



Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Química

Curso de Engenharia do Ambiente

RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

**Avaliação das técnicas de remediação do solo e água contaminados pelo derrame do gasóleo, usadas pela empresa CONUT ORGANIC na Bacia do**

**Rio Umbeluzi**

**Autor:**

Jonas João Simbine

**Supervisor:**

Prof. Doutor Estevão Pondja Junior, Engº

Maputo, Dezembro de 2023



Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia Química

Curso de Engenharia do Ambiente

## RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

**Avaliação das técnicas de remediação do solo e água contaminados pelo derrame do gasóleo, usadas pela empresa CONUT ORGANIC na Bacia do**

**Rio Umbeluzi**

**Autor:**

Jonas João Simbine

**Supervisor:**

Prof. Doutor Estevão Pondja Junior, Engº

Maputo, Dezembro de 2023

## TERMO DE ENTREGA DO RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante \_\_\_\_\_

entregou no dia \_\_\_\_/\_\_\_\_/20\_\_\_\_ as \_\_\_\_ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com referência: \_\_\_\_\_, intitulado: \_\_\_\_\_

Maputo, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_\_\_

O Chefe de Secretaria

\_\_\_\_\_

## Declaração de Honra

Declaro por minha honra que o trabalho de licenciatura que no momento apresento e submeto à Universidade Eduardo Mondlane, em cumprimento dos requisitos para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia do Ambiente, é da minha autoria e foi feito com base nos conhecimentos adquiridos ao longo da formação, e os resultados obtidos e a bibliografia usada foi mostrada nas fontes utilizadas.

---

(Jonas João Simbine)

Data \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / 20\_\_\_\_

## **Dedicatória**

Ao meu **pai**, João Agostinho Simbine, pelo prestigioso papel prestado na minha formação!

À minha querida **Mãe**, Gilda Langa, por tudo o que ela fez por mim, seu amor incondicional **(em memória)**!

À minha **amada esposa**, Odete Francília, pela paciência, compreensão, coragem e muita força que sempre deu para juntos continuarmos a luta!

Aos meus **filhos**, Hezir, Sheron, Keilane e Ketlyn, pelo amor inocente e sincero que sentem por mim!

À minha **irmã** Adélia, pelo apoio que sempre me tem dado!

A eles dedico este trabalho.

## **Agradecimentos**

Agradeço, primeiramente a Deus pela força e coragem que me deu, ao meu querido pai, João Simbine, e minha querida mãe, Gilda Langa, que apesar dela não estar mais presente neste plano terreno em que habitamos, está sempre presente, como espírito de luz que é, em energia e vibração, me guiando e conduzindo para o caminho certo, dando força e coragem para vencer os obstáculos da vida. Agora, saindo do plano espiritual e voltando para o nosso plano terreno, não poderia deixar de agradecer, é claro, a minha esposa que sempre me deu forças para continuar com os estudos. Agradeço também aos verdadeiros amigos, desde os mais antigos até aos mais recentes, que estiveram e/ou estão presentes em minha vida e acompanham mais esta dura etapa a ser cumprida em minha vida. Não vou citar nomes para não ser injusto com ninguém. Também aos só chamados “amigos de copo” que contribuíram, mesmo sem saber, entre uma cerveja e outra, para que eu tivesse bons momentos de proza, “desligando” um pouco o cérebro das tensões e pressões do cotidiano. Aos amigos que fiz na faculdade, entre professores, funcionários e estudantes, que também estiveram presentes e me ajudaram e apoiaram neste intenso período acadêmico de conclusão da licenciatura com muito estudo e dedicação. Agradeço à Dra. Isabel Matola, Directora do Conut Organic, pela informação partilhada comigo, à Eng.<sup>a</sup> Tercina Ngovene pela informação e ajuda ao longo da pesquisa de campo. Agradeço ao professor orientador da minha monografia, Dr. Estevão Pondja Junior, pela ajuda ao longo desta batalha.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**ARA-SUL** — Administração Regional das Águas do Sul

**BTEX** — Benzeno, Toluenos, Etil-bezenos e Xilenos

**CETESB** — Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

**CFM** — Caminhos de Ferro de Moçambique

**DBO** — Demanda Bioquímica de Oxigénio

**DQO** — Demanda Química de Oxigénio

**DWAF** — Department of Water Affairs and Forestry (Departamento de Assuntos Hídricos e Florestais)

**EPA** — Environmental Protection Agency (Agência de Protecção Ambiental)

**LFNAL** — Líquido de Fase Não-Aquosa Leve

**NTU** — Unidades nefelométricas de Turbidez

**OD** — Oxigénio Dissolvido

**PETROBRAS** — Petróleo Brasileiro S.A

**pH** — Potencial de Hidrogénio

**STD** — Sólidos Totais Dissolvidos

**WHO** — World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)

**F** — Fronteira

## RESUMO

O presente trabalho, intitulado “*Avaliação das Técnicas de Remediação do Solo e Água Contaminados pelo Derrame do Gasóleo*”, foi realizado com objectivo de identificar os métodos usados para a remediação do solo e água, nos locais contaminados, comparar os resultados obtidos por cada método com o preconizado na legislação moçambicana e internacional, e avaliar os riscos associados à contaminação do solo e da água nos locais afectados. Para avaliar as técnicas foi necessário identificar as várias plataformas tecnológicas e físicas usadas neste tipo de incidentes, a fim de conhecer as técnicas e equipamentos usados. Para este trabalho houve necessidade de se usar as técnicas mais comuns quando se trata deste tipo de incidentes. Para uma intervenção eficiente, houve necessidade de se usar absorventes, barreiras de contenção, almofadas e aplicação de produtos como *conut zorb* a granel, *blue planet ACF* e *MX-70*. Os métodos usados pela empresa Conut Organic apresentaram bons resultados, pois até o dia 15 de Setembro de 2021 a água já não apresentava sinais de contaminação por gasóleo, e boa parte do solo já tinha sido remediado, pois no dia 1 de Abril de 2021 as fronteiras F1, F2, F3, F4 e F5 apresentavam respectivamente 39 500 mg/kg, 32 000 mg/kg, 14 000 mg/kg, 32 100 mg/kg e 17000 mg/kg. Deste modo, pode se dizer que as técnicas usadas pela empresa Conut Organic foram eficientes.

## Índice

Dedicatória .....	II
Agradecimentos .....	III
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IV
RESUMO .....	V
1. INTRODUÇÃO .....	3
1.1. Objectivos.....	4
1.1.1. Geral.....	4
1.1.2. Específicos .....	4
1.2. Problema de Pesquisa .....	4
1.3. Justificativa.....	5
1.4. METODOLOGIA.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
2.1. Conceitos e origem do petróleo.....	8
2.2. Propriedades do Gasóleo.....	10
2.3. Contaminação da água pelo gasóleo .....	11
2.3.1. Espalhamento .....	11
2.3.2. Evaporação .....	12
2.3.3. Dispersão .....	13
2.3.4. Dissolução.....	13
2.3.5. Emulsificação .....	14
2.3.6. Oxidação .....	14
2.3.7. Sedimentação .....	15
2.3.8. Biodegradação .....	15
2.4. Incidentes de poluição por óleo e severidade dos danos ambientais.....	17

2.5. Parâmetros da qualidade da água .....	19
2.6. Contaminação do solo.....	22
2.7. Dinâmica da contaminação do solo.....	23
2.8. Métodos usados para remediação do derrame de petróleo na água e no solo... 23	
2.8.1. Barreiras de contenção .....	23
2.8.1.1. Tipos de barreiras de contenção .....	24
2.8.1.1.1. Contenção e concentração .....	24
2.8.1.1.2. Hi Sprint.....	24
2.8.1.1.3. Weir Boom .....	25
2.8.2. Absorventes .....	26
2.8.3. <i>Skimmers</i> .....	26
2.8.3.1. Tipos de <i>skimmers</i> .....	26
2.8.3.1.1. <i>Skimmers</i> oleofílicos .....	26
2.8.3.1.2. Weir skimmer (skimmer tipo vertedouro) .....	27
2.8.4. Queima in-situ .....	28
2.9. Enquadramento Legal .....	28
2.10. Localização geográfica da Área de estudo.....	29
2.11. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi.....	30
2.12. Derrame de gasóleo na Bacia do Rio Umbeluzi.....	31
2.13. Áreas afectada pelo derrame .....	31
3. Materiais e métodos .....	33
3.1. Métodos usados para a remoção do gasóleo na água.....	33
3.1.1. Barreiras de contenção .....	33
3.1.2. Barreiras absorventes e almofadas.....	34
3.1.3. Conut Zorb a granel.....	34

3.2.	Métodos usados para a bioremediação de gasóleo no solo.....	35
3.2.1.	Preparação da área para a bioremediação .....	35
3.2.2.	Produtos aplicados nos pontos de actividade .....	37
4.	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	38
4.1.	Resultados laboratoriais das análises dos parâmetros físicos da água. ....	38
4.2.	Resultados dos parâmetros químicos da água .....	40
4.3.	Resultados dos parâmetros químicos do solo.....	41
4.4.	Quantidade de gasóleo recolhido e/ou bioremediado .....	42
4.5.	Análise de Risco associado ao derrame do gasóleo .....	45
5.	Conclusão e Recomendações.....	49
5.1.	Recomendações .....	50
6.	Referências Bibliográficas .....	51
7.	Anexos .....	55

## Índice de Figuras

Figura 1.	Processo de destilação fraccionada do petróleo .....	8
Figura 2.	Processos de degradação do óleo no mar .....	16
Figura 3.	Plataforma <i>Deepwater Horizon</i> – Golfo do México, 2010 .....	19
Figura 4.	Barreira de contenção e concentração .....	24
Figura 5.	Barreira de contenção Hi Sprint .....	22
Figura 6.	Barreira de contenção <i>Weir Boom</i> .....	25
Figura 7.	Absorventes.....	26

Figura 8. <i>Skimmer</i> oleofílico <i>HYDRO TREAT</i> .....	27
Figura 9. <i>Skimmer</i> vertedouro.....	27
Figura 10. Queima in-situ.....	28
Figura 11. Localização da Bacia do rio Umbeluzi.....	30
Figura 12. Descarrilamento do comboio com vagões tanques.....	31
Figura 14 : barreira de contenção.....	31
Figura 15: absorventes e almofadas.....	32
Figura 16: Conut zorb a granel.....	35
Figura 17: Abertura dos buracos de inspeção e de bioremediação em curso.....	33
Figura 18 : Local após abertura de buracos para bioremediação.....	34
Figura19: Estação de tratamento de contaminantes da Conut Organics.....	34
Figura 20: Gráfico da quantidade diária de gasóleo absorvido no local de derrame.....	39
Figura 21: Gráfico da quantidade diária de gasóleo absorvido na EN3.....	40
Figura 22 : Gráfico da quantidade diária de gasóleo absorvido na Ponte Mahelane. ...	40

## **Índice de Tabelas**

Tabela 1 - Composição percentual de elementos químicos no petróleo.....	9
Tabela 2: Faixas de destilação do petróleo.....	10
Tabela 3. Processos envolvidos na intemperização do óleo em ambientes aquáticos e factores relacionados.....	17
Tabela 4. Incidentes de poluição por petróleo e severidade dos danos ambientais.....	18
Tabela 5. Limites admissíveis dos parâmetros de qualidade de água para consumo humano.....	21
Tabela 6: produtos usados e suas aplicações.....	35

Tabela 7: Resultados das análises dos parâmetros físicos.....	36
Tabela 8: Resultados das análises dos parâmetros químicos .....	37
Tabela 9: Resultados das análises ao longo das actividades .....	38
Tabela 10: Avaliação de Risco.....	39
Tabela 11: Matriz de Risco.....	41
Tabela 12: Avaliação de Risco do derrame na Bacia do Rio Umbeluzi .....	42

## 1. INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais vêm ganhando cada vez mais importância ao longo dos anos. Com o desenvolvimento acelerado, vários são os transtornos que vem se verificando, resultantes da acção humana sobre a natureza, sendo de destaque a contaminação da água, dos solos e do ar por contaminantes diversos, incluindo o petróleo e seus derivados, que tem o potencial de ocasionar poluição que afecta negativamente o meio ambiente e a saúde pública e não só.

A contaminação das águas dos rios e outras fontes de água, resultante do derrame de combustível, constitui uma das maiores preocupações, visto que os rios são usados como fonte de abastecimento de água para os seres humanos, podendo ser contaminados (Custance et al., 1992).

Adicionalmente, há a reflectir que a contaminação por hidrocarbonetos, além de inutilizar a água para o consumo humano, prejudica a flora e a fauna lacustre, fluvial e marinha, inibindo a procriação do pescado e de vários mariscos, impactando negativamente a disponibilidade de alimentos, além de ter o potencial de prejudicar a diversidade biológica.

Quando a poluição por hidrocarbonetos recai sobre os solos, estes podem ficar inutilizados para a prática da agricultura e há, igualmente, a possibilidade de contaminação dos lençóis freáticos, o que tem consequências também negativas. Por outro lado, vários são os hidrocarbonetos derivados de petróleo que têm aberto um desafio para estudo devido à complexidade dos fenómenos geoquímicos e bioquímicos que são desencadeados pela sua adição aos solos.

Os efeitos negativos destes contaminantes na natureza, como terá ficado acima referido, podem ser exemplificados pela inutilização dos pontos de captação de água potável, pela destruição da flora e fauna aquáticas, destruição das plantações, redução de microrganismos dos solos, morte de plantas, além de riscos de ocorrências de explosões e incêndios que podem resultar da evaporação ou concentração de gases inflamáveis destes produtos na atmosfera.

Tendo em vista a importância da manutenção da qualidade dos solos, da água dos rios e das águas subterrâneas através da procura de soluções sustentáveis para a prevenção, contenção e mitigação de problemas que possam ser originados pela ocorrência de contaminações, este trabalho se voltará ao estudo do impacto da contaminação do solo e da água no rio Umbeluzi, na qualidade de fonte de abastecimento da água potável para as cidades de Maputo e Matola.

## **1.1. Objectivos**

### **1.1.1. Geral**

O presente trabalho tem como objectivo geral avaliar as técnicas de remediação do solo e da água contaminados pelo derrame do gasóleo, usadas pela empresa CONUT ORGANIC ao longo da bacia do Rio Umbeluzi.

### **1.1.2. Específicos**

- Realizar um trabalho de campo para observar o local contaminado pelo gasóleo;
- Caracterizar a área de estudo;
- Identificar os métodos usados para a remediação do solo e da água, nos locais contaminados;
- Comparar os resultados obtidos por cada método com o preconizado na legislação moçambicana e internacional;
- Avaliar os riscos associados à contaminação do solo e água nos locais afectados.

## **1.2. Problema de Pesquisa**

A contaminação do solo e água pelo gasóleo constitui um grave problema pois o gasóleo consiste de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, BTEX, parafinas, cicloparafinas, aromáticos, naftênicos e olefinas, com número de carbono predominantemente na faixa de C9 a C22 (SCHWAB et al., 1987). O gasóleo ainda contém enxofre, compostos de

nitrogênio e oxigênio e pode conter óleos craqueados cataliticamente, nos quais estão presentes compostos aromáticos policíclicos, das espécies de 3 anéis e até alguns de 4 a 6 anéis (SOUSA, 2012). Esses compostos são tóxicos e causam danos para a saúde do homem bem como para o meio ambiente (MARGESIN et al., 2004). Dentre eles destacam-se:

- Alteração dos parâmetros da qualidade da água, tornando-a imprópria para o uso;
- Alteração da qualidade do solo, pois destrói todos os seres vivos ali presentes;
- Intoxicação dos animais marinhos, causando danos ao sistema nervoso, além de causar asfixia e morte pelo aprisionamento no gasóleo;
- No solo, o gasóleo bloqueia a passagem da luz, impedindo a fotossíntese de diversas espécies e plantas;
- Os organismos não conseguem mais produzir matéria orgânica e morrem por falta de energia.

Em Fevereiro de 2021 um comboio transportando milhares de litros de gasóleo descarrilou no território do Reino Eswatini próximo da linha da fronteira Moçambique/Eswatini, tendo o acidente resultado em uma massiva poluição no rio Umbeluzi, tendo o gasóleo seguido o curso do rio Umbeluzi que flui do Reino Eswatini para o território Moçambicano.

Consta que a população da zona do descarrilamento e derrame depende da água do rio em causa para o consumo e prática da agricultura.

Pergunta de pesquisa: **As técnicas usadas pela empresa CONUT ORGANIC para a remediação do derrame sob a bacia do rio Umbeluzi foram eficazes?**

### **1.3. Justificativa**

Em Maputo, cerca de 1,9 milhões de pessoas dependem do rio Umbeluzi como fonte de abastecimento de água. Este rio é um sistema de recursos hídricos que enfrenta alguns dos principais desafios dos rios trans-fronteiriços na África Austral. É uma bacia internacional e possui uma área total de 5460 km<sup>2</sup>, dos quais 3140 km<sup>2</sup> (58%) estão no

reino de Eswatini, 80 km<sup>2</sup> (1%) estão na RSA e 2240 km<sup>2</sup> (41%) estão em Moçambique (ARA-SUL).

O rio corre de Eswatini para Moçambique, de tal forma que a região de maior relevo é a parte ocidental da bacia do Umbeluzi. Desta forma, em caso de derrame, a região a jusante é a mais contaminada. O rio nasce no Eswatini a uma altitude de 1680 metros e corre para Este, entrando no território nacional pela vila fronteiriça de Goba. Os principais afluentes em Moçambique são os rios Calichane e Movene, respectivamente a montante e a jusante da Barragem dos Pequenos Libombos. O rio Umbeluzi tem um escoamento médio de cerca de  $490 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> na foz e de  $360 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> na fronteira, com um regime permanente e uma precipitação média anual de 736 mm (ARA-SUL).

O rio tem duas obras hidráulicas de vulto, nomeadamente a barragem de Mnjoli no Reino de Eswatini e a barragem dos Pequenos Libombos em Moçambique (ARA-SUL, 2010). No entanto, houve a contaminação da bacia acima citada, no dia 10 de Janeiro de 2021, resultante de um derrame de gasóleo no leito do rio, que consistiu em um descarrilamento do comboio dos CFM, cerca de 115 000 litros dos 288 855 litros que o comboio transportava foram derramados.

Com este trabalho pretende-se analisar até que ponto o derrame afectou a qualidade dos recursos hídricos e do solo considerando que esta água serve de consumo para a população, principalmente das cidades da Matola e Maputo, para a irrigação de vastos campos agrícolas, pastagem. A terra contaminada serve para a prática da agricultura de subsistência das populações locais. O presente trabalho pretende ainda avaliar a eficácia das técnicas usadas para a remediação do local após o incidente, verificando se elas teriam sido suficientes para garantir que a água e o solo continuem com a qualidade que viabiliza a satisfação das necessidades humanas no mesmo padrão de antes do incidente.

## 1.4.METODOLOGIA

Para alcançar os objectivos definidos no presente trabalho de licenciatura foram definidas seguintes actividades:

- **Recolha de dados**

A recolha de dados foi baseada nas seguintes técnicas:

a) **Consulta bibliográfica** com o objectivo de colher dados para:

- i) Fazer um levantamento de informação sobre derrames de combustível em Moçambique e pelo mundo fora;
- ii) Identificar as diversas plataformas tecnológicas físicas (instrumentos e equipamentos) de usabilidade neste tipo de incidentes, a fim de conhecer as técnicas usadas e os equipamentos para situações similares.

b) Visita ao local de derrame e à empresa CONUT ORGANIC, em busca de informações e dados.

c) **Elaboração do relatório final:** o relatório é representado por este documento, que transmite informações encontradas durante a pesquisa bibliográfica e as discussões e conclusões que foi possível obter em torno do tema em estudo.

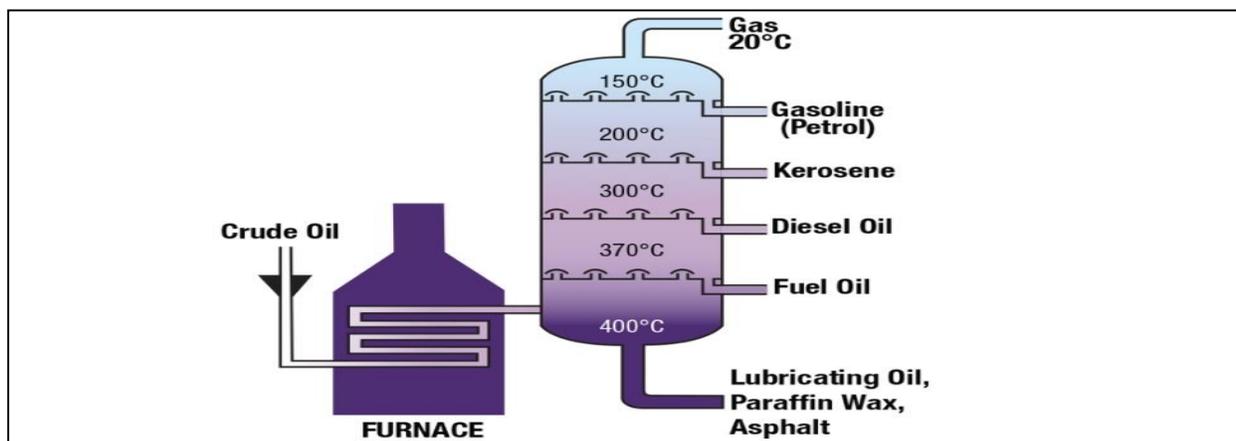
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Conceitos e origem do petróleo

Segundo PETROBRAS (2003), petróleo é uma mistura orgânica complexa de hidrocarbonetos gasosos, líquidos e sólidos, com quantidades relativamente pequenas de compostos orgânicos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e organometálicos. Enquanto FERREIRA (1986), define petróleo como um combustível natural constituído quase só de hidrocarbonetos, e que se encontra preenchendo os poros de rochas sedimentares, formando depósitos muito extensos.

O petróleo é composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, por isso ele é enviado para as refinarias para que os seus componentes sejam separados e tenham um melhor aproveitamento (CONSILUX, n.d).

O método utilizado para isso é a destilação fraccionada, que se baseia na diferença das faixas das temperaturas de ebulição das fracções do petróleo (Figura 1). Para tal, utiliza-se uma torre de destilação com uma fornalha na parte inferior, onde o petróleo é aquecido. A torre possui bandejas, em que cada uma apresenta uma temperatura diferente, que diminui à medida que a altura aumenta (CONSILUX, n.d).



**Figura 1:** Processo de destilação fraccionada do petróleo.

**Fonte:** CONSILUX, n.d

Apesar de todos os tipos de petróleo conterem os mesmos tipos de hidrocarbonetos, a proporção relativa de cada grupo de hidrocarbonetos varia conforme a origem do petróleo, afectando inclusive suas propriedades físico-químicas (SZKLO & ULLER, 2008).

A Tabela abaixo indica a composição em forma de percentagem dos elementos presentes no petróleo.

**Tabela 1:** Composição percentual de elementos químicos no petróleo

<b>Elemento</b>	<b>% (em peso)</b>
<b>Hidrogénio (H)</b>	11 – 14
<b>Carbono (C)</b>	83 – 87
<b>Enxofre (S)</b>	0.06 – 8
<b>Nitrogénio (N)</b>	0.11 – 1.7
<b>Oxigénio (O)</b>	0.1 – 2
<b>Metais</b>	>0.3

**Fonte:** SZKLO & ULLER (2008).

Desta forma, como cada tipo de petróleo possui uma proporção diferente e variável dos seus elementos químicos básicos, a forma de fazer essa separação ocorre através da identificação da curva típica de destilação, ou seja, quanto mais carbono em sua composição, maior a temperatura de ebulição (SZKLO & ULLER, 2008).

Petróleos mais pesados tendem a ter hidrocarbonetos mais pesados. Assim, essa diferença de volatilidade entre os componentes e elementos que constituem o petróleo é o que define a forma principal de separação dos diversos hidrocarbonetos que constituem o petróleo bruto (SZKLO & ULLER, 2008).

**Tabela 2:** Faixas de destilação do petróleo

<b>FRACÇÃO</b>	<b>T<sub>eb</sub> (°C)</b>	<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>USOS</b>
<b>Gás residual</b>	<40	C <sub>1</sub> – C <sub>2</sub>	Gás combustível
<b>Gás liquefeito de petróleo – LPG</b>		C <sub>3</sub> – C <sub>4</sub>	Gás combustível, uso doméstico e industrial
<b>Gasolina</b>	40 - 175	C <sub>5</sub> – C <sub>10</sub>	Combustível, solvente
<b>Querosene (JET-A1)</b>	175 – 235	C <sub>11</sub> – C <sub>12</sub>	Iluminação, combustível
<b>Gasóleo leve</b>	235 – 305	C <sub>13</sub> – C <sub>17</sub>	Diesel, fornos
<b>Gasóleo pesado</b>	305 – 400	C <sub>18</sub> – C <sub>25</sub>	Combustível, matéria-prima para lubrificantes
<b>Lubrificantes</b>	400 – 510	C <sub>26</sub> – C <sub>38</sub>	Óleos lubrificantes
<b>Resíduos</b>	>510	C <sub>38+</sub>	Asfalto, piche, impermeabilizantes

Fonte: SZKLO & ULLER, (2008).

## 2.2. Propriedades do Gasóleo

- Gasóleo tem volatilidade e mobilidade intermédias. No entanto, o gasóleo é consideravelmente menos volátil do que a gasolina. Como produtos intermediários, os combustíveis contêm uma combinação de compostos mais leves, menos persistentes e mais móveis, bem como alguns compostos mais pesados, mais persistentes e menos móveis.
- Os compostos do gasóleo relativamente mais leves, mais voláteis, móveis e solúveis em água tendem a evaporar e decompor-se rapidamente quando expostos ao oxigénio e à luz solar;
- É pouco solúvel em água e com gravidade específica de 0,840 g/cm<sup>3</sup>;
- Apresenta cheiro forte e característico;

- Se comporta como um líquido de fase não-aquosa leve (LFNAL), o que significa que flutua quando derramado na superfície da água. Esta é uma propriedade crítica que influencia seu comportamento quando derramado no ambiente (SLR Consulting , 2021).

### **2.3. Contaminação da água pelo gasóleo**

O petróleo e seus derivados são combustíveis fósseis considerados não renováveis e materiais inadequados ao descarte a céu aberto. Os casos de derrame são geralmente acidentais e não constituem consequências benéficas para o ambiente.

No derrame do gasóleo em ambientes aquáticos ocorrem processos de dissipação e dispersão de substâncias, chamadas de intemperismo, que consiste na combinação de processos físicos, químicos e biológicos. Iniciam-se imediatamente após o derrame e processam-se a taxas variáveis. Sua eficiência depende das condições da água do mar, como pH, temperatura, correntes e salinidade; do clima, tais como humidade e incidência de radiação solar; da presença de bactérias e materiais particulados suspensos na água; além das propriedades físico-químicas do óleo derramado, tais como composição química, estado físico, densidade, viscosidade, solubilidade, temperatura, teor de oxigénio. As taxas do processo não são constantes, sendo mais efectivas nos primeiros períodos do derrame (CETESB, 2003).

Ocorrem, principalmente, os processos de espalhamento do produto derramado e evaporação dos componentes leves, seguidos da dissolução das fracções solúveis, emulsificação decorrente do hidrodinamismo e sedimentação por aderência de partículas suspensas na coluna de água (SILVA, 2004).

#### **2.3.1. Espalhamento**

Processo que consiste no movimento horizontal do óleo na superfície da água devido aos efeitos da volatilidade, força gravitacional, viscosidade e tensão superficial do óleo, e inicia imediatamente após o derrame. Nos primeiros instantes após o derramamento a

espessura da mancha diminui a medida em que a sua área aumenta, garantindo deste modo a maior transferência de massa por evaporação e dissolução, permitindo incremento nos demais processos.

As condições ambientais como vento e correntes agem directamente no espalhamento da mancha, sendo que óleos menos viscosos se espalham com maior velocidade (ITOPF, 2002).

O conhecimento da espessura da mancha do óleo é fundamental na avaliação da eficiência de diferentes métodos de combate a limpeza de derramamentos e para estimativa de potenciais impactos no ambiente (SOUZA, 2003).

### **2.3.2. Evaporação**

O fenómeno de evaporação é extremamente complexo e de fundamental importância durante as primeiras 24 horas, devido ao facto de o petróleo ser um fluido formado por uma grande quantidade de componentes. Estes componentes têm diferentes temperaturas de evaporação, assim como diferentes graus de solubilidade e saturação no ar, o que torna muito difícil o seu tratamento.

A maior presença de compostos mais leves leva a uma maior evaporação. Entretanto, a evaporação desses compostos promove alterações na composição química do produto. Embora haja redução do volume derramado no decorrer deste processo, os compostos remanescentes tornam a mancha mais espessa por apresentarem alta viscosidade e densidade específica (SILVA, 2004).

O grau de espalhamento também é um factor determinante, pois quanto maior a superfície de contacto com o ar, maior será a evaporação. A taxa de evaporação é determinada, de uma forma geral, pelas propriedades físico-químicas do óleo (SOUZA, 2004). Factores como agitação dos mares, grandes velocidades de vento e climas quentes também funcionam como aceleradores do processo de evaporação (MONTEIRO, 2003).

Primeiramente, ocorre a evaporação das porções mais leves e voláteis do óleo. Os compostos de maior peso molecular permanecem na mancha e continuam a sofrer o intemperismo. Dependendo da composição do produto, a evaporação pode ser responsável pela redução de mais da metade do volume da mancha. Óleos refinados como gasolina e querosene podem evaporar completamente em poucas horas (ITOPF, 2002).

### **2.3.3. Dispersão**

O processo de dispersão inicia imediatamente após a ocorrência do derramamento do petróleo, sofrendo intensificação nas 48 horas seguintes à sua libertação no ambiente. A turbulência na água promove a quebra das manchas de óleo em gotículas de tamanhos variados, que dependendo das suas dimensões podem se misturar às camadas superficiais da água ou permanecer em superfície formando as chamadas manchas iridescentes (ITOPF, 2002).

Constitui-se em um dos mais importantes processos de intemperização durante os primeiros dias do derrame. Realiza a quebra da mancha de óleo em pequenas gotículas suspensas na coluna de água facilitando o processo de biodegradação e sedimentação.

### **2.3.4. Dissolução**

A taxa de dissolução do óleo depende de sua composição, do espalhamento da mancha, da taxa de dispersão, da temperatura e da turbulência da água. Quanto mais leve o composto, maior o grau de dissolução na água.

Processo de grande influência sobre as consequências biológicas no ambiente marinho, que consiste na transferência dos compostos do produto derramado para a coluna de água. Ocorre logo após o derrame, quando o óleo vai sofrendo foto-oxidação e biodegradação, compostos mais solúveis vão sendo gerados (MONTEIRO, 2003).

Outros constituintes do óleo como compostos de enxofre e sais minerais têm grande solubilidade. Este processo que se inicia logo após o derrame, se perpetua ao longo do tempo, uma vez que oxidação e biodegradação constantemente formam subprodutos solúveis (CETESB, 2003).

### **2.3.5. Emulsificação**

Este processo ocorre quando há a incorporação de água ao óleo formando uma emulsão água-óleo, conhecida como *mousse*, que é resistente a outros processos de intemperismo. A formação das emulsões água-óleo é dada pela turbulência da superfície da água, resultando num material extremamente viscoso e de difícil degradação (ITOPF, 2002).

Inicia-se ainda no primeiro dia, mas por serem muito estáveis, as emulsões de água em óleo, costumam persistir por meses ou até mesmo anos após o derramamento. Grande parte da emulsão é formada ainda durante a primeira semana após a perda dos componentes leves, devido principalmente aos processos de evaporação e dissolução (CETESB, 2003). Os hidrocarbonetos uma vez emulsionados na água aceleram outros processos de transformação como a dissolução, a foto-oxidação e a biodegradação.

### **2.3.6. Oxidação**

Neste processo, as moléculas de hidrocarbonetos reagem com o oxigênio do ambiente formando compostos que tendem a ser mais solúveis e tóxicos. Como estas reações ocorrem preferencialmente na superfície, são aceleradas pelo grau de espalhamento da película de óleo. É relativamente lenta em comparação aos demais processos de alteração físico-química, por estar condicionada à quantidade de oxigênio que pode penetrar na película e pela incidência de radiação solar (ITOPF, 2002).

Contribui para o intemperismo do óleo, uma vez que forma compostos solúveis. Sais minerais dissolvidos em água aceleram a taxa de oxidação. Traços de metais presentes no óleo funcionam como catalisadores das reações de oxidação. Os raios ultravioletas

funcionam igualmente como catalisadores, constituindo o que chamamos de foto-oxidação. A razão de degradação é, em grande parte, influenciada pelo comprimento de onda incidente, pela concentração de materiais particulados suspensos, pela concentração de aromáticos de alto peso molecular e pela espessura da mancha.

### **2.3.7. Sedimentação**

Este processo é intensificado nas primeiras 4 semanas que seguem o derramamento. Nele os componentes mais pesados do petróleo são adsorvidos por partículas inorgânicas, podendo se aderir também a sólidos flutuantes, tendendo a sofrer sedimentação no fundo marinho.

Ocorre principalmente devido à adesão de partículas de sedimento ou matéria orgânica ao óleo. Poucos óleos crus são suficientemente densos para afundar. Ocorre normalmente com os componentes pesados que não se dissolvem na água.

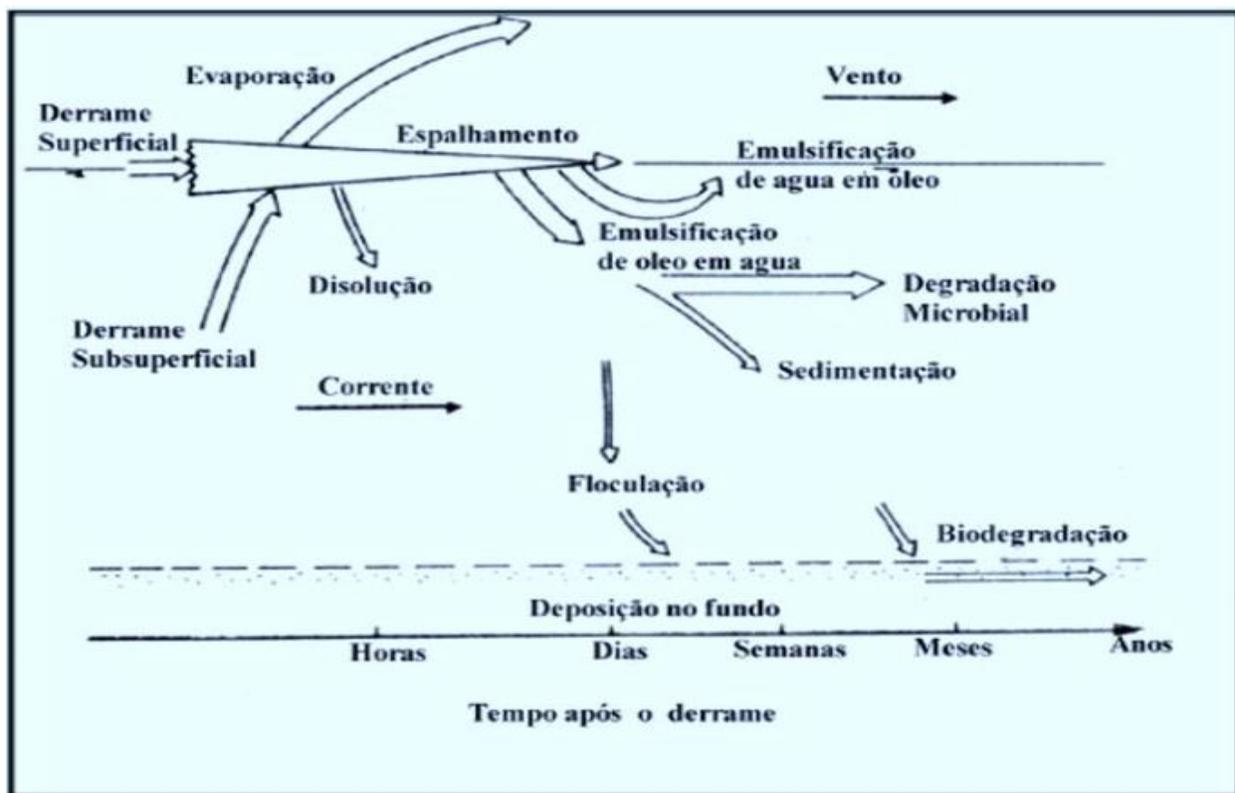
Depende da densidade específica, do grau de dispersão e dos sólidos suspensos na água. Quanto maior a densidade específica, menos partículas em suspensão são necessárias para que o óleo se sedimente.

### **2.3.8. Biodegradação**

A água do mar contém microrganismos (bactérias e fungos) que podem degradar o óleo total ou parcialmente em compostos solúveis na água. Apesar de significativo, é um processo lento, influenciado pela temperatura e pela disponibilidade de oxigénio e nutrientes, principalmente nitrogénio e fósforo, no ambiente. Como a biodegradação requer oxigénio, este processo só ocorre na interface óleo-água. Sabe-se que tal processo é iniciado na primeira semana após o derramamento, tornando-se mais intenso nos 30 dias seguintes, podendo durar até 1 ano.

Os processos de espalhamento, evaporação, dispersão, emulsificação e dissolução são os mais importantes nos períodos iniciais de um derrame, enquanto oxidação, sedimentação e biodegradação ocorrem a longo prazo.

Com o passar do tempo, o óleo no ambiente mudará suas características iniciais, ficando menos tóxico, mais denso e viscoso e mais persistente. Um esquema dos processos de intemperismo do óleo é mostrado na figura abaixo.



**Figura 2:** Processos de degradação do óleo no mar.

**Fonte:** Szewczyk, (2006).

Além das propriedades físico-químicas do produto derramado, outros factores actuam no comportamento do gasóleo na água, como a irradiação solar e variações da temperatura ambiental e da água, condições climáticas e oceanográficas.

A Tabela abaixo mostra os principais factores envolvidos em cada processo, que compreende a intemperização do óleo em ambientes aquáticos.

**Tabela 3:** Processos envolvidos na intemperização do óleo em ambientes aquáticos e factores relacionados.

<b>Processo</b>	<b>Tempo de Acção</b>	<b>Propriedades relacionadas</b>	<b>Aspectos físicos</b>
<b>Espalhamento</b>	Imediatamente após o derramamento até semanas depois	Viscosidade; volume	Vento e correntes de superfície.
<b>Evaporação</b>	24 horas	Toxicidade; volatilidade	Temperatura da água; radiação e velocidade dos ventos.
<b>Dispersão</b>	24 horas	Viscosidade; fluidez	Ondas e turbulência
<b>Dissolução</b>	24 horas	Solubilidade; peso molecular; volatilidade.	Temperatura da água e turbulência.
<b>Emulsificação</b>	Até um ano	Viscosidade; persistência.	Grau de dispersão.
<b>Oxidação</b>	Até um mês	Solubilidade; peso molecular.	Incidência da luz.
<b>Sedimentação</b>	Indeterminado	Densidade	Gravidade específica
<b>Biodegradação</b>	Indeterminado	Oxigénio e nutrientes disponíveis.	Temperatura.

Fonte: SZEWCZYK, (2006)

#### **2.4. Incidentes de poluição por óleo e severidade dos danos ambientais**

É apresentado na Tabela abaixo uma série de acidentes ambientais por derrame de petróleos, e a severidade dos danos causados ao ambiente marinho.

**Tabela 4:** Incidentes de poluição por Petróleo e severidade dos danos ambientais

<b>Data</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Volume derramado (Toneladas)</b>	<b>Local</b>	<b>Distancia da costa</b>	<b>Dano ambiental na zona Costeira</b>
<b>1979</b>	<i>Atlantic Empress</i>	287 mil	Caribe	A 18.52 km da Ilha de Tobago	Poluição em alto mar
<b>1991</b>	ABT <i>Summer</i>	260 mil	Africa	A 1.287 km de Angola	Poluição em alto mar
<b>1973</b>	Zoe Colocotroni	5 mil	Porto Rico	Na zona Costeira	severo: praias, turismo, manguezais e pesca
<b>1988</b>	Plataforma piper Alpha	670 mil	Mar do Norte	193 km da Escócia	Poluição em alto mar
<b>1989</b>	Exxon Valdez	40 mil	EUA	Na zona Costeira	Severo: praias, turismo, e pesca
<b>2010</b>	Plataforma <i>Deepwater Horizon</i>	779 mil	EUA	80 km de Louisiana	severo: poluição em alto mar, no leito oceânico, nas praias, <i>saltmarshes</i> turismo e pesca

**Fonte:** SZKLO & ULLER, (2008).



**Figura 3:** Plataforma *Deepwater Horizon* – Golfo do México, 2010

**Fonte:** <https://www.pt.m.wikipedia.org>, (acessado no dia 08 de Novembro de 2023.)

## **2.5. Parâmetros da qualidade da água**

A água é vital para sobrevivência humana e seu consumo é essencial em diversas actividades, sendo de suma importância a análise de sua qualidade para sua correcta utilização. Os parâmetros qualitativos que devem ser avaliados englobam valores diferenciados segundo o uso designado, ou seja, seus aspectos físicos, químicos e biológicos devem ser analisados de acordo com a destinação do recurso (Gheyi et.al., 2011).

Strieder et al (apud, 2003 e Gheyi, 2011), comentam que a utilização da água para uma determinada finalidade não deve depreciar os diversos usos possíveis, dentre os quais figuram: os aspectos culturais, as actividades recreativas e a preservação da diversidade biológica. Em consequência, surge a necessidade de monitorar os recursos hídricos a fim de disponibilizar subsídios que auxiliem na recomendação de medidas adequadas de manejo para manter os ambientes aquáticos com qualidade.

Para avaliar a qualidade da água da bacia do rio Umbeluzi, as análises físico-químicas normalizadas pelo Diploma Ministerial 180/2004, de 15 de Setembro, serão levadas em conta.

**Temperatura** — regula as velocidades de reacções químicas e influencia na solubilidade de gases e minerais ecologicamente importantes (Ignatius & Ramussen, 2016). É um parâmetro físico de extrema importância tendo em conta a sua influência em outros parâmetros físicos, químicos, inclusivê biológicos.

A concentração de **oxigénio dissolvido** depende das actividades físicas, químicas e biológicas no corpo de água, e sua mensuração providencia boa indicação da qualidade de água. Mudanças nas concentrações de oxigénio dissolvido podem ser uma indicação prematura de mudanças nas condições no corpo de água (*United Nations Environmental Programme & World Health Organisation, 1996*).

O **pH** de águas naturais é uma medida do equilíbrio ácido-base de vários compostos dissolvidos, sendo afectado por outros parâmetros como a temperatura. Este parâmetro é usado como indicador de mudança química da água e foi correlacionado positivamente com condutividade eléctrica (Kale, 2016).

**Conductividade eléctrica** ou conductância específica é uma medida eléctrica de totais de sólidos dissolvidos e comportamento salino da água visto que depende da concentração dos sais que se encontram dissolvidos nesta. Existe uma relação directa entre a condutividade e quantidade de sais dissolvidos (*Environmental Protection Agency, 2001*).

A nebulosidade na água é conhecida como **turbidez** e é causada por sólidos totais dissolvidos e suspensos, que na maior parte do tempo são invisíveis para o olho nu por serem partículas muito finas. Turbidez pode ser causada por sedimentos, lodo, areia e lama; bactéria e germes; precipitados químicos (Arshad & Shakoor, 2017; Kale, 2016).

Estudos apontam que uma redução em turbidez também reduz a quantidade de microrganismos que se ligam a estes como substracto e melhora processos de tratamento posteriores (*World Health Organisation, 2017*).

A avaliação da concentração de **nitratos** é particularmente importante para água destinada ao consumo e a agricultura, sendo que altos níveis deste componente podem indicar alto 'escoamento' de solos agrícolas (*Department of Water Affairs and Forestry,*

1996). Ainda, presença excessiva de nutrientes como nitrogénio em forma de nitratos e fósforo em lagos promove o crescimento de algas (cianobactérias) que podem criar uma capa verde, e ainda decaírem, criando uma série de problemas. Um desses problemas é a flutuação dos níveis de oxigénio dissolvido na água, o que afecta toda vida aquática (*Environmental Protection Agency, 2001*).

**Sulfato** é um ião abundante na crosta terrestre, o que varia em demasia sua concentração em água (*World Health Organisation, 2017*). Este não é um parâmetro que costuma receber atenção especial de pesquisadores visto que a sua presença não representa perigos conhecidos para a saúde e só valores excessivos podem afectar a qualidade de água para irrigação (*Department of Water Affairs and Forestry, 1996*).

O maior risco de micróbios na água está associado ao consumo de água que esteja contaminada com excremento animal e humano, ainda que outras fontes e rotas de exposição também possam ser significativas. Estes micróbios podem ser bactérias patogénicas, vírus e parasitas (*World Health Organisation, 2017*).

**Tabela 5:** Limites admissíveis dos parâmetros de qualidade de água para consumo humano.

	<b>DWAF (1996)</b>	<b>WHO (2017)</b>	<b>Decreto nº 180/2004</b>	<b>EPA (2018)</b>
<b>Temperatura (°C)</b>				
<b>pH</b>	6.0 – 9.0	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
<b>EC (<math>\mu S/cm</math>)</b>	0 - 70		50 – 2000	
<b>TDS (mg/l)</b>	0 - 450	1000	1000	500
<b>DO (mg/l) [20°C]</b>	-	-	-	-
<b>Turbidez (NTU)</b>	0 - 1	5	5	5
<b>Nitratos (mg-N/l)</b>	0 - 6	50	50	10
<b>Dureza total (mg/l)</b>	0 - 50	< 50	500	-

<b>Matéria Orgânica(mg/l)</b>			2.5	
<b>Sulfatos (mg/l)</b>		0 - 200	250	250
<b>Coliformes (nº/100ml)</b>	Fecais	0	0	ausente
	Totais	0 - 5	0	ausente

**Fonte:** Adaptado pelo autor.

## 2.6. Contaminação do Solo

Quando ocorre uma contaminação, algumas características do solo, juntamente com as propriedades físicas e químicas do poluente é que vão determinar o comportamento desse poluente no solo, ou seja, a sua migração através da subsuperfície. No caso de uma contaminação por hidrocarbonetos, as propriedades físicas do solo que mais influenciam o comportamento do combustível são:

- Porosidade;
- Conductividade hidráulica (permeabilidade);
- Heterogeneidade dessas propriedades entre os diferentes tipos de solo.

Porosidade e Conductividade hidráulica podem variar dentro de um mesmo tipo de solo. Diferenças em grande escala nessas propriedades podem influenciar o transporte multifásico de hidrocarbonetos (GUIGUER, 2000).

Porosidade é a proporção entre o volume de espaços vazios no solo e o volume total da matriz do solo.

A conductividade hidráulica é a medida da habilidade do solo em transportar fluido, mas é também função das propriedades do fluido em consideração.

A heterogeneidade do solo acarreta em diferenças na porosidade e conductividade hidráulica, dentro, ou entre diferentes camadas de solo. A configuração dessas camadas do solo influencia os caminhos de migração dos combustíveis líquidos.

## **2.7. Dinâmica da contaminação do solo**

Os hidrocarbonetos de petróleo são de difícil remediação por serem poluentes hidrofóbicos, ou seja, pouco solúveis em água, tendendo assim a ficar fortemente retidos na matriz do solo.

No caso de combustíveis como a gasolina e o gasóleo, os BTEX são os constituintes que têm maior solubilidade em água e, portanto, são os contaminantes com maior potencial de poluir o solo.

Quando ocorrem derrames de petróleo e derivados os contaminantes se apresentam em diversas fases e podem passar de uma para a outra de acordo com suas propriedades físico-químicas e das condições ambientais (GUERRA, n.d)

## **2.8. Métodos usados para remediação do derrame de petróleo na água e no solo**

Para uma intervenção eficiente, é fundamental o conhecimento das características locais do ambiente atingido e dos impactos esperados tanto do derrame como das acções de contenção.

Actualmente existem várias técnicas e equipamentos para combater, conter e recuperar um derrame de óleos nos recursos hídricos, incluindo em geral métodos físicos e químicos, entre eles os mais eficientes e utilizados são:

### **2.8.1. Barreiras de contenção**

As barreiras de contenção possuem a finalidade de conter derrames de petróleo e derivados, concentrando, bloqueando ou direccionando a mancha de óleo para locais menos vulneráveis ou mais favoráveis ao seu recolhimento. É também utilizada para proteger locais estratégicos, evitando que as manchas atinjam áreas de interesse ecológico ou sócio-económico.

### 2.8.1.1. Tipos de barreiras de contenção

Existem vários tipos de barreiras de contenção para situações de derrame de hidrocarbonetos nos recursos hídricos, no presente trabalho irei mencionar algumas das quais são mais usadas.

#### Contenção e concentração

A barreira de contenção e concentração é colocada de um modo particular, em geral são utilizadas duas embarcações para que o óleo a ser recolhido possa ser contido e concentrado, na imagem abaixo pode se verificar o modo como a barreira é colocada nos casos de contenção e concentração.

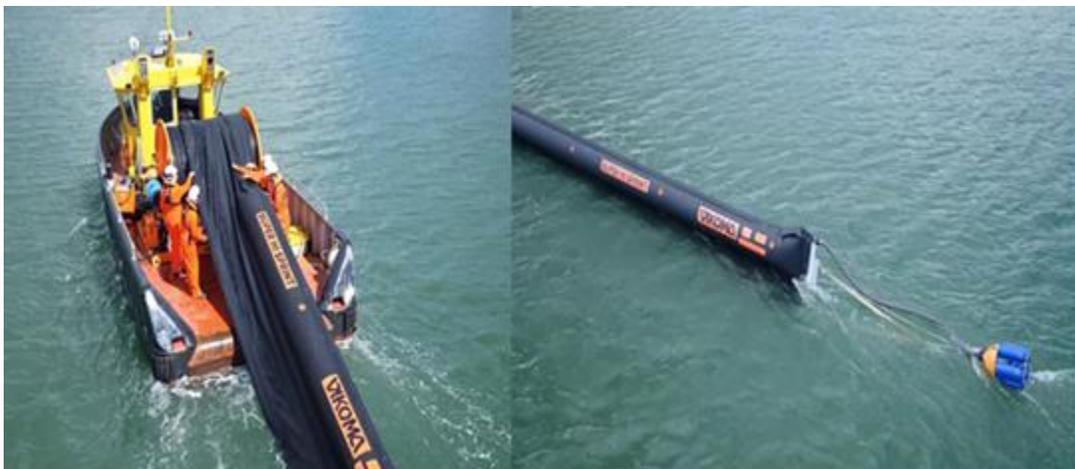


**Figura 4:** Barreira de contenção e concentração

**Fonte:** <https://www.aquamecbrasil.co.br>, (acessado em 8 de Novembro de 2022)

#### Hi Sprint

A barreira *hi sprint* é formada por 7 módulos tubulares com 50 metros de comprimentos, já interligados, que alcançam 350 metros de comprimento. Antes de ser lançada ao mar, esse tipo de barreira é inflado com auxílio de equipamento próprio que pode ser posicionado na embarcação de apoio, que também terá a função de rebocar pela extremidade a barreira já inflada



**Figura 5:** Barreira de contenção Hi Sprint

**Fonte:** site: <https://www.aquamecbrasil.co.br>, (acessado em 8 de Novembro de 2022)

### **Weir Boom**

Formado por um único compartimento tubular estanque, com 370 ou 390 metros de comprimento. Durante o lançamento ao mar, a barreira *weir boom* é inflada com o auxílio de equipamento próprio, posicionado na própria embarcação que executa o lançamento. O lastreamento necessário para estabilizar a barreira é feito com a própria água do mar, através de bomba própria, de operação contínua, que fica posicionada na extremidade da barreira. O recolhimento é feito por um sistema de quatro bombas e diques incorporados na própria barreira.



**Figura 6:** Barreira de contenção *Weir Boom*

**Fonte:** <https://www.aquamecbrasil.co.br>, (acessado em 8 de Novembro de 2022)

### 2.8.2. Absorventes

Os absorventes absorvem líquidos a base de óleos, são usados para recolher óleos lubrificantes, com vantagem de não absorverem a água. Pode se apresentar na forma granulada, ou envolvida em tecidos porosos formando almofadas, sendo aplicados directamente sobre o combustível derramado. Podem absorver até 25 vezes seu próprio peso em petróleo e seus derivados (SZEWCZYK, 2006).



**Figura 7:** Absorventes

**Fonte:** Conut Organic

### 2.8.3. *Skimmers*

A principal técnica usada por diversas autoridades é a recuperação mecânica do óleo da superfície do mar. Isto é conseguido com a utilização de barreiras de contenção, permitindo que o *skimmer* recolha e bombeie o óleo (ITOPF, 2013).

#### **Tipos de *skimmers***

Existem vários tipos de recolhedores de óleos, mas os mais *utilizados* são os seguintes:

#### ***Skimmers* oleofílicos**

Este tipo de *skimmer* possui materiais que se atraem mais com o óleo do que com a água. O óleo adere à superfície do material, normalmente com formato de disco, tambor ou escova, que, conforme giram, retiram o óleo da água, em seguida, o óleo é

direcionado para a sucção da bomba para ser descarregado para os tanques da embarcação.



**Figura 8:** *Skimmer oleofílico HYDRO TREAT*

**Fonte:** site <<https://oceanica.ufrj.br>> acessado em 8 de Novembro de 2022

### **Weir skimmer (skimmer tipo vertedouro)**

Utilizam a gravidade a fim de drenar o óleo da superfície da água, aspirando o óleo que flutua na água, e pode recolher tanto o gásóleo leve quanto óleo pesado. Este equipamento possui duas bombas submersíveis o que fornece uma capacidade 70% maior do que as bombas tradicionais. O funcionamento das bombas é hidráulico, portanto o *skimmer* precisa de um *powerpack* para sua operação (MARKLEEN, 2013).



**Figura 9.** *Skimmer vertedouro*

**Fonte:** site <<https://oceanica.ufrj.br>> acessado em 8 de Novembro de 2022

#### 2.8.4. Queima in-situ

É uma alternativa que envolve a contenção da mancha em uma barreira à prova de fogo e a queima do óleo. Este método para que seja eficaz deve ser aplicado no início do derrame, antes que o óleo perca seus componentes inflamáveis.

A eficiência da queima in-situ depende de diversos factores tais como, o estado do mar, ventos, temperatura da água, tipos de óleos e volumes.



**Figura 10:** Queima in-situ

**Fonte:** <https://www.conepetro.co.br> acessado em 8 de Novembro de 2022

#### 2.9. Enquadramento Legal

Os desafios trazidos pelo desenvolvimento, são muitas vezes acompanhadas por ações com significativos impactos sobre o meio ambiente. Para fazer face a estes impactos e garantir que o desenvolvimento ocorra de forma sustentável, o país tem vindo a produzir e a compor um quadro legislativo cimenta as premissas para a mitigação desses impactos negativos e outras componentes adversas mediante o alinhamento dos seguintes documentos normativos:

- A Lei do Ambiente (Decreto 20/97, de 1 de Outubro): A Lei do Ambiente define vários conceitos e princípios fundamentais de gestão ambiental, estabelece o quadro institucional básico para a proteção ambiental. Estabelece uma norma geral que proíbe

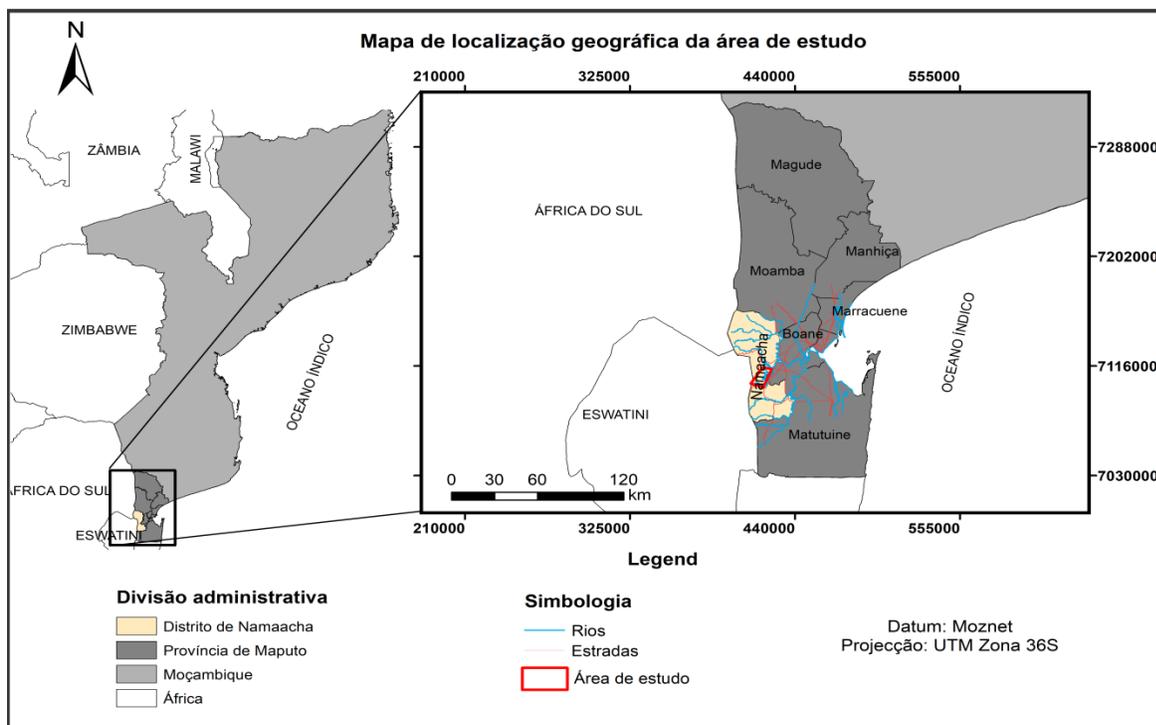
a realização de todas as actividades que causam danos ambientais e que excedam os limites legalmente definidos.

- Regulamento para a Prevenção da Poluição e Protecção do Ambiente Marinho e Costeiro (Decreto nº 45/2006, de 30 de Novembro). Este Regulamento tem por objecto prevenir e limitar a poluição derivada das descargas ilegais efectuadas por navios, plataformas ou por fontes em terra, ao longo da costa, bem como o estabelecimento de base legais para a protecção e conservação das áreas que constituem domínio público marítimo, lacustre e fluvial, das praias e dos ecossistemas frágeis.
- Diploma Ministerial 180/2004, de 15 de Setembro. Regulamento sobre a qualidade da água para o consumo Humano.
- A Lei nº 16/91, de 3 de Agosto, tida como lei das águas. Esta lei estabelece parâmetros através dos quais se deveria reger o controlo da qualidade da água para que seja considerada potável e própria para o consumo humano.
- Decreto nº 18/2004, de 2 de Junho. Este regulamento estabelece os padrões de qualidade ambiental e de emissão de efluentes de modo a assegurar um controlo e fiscalização efectivos sobre a qualidade do ambiente e dos recursos naturais do país.

## **2.10. Localização geográfica da Área de estudo**

O rio Umbeluzi é um dos rios localizado na região sul (Figura 1), pela caracterização Muchangos (1999) e atravessa a cordilheira dos libombos, quando entra em território moçambicano, atravessando uma garganta cortada nas cordilheiras dos pequenos libombos.

A área de estudo deste trabalho envolve o baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Umbeluzi situada na parte sul da província de Maputo na região sul do território Moçambicano. A mesma é delimitada pelos paralelos **25° 40' 22''** e **26 16' 47''** de latitude sul e pelos meridianos **31° 55' 43''** e **32° 29' 01''** de longitude Este aproximadamente. A bacia hidrográfica do rio Umbeluzi possui uma área total de 2066 km<sup>2</sup> calculados com o GIS na República de Moçambique.



**Figura 11:** Localização da Bacia do rio Umbeluzi.

**Fonte:** Shelcea Foquiço (2021)

### 2.11. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Umbeluzi

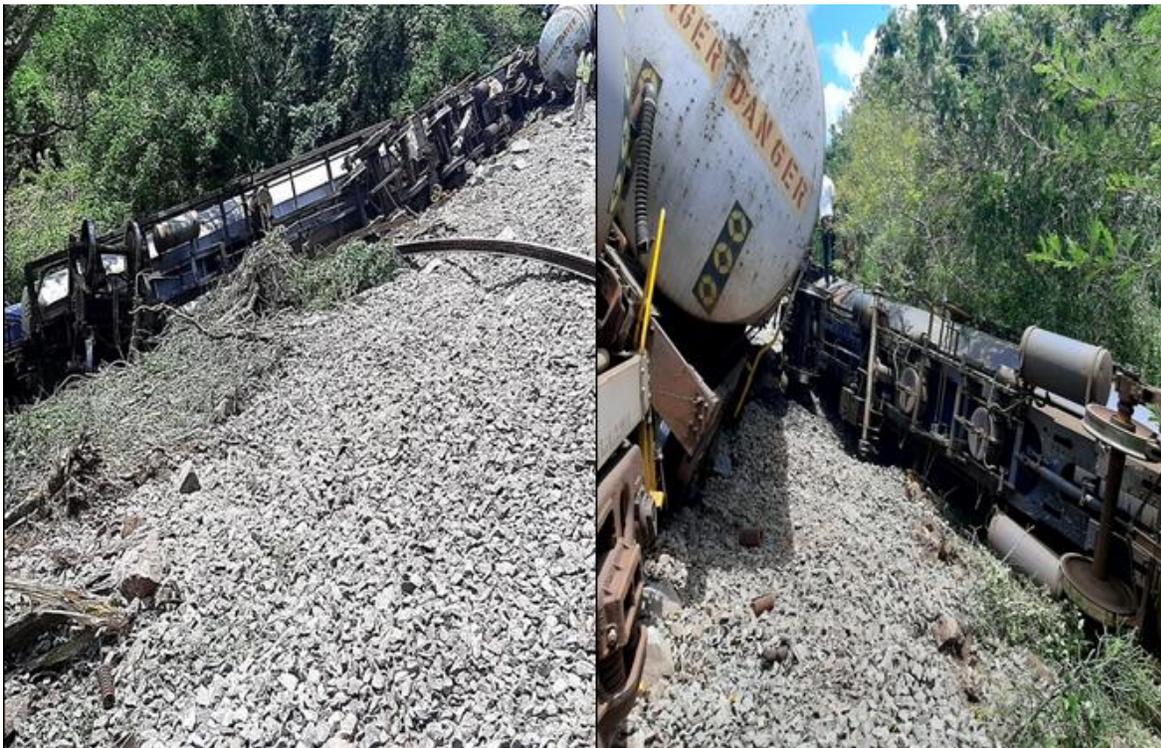
O rio Umbeluzi nasce no Reino Eswatini e tem como principais afluentes: os rios *BlackMbuluzi* e o *White Mbuluzi*. Ambos confluem com o rio principal aproximadamente a 22 km da fronteira de Goba localizada no Posto Administrativo de Changanane no Distrito de Namaacha (Moçambique) por onde o rio Umbeluzi entra em Moçambique.

Os principais afluentes do Rio Umbeluzi em território nacional são: O rio Calichane que aflui no Umbeluzi na barragem dos pequenos Libombos e o rio Movene a jusante da barragem (ARA SUL, 2010).

A bacia do rio Umbeluzi se confina ao norte com as bacias dos rios Incomate e Matola e a sul com as bacias dos rios Maputo e Tembe, a foz do rio Umbeluzi faz parte do estuário dos rios Tembe, Matola e Infulene que é denominado de estuário Espírito Santo. Este está situado junto ao Porto de Maputo (LOPES, 2011).

## 2.12. Derrame de gasóleo na bacia do rio umbeluzi

No dia 10 de Fevereiro de 2021, na rota para Eswatini, um comboio transportando milhares de litros de gasóleo líquido descarrilou no território do Reino Eswatini, a aproximadamente 3 km da fronteira com Moçambique, tendo o acidente resultado em avultados danos materiais e uma massiva poluição no rio devido ao derrame do gasóleo em 8 dos 10 tanques que eram transportados, tendo o gasóleo seguido o curso do rio Umbeluzi que flui do Reino Eswatini para o território Moçambicano.



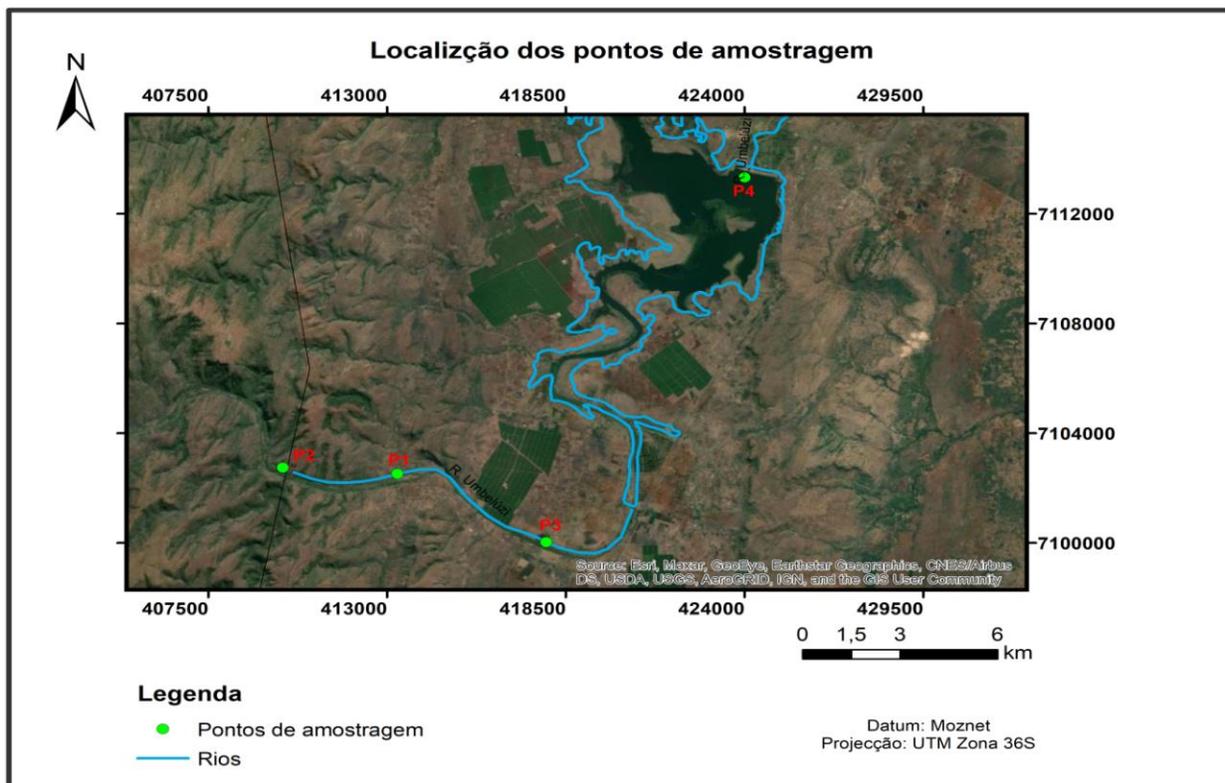
**Figura 12:** Descarrilamento do comboio com vagões tanques

**Fonte:** ARA-SUL

## 2.13. Áreas afectada pelo derrame

No local do derrame, o impacto do gasóleo foi evidente nos solos da margem do rio, a uma profundidade de aproximadamente 30 cm durante a visita ao local em 22 de Fevereiro de 2021 (Sahadeo, 2021).

Foi identificada uma área de impacto na Ponte Mahelane no dia 23 de Fevereiro de 2021 pela Ara-sul. No dia 24 a SLR e Impacto visitaram o local onde foram observados brilho e odor de gasóleo (Sahadeo, 2021). No ponto EN3 notou-se que parte da vegetação do rio havia sido potencialmente afectada pelo gasóleo (plantas em decomposição), e também foram observados o brilho e odor de gasóleo. Neste ponto foi observado um tubo de captação de água superficial, que é possivelmente usada para a irrigação, uma vez que a agricultura é praticada nas proximidades (Sahadeo, 2021).



**Figura: 13.** (P1) Ponto EN3; (P2) Local do derrame; (P3) Ponte Mahelane; (P4) Barragem (E-621)

**Fonte:** Shelcea Foquiço, (2021)

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1. Métodos usados para a remoção do gasóleo na água

Para uma intervenção eficiente, é fundamental o conhecimento das características locais do ambiente atingido e dos impactos esperados tanto do derrame como das acções de contenção.

Actualmente existem várias técnicas e equipamentos para combater, conter e recuperar um derrame de óleos nos recursos hídricos, incluindo em geral métodos físicos e químicos.

A Conut Organic iniciou as actividades para a remoção no dia 11 de Fevereiro de 2021. A remoção do gasóleo derramado no rio foi feita a partir do uso de absorventes, barreiras de contenção, almofadas e aplicação de produtos como o conut zorb a granel, MX-70, Blue planet ACF.

##### 3.1.1. Barreiras de contenção

As barreiras de contenção possuem a finalidade de conter derrames de petróleo e derivados, concentrando, bloqueando ou direccionando a mancha de óleo para locais menos vulneráveis ou mais favoráveis ao seu recolhimento. É também utilizada para proteger locais estratégicos, evitando que as manchas atinjam áreas de interesse ecológico ou sócio-económico.



**Figura 14:** Barreira de contenção

**Fonte:** Conut Organic

### 3.1.2. Barreiras absorventes e almofadas

Os absorventes absorvem líquidos a base de óleos, são usados para recolher óleos lubrificantes, com vantagem de não absorverem a água. Pode se apresentar na forma granulada, ou envolvida em tecidos porosos formando almofadas, sendo aplicados directamente sobre o combustível derramado. Podem absorver até 25 vezes seu próprio peso em petróleo e seus derivados.



**Figura 15:** Absorventes e almofadas

**Fonte:** Conut Organic

### 3.1.3. Conut Zorb a granel

O conut zorb a granel é um produto que pode ser aplicado na superfície da água contaminada, uma vez que tem aversão à água, o que lhe permite flutuar enquanto absorve os contaminantes. Trata-se de uma solução ecologicamente sustentável na mitigação de problemas de poluição ambiental por se tratar de um produto natural, orgânico e renovável/biodegradável. Não é tóxico para os seres humanos, fauna e flora, não cria lixiviados, não é inflamável e resiste a frio, calor e humidade (CONUTORGANIC, 2021).



**Figura 16:** Conut zorb a granel

**Fonte:** Conut Organic

### **3.2. Métodos usados para a bioremediação de gasóleo no solo**

As estratégias elaboradas para intervenções neste ponto foram baseadas no estudo da disposição do local, e concluiu-se que devido a proximidade da área com a linha férrea não seria seguro remover o solo para tratamento exSitu tendo adoptado o método de tratamento do solo inSitu.

#### **3.2.1. Preparação da área para a bioremediação**



**Figura 17:** Abertura dos buracos de inspeção e de biorremediação em curso.

**Fonte:** Conut Organic

No âmbito da recolha do contaminante no local foram desencadeadas actividades de abertura de trincheiras com objectivo de permitir que o gasóleo impregnado nas pedras e no solo fosse drenado através delas, buracos para a biorremediação e inspecção de focos do contaminante.

Algumas semanas após a recolha do Conut Zorb nas secções, o local permaneceu sobre monitoria constante até que o nível do rio descesse ao ponto de expor as secções que antes estavam debaixo de água, permitindo assim a abertura de buracos para a biorremediação e evitando que o caniço fosse “sacrificado” pois ficou mais fácil desenvolver as actividades com o solo exposto em todo perímetro e pronto para actividades de pulverização com a solução do MX70 seguida pelos microrganismos numa escala simultânea a do local do acidente.



**Figura 18:** Local após abertura de buracos para biorremediação.

**Fonte:** Conut Organic

O gasóleo encapsulado nos absorventes e no conut zorb a granel, é levado para uma estação de tratamento da empresa Conut Organic onde passa pelo processo de descontaminação denominado biorremediação, que consiste na degradação ou remoção de contaminantes através da acção de bactérias.



**Figura 19:** Estação de tratamento de contaminantes da Conut Organics

**Fonte:** Conut Organic

### 3.2.2. Produtos aplicados nos pontos de actividades

**Tabela 6:** produtos usados e suas aplicações

<b>Conutzorb</b>	Granel, Almofadas, Barreiras
<b>MX-70</b>	Encapsula hidrocarbonetos
<b>ACF-Nutrient</b>	Biorremediação (pronto para uso)
<b>ACF-32</b>	Biorremediação (pronto para uso)
<b>ACF-SC</b>	Biorremediação (pronto para uso)
<b>AD Activator</b>	Biorremediação (Bactérias fermentadas na câmara climat
<b>Nitro Activator</b>	Biorremediação (Bactérias fermentadas na câmara climat

Para este trabalho, o conut zorb foi fundamental pois todo gasóleo derramado alcançável foi absorvido e transportado seguramente para o local de tratamento, passando pelo tratamento por meio de pilhas de biorremediação aeróbia por via de microrganismos (bactérias, fungos e leveduras). As pilhas são monitoradas e acompanhadas por análises laboratoriais para a monitoria do processo de descontaminação.

## 4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1. Resultados laboratoriais das análises dos parâmetros físicos da água.

As Tabelas 8 e 9 apresentam os resultados das análises laboratoriais colhidas nos dias 12 e 15 de Fevereiro de 2021. A análise dos resultados baseou-se na legislação moçambicana, Decreto nº 180/2004, de 15 de Setembro, que aprova Regulamento da Qualidade de Água para o Consumo Humano.

Para a Tabela seguinte é válido que:

(Boane- E-8)	Ponto 1
(albufeira montante 1)	Ponto 2
(albufeira montante 2)	Ponto 3
(Goba E-10)	Ponto 4

**Tabela 7: Resultados das análises dos parâmetros físicos**

Parâmetros	Valor limite Decreto 180/2004	Unidade	Boane ETA Antes do derrame	12/02/21	15/03/21	12/02/21	15/03/21	12/02/21	15/03/21	12/02/21	15/03/21
				Ponto 1	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 4
Temperatura		(C°)	22	24.9	24.9	24.7	24.7	24.9	24.9	24.9	24.9
Conductividade elétrica	50-2000	µs/cm	558.00	347.00	347.00	437.00	437.00	431.00	431.00	653.00	653.00
Turbidez	5	NTU	0.58	143.00	143.00	60.40	60.40	54.30	54.30	45.80	45.80
STD	1000	mg/L	296	238.00	238.00	300.66	300.66	296.53	296.53	449.26	449.26
pH	6.5-8.5	-	7.3	7.50	7.50	7.64	7.64	7.61	7.61	8.05	8.05
Dureza Total	500	mg/L	259	98.00	98.00	140.00	140.00	130.00	130.00	190.00	190.00
DBO	-	mg/L	12.0	31.0	31.0	25.8	25.8	222.2	222.2	28.6	28.6
DQO	-	mg/L	59.0	155	155	129	129	111	111	143	143
OD	-	mg/L	7.20	9.17	9.17	8.4	8.4	8.58	8.58	11.3	11.3
Óleos e Gorduras	Ausente	mg/L	-	<b>Não detectáv el</b>	0.08	0.08					

## 4.2. Resultados dos parâmetros Químicos da água

A Tabela 10 apresenta a análise dos resultados dos parâmetros químicos, feitas no laboratório da SWISSLAB. Pode-se verificar que todos os pontos apresentam valores abaixo do limite de quantificação do equipamento, com excepção do mercúrio e do enxofre. No dia 12 de Fevereiro de 2021 o mercúrio apresentava 48 µg/L e o enxofre 11,20 mg/L, sendo estes valores obtidos nos pontos mais próximos do local do derrame. Após o decurso das actividades de bioremediação houve uma redução de até 38 µg/L. Contudo, estes valores não têm uma relação directa com o derrame de combustível, isto porque até a data da colecta das amostras a onda de combustível ainda não tinha chegado a albufeira, as descargas na barragem estavam encerradas e não houve contacto entre as águas dos rios Umbeluzi e do Movene que é captada na E-8 em Boane, o que invalida a hipótese de elevados teores destes parâmetros estar ligado a contaminação por derrame do combustível em Goba.

**Tabela 8:** Resultados das análises dos parâmetros químicos

Resultados das Análises químicas (2021)											
			12/02 21	13/02 /2021	13/02/ 2021	12/02 /2021	13/02 /2021	12/02/ 2021	13/02 /2021	12/02 /2021	13/02 /2021
			Goba			Albufeira (A montante...)				Boane	
Parâmetro	Valor limite	Und.	E-10	E-10	E-6,2,9	1	1	2	2	E-8	E-8
<b>Cádmio (Cd)</b>	3	µg/L	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)
<b>Cobre (Cu)</b>	1000	µg/L	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)	<100 (LQ)
<b>Crómio (Cr)</b>	50	µg/L	<10 (LQ)	<10 (LQ)	<10 (LQ)	<10 (LQ)	<10 (LQ)	<10 (LQ)	11.00	10.10	<10 (LQ)
<b>Chumbo (Pb)</b>	10	µg/L	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)	<0.25 (LQ)

<b>Mercúrio (Hg)</b>	1	µg/L	48.8	2.74	5.45	7.52	15.30	11.60	16.30	44.50	43.10
<b>Arsénio (As)</b>	10	µg/L	<2.5 (LQ)								
<b>Enxofre (S)</b>	-	mg/L	11.20	12.00	11.60	13.00	12.80	14.00	13.20	14.00	12.40

### 4.3. Resultados dos parâmetros Químicos do solo

A Tabela 11 apresenta o resumo dos resultados obtidos durante os seis (6) meses de intervenção. As amostras de solo na área de trabalho foram recolhidas e enviadas ao laboratório para determinar variações nos níveis de contaminação (em PPM ou mg/kg).

No local do acidente (Fronteira) foram criadas secções ou trincheiras (F1, F2,F3,F4 e F5) na área de trabalho de acordo com a disposição do terreno, e o ponto F1 apresentava no início das actividades níveis de contaminação do solo de 39500 mg/Kg sendo este o maior nível de contaminação em pontos identificados.

**Tabela 9:** Resultados das análises ao longo das actividades

2021		RESULTADOS DAS ANÁLISES LABORATORIAIS (mg/Kg)					
DATA	AMOSTRAGEM	F1	F2	F3	F4	F5	EN3
1-Apr	TESTE 1	39500	32000	14000	32100	17000	
8-Apr	TESTE 2	17000	3000	3600	5200	1800	
12-Apr	TESTE 3	7300	11000	5000	4800	2100	
30-Apr	TESTE 4	22000	6500	3300	4500	2700	
13-May	TESTE 5	3300	1600	2800	3500	1300	
26-May	TESTE 6	5600	1900	2300	4400	1300	
9-Jun	TESTE 7	2600	2700	2600	3700	2800	
16-Jun	TESTE 8	2300	1300	2800	2400	450	

<b>18-Jun</b>	TESTE 9	3700	1800	4600	2600	1500
<b>24-Jun</b>	TESTE 10	3800	1800	390	1200	950
<b>3-Jul</b>	TESTE 11	3800	3600	1400	2000	2500
<b>11-Aug</b>	TESTE 12	2600	860	1400	2300	160
<b>6-Sep</b>	TESTE 13	2000	220	370	1200	1900
<b>15-Sep</b>	TESTE 14	38	38	38	38	38

#### 4.4. Quantidade de gasóleo recolhido e / ou bioremediado

A Tabela 12 mostra a quantidade de gasóleo recolhido com cada técnica usada pela empresa *Conut Organic*. Para remediação da água foram usadas as seguintes técnicas: barreiras de contenção, absorventes e conut zorb a granel. Destas técnicas notou-se que o uso de conut zorb a granel é mais eficiente pois ele absorve mais quantidade do gasóleo em comparação com as outras técnicas por eles usadas.

**Tabela 10:** Técnicas usados para a remoção e/ou biorremediação do gasóleo

Produto	Função	Gasóleo Bioremediado	Percentagem
Conut zorb granel	Absorção	28 450 L	24.7
Barreiras	Absorção	15 649 L	13.6
Almofadas	Absorção	7 375 L	6.4
<b>Total absorvido</b>		<b>51 474 L</b>	
MX-70 (355 bidons)	Gasóleo encapsulado	35 500 L	30.9
Blue planet ACF (10000 L)	Biorremediação (5L/m <sup>2</sup> )	28 000 L	24.4
<b>Total removido</b>		<b>114 974 L</b>	

### Gráfico de variação da absorção diária na Fronteira (Ponto do acidente)

O gráfico abaixo mostra a quantidade diária de gásóleo absorvido, onde todos os absorventes encontram-se em processo de absorção.

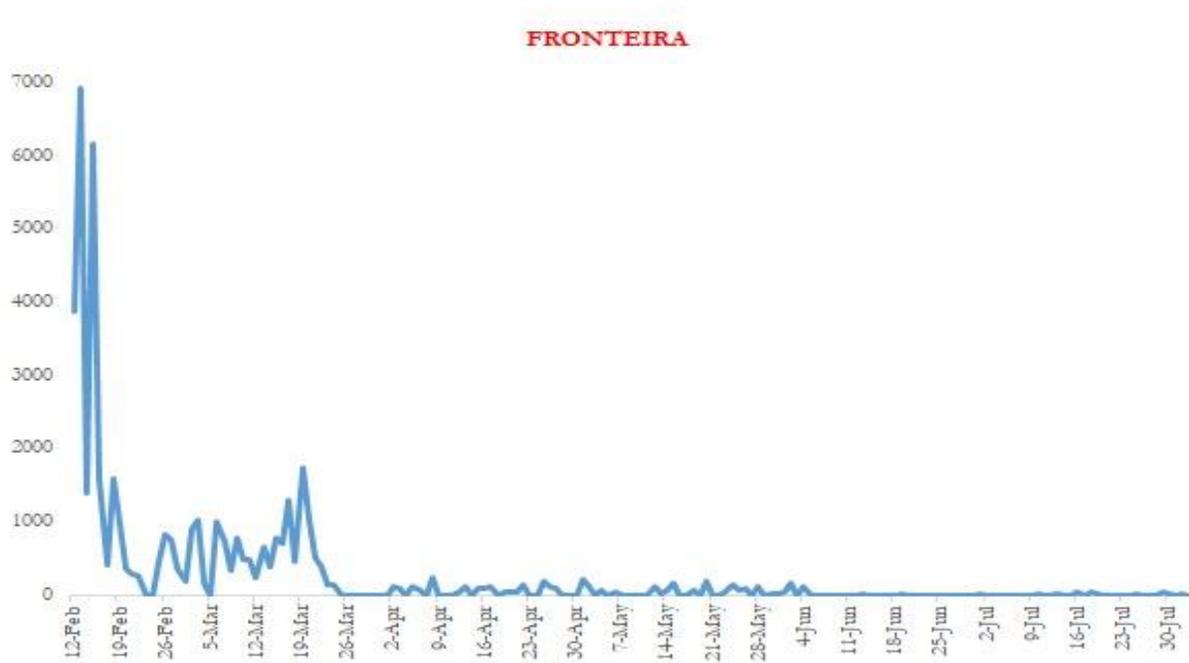
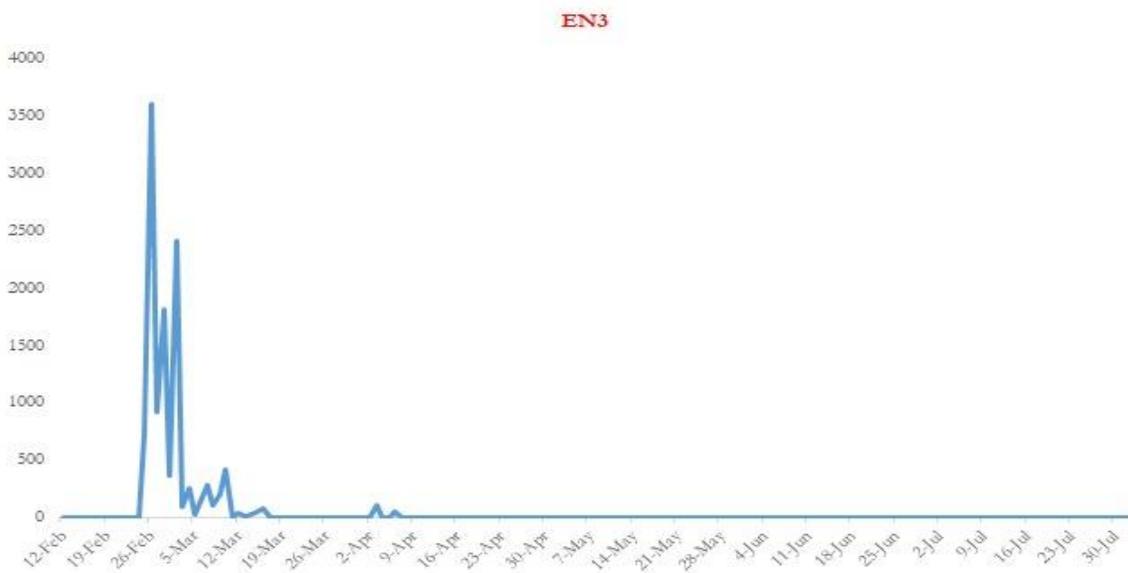


Figura 20: Gráfico da quantidade diária de gásóleo absorvido no local do derrame

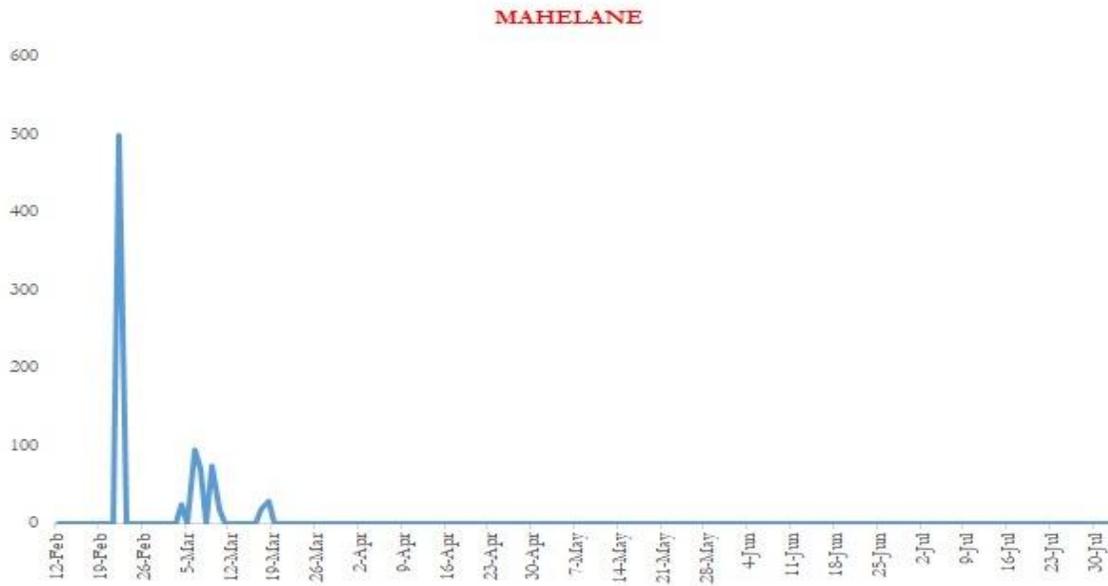
### Gráfico de variação da absorção diária no EN3

No ponto EN3, foram realizadas actividades de borrifagem de água em toda área para manter a humidade no local em preparação para a aplicação de bactérias.



**Figura 21:** Gráfico da quantidade diária de gasóleo absorvido na EN3

No ponto Mahelane, foram realizadas actividades de borrifagem de água em toda área para manter a humidade no local em preparação para a aplicação de bactérias.



**Figura 22:** Gráfico da quantidade diária de gasóleo absorvido na Ponte Mahelane

Este resultado (114 974 litros do gasóleo recolhido e/ou bioremediado) representa 49% do gasóleo que foi derramado no solo e no rio, ou seja, as carruagens tombadas transportavam cerca de 288 855 Litros de gasóleo dos quais cerca de 55 000 Litros foram bombeados dos tanques semi-tombados remanescendo, no entanto, cerca de 233 8554 Litros sendo que 51 474 Litros foram recolhidos pelo método de absorção pelo conut zorb e 63 500 Litros bioremediados.

O combustível remanescente perdeu-se uma parte no percurso do rio pois o ar livre em contacto com os raios do sol o gasóleo entra em oxidação, outra fracção perdeu-se ao longo das margens e tendo a vegetação esta foi absorvida pelas raízes das plantas.

#### **4.5. Análise de risco associado ao derrame do gasóleo**

Como parte da avaliação de risco ambiental do incidente usando os princípios de uma avaliação de risco qualitativa que compreende uma avaliação de modelo FCR (fonte, caminho, receptor) para determinar ligações poluentes potencialmente completas, a seguinte matriz (Tabela 11) foi usada para avaliar os riscos potenciais relacionados ao derrame.

**Tabela 11: Matriz de Risco**

RISCO		Consequência		
		Baixo	Medio	Alto
Probabilidade	nenhuma	Não	Não	Não
	Baixa	Baixa	Baixa	Média
	Media	Baixa	Média	Alta
	Alta	Média	Alta	Alta

Legenda do Risco	
	Aceitável
	Moderado
	Crítico
	Intolerável

**Tabela 12:** Avaliação de Risco do derrame na Bacia do Rio Umbeluzi

Fonte	Caminhos			Receptores			Avaliação de Riscos	
Histórico do local	Meio	Mecanismos de libertação	Tipo	Descrição	Exposição	Probabilidade	Consequência	Risco
<p>A fonte de contaminação começa no ponto de descarrilamento dos vagões tanque. O local do derrame dista a aproximadamente 1 km no lado Eswatini da fronteira com Moçambique. O gasóleo derramado migrou pelo solo e se infiltrou no solo e nas margens do Rio Umbeluzi, antes de entrar no rio. O volume de gasóleo que entra no rio é estimado em aproximadamente 214.000 litros.</p>	Migração de vapor	Via solos superficiais impactados, águas superficiais.	Meio ambiente no Geral	Pessoas próximas a produtos de combustível ou outros meios afectados	Inalação	Médio	Médio	Médio
	Água superficial	O gasóleo é derramado e flui para o rio Umbeluzi e retrodifusão de solo contaminado e sedimento nas margens do rio	Consumidor final da água (com o Rio Umbeluzi, a Barragem e a ETA são as principais áreas de preocupação)	Água não devidamente tratada no sistema reticulado.	Ingestão	Baixo	Alta	Alta
			Receptores humanos ao longo da rota migratória do Gasóleo.	Pessoas ao longo de todo curso do rio, gradiente abaixo do derramamento, que extraem água bruta (não tratada) para consumo e outros usos.	Ingestão	Médio	Alta	Alta
			Receptores Ecológicos	Biota sensível, incluindo fauna e flora aquática	Ecosistemas dentro e ao longo do rio, barragem e zonas ribeirinhas circundantes	Médio	Alta	Alta
	Água subterrânea	Via consumo de água de furo.	Receptores humanos nas instalações do local do derramamento.	Contaminação dos aquíferos, que depois abastecem os rios e poços artesanais.	Ingestão	Baixo	Alta	Médio
	Exposição indireta	Outras vias de exposição que podem ser relevantes	Ingestão acidental de solo e consumo de alimentos contaminados (peixes, safras ou frutas) cultivados ou provenientes de meios contaminados	Pessoas próximas a produtos de combustível ou outros meios de comunicação afectados.	Ingestão, contacto dérmico	Baixo	Médio	Médio
	Solos	Através de solos superficiais ou subterrâneos contaminados.	População residente na área afectada.	Indivíduos envolvidos com contacto directo com solos impactados (por exemplo, escavações e agricultura).	Inalação, contacto dérmico, ingestão acidental	Baixo	Médio	Baixo

## 5. Conclusão e Recomendações

De uma forma geral, podemos afirmar que as actividades desenvolvidas no controlo do derrame conheceram um verdadeiro avanço, com todas dificuldades enfrentadas, tais como a disposição do terreno, acesso difícil ao local e área de trabalho coberto por mato alto, pedregulhos e caniçal.

No local do derrame (fronteira), foram criadas secções (F1, F2, F3, F4 e F5), de acordo com a disposição do terreno. O ponto F1 representa o início das actividades nos níveis elevados de contaminação do solo de 39 500 mg/kg, sendo este o maior nível de contaminação. Entretanto, após intensas actividades de pulverização com a solução do MX70 e com a solução dos microrganismos foram colhidas amostras de solo no local e os resultados de 15 de Setembro mostram níveis de contaminação menor que 38 mg/kg, ou seja, níveis muito abaixo dos limites considerados aceitáveis e como tal, isto indica que toda área encontra-se livre do contaminante.

O ponto EN3 representa o início das actividades no nível de 11 000 mg/kg, no caniçal. No fim apresentava níveis de contaminação abaixo de 38 mg/kg, ou seja, o local estava livre de contaminação.

Na ponte de ferro (Mahelane) os níveis de contaminação do solo apresentavam-se abaixo de 38 mg/kg desde o início das actividades. Contudo, a área contaminada foi tratada com a solução MX70 e dos microrganismos com vista a eliminar por completo a contaminação no local. De referir que na estação de tratamento de água (ETA) não foi visualizado nenhum vestígio de contaminante até o fim das actividades.

As medidas usadas para a remoção do gasóleo apresentaram bons resultados, pois com base nos gráficos de absorção diária do gasóleo (1, 2 e 3), apresentados anteriormente, até 30 de Julho de 2021 já não havia registos do contaminante na água.

Assim, as técnicas usadas para o tratamento da zona afectada pelo derrame se mostraram eficazes uma vez que em todas zonas monitoradas os valores se mostraram abaixo de 38 mg/kg.

## **5.1.Recomendações**

Recomenda-se que:

- Se faça um estudo mais profundo, principalmente do solo, pois a zona é usada para a prática de agricultura e pastagem.
- Sendo a zona do derrame repleta de caniçal, recomenda-se que se faça uma investigação profunda, pois uma parte do gasóleo derramado foi deslocada para as bermas do rio pelo movimento da água.
- Se faça uma inspecção à população residente nas proximidades do rio, principalmente a que usa o rio como fonte de água para o consumo e banho.

## 6. Referências Bibliográficas

- Arshad, M., & Shakoor, A. (2017). Irrigation Water Quality, 145–160.
- Bento, D. M. (2005). *Análise Química da Degradação dos Hidrocarbonetos de Óleo Diesel no Estuário da lagoa dos Patos- Rio Grande/RS*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande.
- Boana, F. M. (2011). *Estudo da Qualidade da Água dos Rios Umbelúzi e Incomáti Para Fins de Consumo Doméstico e Irrigação*. Trabalho de Licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Química, Maputo.
- CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - Série Relatórios Ambientais. São Paulo. 2001.
- CETESB. (2021). Obtido em 26 de fevereiro de 2021, de <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/vazamentos-de-oleo/caracteristicas-do-oleo/intemperismo-do-oleo/>
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente – Resolução nº. 265 de 27 de janeiro de 2000.
- Costa, F. B., & Ferreira, V. d. (2015). *Análise de Parâmetros que Compõem o Índice de Qualidade das Águas (IQA) na Porção Mineira da Bacia do Rio Paranaíba*.
- Department of Water Affairs and Forestry. (1996). *Water Quality Guidelines Agricultural Use: Irrigation*. (S. Holmes, Ed.) (2nd ed., Vol. 4). Pretoria.
- Environmental Protection Agency. (2001). *Interpretation and Standards. Parameters of Water Quality*.
- Environmental Protection Agency. (2018). *Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories Tables*. Washington, D.C.
- Fonseca, S. A. (2009). *Análise de Estratégias de Contingência ao Derramamento de Óleo: Estudo de Caso do Campo de Golfinho, Espírito Santo-Brasil*. Bacharel, Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Oceanografia e Ecologia.

- Gasparotto, F. A. (2011). *Avaliação Ecotoxicológica e Microbiológica da Água de Nascentes Urbanas no Município de Piracicaba-SP*. Dissertação, Universidade de São Paulo, São Paulo
- <https://oceanica.ufrj.br>> acessado em 8 de Novembro de 2022
- Ignatius, A. R., & Rasmussen, T. C. (2016). Small reservoir effects on headwater water quality in the rural-urban fringe, Georgia Piedmont, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 145–161. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.08.005>
- ITOPF – International Tanker Owners Pollution Federation
- ITOPF - International Tanker Owners Pollution Federation – “Technical Information Paper – Fate of Marine Oil Spills”. Disponível no endereço eletrônico: <http://www.itopf.com/fate.html>, atualizada em 2002, acesso em abril de 2022.
- La Rovere, E. L. “Energia e Meio Ambiente”. In Sérgio Margulis ed. *Meio Ambiente – Aspectos Técnicos e Económicos*, Capítulo 1, IPEA, Rio de Janeiro, 1990.
- Mapote, W. (12 de Fevereiro de 2021). *VOA Moçambique*. Obtido em 1 de Abril de 2021, de <https://www.voaportugues.com/a/maputo-derrame-de-combust%C3%ADvel-no-rio-umbeluzi-deve-ser-visto-com-seriedade-alerta-ambientalista/5776250.html>
- Marconi, M. d., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo, Brasil: Atlas S.A.
- Marin-Morales, M. A., Roberto, M. M., de Angelis, D. d., & de Angelis, D. A. (n.d). *Importância da água para a vida e garantia de manutenção da sua qualidade*. Instituto de Biociências-UNESP, São Paulo.
- Marques, E. d., & Guerra, A. J. *Solos contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo*. Rio de Janeiro.
- Minnesota Pollution Control Agency. (2014). *Water Quality Standards for Protection of Waters of the State*.
- Monteiro, A. G; “Metodologia de avaliação de Custos ambientais provocados por vazamento de óleo – O estudo de caso do complexo REDUC-DTSE”. Tese DSc., Programa de Planejamento Energético, COPPE/ UFRJ, dezembro de 2003.

- Silva, P. R. “Transporte marítimo de petróleo e derivados na costa brasileira: Estrutura e implicações ambientais”. Dissertação MSc., Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Abril de 2004.
- Souza Júnior, A. B. “Sistemas de Resposta para acidentes industriais com consequências externas – experiência internacional e situação brasileira”. Tese de DSc., COPPE/UFRJ, 2002.
- SZEWCZYK, S.B. O. “Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar”. In Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica – Semengo, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 2006. Disponível em: <http://www.semengo.furg.br/2006/36.pdf>.
- SZKLO, S. A; ULLER, V. C; BONFÁ, M.H.P. “Fundamentos do refino de petróleo: Tecnologia e Economia”. 2ed. Rio de Janeiro: Interciências, 2008.
- Uamusse, A. J. (2015). *Estudo da qualidade de água dos poços e furos para fins domésticos no distrito de Chigubo, província de Gaza*. Estágio Laboral, Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Química, Maputo.
- United Nations Environmental Programme, & World Health Organisation. (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*.
- United Nations Environmental Programme, & World Health Organisation. (1996). *Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*.
- Urzola, M. E., Sierra, N. R., Cabarcas, L. S., Martínez, D. V., & Bolños, É. Q. (24 de Abril de 2019). Oil and Greases as water Quality Index Parameter for the Conservation of Marine Biota.
- *Water Research Center*. (n.d). Obtido em 20 de Setembro de 2021, de <https://water-research.net/index.php/chlorides-and-salts-in-water-future-problem-for-groundwater-users>
- Welfare, M. o. (2016). *Manual of Methods of Analysis of Foods and Water*. New Delhi.
- World Health Organisation. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality*:

*Incorporating the First Addendum (4th ed.).*

- [www.conepetro.co.br](http://www.conepetro.co.br) acessado em 8 de Novembro de 2022

## 7. Anexos



### Relatório de Ensaio nº 7943

<b>Ciente:</b> FIPAG	<b>Versão:</b> 1
<b>Endereço:</b>	Rel. Ensaio Definitivo
<b>Ciente nº:</b> 225	
<b>Tipo Amostra:</b> Águas de Consumo	<b>Data de Colheita:</b> 13/02/2021
<b>Ponto de Amostragem:</b> Barragem de Pequenos Libombos	<b>Data de Recepção:</b> 15/02/2021
<b>Responsável pela Amostragem:</b> Cliente *	<b>Data Início Análise:</b> 15/02/2021
	<b>Data Fim Análise:</b> 18/02/2021
	<b>Data de Emissão:</b> 18/02/2021

Ensaio	Método Analítico	Valor Limite	Unidades	Amostra
				Amostra 14340 Ponte de Goba E-10 Resultado ± U
<b>Parâmetros Físico-Químicos</b>				
Cádmio (Cd)*	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	3	ug/L	< 0,25(LQ)
Determinação de Cobre (Cu)	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	1000	ug/L	<100 (LQ)
Crómio (Cr)*	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	50	ug/L	< 10 (LQ)
Chumbo (Pb)*	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	10	ug/L	< 0,25 LQ
Mercúrio (Hg)*	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	1	ug/L	48,8
Arsénio (As)*	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	10	ug/L	< 2,5 LQ
Enxofre*	SMEWW 3120B/3030E:2017 23ª edição	---	mg/L	11,20

#### Apreciação

Os valores limites são referentes ao decreto lei 180/2004 de 15 de Setembro - Regulamento sobre a qualidade da água para o consumo humano.

Fernando Gubudo  
(Gestor de Qualidade)

O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação.  
A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação.

Os resultados são referentes às amostras analisadas, conforme recepcionadas. Os dados fornecidos pelo Cliente são da sua responsabilidade.  
A reprodução proibida sem a permissão do laboratório, salvo na íntegra.  
Sempre que o resultado da amostra estiver associado ao sinal ( $\pm$ ), quer dizer que a amostra apresenta valor da incerteza associada ao respectivo ensaio.  
A incerteza é determinada com grau de confiança a 95% e k igual a 2.  
As opiniões e apreciações estão fora do âmbito da acreditação. Na declaração da conformidade para a regra de decisão não é contabilizada a incerteza.

## Relatório de Ensaio nº 6384

**Cliente:** Água da Região de Maputo  
**Endereço:** Avenida Eduardo Mondlane, nº 1352, 5º andar  
**Cliente nº:** 0014/11

**Versão:** 1  
Rel. Ensaio Definitivo

**Tipo Amostra:** Águas de Consumo

**Data de Colheita:** 18/03/2019

**Ponto de Amostragem:** Boane \_ ETA - Fipag

**Data de Recepção:** 18/03/2019

**Data Início Análise:** 18/03/2019

**Responsável pela Amostragem:** Joel Francisco Macandja

**Data Fim Análise:** 12/04/2019

**Data de Emissão:** 12/04/2019

Ensaio	Método Analítico	Valor Limite	Unidades	Amostra
				Amostra 11641 Captacao - prof. 1,0m
<b>Parâmetros Microbiológicos</b>				
Quantificação de Clostridium Sulfito	NP EN 26461-2:1994	---	UFC/20mL	185
Redutores*				
Quantificação de Coliformes fecais	MI.PE/SwissLab/ML/003 (Rev.4)	<1	UFC/100mL	>100
Quantificação de Bactérias	MI.PE/SwissLab/ML/002 (Rev.4)	<1	UFC/100mL	> 100
Coliformes				
Quantificação de Escherichia coli	MI.PE/SwissLab/ML/003 (Rev.4)	---	UFC/100 mL	8100
Pesquisa e Quantificação de Enterococos fecais	ISO 7899-2:2000	---	UFC/100 mL	59
Determinação de Microrganismos Viáveis a 36°C	ISO 6222:1999	---	UFC/ mL	>300
<b>Parâmetros Físico-Químicos</b>				
Alcalinidade Total*	SMEWW 2320B:2012	---	mg/L	182
Condutividade (25°C)*	SMEWW 2510B:2012	50 - 2000	µmho/cm	558,0
pH (25°C)	MI.IT/SWISSLAB/FQL/007 (Rev.3)	6,5 - 8,5	Sorensen	7,3
Salinidade*	SMEWW 2520B:2012	---	mg/L	0,30
Sólidos Totais Dissolvidos*	MI (IT/SWISSLAB/FQL/008)	1000	mg/l	296
Sólidos Suspensos Totais*	SMEWW 2540D:2012	---	mg/L	12,0
Temperatura*	SMEWW 2550 B:2012	---	°C	22
Turvação*	SMEWW 2130B:2012	5	NTU	0,58
Alumínio (Al)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	200	ug/L	172
Amoníaco (NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup>	SMEWW 4500-NH3 D:2012	1,5	mg/L	< 0,04 (LQ)
Antimónio (Sb)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	5	ug/L	< 2,5 (LQ)
Arsénio (As)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	10	ug/L	< 2,5 LQ
Bário (Ba)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	700	ug/L	102
Bérblio (Be)*	SMEWW 3120B:2012	5	mg/L	< 0,001 (LQ)
Bicarbonatos*	SMEWW 2320B:2012	250	mg/L	182
Boro (B)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	300	ug/L	< 50 (LQ)
Cádmio (Cd)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	3	ug/L	< 0.25(LQ)
Cálcio (Ca)	SMEWW 3120B/3030E:2012	50	mg/L	43
Chumbo (Pb)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	10	ug/L	< 0,25 LQ
Cloretos (Cl)*	SMEWW 4500-Cl B:2012	250	mg/L	113

LQ - Limite de Quantificação; UFC - Unidades Formadoras de Colónias; NTU - Number of Transfer Units; TCU - True Colour Unit; MLPE/SwissLab - Método Interno de Procedimento de Ensaio; SMEWW - Standard Method of Examination of Water and Wastewater; EPA - Environmental Protection Agency; DIN - Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normalização); BS - British Standard; EN - European Standard; NP - Norma Portuguesa; ISO - International Organization for Standardization

O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação.  
A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação.

Os resultados são referentes somente às amostras analisadas. Reprodução proibida sem a permissão do laboratório, salvo na íntegra.

Sempre que o resultado da amostra estiver associado ao sinal (±), quer dizer que a amostra apresenta valor da incerteza associada ao respectivo ensaio.

## Relatório de Ensaio nº 6384

**Cliente:** Água da Região de Maputo  
**Endereço:** Avenida Eduardo Mondlane, nº 1352, 5º andar  
**Cliente nº:** 0014/11

**Versão:** 1  
Rel. Ensaio Definitivo

**Tipo Amostra:** Águas de Consumo  
**Ponto de Amostragem:** Boane \_ ETA - Fipag

**Data de Colheita:** 18/03/2019  
**Data de Recepção:** 18/03/2019  
**Data Início Análise:** 18/03/2019  
**Data Fim Análise:** 12/04/2019  
**Data de Emissão:** 12/04/2019

**Responsável pela Amostragem:** Joel Francisco Macandja

Ensaio	Método Analítico	Valor Limite	Unidades	Amostra
				Amostra 11641 Captacao - prof: 1,0m
Cobalto (Co)*	SMEWW 3120B:2012	0,05	mg/L	< 0,001 (LQ)
Cobre (Cu)	SMEWW 3120B/3030E:2012	1000	ug/L	<0.25 (LQ)
Crómio (Cr)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	50	ug/L	< 10 (LQ)
Demanda Bioquímica de Oxigenio (DBO5)*	SMEWW 5210B:2012	---	mg/L	12,0
Demanda Química de Oxigénio (DQO)*	SMEWW 5220D:2012	150	mg/L	59,0
Dureza Total*	SMEWW 2340C:2012	500	mg/L	259
Ferro (Fe)*	SMEWW 3120B:2012	300	ug/L	<b>507</b>
Fluoreto (F)*	SMEWW 4500-F D:2012	1,5	mg/L	0,40
Manganês (Mn)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	100	ug/L	<b>149</b>
Matéria Orgânica (Oxidabilidade)*	NP EN ISO 8467:2001	2,5	mg/L	<b>3,9</b>
Silício (Si)*	SMEWW 3120B:2012	---	mg/L	0,231
Sódio (Na)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	200	mg/L	111
Zinco (Zn)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	3000	ug/L	< 100 (LQ)
Fenóis*	EPA 8131/ EPA 8091	---	ug/L	Ausente
Pesticidas Totais (screen)*	EPA 8081A/ DIN 38407-2	Absent	ug/L	Ausente (Absent)
Fósforo Total (P)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	100	ug/L	96,0
Anidrido Carbónico Livre*	SMEWW 4500-CO2 C:2012	---	mg/L	< 0,01 (LQ)
Fosfato (PO <sub>4</sub> ) <sup>-3</sup> *	SMEWW 4500-P E:2012	50	mg/L	0,03
Mercúrio (Hg)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	1	ug/L	< 0.25(LQ)
Molibdénio (Mo)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	70	ug/L	< 25 (LQ)
Nitrato (NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup> *	SMEWW 4500-NO3 B:2012	50	mg/L	< 0,10 (LQ)
Níquel (Ni)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	20	ug/L	< 5 (LQ)
Nitrito (NO <sub>2</sub> ) <sup>-</sup> *	SMEWW 4500-NO2 B:2012	3	mg/L	< 0,03 (LQ)
Oxigênio Dissolvido*	SMEWW 4500-O D:2012	---	mg/L	7,20
Potássio (K)*	SMEWW 3120B:2012	---	mg/L	5,991
Selénio (Se)*	SMEWW 3120B/3030E:2012	10	ug/L	< 2,5 (LQ)
Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup> *	SMEWW 4500-SO4 E:2012	250	mg/L	10,5
Sulfuretos*	SMEWW 4500-S F:2012	---	mg/L	< 0,001 (LQ)

### Parâmetro Organolético

O ensaio assinalado com \* não está incluído no âmbito da acreditação.  
A amostragem não está incluída no âmbito da acreditação.

Os resultados são referentes somente às amostras analisadas. Reprodução proibida sem a permissão do laboratório, salvo na íntegra.

Sempre que o resultado da amostra estiver associado ao sinal (±), quer dizer que a amostra apresenta valor da incerteza associada ao respectivo ensaio.