água do rio Pará ao longo de 10 anos (2013 a 2023), sendo possível obter uma avaliação abrangente das condições ambientais do local nas proximidades do Porto de Vila do Conde. Destacando as alterações físico-químicas, químicas e microbiológica de 7 pontos distintos na região industrial próxima ao porto. Demonstrando a complexidade e dinâmica hídrica do rio Pará, suas influências sazonais, variações de maré e intervenções antrópicas.

Os resultados demonstraram diversas alterações dos parâmetros avaliados, determinações de pH, oxigênio dissolvido, turbidez, cor, nitrato, coliformes termotolerantes, alumínio, bário, cádmio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco ultrapassaram os valores máximos permitidos pela resolução CONAMA nº 357/2005 verificando-se perturbações significativas na qualidade do corpo hídrico em questão. Sendo possível identificar a vulnerabilidade do sistema em questão e o seu comportamento em diferentes períodos e marés

As análises microbiológicas demonstraram padrão sazonal, as concentrações de coliformes totais e termotolerantes aumentaram substancialmente no período chuvoso, indicando aporte de contaminantes provenientes do escoamento superficial e possíveis fontes de poluição fecal. Já a bactéria *E. coli* apresentou maior concentração no período seco, com destaque para a maré vazante, sugerindo possíveis focos pontuais de contaminação antrópica. A ausência de VMP para alguns parâmetros na legislação vigente dificulta a realização de uma avaliação sobre os mesmos, ainda assim os níveis detectados demonstram a necessidade de medidas mitigadoras para os riscos à saúde pública.

No tocante a determinação da concentração de metais evidenciou-se que a maioria dos elementos analisados esteve em desconformidade com os VMP's estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005. As análises multivariadas empregadas, HCA e PCA permitiram a identificação da interação entre as variáveis de estudo e corroboraram ao entendimento desses parâmetros de forma conjunta.

A tabela FMEA identificou como alto o acidente ocorrido no ano 2006 ocasionado pela empresa Imerys, que gerou um derramamento de caulim e atingiu os rios Curupeté e Dendê, rios esses utilizados pelas comunidades do Curupeté, que tem origem indígena na etnia Martigura, comunidades essas que tem sido afetadas constantemente ao longo dos anos pelos mais diversos acidentes ambientais na região. Além deste acidente outras 5 regiões

também foram indicadas como sendo de risco moderado, já requerendo atenção na criação de medidas mitigadoras de impactos.

É importante salientar que o rio Pará é um rio de grandes proporções e alta vazão o que o permite ter um poder de autodepuração considerável, sujeitando-o a um fácil retorno as condições naturais quando submetido a perturbações. Muito embora tenham sido identificadas, neste estudo, alterações significativas na qualidade da água do rio Pará que acendem um alerta na região, podendo ser entendido como uma perda na capacidade de autodepuração do rio pelos frequentes transtornos gerados nos eventos de acidentes ambientais.

A recorrência de eventos degradantes ao longo dos anos gera um questionamento quanto a capacidade de resiliência de ecossistemas como o do rio Pará e demonstram a importância do monitoramento contínuo de rios submetidos a intensas contribuições antrópicas.

Em síntese, os resultados obtidos apontam para um cenário de comprometimento da qualidade ambiental da água ao longo da última década, marcado por desafios relacionados à sazonalidade, variações hidrológicas e presença significativa de contaminantes físicos, microbiológicos e químicos. Essa constatação evidencia a necessidade urgente de estratégias eficazes de monitoramento, manejo ambiental e políticas públicas voltadas à proteção dos corpos d'água, buscando garantir a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e a saúde das populações humanas dependentes desses recursos. De igual maneira é necessário buscar meios de proteger a cultura, as comunidades e a história dos moradores de Vila do Conde. Respeitar a natureza e os limites por ela impostos para que seja possível coabitar na região os povos originários e os avanços tecnológicos evidenciados pelo empreendimento ali instalados.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, Henri *et al.* *Justiça ambiental e cidadania: conflitos socioambientais, Desenvolvimento e participação no Brasil.* Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *A gestão dos recursos hídricos e a mineração.* Brasília, DF, 2006.
- AGRA, A. A. *Avaliação da adição de coque de petróleo em misturas de carvões para coqueificação contendo carvão nacional.* Orientador: Prof. Dr. Eduardo Osório. 2016. xi, 65f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- ALUMÍNIO DE BARCARENA - ALUBAR. *Alumínio liga 1120 para linhas de transmissões e distribuição aérea.* [S.l.: s.n.], 2023.
- ALVES, F. I. C. *Produção de coque metalúrgico a partir de carvão densificado por vibrocompactação em forno de soleira aquecida.* Orietador: Prof. Paulo Santos Assis. 2011. 77f. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia de materiais Universidade Federal de Ouro preto, Ouro Preto, 2017
- AMBIENTARE, Ambientare soluções ambientais. *Relatório de Impacto Ambiental – terminal de uso privativo misto de Vila do Conde.* 2012.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION- APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 23. ed. APHA American Public Health Association, 2017.
- ARAÚJO, V E S. *Análise de alguns parâmetros de qualidade da água na baía do Guajará em Belém-PA e os efeitos do regime pluviométrico e de marés.* 2018. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10761>. Acesso em: 23 abr. 2025.
- ARAUJO JUNIOR, A. J. S. *Avaliação de risco aplicada como metodologia de controle e segurança da qualidade da água no sistema de abastecimento de Belém -PA.* Orientador: Luiza Teixeira. 2016. 112f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia civil, Universidade federal do Pará, Belém, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. Alumínio. Disponível em: <https://abal.org.br/alumínio/cadeia-primaria/>. Acesso em; 3 fev 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 17034:2017: Define os requisitos gerais de materiais de Referência (MR), incluindo materiais de referência certificados. Rio de janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 31000:2018: Gestão de Riscos – Princípios e Diretrizes, Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade – requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

BAGSHAW, A. S., *A história do alumínio, Bauxita de Alumina: O processo de Bayer*, Um texto introdutório. [S.l.: s.n.] Outubro 2017.

BARCARENA LIVRE INFORMA 1: 37 anos de desastres ambientais em Barcarena. Belém: IBASE, v1, 2016.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. Análise de risco aplicada ao abastecimento de água de consumo humano. In: remoção de microcontaminantes orgânicos do tratamento de água para consumo humano. PROSAB. Rio de Janeiro. 2009.

BATISTA, I. M. DA S.; MIRANDA, L. M.. Os “Hidronegócios” nos rios da Amazônia. Revista Brasileira de História, v. 39, n. Rev. Bras. Hist., 2019 39(81), maio 2019.

BRABO, E. S.; LIMA, M. O.; SANTOS, J. G. Avaliação Técnica sobre o Fenômeno da Mortandade de Peixes Ocorrido no dia 23/06/03 na Praia de Itupanema no Município de Barcarena, Estado do Pará. Ananindeua: IEC, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde-MS. Instituto Evandro Chagas - IEC. *Relatório Técnico SAMAM-IEC 002/2018*. Belém-Pa. 2018a.

BRASIL. Ministério da Saúde-MS. Instituto Evandro Chagas - IEC. *Relatório Técnico SAMAM-IEC 003/2018*. Belém-Pa. 2018b

BRASIL. Ministério da Saúde-MS. Instituto Evandro Chagas - IEC. Avaliação do impacto no Rio Murucupi, em decorrência do transbordo de efluentes da bacia de rejeitos sólidos da Alunorte no Município de Barcarena-Pa. Belém: IEC, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde-MS. Instituto Evandro Chagas - IEC. *Relatório IEC-SAMAM 005/2007*: Atividades industriais no município de Barcarena, Pará. Os impactos ambientais nos igarapés Curuperé e Dendê a partir do lançamento de efluentes ácidos do processo de beneficiamento do caulim e avaliação das águas de consumo das comunidades do bairro industrial e ilha São João. Belém/Pa, 2007.

BRASIL. Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015 Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea j do Artigo 8, a alínea c do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3º e 4º do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; revoga a Medida Provisória nº 2.186-16, de 23 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2015.

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997 28 de dezembro de 1989, 8 jan. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS), Secretaria de vigilância e Saúde (SVS). Inspeção Sanitária em abastecimento de água/ Ministério da saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. Referencial básico de gestão de riscos. Brasília, DF: Secretaria de Controle Externo (Segecex) 2018.

BUNGE. Bunge inaugura complexo portuário no Pará e estabelece nova rota de exportação de grãos pelo norte do Brasil. Disponível em: <https://www.bunge.com.br/Press-Releases/bunge-inaugura-complexo-portuario-no-Par-e-estabele-nova-rota-de-exportao-de-gros-pelo-norte-do-Bra>. Acesso em: 05 fev 2024.

BUNGE. Bunge vende negócio de Fertilizantes no Brasil para a Yara por US\$ 750 milhões. Disponível em: [https://www.bunge.com.br/Press-Releases/Bunge-Vende-Negcio-de-Fertilizantes-no-Brasil-para-a-Yara-por-US\\$-270-milhes:~text=r%C3%A1pidas%20simples.-,Bunge%20Vende%20Neg%C3%B3cio%20de%20fertilizantes|520no|%Brasil%20para520a%20Yara,US%24%20750%20milh%C3%B5es%20%C3%A0%20vista](https://www.bunge.com.br/Press-Releases/Bunge-Vende-Negcio-de-Fertilizantes-no-Brasil-para-a-Yara-por-US$-270-milhes:~text=r%C3%A1pidas%20simples.-,Bunge%20Vende%20Neg%C3%B3cio%20de%20fertilizantes|520no|%Brasil%20para520a%20Yara,US%24%20750%20milh%C3%B5es%20%C3%A0%20vista). Acesso em 05 fev 2024. 2021.

CARVALHO, P. S. L.; MESQUITA, P. P. D.; CARDARELLI, N. A. Panoramas setoriais 2030. *Mineração e Metalurgia*, 2019.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. *Riscos ambientais e geografia: Conceituações, abordagens e escalas*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. v. 28-2. p 11-30. 2005.

CASTRO, Edna. "As águas em disputa: usos e significados das águas na Amazônia." *Revista Territórios*, n. 15, 2008.

CASTRO, E.; CARMO E. Desastres e crimes da mineração em Barcarena, Mariana e Brumadinho na perspectiva da ecologia política e das comunidades locais, 2019.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC. Secretaria de Estado de Segurança Pública e Defesa Social. Instituto de Criminalística. *Laudo Pericial nº 011*. 2003. Belém: CPC – Renato Chaves. Livro: 673; Folhas: 111-123. Registrado em 16 de junho de 2003a.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC (2003b). *Laudo Pericial n.º 042/03*. Belém/Pa.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC (2004). *Laudo Pericial n.º 017/04*. Belém/Pa

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC (2007). *Laudo Pericial n.º 011/07*. Belém/Pa.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC (2009). *Laudo Pericial n.º 048/09*. Belém/Pa.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC (2012). *Laudo Pericial n.º 54/2012*. Belém/Pa.

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES - CPC (2013). *Laudo Pericial n.º 90/2013*. Belém/Pa

CENTRO DE PERÍCIAS CIENTÍFICAS RENATO CHAVES- CPCRC (2019). *Laudo Pericial n.º 2019.01.000128-AMB*. Belém/Pa

COLZATO, M. Fundamentos ICP OES. Fundamentos de espectrometria de emissão óptica com plasmas indutivamente acoplados. *Central Multiusuário de Análises Ambientais*. Disponível em: <https://cmaa.esalq.usp.br/fundamentos-icp-oes/> . Acesso em: 13 dez 2023.

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ - CDP. Plano de desenvolvimento e zoneamento portuário, PZD – Porto Organizado de Vila do Conde. 2022.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <https://saneamentoinclusivo.org.br/termo/coliformes-termotolerantes-3/>. Acesso em: 12 março 2025.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Análise de Risco tecnológico. Disponível em: [Cetesb.sp.gov.br/analise-risco-tecnologico-tecnologico/conceito-de-risco/](http://cetesb.sp.gov.br/analise-risco-tecnologico-tecnologico/conceito-de-risco/) . Acesso em: 07 dez de 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Emergências Químicas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/emergencia.asp>. Acesso em: 20 dez 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB.. Ficha de Inspeção de Produto Químico (FISPQ). 2023. Disponível em: https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=%D3LEOS%20COMBUST%CDVEIS%20%28%20APF%20E%20%20BPF%20%29. Acesso em: 31 jan 2024.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Monitoramento de E. coli e coliformes termotolerantes em corpos d'água. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/2008-ecoli.pdf>. Acesso em: 16 dez 2024.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO DO PARÁ - CODEC. CODEC fecha 2023 com mais de 200 empresas em operação nos distritos industriais. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/50075/codec-fecha-2023-com-mais-de-200-empresas-em-operacao-nos-distritos-industriais>. Acesso em: 03 fev 2023.

COSTA, A. D. *et al.* *Movimentos sociais urbanos: cursos e discursos das tentativas emancipatórias de Icoaraci em Belém- PA.* XVI Fórum Ambiental, 2020.

COSTA, D.; DA SILVA, O. F. Análise e identificação do modelo dinâmico do processo de combustão em um calcinador de alumina. SBMAC, 2016.

COSTA, I. J. L. *et al.* Atividade portuária em Barcarena (Pará): Caracterização e análise ambiental de seus efeitos no desenvolvimento local da vila de Itupanema. *Revista Brasileira de Geografia Física.* v.15. n.03. 2022.

DAGNINO, R. S.; CARPI JUNIOR, S. Risco ambiental: Conceitos e Aplicações. *Climatologia e estudos da paisagem. Rio Claro.* v 2. n 2. Jul/dez. 2007.

DELEGACIA DE MEIO AMBIENTE - DEMA. Secretaria de Segurança Pública. Polícia Civil do Estado. Divisão Especializada em Meio Ambiente. *Relatório-Inquérito policial nº 2003.00144-1.* Belém: DEMA, 2003.

DELEGACIA DE MEIO AMBIENTE - DEMA. Secretaria de Segurança Pública. Polícia Civil do Estado. Divisão Especializada em Meio Ambiente. *Relatório-Inquérito policial nº 2003.00189-4.* Belém: DEMA, 2003b.

DELEGACIA DE MEIO AMBIENTE - DEMA. Secretaria de Segurança Pública. Polícia Civil do Estado. Divisão Especializada em Meio Ambiente. *Relatório-Inquérito policial nº 2003.01193-8.* Belém: DEMA, 2003c. Disponível em: <https://cdp.com.br/porto-de-vila-do-conde/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

DUZZY J.R., F. P.; LARIOS, M. R. B.; KUNZ, V. C. *Praticando uma engenharia mais segura.* São Paulo: Poliana Oliveira Nassulha, 2015.]

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária brasileira (SITE-MLog).* Campinas, 2020. Disponível em: www.embrapa.br/macrologistica . Acesso em: 26 jan. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Porto de Vila do Conde.* Disponível em: https://www.embrapa.br/macrologistica/exportacao/porto_vila-do-conde. Acesso em: 07 fev 2024. 2022.

EUROCHEM. *Eurochem Fertilizantes Tocantins é destaque na Exame melhores e maiores 2020.* *Revista campo e negócio,* 2020. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/eurochem-fertilizantes-tocantins-e-destaque-na-exame-melhores-e-maiores-2020/>. Acesso em: 07 fev 2024. 2020.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA PARAÍBA - FIEPB. *Setor metalúrgico se destaca como um dos principais setores industriais do país.* Disponível em: <https://fiepb.com.br/fiep/noticia/setor-metalurgico-se-destaca-como-um-dos-principais-setores-industriais-do-pais>. Acesso em: 05 jan 2024. 2020.

FERREIRA, D. L. N. *Conflito pelo uso da água na Amazônia Brasileira: uma análise envolvendo a atividade minero-metalúrgica e as comunidades ilha São João e Curupeté no município de Barcarena-PA*. Dissertação. Universidade Federal do Pará. 2015.

FREITAS, A. *Brasil perde 15% de superfície de água desde o começo dos anos 1990*. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-perde-15-desuperficie-de-agua-desde-o-comeco-dos-anos-1990/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

FREITAS, S. P. *O impacto do uso e consumo de água na mineração sobre o bloco de energia assegurada em empreendimentos hidrogeradores: estudo de caso da PCH Bicas*. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Dissertação. Belo Horizonte, 2012.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ. *Mapa de Conflitos injustiça ambiental e saúde no Brasil*. Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/pa-mineracao-de-caulim-contaminarecursos-hidricos-e-compromete-a-subsistencia-de-comunidades-da-vila-do-conde-embarcarena/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ. PA. . *Mapa de Conflitos Envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil*. Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/pa-mineracao-de-caulim-contaminarecursos-hidricos-e-compromete-a-subsistencia-de-comunidades-da-vila-do-conde-embarcarena/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

GAMA, J. R. V. *et al.* Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do estado do Pará. Sociedade de investigações florestais. *R. árvore*. v.29.n.4. p. 607-616. 2005.

GENIVAL NUNES. Genival Nunes Consultoria Ambiental. Relatório de Impacto Ambiental Usina Termelétrica – UTE Novo Tempo Barcarena. 2017.

GESTER, L. C. G. *et al.* Impactos socioambientais na Amazônia paraense: uma análise na comunidade curupeté (Barcarena, Pará, Brasil). *Cuaderno de Educación y desarrollo*. v15. n7. p. 6161-6196, 2023.

GIATTI, L. L. Reflexões sobre Água de Abastecimento e Saúde Pública: um estudo de caso na Amazônia Brasileira. *Saúde e sociedade*, v. 16, ed. 1, p. 134-144, 2007.

GUIMARÃES, F. S.; BUENO, G. T. As campinas e campinaranas amazônicas. *Caderno de geografia*. v.26. n.45. 2016

GURGKEWICZ, R. P; ANTUNES, E. G. P. Influência do uso de coque metalúrgico como agregado de concreto no ensaio de abatimento de tronco de cone. *Revista técnico-científica de engenharia civil/ UNESC – CIVILTEC*. v2. n2. 2021.

HAIR, J. F., BLACK, W. C., BABIN, B. J., & ANDERSON, R. E. *Multivariate Data Analysis*. Cengage Learning, 2019.

HARVEY, D. O novo imperialismo: acumulação por espoliação. *Socialist Register*, v.40, n.1, 2004.

HAZEU, M. T.; CRUZ, J. N. Água em estado vivo: conflito socioambiental e r-existência em torno do rio dendê, Barcarena, Pará. *Revista de Políticas Públicas*, v 24, n1, p 28-48. 2020.

HAZEU, M. T.; RODRIGUES, J. C. Capitalismo financeirizado e acumulação por despossessão na Amazônia: a mineradora Imerys em Barcarena, nordeste do Pará. *Revista científica Foz*, v.2, n.1, 2019.

HEM, J. D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. *US Geological Survey Water-Supply Paper* 2254. (1985).

HUBBARD, D. W. *The failure of risk management: why It's broken and how to fix it*. New Jersey (EUA):Jhon wyley e sons, inc., 2009. Disponível em: [://www.amazon.com/Failure-Risk-Management-Why-Broken/dp/0470387955](http://www.amazon.com/Failure-Risk-Management-Why-Broken/dp/0470387955). Acesso em: janeiro, 2024.

HYDRO. *Albras*. Disponível em: <https://hydro.com/pt-BR/sobre-a-hydro/a-hydro-no-mundo/americas/brasil/barcarena/albras/>. Acesso em: 03 fev 2023b.

HYDRO. *Hydro Alunorte*. Disponível em:<https://hydro.com/pt-BR/sobre-a-hydro/a-hydro-no-mundo/americas/brasil/barcarena/alunorte>. Acesso em: 03 fev 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Plano de Controle Ambiental para Ampliação das Instalações (TMU-2) no Porto de Vila do Conde (município de Barcarena / estado do Pará) PROJETO RADAM - Levantamento de Recursos Naturais do Município Barcarena/PA, 1974.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM,. *Gigantes do cimento estão de olho em jazidas do Pará*. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/gigantes-do-cimento-estao-de-olho-em-jazidas-do-para/>. Acesso em: 03 fev 2024. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. *Gigantes do cimento estão de olho em jazidas do Pará*. 2017. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/como-o-aluminio-e-feito/#:~:text=A%20produ%C3%A7%C3%A3o%20come%C3%A7a%20com%20a,ou%20o%20%C3%B3xido%20de%20alum%C3%ADnio>. Acesso em: 5 fev 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. *Relatório sobre os recursos hídricos inclui dados de mineração pela 1ª vez*. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/relatório-sobre-recursos-hidricos-inclui-dados-de-mineracao-pela-1-a-vez/>. Acesso em 5 fev 2024. 2018.

IMERYS. *Imerys Brasil*. Disponível em: <https://imerys.com/pt-br-brasil>. Acesso em: 05 fev 2024. 2023.

IOEPA, Imprensa Oficial do Estado do Pará. *Barcarena recebe mais um empreendimento milionário*. Disponível em:<https://www.ioepa.com.br/2012/noticias.aspx?od=195>. Acesso em: 03 fev 2024. 2012.

JOLLIFFE, I. T. Principal component analysis. 2th ed. New York: *Springer-Verlag New York*, 2002.

LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ-UFPA - LAQUANAM. *Estudo preliminar dos níveis de contaminação ambiental provocado por vazamento de efluente da Imerys Rio Capim Caulim na região de Vila do Conde – Barcarena - Pa.* Belém/Pa, 2007.

LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ-UFPA - LAQUANAM. *Relatório sobre o vazamento do duto de caulim da RISCOS - Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança 156 Imerys Rio Capim Caulim (IRCC) região de Vila do Conde – Barcarena – Pará.* Belém/Pa, 2011

LATTIN, James; CARROLL, J. Douglas; GREEN, Paul E. *Análise de dados multivariados.* São Paulo: *Cengage Learning*, 2011. 455 p.

LEMOS, M. A. Q. *Influência da precipitação na atividade de beneficiamento de caulim em Barcarena-PA e seus impactos socioambientais.* Universidade Federal do Pará. Dissertação. 2018.

LEMOS, M. A. Q.; PIMENTEL, M. A. S. Mineração e desastres ambientais com rejeito de caulim no município de Barcarena-Pará-Brasil-Amazônia. *Manifestações de risco em barragens de rejeito de mineração*.8. 2021

LIMA, D. R. de; MOTA, J A. A produção do alumínio primário na Amazônia e os desafios da sustentabilidade ambiental. *Boletim regional, urbano e ambiental.* 2009.

LIMA, M. O. *et al.* Avaliação preliminar dos impactos ambientais referente ao transbordo e lançamentos irregulares de efluentes de lama vermelha na cidade de barcarena, estado do pará. 2018.

LIMA, P. S. L.; TEIXEIRA, L. B. Macrofauna do solo em capoeiras natural e enriquecidas com leguminosas arbóreas. Comunicado técnico. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022.

LOURENÇO, L. Risco naturais, antrópicos e mistos. *Revista territorium.* RISCOS- Associação Portuguesa de riscos, prevenção e segurança. 2007.

LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. Introdução ao tratamento de minérios. In: *Tratamentos de minérios.* 5ed. Centro de Tecnologia Mineral, 2010.

MACÊDO, J. R. *Desastre socioambiental em Barcarena: a percepção dos moradores de Vila do Conde sobre o naufrágio Haidar.* Dissertação. Campus univdersitário de Castanhal, Universidade Federal do Pará, 2019.

MAGNANELLI, N. P. *Conceitos: perigo x risco.* Controle de Vigilância de São Paulo. São José dos Campos. 2012.

MAIA, R. O. M. *Territorialidades específicas em Barcarena confrontadas com projetos de “desenvolvimento”.* Tese. Universidade Federal do Pará. Belém, 2017.

MAIO JUNIOR, D. V.; OLIVEIRA E. A. A. Q.; DE BRITO, L. A. P. F.; SILVA, H. A. T. A percepção e gestão dos riscos tecnológicos com externalidade no entorno: um estudo de caso. *Revista espacios*. V. 239, n.13, 2018.

MARHAVILAS, P. K.; KOUOURIOTIS, D.; GEMINI, V. Comparing safety analysis techniques. *Journal of loss prevention in the process industries*, n 24, 2011.

MARINHO, J. S. *et al.* Doenças infecciosas e parasitárias por veiculação Hídrica e doenças respiratórias em área industrial, Norte do Brasil. *Cadernos saúde coletiva (UFRJ)*, v.24, n. 4, 2016.

MATOS, M. U. *Avaliação de risco em sistemas de captação e tratamento de água da chuva na Região Metropolitana de Belém*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, 2014.

MELO, Gustavo Vaz de. *Transporte de metais pesados no sedimento em suspensão da Baía de Guanabara durante um ciclo de maré*. 2008. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFF-2_a70607a7cc1f42afe2cfb984d5402474. Acesso em: 12 março 2025.

MENDONÇA, F. MYRIAN, D. V. L. A Cidade e os Problemas socioambientais urbanos uma perspectiva interdisciplinar. Editora ufrp. 2020.

MINGOTI, S. A. *Análise de Dados Através de Métodos de Estatística Multivariada: Uma Abordagem Aplicada*. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MIRANDA, Mariana. "Comunidades tradicionais e grandes projetos: o caso de Barcarena (PA)." In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2016.

MONTEIRO, A. C. C. *Desigualdades socioambientais e conflitos territoriais em Barcarena (PA): o caso do Complexo Industrial de Vila do Conde*. 2017. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL - MPF,. *Laudo Técnico nº 001*, de 22 de julho de 2016. Laudo técnico sobre Barcarena/PA. Distrito Industrial. Comunidades tradicionais. Conflitos socioambientais. 2016.

NAKA, K. S. A comparative study of cadmium levels on blood from exposed populations in a industrial área of the Amazon, Brazil. *Science of the total environment*, n.1, v. 698, 2020.

NUNES, P. M. P. *et al.* *Boletim informativo – A guerra no território do Conde: comunidades Tradicionais, Migrantes, Estado e Empresas na disputa territorial. Estratégias de desenvolvimento, mineração e desigualdades: cartografia social dos conflitos que atingem povos e comunidades tradicionais na Amazônia e no cerrado – CLUA*. 2019.

O IMPACTO. *Empresa Bunge é multada e flagrada em crime ambiental*. Disponível em: oimpacto.com.br/2015/06/2022justica-condena-estado-e-empresas-bunge-amaggi-e-unitapajos/. Acesso em: 01 fev 2024. 2015.

OBSERVATÓRIO DA MINERAÇÃO. *Multinacional francesa Imerys coleciona violações ambientais em produção de caulim no Pará*. Disponível em: <https://observatoriodamineracao.com.br/multinacional-francesa-imerys-coleciona-violacoes-ambientais-em-producao-de-caulim-no-para/>. Acesso Em: 12 fev 2024. 2023.

OLIVEIRA, R. A. M.; LIMA, G. B. A.; CAIADO, R. G. G. Análise crítica do grau de severidade dos fatores de risco na perspectiva do gerenciamento de projetos. *Relatórios de pesquisa em Engenharia de produção*, v.15, na6 2015.

PARÁ. *Comissão externa lista 26 acidentes ambientais em Barcarena*. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/543354-comissao-externa-lista-26-acidentesambientais-em-barcarena>. Acesso em: 20 jan. 2023. 2018.

PARÁ. Decreto nº 10.064, de 25 de abril de 1977, declarou utilidade pública para fins de desapropriação os imóveis e benfeitorias de domínio particular, situados em vasto polígono no município de Barcarena e atribuiu a CDI, a responsabilidade de promover as desapropriações necessárias para implantação do complexo industrial. 1977

PARÁ. Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário – Vila do Conde. Companhia Docas do Pará, 2022.

POLÍCIA CIVIL – PC. DIVISÃO ESPECIALIZADA EM MEIO AMBIENTE (2003). *Inquérito Policial n.º 40/2003.000189-4*. Belém/Pa.

POLÍCIA CIVIL – PC. DIVISÃO ESPECIALIZADA EM MEIO AMBIENTE (2006). *Inquérito Policial n.º 40/2006.000267-9*. Belém/Pa.

POLÍCIA CIVIL – PC. DIVISÃO ESPECIALIZADA EM MEIO AMBIENTE (2018). *Inquérito Policial n.º 40/2018.100090-0*. Belém/Pa.

PONTA DA MONTANHA. *Terminal de Grão Ponta da Montanha*. Disponível em: <https://www.pontadamontanha.com/>. Acesso em: 06 fev 2024.

POZO, H.; SANTOS, J. F. P dos. O crescimento do porto de itajaí e sua importância para o cenário brasileiro: um comparativo com o porto de santos. *South American Development Society Journal*, v. 6, n. 16, p. 18, 2020.

PEGATIN, A. *Qualidade da água: aspectos físicos, químicos e biológicos*. São Paulo: Editora Ambiental, 2022.

PEIXOTO, E. R.; PALAZZO P. P.; DERNTL M. F.; TREVISAN R. Tempos e escalas da cidade e do urbanismo. in: XII SEMINÁRIO DE HISTÓRIA DA CIDADE E DO URBANISMO, 12.,2014, Brasília, DF. Anais do seminário de história da cidade e do urbanismo. Brasília, DF: FAU – UnB, 2014.

PIACENTINI, P. Existe alternativa para o uso dos rejeitos de mineração?. *Revista ciência e cultura*. Vol71, Jun 2019. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000200004>

PINTO, L. F. A história da Albrás, grande desconhecida. *Gramsci e o Brasil*. 2010.

PIVELLI, R. P.; KATO, T. M. *Qualidade da água e poluição: aspectos físico-químicos*. ABES, 2006.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PELO DESENVOLVIMENTO - PNUD. Relatório do desenvolvimento Humano 2014. Sustentar o Progresso humano: reduzir as vulnerabilidades e reforçar resiliência. [S.l.: s.n.]. 2014.

REBELO, F. *Uma experiência europeia em riscos naturais*. Coimbra: Minerva Coimbra, 2005.

ROCHA, G. C. *Riscos ambientais: análise e mapeamento em Minas Gerais*, Juiz de Fora. Editora UFJF. 2005.

ROCHA, L. A. Reestruturação econômica e *company town* na Amazônia: o projeto Albras-Alunorte e sua cidade. *Urbanização e produção da cidade*. 2004

RODRIGUES, J.; CASTRO E. *Companhia Docas do Pará (CDP): plataforma logística do capital internacional na Amazônia oriental*, 2013.

RODRIGUES, J.E.C. *Risco tecnológico: uma análise do porto de Vila do Conde como área potencial de ameaça ao vazamento de óleo para comunidades em situação de vulnerabilidade*. Cláudio Fabian Szlafsztajn. 2008. 95 f. Dissertação. Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Belém, 2008.

ROSA M. *Análise de risco: uma ferramenta de apoio à decisão*. Instituto de Altos Estudo Militares. Lisboa. 2003.

ROSA, L. M. O.; SILVA, N. M. *Melhoria contínua de processo e qualidade nas operações: utilização do ciclo PDCA em uma empresa de mineração*. Marcos Henrique Pereira Paiva. 2013. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade da Amazônia. 2013.

ROSÁRIO, Renan Peixoto. *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.

RUBIM, C. *Água é multifuncional na siderurgia e metalurgia e 96,5% recirculada*. Disponível em: <https://www.meiofiltrante.com.br/Artigo/4883/agua-e-multifuncional-na-siderurgia-e-metalurgia-e-965-recirculada>. Acesso em: 5 jan 2024. 2021.

RUBIO, J.; OLIVEIRA, C.; SILVA, R. Aspectos ambientais nos setores mineiro e metalúrgico. In: *Tratamentos de minérios*. 5ed. Centro de Tecnologia Mineral, 2010.

SANTO, K. E. A. *Dinâmica Biogeoquímica do estuário guajarinense*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural da Amazônia. 2019. Engenharia de Pesca.

SANTOS, V. J dos; ROCHA, G. C.; ANDRADE, F. L. O conceito de risco. Universidade Federal de Juiz de Fora. *Revista de Geografia*. v. 5, n1. p.33-42, 2016.

SCHERER, E. *Mosaico terra-água: A vulnerabilidade social ribeirinha na Amazônia – Brasil*, VII Congresso Luso-Afro-Brasileiro de Ciências Sociais. Universidade de Coimbra. 2004.

SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE-SECTAM. *Relatório de fiscalização n° 025*. Belém: SECTAM, 2003b.

SECRETARIA EXECUTIVA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE-SECTAM. *Relatório de fiscalização n° 027*. Belém: SECTAM, 2003.

SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, MINERAÇÃO E ENERGIA - SEDEME. Economia mineral. *Sinopse da produção mineral do Pará 2020*. Disponível em: <https://sedeme.pa.gov.br/economia-mineral>. Acesso em 05 jan 2024. 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE - SEMAS. Compensação ambiental do Estado do Pará. Catálogo de empreendimentos de significativo impacto -1ª edição. Empreendimento Terminal de Uso Privativo - Hidrovias do Brasil S.A. 2020a.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE - SEMAS. Compensação ambiental do Estado do Pará. Catálogo de empreendimentos de significativo impacto -1ª edição. Empreendimento CELBA Usina Termoelétrica (UTE) Novo Tempo. 2020b.

SENADO NOTÍCIAS. *José Nery denuncia crime ambiental em Abaetetuba (PA)*. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2007/12/20/jose-nery-denuncia-crime-ambiental-em-abaetetuba-pa-1499001174>. Acesso em: 31 jan 2024.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river, Japan. *Environmental Modeling & software*, n. 22, p. 464-475, 2007.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M.; DA MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 12, n. 2, p. 322–338, 2007.

SILVA, M. A. R. *Efeitos da gestão ambiental das empresas minero-metalúrgicas da Amazônia oriental (estado do Pará)*. In: O Pará e a mineração no limiar no século XXI – crescimento inercial ou Desenvolvimento sustentável. ENRÍQUEZ, M.A.R.S, 2013.

SILVA, A. C. da. *Metais pesados em ambientes estuarinos: fontes, dinâmica e implicações ambientais*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021a.

SILVA, J. I. A. *Gestão e governança da água sob múltiplas visões e casos*. Editora da Universidade Estadual da Paraíba: 2021b.

SOARES, Wálace Anderson Almeida. *Estudo da distribuição de metais em água, sedimento e organismos aquáticos de rios e reservatórios pertencentes à rede de monitoramento da qualidade dos sedimentos do Estado de São Paulo, Brasil*. Orientadora: Profa. Dra. Déborah Inês Teixeira Favaro. 2012. 178f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-16012013-144500/pt-br.php>. Acesso em: 12 março 2025.

SOUSA, J. M. *Impactos da mineração no estado do Pará – Brasil: panorama histórico e perspectivas futuras*. Orientador: Prof. Dr Josimar dos Reis de Souza. 2022. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Unidade Araxá, 2022.

TAVARES, L. C. *et al.* O uso do índice e vegetação por diferença normalizada na análise multitemporal da cobertura vegetal no complexo industrial do município de Barcarena-Pará-Brasil. *Research, Society and Development*. v.10. n.7, e23010715470, 2021.

TERRA MEIO AMBIENTE. *Relatório de Impacto Ambiental*. [Belém]: Complexo Industrial da Usina Siderúrgica do Pará – USIPAR, 2009.

TOMINAGA, L. K. Análise e mapeamento de risco. In: TOMINAGA, L. K.; AMARAL, R. (org). *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TRINDADE, A. L. C. *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da Bacia do Rio São Francisco*. Orientadora: Profa. Dra. Silvia Maria Alves Correa Oliveira 2013. Xi, 165f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

VALE. *Gestão de resíduos*. Disponível em: <https://vale.comqpr/esg/gestão-de-resíduos>. Acesso em 5 fev 2024.

VIEILLARD-BARON, H. Os riscos sociais. In: VEYRET, Y. (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: contexto, 2007.

VIEIRA, B. G. A. *Análise de risco aplicada à qualidade da água do sistema de abastecimento de Campina Grande (PB)*. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

VILA do Conde é tomada por fumaça após incêndio em galpão de mineradora, em Barcarena.G1.Globo. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticias/2021/12/06/vila-do-conde-e-tomada-por-fumaca-branca-apos-incendio-em-galpao-de-mineradora-em-barcarena.ghtml>. Acesso em: 08 fev 2024. 2021.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4 ed.Belo Horizonte. Editora UFMG,2018.

WEATHERSPARK. *Clima e condições meteorológicas médias em Barcarena*. Disponível em: <https://pt.weathersparks.com/y/30137/clima-caracter%C3%ADstico-em-Barcarena-Brasil-durante-o-ano> . Acesso em 10 dez 2023.

WHITE, G. F.; KATES, R. K.; BURTON, I. Knowing better and losing even more; the use of knowledge in hazards management. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, v.3, n.3, p.81-92, 2021.

YARA BRASIL FERTILIZANTES. *Mais de 100 anos em produtos químicos nitrogenados*. Disponível em: <https://www.yarabrasil.com.br/solucoes-quimicas-e-ambientais/quimicos-text=A%20Yara%20%C3%A9%20a%20maior,s%C3%A3o%20ent%C3%A3o%20absorvidos%20pela%20%C3%A1gua>. Acesso em 05 fev 2024.

ZAMBRANO, T. M.; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. *Gest. Prod.*, v. 14, n. 2, maio/ago, 2007.

ZHANG, X. *et al.* Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n. 173, p. 17-27, 2011.

APÊNDICE A - MATERIAL DE APOIO PARA REUNIÃO

Objetivo da Reunião:

A reunião tem como objetivo avaliar, de forma colaborativa, os acidentes ambientais ocorridos na região de Vila do Conde, em Barcarena, utilizando a metodologia **FMEA** (Análise dos modos e efeitos de falha). Esta metodologia auxiliará na identificação e priorização de riscos, considerando quatro índices principais: **Severidade, Ocorrência, Detecção e Abrangência**.

Passo a Passo para o Preenchimento da Tabela

1. Preparação Prévia

Antes da reunião, revise os materiais anexados, que incluem:

- Breve histórico dos acidentes ambientais ocorridos na região de Vila do Conde.
- Metodologia com definições dos índices (Severidade, Ocorrência, Detecção e Abrangência).
- A tabela padrão para preenchimento.

2. Preenchendo a Tabela

Cada linha da tabela corresponderá a um acidente ambiental identificado. Siga as etapas abaixo:

2.1 Identificação do acidente

Estão preenchidas as seguintes informações iniciais:

- **Descrição do Acidente:** Detalha o ocorrido (ex.: vazamento de produtos químicos, naufrágio).
- **Empreendimento associado** (Quando houver)
- **Data do Ocorrido**
- **Localização**

2.2 Avaliação dos Índices

Para cada acidente, avalie os índices conforme os critérios abaixo:

- **Severidade (S)**
 - Grau de impacto ambiental e/ou social causado pelo acidente.
 - Escala: 1 (impacto mínimo) a 3 (grande impacto).

SEVERIDADE DO IMPACTO		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	Substâncias muito danosas ao meio ambiente que causam efeitos graves à saúde humana, apresentam características de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade/ Afeta significativamente populações vulneráveis, causando desestruturação social, perda de meios de subsistência ou ameaça à segurança alimentar e saúde.	3
Moderada	Substâncias danosas ao meio ambiente que causam efeitos leves à saúde humana (irritações ou alergia), com longo tempo de decomposição/ Populações vulneráveis enfrentam dificuldades temporárias, como perda parcial de renda ou acesso restrito a serviços básicos.	2
Baixa	Substâncias pouco danosas ao meio ambiente que causam efeitos negativos à saúde humana, com curto tempo de decomposição/ Afeta uma pequena parcela da população, sem consequências graves para a saúde, renda ou acesso a serviços essenciais	1

- **Ocorrência (O)**

- Probabilidade de que acidentes semelhantes voltem a ocorrer.
- Escala: 1 (raríssimo) a 3 (muito frequente).

OCORRÊNCIA		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	O impacto é muito provável que ocorra de 75% a 100% (Acidentes recorrentes ou crônicos, com alto risco de repetição)	3
Moderada	O impacto é provável que ocorra a partir de 30% a 75% (Acidentes acontecem com alguma frequência e apresentam risco moderado de recorrência)	2
Baixa	O impacto é pouco provável que ocorra eventualmente até 30%(Acidentes raros ou isolados)	1

- **Deteção (D)**

- Facilidade de identificar ou prever o acidente antes de ocorrer.
- Escala: 1 (fácil de detectar) a 3 (difícil de detectar).

DETECÇÃO		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	Para detectar a não conformidade é necessária a utilização de tecnologias sofisticadas e custosas (financeira e temporalmente)	3
Moderada	O impacto é percebido com utilização de medições simples (titulações, pHmetros, turbidímetros...)	2
Baixa	O impacto pode ser visto a olho nu	1

- **Abrangência (A)**

- Extensão geográfica e populacional do impacto.
- Escala: 1 (impacto restrito/local) a 3 (impacto amplo).

ABRANGÊNCIA		
Nível	Descrição	Classificação
Alta	O impacto ocorre fora dos limites de operação	3
Moderada	O impacto ocorre nas proximidades do local de operação (complexo industrial)	2
Baixa	O impacto ocorreu no locais de operação (porto)	1

3. Discussão e Consolidação dos Dados

Durante a reunião:

- Cada participante será convidado a apresentar suas avaliações, levando em consideração sua formação e atuação na área.
- Os índices serão discutidos para alinhamento e consenso da equipe (cada índice terá apenas uma pontuação associada).
- Eventuais divergências serão resolvidas por meio de debate ou votação.

4. Registro Final

Após consenso, os dados obtidos serão registrados na tabela final, que servirá como base para a consolidação da metodologia.

Cronograma da Reunião

- **Abertura e apresentação do contexto:** 5 minutos
 - **Preenchimento colaborativo da tabela:** 40 minutos
 - **Discussão e ajustes:** 10 minutos
-

Anexos

1. **Tabela para Preenchimento**
2. **Histórico de Acidentes Ambientais em Vila do Conde (Qualificação)**

Nota: Caso surjam dúvidas antes da reunião, entre em contato pelo e-mail:

luizasbgomes@gmail.com

APÊNDICE B – PRODUTO TÉCNICO

O produto técnico-tecnológico desenvolvido consiste na concepção de uma Tabela FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) aplicada à região portuária de Vila do Conde, em Barcarena-PA, e na elaboração de um Mapa de Riscos Ambiental baseado no Número de Prioridade de Risco (RPN) obtidos pela metodologia. A proposta foi fundamentada na análise de acidentes ambientais registrados entre os anos de 1991 e 2021, identificando e classificando de potenciais falhas no sistema.

A aplicabilidade do produto está na sua utilidade para o planejamento ambiental, gestão de riscos e tomada de decisão por órgãos públicos, empresas e comunidades locais. A Tabela FMEA permite uma visualização das ameaças ambientais, considerando os modos de falha mais, seus efeitos e causas, enquanto o Mapa de Riscos é uma ferramenta visual de fácil comunicação e visualização das áreas prioritárias, de maior vulnerabilidade, no que tange a aplicação de medidas mitigadoras.

A metodologia adotada baseou-se nos princípios da FMEA, utilizando a fórmula clássica $RPN = S \times O \times D \times A$, onde *S* representa a severidade do impacto, *O* a ocorrência, *D* a capacidade de detecção e *A* a abrangência do impacto. Os índices foram definidos por meio discussões de equipe multidisciplinar composta por cinco profissionais das áreas de meio ambiente e saúde pública. A coleta de dados foi realizada com base em documentos, estudos técnicos e registros históricos de acidentes ambientais ocorridos na região.

O mapa final foi construído com base na espacialização dos RPNs, utilizando a ferramentas *QGis* para representar os níveis de risco de através de uma escala de cores, variando do verde ao vermelho (risco baixo a alto).

Tabela FMEA

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S O D A				RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
1991	Albrás	Casos de Fluorose	-	R	Processo químico de formação de alumínio pela empresa Albrás	Manchas nos dentes, sensibilidade dentária, dores, enfraquecimento do esmalte	1	1	2	1	2	0,50	Desprezível
1996	Imerys	Retirada de areia da praia	Praia do conde	R	Retirada de areia para construção de ponte por parte da empresa Imerys	Erosão, perda de biodiversidade, perda da proteção contramarés de tempestade	2	1	1	3	6	1,49	Desprezível
2000		Naufrágio da balsa Miss Rondônia, com derramamento de aproximadamente 2 milhões de litros de óleo BPF	Rio Pará	R	Rachadura na carcaça da bomba de sucção.	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	2	1	1	3	6	1,49	Desprezível
2002	Albrás/Alunorte	Derramamento de coque (pó derivado do petróleo, também conhecido como carvão mineral), gerando mancha negra de 2 Km de extensão	Rio Pará	R	Falha no sistema utilizado para transportar o coque do navio para o interior do complexo industrial Albras/Alunorte	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, obstrução das brânquias de peixes e outros organismos aquáticos, perda da biodiversidade, aumento da acidez da água	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2003	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos	Rio Murucupi	R	Tubulação exposta	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2003	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos	Rio Murucupi e Pramajozinho	R	Transbordamento de material lixiviado da célula de contenção do DRS 1 (Depósito de Resíduos Sólidos)	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2003	Imerys	Chuva de fuligem, praias, rios, residências e estabelecimentos comerciais foram cobertos de material particulado de cor preta que chegou a 5 centímetros de espessura		R		Reações alérgicas e complicações respiratórias nos moradores	2	2	1	3	12	2,97	Baixo
2003	Alunorte	Derramamento de compostos alcális	Rio Pará	R	falha na válvula de vazão de licor cáustico	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	1	2	2	12	2,97	Baixo
2004	Imerys	Vazamento de caulim	Curuperé e Dendê	R	transbordamento de uma pilha de caulim por ineficiência da bomba do sistema de comportas e alta pluviosidade	causando coloração esbranquiçada na água e aparecimento de animais mortos condições de acidez da água com pH variando da ordem de 2 a 4 (extremamente ácido)	3	2	1	3	18	4,46	Moderado

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2004	Alunorte	Chuva de fuligem, praias, rios, residências e estabelecimentos comerciais foram cobertos de material particulado		R	-	provocando reações alérgicas e complicações respiratórias nos moradores	2	2	1	3	12	2,97	Baixo
2005	Alunorte	Vazamento de soda cáustica	Rio Pará	R			3	1	2	2	12	2,97	Baixo
2006	Imerys	Vazamento de rejeitos que contaminou curso d'água e lençol freático	Curupéré e Dendê	R	Infiltração na bacia de rejeitos	contaminação dos poços das comunidades próximas e o lançamento de fuligem das chaminés da Imerys e floração de algas	3	2	2	3	36	8,91	Alto
2006	Imerys	Vazamento de rejeitos	Igarapé Mucuraça e praia do Caripi	R	Infiltração na bacia de rejeitos	Floração de algas	3	2	1	3	18	4,46	Moderado
2007	Imerys	Vazamento de mais de 200 mil m3 de caulim que percorrem 19km de distância do ponto de vazamento ao longo dos cursos d'água, tornando a água imprópria para consumo	Curupéré, Dendê e rio Pará	R	fissura no talude da barragem	poluição do solo e da água evidenciada pela alteração da cor das águas subterrâneas, risco direto para as comunidades próximas, Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	3	18	4,46	Moderado
2007	COSIPAR	Morte de peixes	Rio Arienga	R	vazamento da Usipar	casos de alergias e mal-estar da população que consumiu ou esteve em contato com a água, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2008	Imerys	Vazamento de caulim	Rio das Cobras, Curuperé, Dendê e São João	R	Desligamento das bombas que controlavam o volume das bacias de rejeito por falta de energia	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	3	18	4,46	Moderado
2008	Petrobrás	Vazamento de óleo	Vila do Conde	R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2008		Naufrágio rebocador Jeany Glalon XXXII, causando o vamento de aproximadamente 30 mil L de óleo e o surgimento de uma mancha negra de 17 Km de extensão	Furo do Arrozal	R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	2	1	1	3	6	1,49	Desprezível
2009	Alunorte	Vazamento de lama vermelha de bacia de rejeitos	Rio Murucupi e furo do arrozal	R	Transbordamento de barreira de contenção	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	3	1	2	18	4,46	Moderado

Evento				Tipo	Causa	Efeito	S	O	D	A	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data	Empreendimento	Descrição	Local do Dano										
2010		Nuvem de fuligem	Bairro Industrial	R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais.	2	2	1	3	12	2,97	Baixo
2011	Imerys	Vazamnto de polpa de caulim	Curupéré e Dendê	R	Rompimento de duto com efluentes ácidos	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2012	Imerys	Rompimento de mineroduto por cerca de 24 horas	Rio Maricá e Dendê	R	Rompimento de mineroduto, em função de uma fissura, entre o porto e a planta da empresa	Problemas respiratórios, irritações na pele, aumento da turbidez, diminuição do OD, perda da biodiversidade, contaminação por metais	3	1	1	2	6	1,49	Desprezível
2013	Imerys	Vazamento de caulim	Curupéré	R	Substituição de mineroduto causou vazamento de caulim	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	2	1	2	12	2,97	Baixo
2014	Imerys	Vazamento de caulim	Curupéré e Dendê	R	Vazamento da bacia 5C	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3	3	1	2	18	4,46	Moderado
2015	Bunge/Amaggi	Impacto as matas ciliares pelo alto fluxo de embarcações, despejo de soja apodrecida no curso d'água	Furo do Arrozal	R	Alto fluxo de embarcações e despejo de soja apodrecida no curso d'água	Erosão, perda de biodiversidade, perda da proteção contramarés de tempestade, contaminação por gás metano que supostamente levou a morte de 3 pessoas	2	1	2	3	12	2,97	Baixo

Evento			Tipo	Causa	Efeito	SODAR	RPN	% de Risco	Categorização de Risco
Data Empreendimento	Descrição	Local do Dano							
2016	Contaminação de praias por resíduos de esgotamento urbano	Rio Pará e Dendê	R		Doenças de veiculação hídrica, proliferação de vetores, problemas respiratórios, intensificação do processo de eutrofização, alteração de pH, perda da biodiversidade.	2 3 2 1	12	2,97	Baixo
2016	Imerys Vazamento de caulim	Rio cobras, Curupéré, Dendê, São João e praia Conde	R	Fissura na tubulação de transporte da polpa de caulim	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3 2 1 2	12	2,97	Baixo
2016	Naufrágio do rebocador Ciclope		R	-	Problemas respiratórios, irritações na pele e olhos, intoxicação de animais, perda da biodiversidade, prejuízos ao equilíbrio térmico dos animais	1 1 1 3	3	0,74	Desprezível
2018	Hydro/Alunorte Vazamento de bacia de rejeitos	Curupéré e Dendê	R	Tubulação clandestina e vazamento na bacia de rejeitos	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3 2 2 2	24	5,94	Crítico
2019	Imerys Vazamento de efluentes de caulim	Curupéré e Dendê	R	-	Pode causar queimaduras químicas, irritação na pele e olhos, mudança de coloração da água, alcalinização, contaminação por metais, perda da biodiversidade	3 2 1 2	12	2,97	Baixo
2021	Imerys Explosão de um galpão com hidrossulfito de Sódio	Comunidades próximas a empresa	R	-	Dispersão de fumaça branca, problemas respiratórios, irritação nos olhos e na pele.	2 1 1 3	6	1,49	Desprezível

Mapa de risco da região de Vila do Conde, Barcarena - PA

