



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Proposta de Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

Análise dos impactos causados pelo derramamento de combustível na qualidade de água ao longo do rio Umbeluzi

Autor

Hitten Berito Matsinhe

Quelimane, Março de 2025



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras
Proposta de Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

Análise dos impactos causados pelo derramamento do combustível na qualidade de água ao longo do rio Umbeluzi

Autor

Hitten Berito Matsinhe

Hitten Berito Matsinhe

Supervisor

Eulália Mugabe-Vetter

Prof. Doutora Eulália Mugabe-Vetter

Avaliador

Humberto Mabote

Mestre Humberto Mabote

Presidente de mesa

Banito Bene Magestade

Mestre Banito Bene Magestade

Quelimane, Março de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial a minha mãe a mulher que tem feito de tudo para minha felicidade, minha heroína o amor da minha vida, pois, há quem diga que Deus não pode estar em todos lugares da terra por isso mesmo fez as mães, por isso mesmo digo que Carla Luís Langa é a minha deusa na terra, te amo muito.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus todo-poderoso pelo dom da vida que me ilumina, cuida, e meu deu forças para poder realizar este trabalho que com muito empenho e dedicação chega hoje a realidade.

Agradeço a minha família em geral (Matsinhe e Langa) em especial, o meu tio António Bernardo Taímo por ser um pai para mim, por estar presente em toda minha vida, de igual modo imensurável agradeço a minha heroína minha mãe Carla Luís Langa que de todas as formas cuidou de mim, dedicando a sua vida em me ver feliz, cuidando de mim e me apoiando e me acompanhando em todas as fases da minha vida. Que de forma incessante me apoiou principalmente nesta fase da minha formação, pois, foram momentos de luta intensa, muito aprendizado. Agradeço de igual modo a minha avó Senhora Joanquina Taímo - “a primeira mãe”, o resultado da soma de todos adjetivos já criados pelo homem são insuficientes para descrever esse ser na minha vida e palavras me faltam para lhe agradecer como deve ser. Agradeço também a Sónia Rui Langa - minha segunda mãe” uma das mulheres mais importantes da minha vida, te agradeço por sempre estares aqui por mim em todos momentos da minha vida, por ser minha tia, minha melhor amiga, dou graças a Deus por te ter em minha vida.

Ao corpo docente da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras pela transmissão de conhecimentos durante a fase da minha formação e em especial aos meus supervisores Prof. Doutora Eulália Mugabe Vetter e Mestre Teófilo Ferraz pela dedicação indispensável e valiosos conhecimentos transmitidos para a materialização deste trabalho.

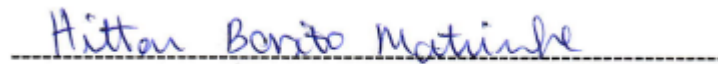
Ao responsável do departamento de Hidrologia da ARA-Sul, o Sr. David Mucambe que me permitiu a ajuda necessária para a realização deste trabalho por meio de informações relevantes ao problema de estudo.

Declaração de honra

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado do meu labor individual. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia, da Universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, Agosto de 2024

Assinatura

A handwritten signature in blue ink, reading "Hitten Berito Matsinhe", is written over a horizontal dashed line.

(Hitten Berito Matsinhe)

Resumo

As acções antropogénicas mostram-se como os maiores contribuintes à poluição dos ambientes marinhos e zonas adjacentes. A poluição que os cursos de água enfrentam, com ênfase para a poluição por derramamento de combustível, não só põe em risco o desenvolvimento económico mundial, como também influencia negativamente no nascimento e sobrevivência dos seres vivos. Assim, com o descarrilamento de um comboio de carga que transportava combustível do tipo *diesel* ocorrido no dia 11 de Fevereiro de 2021 nas margens do Rio Umbeluzi consequentemente poluindo o rio, põe em risco os bens e serviços que o mesmo disponibiliza. A preocupação com a qualidade de água nas margens do Rio Umbeluzi constitui um grande problema para a saúde das populações que vivem nas margens do Rio Umbeluzi que dependem da água deste rio para desempenhar as suas actividades. Um dos maiores problemas é baixa disponibilidade de estudos relacionados a qualidade de água no Rio Umbeluzi. O objectivo primordial desta investigação foi de analisar os impactos causados pelo derramamento do combustível *diesel* na qualidade de água ao longo do rio do Rio Umbeluzi em fevereiro de 2021, especificamente através da análise dos parâmetros físicos-químicos da água do baixo rio Umbeluzi. Para o efeito, foram determinados parâmetros da qualidade da água antes depois da (setembro de 2020 a março de 2022) contaminação, além do atendimento dos limites máximos admissíveis plasmados na legislação nacional e as normas da OMS. Deste modo, foram analisados dados referentes às médias mensais dos indicadores da qualidade de água no período de setembro de 2020 a março de 2022. Foram analisados parâmetros físicos-químicos tais como, turvação, pH, temperatura, cálcio, nitritos, amónio e dureza total. Os resultados indicaram que a turvação (0.73 a 59.36) NTU, os valores da condutividade eléctrica (46.16 a 756.15) $\mu\text{mho/cm}$ e os valores do cálcio (18.6 a 30.83) mg/l, estando estes valores acima dos limites máximos permissíveis, de acordo com as normas moçambicanas e da OMS. Sendo assim, o derramamento do combustível *diesel* ao longo do rio Umbeluzi afectou de forma significativa a qualidade da água do rio Umbeluzi extrapolando os limites máximos permissíveis pela lei das águas e OMS de acordo com os valores da turvação, da condutividade e o cálcio, reduzindo assim a qualidade de água do Rio Umbeluzi.

Índice

1. Introdução	10
1.1. Problematização	12
1.2. Justificativa	13
2. Objectivos	14
2.1. Geral.....	14
2.2. Específicos:	14
3. Fundamentação Teórica/ Revisão bibliográfica.....	15
3.1. Poluição.....	15
3.1.1. Qualidade de água.....	17
3.1.2. Características da qualidade de água	17
3.2. Variáveis de qualidade de água.....	18
3.2.1. Temperatura	18
3.2.2. Turbidez	18
3.2.3. Potencial hidrogeniónico (pH)	19
3.2.4. Dureza	20
3.2.5. Cálcio	20
3.2.6. Condutividade eléctrica.....	20
3.2.7. Nitrito, Nitrato e Amônia.....	20
4. Metodologia	22
4.1. Descrição da área de estudo.....	22
4.1.1. Métodos.....	24
4.1.2. Análise dos parâmetros de qualidade de água.....	25
4.1.3. Comparação os resultados obtidos com normas moçambicanas e da OMS para a qualidade de água para fins de consumo doméstico.....	25
4.1.4. Valores recomendáveis de parâmetros referentes à qualidade de água para fins de consumo doméstico segundo as normas moçambicanas e da OMS.....	26
5. Resultados e discussão	27
5.1.1. Temperatura	27
5.1.2. pH.....	28
5.1.3. Condutividade eléctrica.....	30
5.1.4. Turvação	31
5.1.5. Cálcio	33
5.1.6. Dureza total.....	35
5.1.7. Nitritos	37
5.1.8. Amoníaco	39

6.	Conclusões e recomendações.....	42
6.1.	Conclusões	42
6.2.	Recomendações.....	42
7.	Referências Bibliográficas	43

Lista de abreviaturas e Significados

AdrM- Águas da Região Metropolitana do Grande Maputo

°C- Graus celsius

CFM- Agência ferroviária e portuária de Moçambique

EDTA- ácido etileno diaminotetracético

hm³ - Hectómetros cúbicos

Km- Quilómetros

L- Litros

m³ - Metros cúbicos

m³/s- Metros por segundo

mm³ - Milímetros cúbicos

mg/L- Miligramas por litro

MISAU- Ministério da Saúde

NTU- Nephelometric turbidity units

OMS- Organização Mundial da Saúde

%- Percentagem

Ph- Potencial hidrogeniónico

UNT- Unidades Nefelométricas de Turbidez

µS/cm- microsiemens por centímetro

Lista de figuras

Figura 2: ilustração do descarrilamento do combustível diesel sobre o rio Umbeluzi ao longo da linha de Goba.	16
Figura 4: Variação da temperatura (°C) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.....	27
Figura 5: Variação da pH da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.	28
Figura 6: Gráfico da concentração do pH do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.....	29
Figura 7: Gráfico da variação da condutividade eléctrica (µmho/cm) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.....	30
Figura 8: Gráfico da concentração da condutividade eléctrica (µmho/cm) rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.....	31
Figura 9: Gráfico da concentração da turvação (NTU) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.....	32
Figura 10: Gráfico da concentração da da turvação (NTU) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.....	33
Figura 11: Gráfico variação do cálcio (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de Setembro de 2020 a Março de 2022.....	34
Figura 12: Diagrama de concentração do cálcio (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.	35
Figura 13: Gráfico da variação da dureza (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.....	36
Figura 14: Gráfico concentração da dureza (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.....	37
Figura 15: Gráfico variação dos nitritos (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.....	38
Figura 16: Gráfico da concentração dos dos nitritos (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.	39
Figura 17: Gráfico variação do amoníaco (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.....	40
Figura 18: Gráfico de concentração do amoníaco (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.....	41

Lista de tabelas

Tabela 01: Valores limites e recomendáveis de parâmetros físico-químicos referentes à qualidade de água sem tratamento destinado ao consumo doméstico e seus riscos a saúde pública/humana.....	15
---	----

1. Introdução

A poluição marinha refere-se à introdução directa ou indirecta de determinadas substâncias (nocivas) ou energia nos ecossistemas aquáticos principalmente devido as acções antropogénicas tais como o descarte irregular do plástico, lixo, dejectos urbanos por meio de lançamento de efluentes domésticos e industriais afectando de forma significativa aos ecossistemas marinhos, a vida aquática e por fim afectando a vida dos seres humanos através da cadeia alimentar (Santo, 2000).

A nível mundial, os maiores casos de poluição por derrame de Óleo destaca-se o *Torry Canyon* em 1967 e Exxon Valdez em 1989 (White, 2000; ITOPF, 2001; Barbosa, 2010). Segundo Correia & Bezerra (2015), a poluição por óleo/combustíveis está estimada em torno de 1,3 toneladas por ano. A frequência dos níveis de poluição resulta na degradação rápida e grave dos recursos vivos que prejudica o *ecossistema aquático*, a *economia* e a saúde humana, causando a redução da qualidade de água (Santo, 2000; Gaze, 2005).

A qualidade de água é definida através das características da fonte e que as condições da fonte vão determinar o uso específico, ou seja, a qualidade de água envolve uma complexidade de factores que resumidamente estão intrinsecamente ligados ao uso que se pretende (Casali, 2008; Boana, 2011; Herculano, 2012 e Ramos *et al.* 2019). De um modo geral, as características físicas são determinadas pelas características particulares da bacia ou rio (compreendem a presença de sólidos, condições climáticas, a geologia, o relevo, os solos associados, aspectos de uso e cobertura, matéria orgânica e inorgânica), as químicas (substâncias orgânicas e inorgânicas) e as biológicas (reflete a análise microbiológica e clorofila-a), contudo, os aspectos organolépticos da água transmitem um esclarecimento sobre a presença de determinados contaminantes, sendo assim, as análises químicas são mais relevantes para a detecção dos demais contaminantes (Boana, 2011).

Ao longo da costa de Moçambique já foram registados casos de poluição por hidrocarbonetos, destacando-se **Katina-P** sendo o de maior impacto já registado no país ocorrido em 1992 com um derrame de 67 000m³ de óleo (Uchôa 2014).

Parte da extensão do Rio Umbeluzi é caracterizada de forma paralela a Linha Ferroviária de Goba que consente o transporte de bens e serviços como de passageiros e cargas, de carvão mineral e de combustível facto que conduziu a ocorrência de poluição por combustíveis. Deste modo, o Rio Umbeluzi permite a geração de energia eléctrica, a irrigação em grandes escalas, o consumo directo pelas comunidades ribeirinhas e sobretudo o abastecimento de

água potável para região de Grande Maputo, facto que torna este rio um recurso de alto valor económico (Paulos, 2008; Albino, 2012; Ramos, *et al.*, 2019).

Devido ao alto valor económico e a problemática de poluição que o rio Umbeluzi apresenta, torna-se imprescindível a realização de um estudo de análise dos impactos causados pelo derramamento de combustível *diesel* na qualidade de água ao longo do rio do Rio Umbeluzi.

1.1. Problematização

São comumente registados casos de poluição nos cursos de água afectando a sua qualidade (White, 2000; ITOPF, 2001; Barbosa, 2010; Uchôa, 2014; Bezerra 2015). As principais fontes de poluição são resíduos domésticos, efluentes industriais, resíduos agrícolas, e ainda derrames de combustíveis (Boana, 2011). As actividades de exploração, produção e transporte dos combustíveis, podem ser potenciais poluidoras ou mesmo poluidoras cada vez mais que são levados a cabo actividades de descargas de óleo no ambiente, tornando-se uma ameaça aos ecossistemas, e, sobretudo àqueles costeiros, que, com sua elevada biodiversidade, estão sujeitos aos inúmeros impactos ambientais (Uchôa, 2014).

Segundo os estudos desenvolvidos por Uchôa (2014) e por Scapucin, *et al.* (2018), fazem menção ao transporte do *diesel* como sendo a potencial fonte de poluição por consequências do derramamento do combustível nos diferentes cursos de água, sendo assim, a problemática de poluição que os cursos de água enfrentam, não só põe em risco o desenvolvimento económico mundial (Moreira, 2016), como também implica negativamente no surgimento e sobrevivência dos seres vivos (Paulos, 2008; Gomes, 2011; Notisso, 2020), visto que estes necessitam de um padrão de qualidade de água que respondem as suas exigências fisiológicas e metabólicas (Boana, 2011; Uamusse, 2015).

Perante as evidências do odor forte da água causados pela presença do combustível na água, os residentes ao longa da faixa do Rio Umbeluzi a cerca de 1km da fronteira de Goba relataram a presença do combustível nas glândulas dos peixes, entre outros, a poluição que assola o rio Umbeluzi constitui um problema para as comunidades ribeirinhas, que têm o rio como fonte do seu sustento familiar e consumo próprio para a satisfação das suas necessidades, dificultando cada vez mais a vida da comunidade arredor do rio.

Porém, não existem informações referentes à qualidade da água do rio após o derramamento do combustível em fevereiro de 2021. É nesse contexto que a realização do presente trabalho se insere na perspectiva de contribuir com informações do actual estado da água do respectivo rio, e por fim o enriquecimento da comunidade científica com dados/trabalhos do rio face a escassez dos mesmos sendo que o rio apresenta poucos estudos realizados no mesmo.

Pergunta de pesquisa:

Qual é a influência do derrame do combustível *diesel* na qualidade da água do rio Umbeluzi?

1.2. Justificativa

O Rio Umbeluzi representa uma extrema importância económica, garantindo o fornecimento de água para diversos fins, como a irrigação em escalas industriais, produção de energia eléctrica, garante o consumo directo pela população local, abastece as cidades de Maputo, Matola e distrito de Boane para o consumo doméstico (Albino, 2012).

Portanto, torna-se imprescindível o estudo da qualidade de água ao longo do rio após o derrame de *diesel*, pois o bem-estar da saúde ou a manutenção da qualidade de vida das comunidades que vivem arredor do rio está intrinsecamente relacionado ao estado da qualidade de água do rio Umbeluzi. Assim, garantindo qualidades organoléticas básicas para o consumo, ou seja, qualidades que a primeira impressão seja fácil de julgar a qualidade da água sem apresentar cheiro, sabor e cor, no geral apresentando uma boa condição dos recursos que este rio disponibiliza as comunidades que vivem arredores do rio.

De acordo com Barbosa (2010) e Uchôa (2014), os processos subsequentes a poluição por hidrocarbonetos nos diversos cursos de água, compreendem vários processos tais como, o espalhamento que se dá logo após o derramamento podendo durar até semanas depois, seguida da evaporação (24 horas), dispersão (24 horas), dissolução (24 horas, emulação), (até um ano), a oxidação (até um mês), a sedimentação (indeterminado) e por fim a biodegradação (indeterminado).

Contudo, com o descarrilamento ocorrido no rio Umbeluzi há uma necessidade da elaboração de um estudo da qualidade de água ao longo do rio após o derrame de *diesel* com a finalidade de apresentar de uma forma explicativa e qualificada o comportamento dos parâmetros da qualidade de água do rio após o incidente (descarrilamento do combustível *diesel*), e aferir se a água está em condições de consumo para a comunidade local assim como para os consumidores das Cidades de Maputo, Matola e Vila de Boane.

O estudo irá garantir mais informações sobre a bacia do rio Umbeluzi que vão contribuir para avaliar efeitos nocivos resultantes de qualquer contaminação pelo tempo de permanência da água do Rio. E por fim o enriquecimento da comunidade científica com informações (dados) do rio face a escassez dos mesmos.

2. Objectivos

2.1.Geral

- ✓ Avaliar dos impactos causados pelo derramamento do combustível *diesel* sobre a qualidade de água ao longo do rio Umbeluzi em Fevereiro, 2021.

2.2.Específicos:

- ✓ Determinar os parâmetros físicos e químicos da qualidade da água antes e depois da contaminação;
- ✓ Comparar os parâmetros determinados com os limites de referência estabelecidos pelas normas moçambicanas e pela Organização Mundial da saúde (OMS)

3. Fundamentação Teórica/ Revisão bibliográfica

3.1. Poluição

A poluição marinha refere-se à introdução de substâncias/energia no ambiente marinho causando efeitos negativos, tais como, danos aos recursos vivos, afectando à saúde dos seres humanos e por fim desequilibrando os ecossistemas marinhos (Santo, 2000).

No que tange a poluição por hidrocarbonetos ou derrames petrolíferos, os impactos da primeira grande catástrofe, como ficou conhecido o maior derrame de óleo no mar, o *Torry Canyon* em 1967 que provocou o vazamento de 119.000 toneladas de petróleo bruto (860.000 barris) atingindo a costa sudoeste da Inglaterra e a norte da costa da França, dizimando a vida de mais de 200.000 pássaros e arruinando a indústria pesqueira (White, 200; ITOPF, 2001),

. Destaca-se ainda no acidente com o navio Exxon Valdez de 1989 que após colidir na costa do Alasca derramando cerca de 41.000 m³ de óleo no mar, entrou para história não como um dos maiores acidentes petrolíferos, mas, como um dos mais graves e emblemáticos, matando milhares de aves marinhas, focas, lontras e orcas. Após duas décadas, ainda restavam 95 mil litros de óleo na região sendo que a maior parte debaixo da terra (Barbosa, 2010).

a mitigação dos eventos de poluição como consequência do derramamento de óleos nos diversos ambientes aquáticos levou a comunidade científica e governos dos demais países afectados pela poluição a discutirem e posterior elaboração de tratados internacionais através da criação leis e convecções para esse tipo de situações. A motivação para a criação de tais medidas mitigativas e preventivas para o combate/prevenção da poluição por hidrocarbonetos ganharam mais repercussão após o incidente do *Torry Canyon* (Uchôa, 2014).

Ao longo da costa Moçambicana já foram registados casos de poluição por hidrocarbonetos (Uchôa 2014). Relacionados com o derrame de combustível ao longo tempo destacando o primeiro grande caso de poluição, conhecido por **Katina-P** sendo de maior impacto já registado no país ocorrido em 1992 onde foram derramadas mais de 67 000m³ de óleo no mar (Uchôa 2014).

Com tudo, parte da extensão do Rio Umbeluzi é caracterizada de forma paralela a Linha Ferroviária de Goba que consente o transporte de bens e serviços como de passageiros e cargas, de carvão mineral e de combustível facto que conduziu a ocorrência de poluição por combustíveis. De acordo com o jornal Domingos de 21 de Fevereiro de 2021 relata que, em Fevereiro de 2021 ocorreu um descarrilamento de um comboio (na linha de Goba) transportando combustível *diesel* no território do Reino de Eswatini que culminou com o derrame de cerca de 360 mil litros de combustível *diesel* na linha de Goba (a um quilometro

da fronteira moçambicana de Goba, província de Maputo) facto que culminou com a contaminação do Rio Umbeluzi, segundo o jornal domingo de 21 de Fevereiro de 2021. Após o incidente no rio Umbeluzi o Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos levou a cabo trabalhos de limpezas do rio até a barragem dos libombos.



Figura 1: ilustração do descarrilamento do combustível diesel sobre o rio Umbeluzi ao longo da linha de Goba.

3.1.1. Qualidade de água

De acordo com Uamusse (2015) a condição fundamental para a vida dos seres vivos (plantas e animais) parte da disposição de água de qualidade. Sendo assim, Paulos (2008), Boana (2011) e Uamusse (2015) advogam que a água é o líquido essencial e fundamental para a evolução sustentável da vida no nosso planeta, pelo que com a ausência de água de qualidade impactam directamente na qualidade de vida dos seres vivos.

Entende-se por qualidade de água como características internas que podem ser medidas, de essência física, química e biológica. Tais características quando mantidas dentro dos limites (critérios/padrões) determinarão o uso (Casali, 2008; Boana, 2011; Herculano, 2012; e Ramos *et al.* 2019). Deste modo, a qualidade de água transpõe do conceito bom, e mau para adequado ou inadequado dependendo da finalidade (Herculano, 2012). Sendo assim, mesmo com a subjetividade na definição da qualidade de água, toma-se também a questão adequabilidade para o uso no que diz respeito a saúde humana, pois, a emprego do termo potabilidade da água parte da ausência de quaisquer contaminações microbiológica e toxicológica para uma utilização segura (Herculano, 2012).

Herculano (2012) define água potável como sendo a que é segura para o consumo humano através dos aspectos organoléticos físicos, químicos e biológicos, ou melhor, água potável que não contém germes patogênicos, nem substâncias químicas diferentes das toleráveis e não desagradável pelo seu aspecto, contudo, mediante a esses contextos existem ainda certas subjetividades às condições de qualidade, pois, o grau de reação e resistência dos seres humanos à contaminação pode variar. Por essas razões, os conceitos de qualidade são singulares dentro certas faixas de uso que se sugere, estabelecendo-se padrões de qualidade, (Herculano, 2012).

O estabelecimento de determinados padrões de qualidade de água tem como base suporte legal, ou seja, por meio de legislações que definem os requisitos de acordo com o uso que se pretende (Herculano, 2012). Em Moçambique o regulamento que rege sobre a qualidade de água para o consumo humano foi decretado pelo Ministério da Saúde de Moçambique, através do Diploma Ministerial nº 180/2004.

3.1.2. Características da qualidade de água

- **Físicas**- compreendem os sólidos presentes na água, englobando aspectos estéticos e subjectiva tais como: sabor, cor e temperatura. Estes aspectos levam a um julgamento logo de primeira da água através da aparência, podendo ser de pior qualidade.

- **Biológicas-** envolvem à parte viva da água avaliadas por meio da microbiologia revelando a presença dos reinos animal, vegetal protista abrangendo organismos como fungos, bactérias, algas, helmintos, protozoários e vírus. As análises biológicas são de interesse da Engenharia Sanitária Ambiental e tem como objectivo principal o controle de transmissão de doenças.
- **Químicas-** englobam substâncias dissolvidas capazes de causar alterações nos valores dos parâmetros tais como: alcalinidade, ph, acidez, dureza, ferro e manganês, nitrogênio, cloretos, fosforo, oxigênio dissolvido, matéria orgânica e inorgânica, estes parâmetros são determinados por meio de análises químicas rigorosas por estes apresentarem consequências directas, desejáveis ou evitáveis, nos tipos de uso e consumidores.

3.2.Variáveis de qualidade de água

3.2.1. Temperatura

É a medida da elevação ou diminuição de calor de um determinado sistema/corpo e sua alteração é de forma natural (principalmente energia solar) ou antropogénicas (despejos industriais), sendo assim, a temperatura é um parâmetro físico indispensável, pois a sua variação interfere de forma significativa em outros parâmetros tais como oxigênio dissolvido podendo deste modo afectar o processo de tratamento de água (Uamusse, 2015; Simione, 2018).

O aumento da temperatura da água eleva a velocidade das reações químicas e agravado crescimento de determinadas comunidades aquáticas, ocasionando um acréscimo no consumo de oxigênio dissolvido, além da diminuição da solubilidade de gases dissolvidos (O_2 e H_2S) e terá mau cheiro, por libertação de gases com odores desagradáveis (Uamusse, 2015; Simione, 2018). A temperatura exerce um papel importante no ambiente aquático principalmente nas variáveis físico-químicas. Geralmente, quanto mais a temperatura aumenta, aumentam também a condutividade térmica e a pressão de vapor, e decrementa a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade.

3.2.2. Turbidez

Representa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a coluna de água atribuindo uma aparência turva à mesma. Tem como origem matéria em

suspensão na coluna de água (argila, silte, partículas inorgânicas, areia) detritos orgânicos, algas e bactérias (Casali, 2008; Boana, 2011; Uamusse, 2015).

O elevado teor de turbidez na coluna de água é directamente proporcional à quantidade de matéria orgânica e inorgânica em suspensão, abrigando microrganismos e diminuindo a eficiência no que tange ao tratamento químico ou físico da água (Casali, 2008).

A fonte da turvação da coluna de água tem diversas origens com destaque para, a época chuvosa contribui significativamente para o aumento da turvação da água através da erosão nas margens dos rios, também os esgotos sanitários e diferentes efluentes industriais também interferem para o aumento da turvação, com a alta turvação limita a fotossíntese, a vegetação enraizada submersa e algas, com o baixo desenvolvimento de plantas é directamente proporcional ao desenvolvimento dos peixes (Boana, 2011). A turvação atribui uma má aparência à água, limita a penetração da luz na água, interferindo de forma negativa à fotossíntese e por fim provocando problemas de saúde por consequência da associação aos microrganismos (Boana, 2011).

3.2.3. Potencial hidrogeniónico (pH)

O pH é um parâmetro químico que evidencia a intensidade do ácido ou base na coluna de água ou concentração de iões de H^+ em uma amostra. A água destinada ao consumo humano deve apresentar valores de pH em intervalos de 6.5-8.5.

Valores do pH da água do rio acima do muito abaixo (6.5-8.5) são considerados ácidos e muito acima do (6.5 a 8.5) são considerados alcalinos, sendo prejudicial à saúde, causando problemas como irritação na pele e nos olhos, consequente afectando o sabor da água, deste modo, a maioria dos organismos marinhos se desenvolve em águas com pH em torno de 7.8 a 8.4 com tudo as acções antrópicas tem como consequências acidificação dos oceanos por meio do aumento do dióxido de carbono na atmosfera, reduzindo deste modo o pH da água do rio prejudicando de forma significativa os organismos marinhos (corais e moluscos) (Casali, 2008; Boana, 2011; Uamusse, 2015). Os valores de pH determinam o poder solvente da água, sendo assim, os processos biológicos (fotossíntese e respiração), os processos de turbulência e aeração tem uma interferência directa no pH através da variação do dióxido de carbono, a descargas de efluentes contribui para a modificação do pH nos corpos de água (Boana, 2011).

3.2.4. Dureza

A dureza da água refere-se à concentração de certos minerais, principalmente de cálcio e magnésio (Ca^{+2} e Mg^{+2}) dissolvidos na água, sendo, quando a água contém altas concentrações de minerais considera-se como água dura (Casali, 2008; Uamusse, 2015).

Actualmente usa-se o método de titulação com EDTA (ácido etileno diaminotetracético), para analisar a dureza:

- Menor que 50 mg/L CaCO_3 – água mole;
- Entre 50 e 150 mg/L CaCO_3 – água com dureza morada;
- Entre 150 e 300 mg/L CaCO_3 – água dura;
- Maior que 300 mg/L CaCO_3 – água muito dura (Uamusse, 2015).

3.2.5. Cálcio

O cálcio é um elemento muito abundante na água, podendo variar de zero a centenas de mg/L por influência do tipo fonte de água e das características geológicas, sendo as principais fontes a existência de rochas nas margens do rio ou no fundo do rio e através da libertação por meio do processo de intemperismo. O cálcio é elemento principal responsável pela dureza da água, onde, precipita-se em elevadas temperaturas (Boana, 2011).

3.2.6. Condutividade eléctrica

É a designação dada à água capaz de transmitir a corrente eléctrica através da presença de cations/aniões, ou seja, é a expressão numérica da habilidade da água de transportar a corrente eléctrica que é geralmente expressa à temperatura padrão de 25°C , originada através da dissolução iónicas. A sua medição é feita através de um condutivímetro que fornece resultado em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou em milisiemens por centímetro (mS/cm) (Boana, 2011; Uamusse, 2015).

A condutividade eléctrica fornece um adequado indicativo das modificações na composição da água, principalmente na concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação quantidades relativas dos vários componentes, com tudo, os valores excessivos podem indicar características corrosivas da água (Boana, 2011).

3.2.7. Nitrito, Nitrato e Amônia.

Os nitritos, nitratos e a amônia, são a forma mais oxidada e estável do nitrogénio, sendo elementos muito solúveis em água e suas concentrações elevadas como consequência de

acções antropizadas (Casali, 2008; Boana, 2011; Uamusse, 2015). Estes elementos representam a forma reduzida do nitrogênio, funcionando como indicador de poluição da água por meio de lançamento de esgotos de elevada carga orgânica. Geralmente em ambientes marinhos encontram-se em concentrações moderadas como metabólito natural do método nitrificação (onde há a conversão da amônia/ nitrito em nitratos), estes elementos são imprescindíveis para o crescimento de algas, mas, em excesso, podem proporcionar um crescimento/desenvolvimento exagerado desses organismos (eutrofização) (Boana, 2011; Uamusse, 2015).

4. Metodologia

4.1.Descrição da área de estudo

O presente estudo foi realizado no rio Umbeluzi, que está localizado na região sul do território moçambicano (Moçambique, figura 1). De acordo com Boana (2011) e Albino (2012), o rio Umbeluzi nasce precisamente no Reino da Swazilândia a oeste com a África do Sul apresentando dois principais afluentes rios *black m'buluzi* e o *white m'buluzi*, sendo que estes dois afluentes confluem com o principal rio a aproximadamente 22 km da fronteira de Goba localizada no Posto Administrativo de Changalane no Distrito de Namaacha (Albino, 2012). Por consequência de uma garganta cortada nas cordilheiras dos Pequenos Libombos (Moçambique) no território moçambicano garantindo assim acesso ao rio Umbeluzi (Muchangos, 1999).

Deste modo, ao atravessar os Pequenos Libombos, a bacia do rio Umbeluzi foi represada para a edificação da Barragem dos Pequenos Libombos, com uma capacidade de 391,52 hm³, alocadas para o abastecimento de água as cidades de Maputo e Matola e distrito de Boane (Notisso, 2020). Com vista à captação de água potável destinada à cidade capital de Moçambique (Maputo) e para a irrigação de mais de 12.000 hectares dos quais, 10.500 hectares a jusante, por gravidade e 1.500 hectares a montante por bombagem (Muchangos, 1999).

Deste modo, a área de estudo do trabalho em causa compreende a montante da barragem até o baixo curso da bacia do rio Umbeluzi localizada no distrito de Boane (concretamente na fronteira de Goba no distrito de Namaacha) a Sul da província de Maputo, sendo esta 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, no território moçambicano (Boana, 2011; Albino, 2012).

Sendo assim, a margem esquerda aflui o rio Moveene próximo a vila de Boane os grandes Libombos dão origem a uma boa parte dos afluentes e subafluentes presentes no território moçambicano, e na maioria dos anos tanto Calichane assim como Moveene sofrem com o fenómeno de seca no período de estiagem (Albino, 2012).

A confinação presente ao norte da bacia rio Umbeluzi dá origem a uma ligação com os rios Incomáti e Maputo e no lado sul da bacia de Umbeluzi com as bacias dos rios Maputo e Tembe, no que diz respeito a foz do Umbeluzi encontram-se os estuários dos rios Tembe,

Matola e Infulene comumente denominado de estuário Espírito Santo - localizado junto aos Portos de Maputo (Albino, 2012).

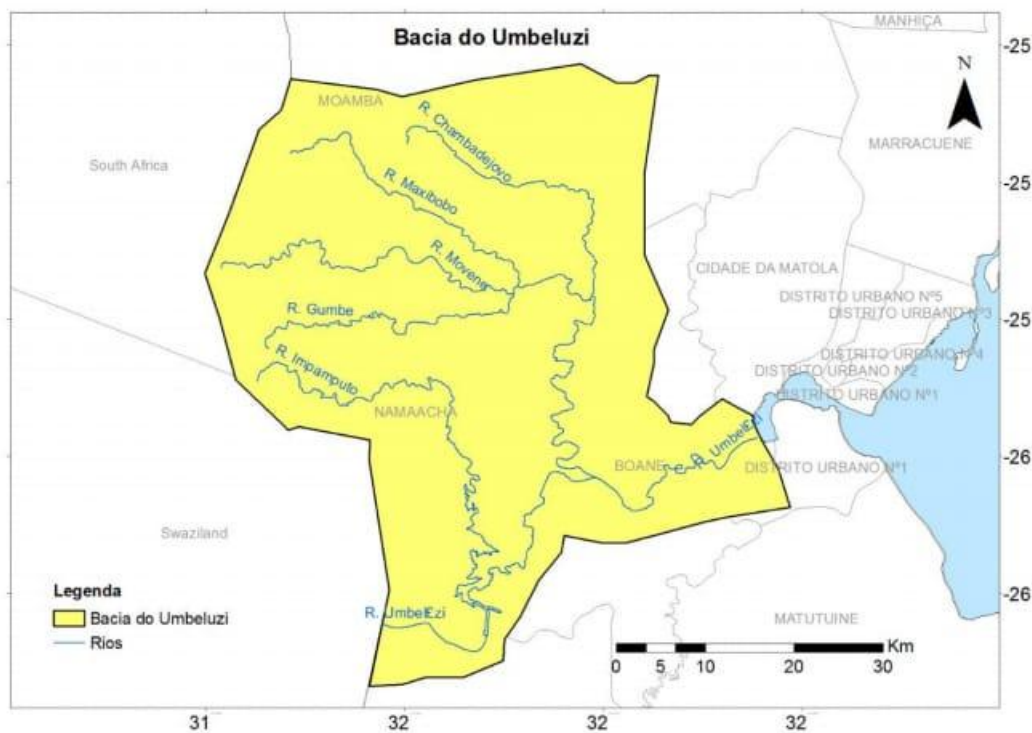


Figura 1: Localização da área de estudo mostrando os locais atravessados pelo rio. Elaborado pelo autor (QGIS).

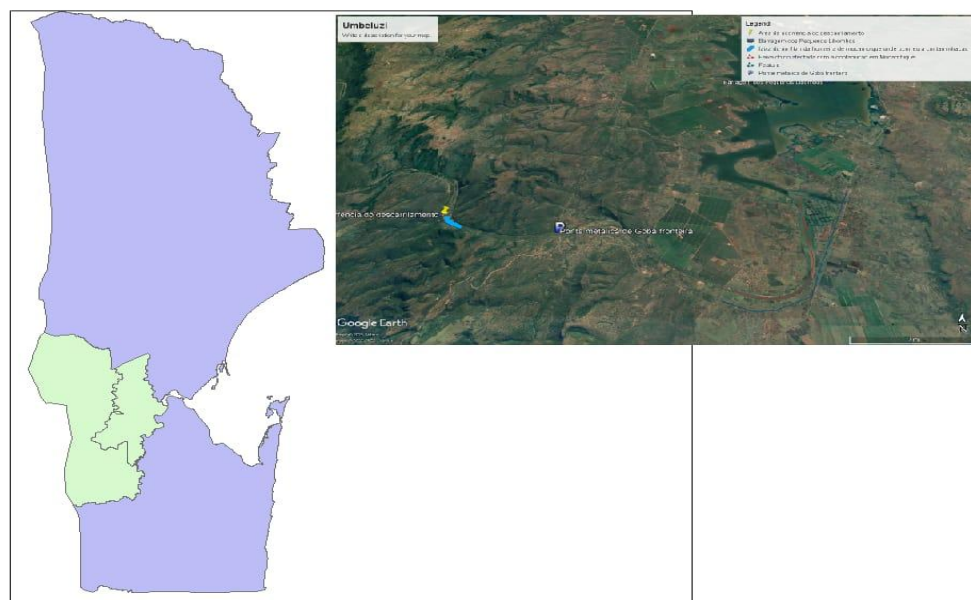


Figura 02: Ilustração do trajeto/alcance da contaminação por combustível diesel ao longo da superfície do rio Umbeluzi.

O caudal do rio durante a variação do ano sofre algumas variações em função do clima predominante na região, que apresenta duas estações: chuvosa (Outubro-março) e seca (Abril-Setembro), o rio Umbeluzi apresenta um caudal de máximo estimado de $10.220 \text{ m}^3/\text{s}$ e um caudal máximo provável de $4.200 \text{ m}^3/\text{s}$, com uma descarga que a seção dos pequenos libombos drena uma área de 3.900 km^2 das quais 800 km^2 se localizam em Moçambique (Albino, 2012, Notisso, 2020).

O clima que caracteriza a área norte e sul da bacia do Umbeluzi é o clima seco de estepe com estação seca no inverno, diferentemente da região de Goba, com o tipo de clima tropical chuvoso de savana, e na área ocidental numa pequena parte junto a Namaacha o clima é temperado húmido sem estação seca, (Albino, 2012).

O rio Umbeluzi é caracterizado pelo clima sub-húmido com uma média anual de 24°C e com uma alteração do regime pluvial ao longo do ano cerca de 700 mm^3 apresentando duas estações distintas, sendo inverno que vai de Abril a Setembro e verão que ocorre de Outubro a Março e com a humidade relativa média anual de 80,5%, variando de um máximo de 86% em Julho e um mínimo em Novembro de 73,55%. No que diz respeito ao uso do solo, predominam as culturas de banana e citrinos, consumindo cerca de 17,5% dos recursos hídricos do baixo Umbeluzi (Notisso, 2020).

No que caracteriza a vegetação, esta era formada por uma floresta densa ou aberta com a abundância das espécies da família das *Sapotaceae* localizadas na cordilheira dos Libombos. Por consequência do abate, das queimadas para o fabrico de carvão maior parte das encostas tornaram-se amplamente recoberta por savanas reduzindo as florestas em pequenas manchas. Na cordilheira dos Pequenos Libombos era predominada por uma floresta aberta com savana de *Albizia*, *Afzeli*, *Sclerocarva*, *Strtchnos* e esse tipo de vegetação ainda se encontra pouco preservada, dando espaço para áreas de pastagem e agricultura, promovendo manchas de savana secundárias e árvores de fruto espontâneas (Albino, 2012).

4.1.1. Métodos

No presente estudo foram usados dados dos parâmetros da qualidade de água ao longo da porção do rio que corre no território moçambicano, de um período de setembro de 2020 a janeiro 2021 (antes da contaminação azul claro), fevereiro de 2021 mês da contaminação (vermelho), de Março de 2021 à Março 2022 (depois da contaminação, azul). Os dados para a realização do presente trabalho foram obtidos na Águas da Região Metropolitana do Grande

Maputo ADrM (AdrM) instituição sediada em Maputo. Foram analisados dos seguintes parâmetros físico-químicos, temperatura, turbidez, condutividade, nitritos, amónio, dureza.

4.1.2. Análise dos parâmetros de qualidade de água

A realização das análises dos parâmetros de qualidade de água do rio Umbeluzi (antes e depois da contaminação) foi realizada com base nos dados obtidos na ADrM, a análises dos parâmetros de qualidade de água do rio Umbeluzi foi feita através do auxílio do programa computacional *Microssoft excel*, onde, com o auxílio deste mesmo programa plotou-se os gráficos em forma de histogramas correspondentes aos dados das médias mensais.

4.1.3. Comparação os resultados obtidos com normas moçambicanas e da OMS para a qualidade de água para fins de consumo doméstico

Para a comparação dos dados obtidos na ADrM, será possível através dos valores dos padrões máximos permitidos ou legislados pela Organização Mundial da Saúde e das normas Moçambicanas ou seja do boletim da república de Moçambique de 15 de Setembro de 2004, através do diploma ministerial número 180/2004, que aprovou o regulamento sobre a Qualidade de Água para o Consumo Humano, que estabelece parâmetros de qualidade de água destinada ao consumo humano e as suas respectivas modalidades de realização do seu controlo, através da lei número 16/91 de 3 de Agosto (Lei de Águas). Este regulamento confere ao Ministério da Saúde competências com o objectivo de garantir o controlo da qualidade de água para que possa ser considerada potável ou propícia para o consumo humano. Serão tomados em consideração os dados correspondentes as médias mensais do período de análise de Setembro de 2020 (antes da contaminação) à Março de 2022 (depois da contaminação).

No presente trabalho, o estado da qualidade de água ao longo do rio Umbeluzi é determinada através dos dados das propriedades físico-químicas (cor, turbidez, pH, temperatura, oxigénio dissolvido, sódio, cálcio, sólidos em suspensão, nitrito, nitrato, amónio, dureza) adquiridas na ADrM onde, serão comparados com a OMS e normas moçambicanas. Esta comparação fez-se através do auxílio do pacote *Microsoft Excel* onde, foram plotados gráficos que demonstrarão o comportamento das amostras de água de cada ponto de acordo com o parâmetro em análise, onde serão lidos os valores que o gráfico demonstrará e assim o mesmo será debatido/discutido com os da OMS e as normas moçambicanas.

4.1.4. Valores recomendáveis de parâmetros referentes à qualidade de água para fins de consumo doméstico segundo as normas moçambicanas e da OMS

Parâmetros da qualidade de água	Normas moçambicanas	Normas da OMS		Riscos para a saúde público-humana
	Limite máximo admissível	Valor desejável	Valor prejudicial	
Parâmetros organoléticos e físicos-químicos				
Condutividade (µhmo/cm)	50-2000	750	2250	-----
ph	6,5-8,5	7.0-8.5	6.5-9.2	Sabor, corrosão, irritação da pele
Turvação (NTU)	5	----	----	Aparência, dificulta a desinfecção
Temperatura °C	-----	----	----	-----
Cálcio (mg/l)	50		75	Aumenta a dureza da água
Nitritos (mg/l)	3.0	0.50	-----	Reduz o oxigénio no sangue
Dureza (mg/l)	500	----	100	Depósitos, corrosão e espumas
Amônio (mg/l)	1.5	1.5	----	Sabor e cheiro desagradável

Fonte: (MISAU, 2004; Boana, 2011).

5. Resultados e discussão

5.1.1. Temperatura

A temperatura da água do rio Umbeluzi variou entre 19.28 °C e 27.29 °C de setembro de 2020 a março de 2022. Observou-se um aumento até janeiro de 2021 (27.29 °C), seguido de um declínio até julho de 2021 (19.28 °C) e uma nova subida gradual até março de 2022 (25.57 °C).

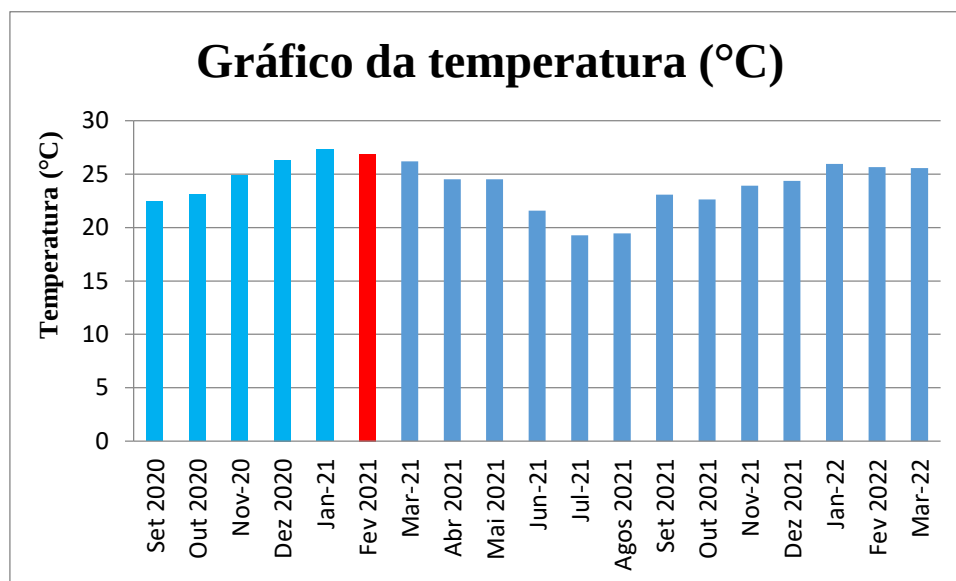


Figura 2: Variação da temperatura (°C) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

Para Albino (2012) e Notisso (2020) o caudal do rio Umbeluzi durante ano sofre algumas variações associadas às estações do clima de Moçambique: a chuvosa (outubro-março) e a seca (abril-setembro), sendo que no verão a radiação solar intensifica o aquecimento da água.

Acrescenta Ibrahim & Azza H (2000), Albino (2012) e Uamusse (2015) que a análise deste indicador representa uma importância significativa/indispensável, pois, a sua variação interfere de forma significativa nos parâmetros (físico-químicos e biológicos), que afecta o processo de tratamento da água, corrobora Albino (2012), que a variação da temperatura pode ocorrer muitas das vezes de forma natural assim como por meio de despejos industriais causando zonas de calor que afectam de forma directa os organismos aquáticos. A variação da temperatura da água implica de forma significativa causando mau cheiro, por libertação de gases com odores desagradáveis (Uamusse, 2015; Simione, 2018). Deste modo, importa referir que foi em fevereiro de 2021 em que ocorreu o descarrilamento na faixa do Rio Umbeluzi, associado a este aspecto importa frisar o relato das comunidades que vivem ao

longo do rio ou perto do local do incidente a presença do odor forte da água causados pela presença do combustível na água.

Resultados similares foram observados por Eseimokumoh & Woyintonye, (2022) e por (Glória C. F., 2016) indicando o incremento da temperatura como sendo por consequência da presença do combustível na coluna de água.

De acordo com as normas moçambicanas assim como as da OMS, estas não estabelecem um limite máximos da temperatura para a água destinada ao consumo humano. Pelo que, pode-se assim afirmar que os valores da temperatura podem influenciar na qualidade de água podendo causar repulsa assim como não, dependendo de cada organismo.

5.1.2. pH

Das análises dos valores do pH correspondentes aos meses de Setembro de 2020 a Março de 2022, o gráfico (da figura 3) indica uma decremento dos valores do pH de Setembro de 2020 (7.59) a Novembro de 2020 (7.34), de Novembro de 2020 o gráfico regista uma subida ate o mês de Dezembro de 2020 (7.76), observando uma queda em fevereiro de 2021 (7.03), verificando uma subida no mês de Agosto de 2021 (7.77), até observar o seu pico no mês de Janeiro de 2022 (7.81) e por fim vai representando decrementos bruscos no índice do pH para marco de 2022 (7.03).

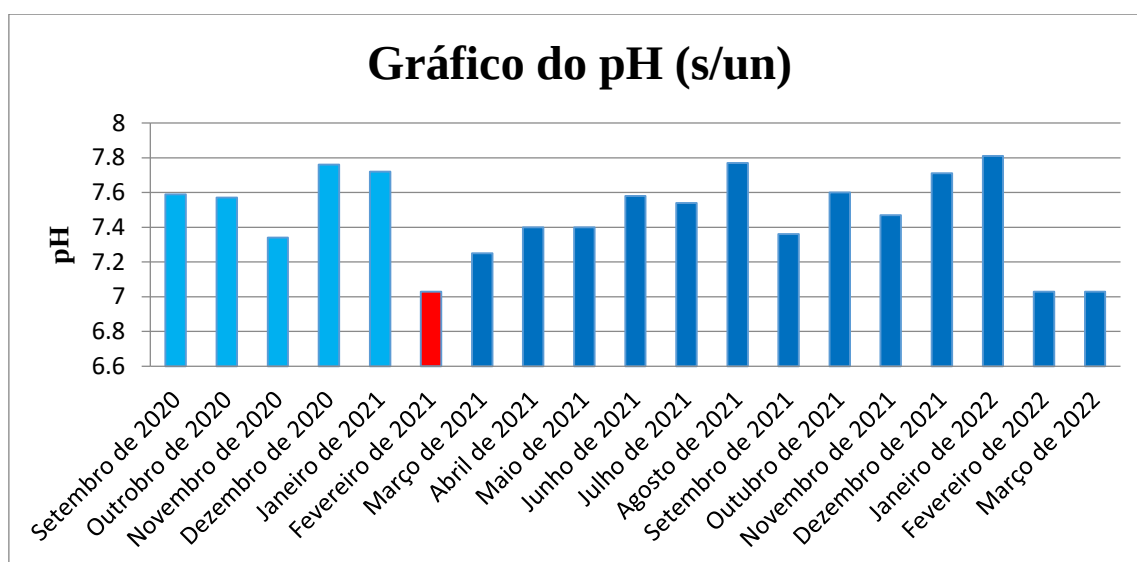


Figura 3: Variação da pH da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

De acordo com Albino (2012) e Notisso (2020), as variações dos valores do pH setembro para novembro de 2020 indicam que o Rio Umbeluzi é um sistema aberto/dinâmico e que esta sujeito a vários factores interagindo entre si (uma contaminação contínua), a subida em

dezembro de 2020 são por consequência dos processos naturais de alcalinização, que reduzem a poluição e dissolvem os minerais alcalinos, ou também, pela intervenção das entidades responsáveis pela recuperação do combustível no rio, as variações moderadas de dezembro para agosto de 2021 indicam que o rio está a corresponder aos processos de alcalinização, a queda em fevereiro de 2021 associa-se a época chuvosa ao longo rio Umbeluzi que de certa forma contribuem para a taxa de diluição dos minerais (Albino, 2012 e Notisso 2020). O pico observado no mês de Janeiro 2022 de indicam uma tendência a alcalinidade da água como consequência de processos naturais e sazonais, sendo assim, a queda do pH observada em janeiro de 2022 associam-se a determinados processos naturais como, mudanças nas condições meteorológicas aumentando deste modo a quantidade dos contaminantes, visto que a temperatura influência directo sobre o pH da água, pois, quanto maior for a temperatura da água torna o pH da água básico, (Ibrahim & Azza H, 2000).

Deste modo, resultados aproximados a esses foram verificados por Glória, (2016); Ibisi, Ojo, & Ano, 2017); Frank & Boisa, (2018) e Olalekan, Adedoyin, Nimisngha, Odipe, & Olalekan (2018), advogam que o pH água sofreu influência da presença do combustível na coluna de água.

Contudo os valores da concentração do pH foram básicos. Sendo assim, os valores do pH permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela legislação moçambicana e abaixo dos limites da OMS, deste modo, água do rio Umbeluzi é apta para o consumo humano.

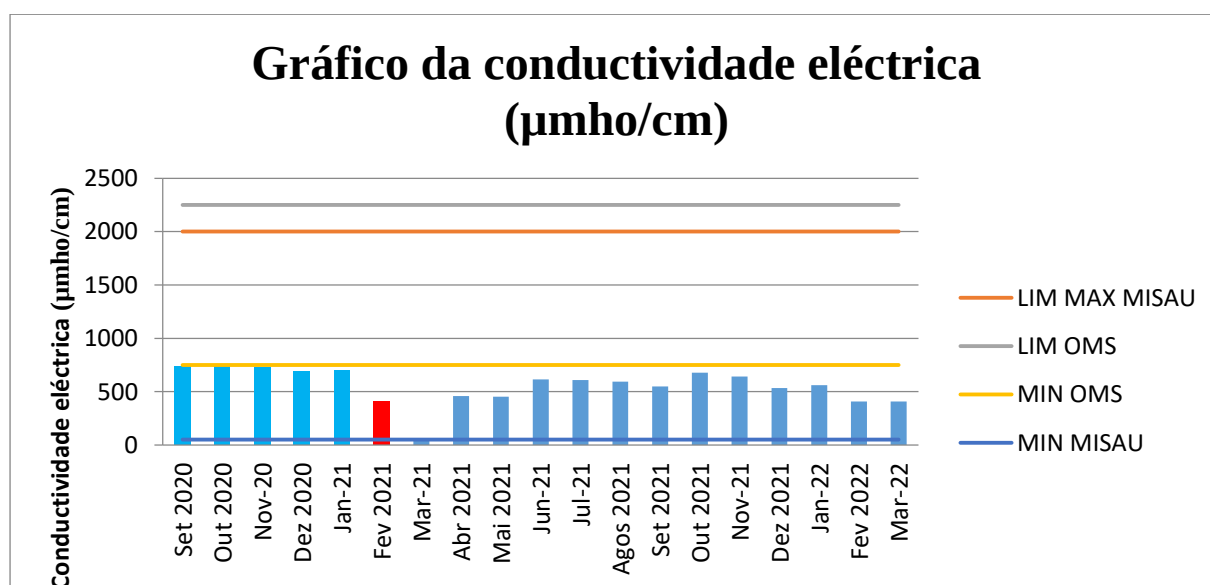


Figura 4: Gráfico da concentração do pH do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

5.1.3. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica do rio Umbeluzi variou significativamente no período analisado. Observou-se um pico em outubro de 2020 (756.15 $\mu\text{mho/cm}$), seguida de variações moderadas até registar o mínimo em março de 2021 (46.16 $\mu\text{mho/cm}$) de seguida o gráfico demonstra variações graduais até o mês de outubro de 2021 (678.94 $\mu\text{mho/cm}$) e por fim os valores da condutividade tendem a descer até março de 2022 (408.24 $\mu\text{mho/cm}$).

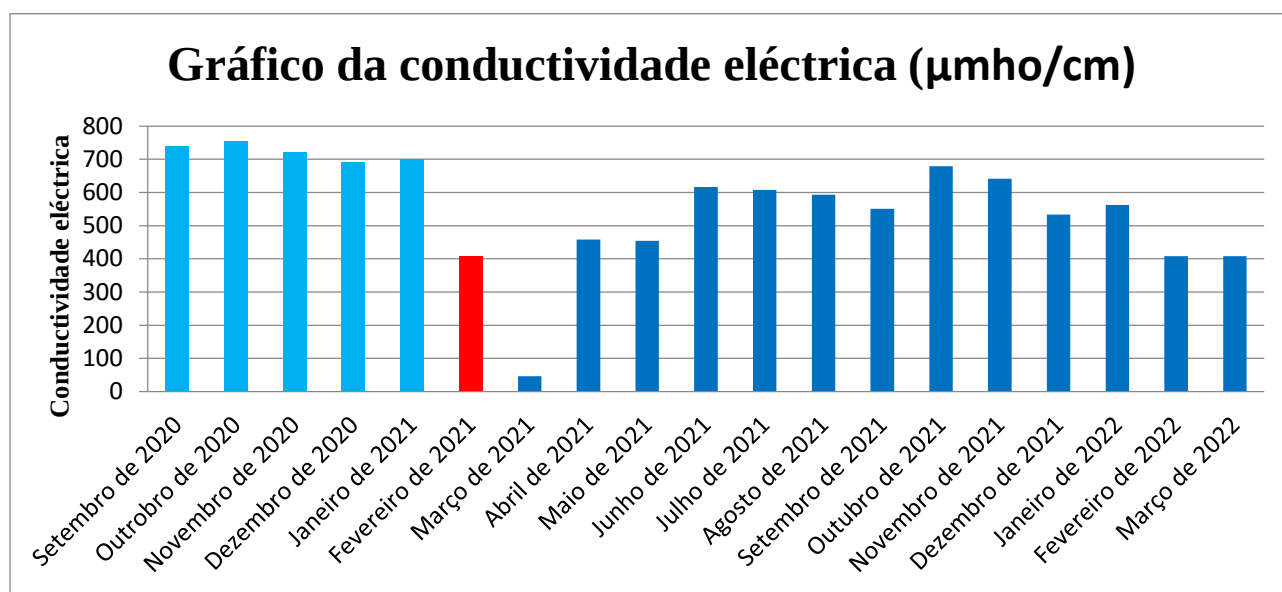


Figura 5: Gráfico da variação da condutividade eléctrica ($\mu\text{mho/cm}$) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

O pico dos valores da concentração da condutividade eléctrica registrado em outubro de 2020, esta associada a baixa taxa da precipitação que se faz sentir nessa época e o baixo fluxo do rio que consequentemente aumentando o acúmulo dos minerais dissolvidos, (Albino, 2012 e Notisso, 2020). A que dos valores da concentração da condutividade eléctrica outubro de 2020 para março 2021 esta associada a factores como, a alta taxa de precipitação (700 mm^3) que ocorre nessa época do ano, a influência que as estações do ano exercem sobre o caudal do rio, a solubilidade dos gases/sais dissolvidos, comprometendo o processo de tratamento da água do Umbeluzi (Albino, 2012 e Notisso, 2020). Corrobora Boana, (2011) que, a condutividade eléctrica por si só não é prejudicial à saúde humano mas, sua alta concentração pode indicar excesso de sólidos totais dissolvidos, tornando a água impalatável, alterando seu gosto e favorecendo corrosão em tubulações e com o consumo prolongado dessa água pode levar ao acúmulo de sais na corrente sanguínea e ao desenvolvimento de cálculos renais.

Resultados similares a esses foram observados por Ibrahim & Azza H (2000) e Eseimokumoh & Woyintonye, (2022) reforçando a necessidade do monitoramento da qualidade da água das zonas afetadas pela presença do combustível na coluna de água.

Os valores da condutividade eléctrica registados ao longo do rio Umbeluzi, estiveram muito os limites estabelecidos pela legislação moçambicana e da OMS, sendo assim a água é apta para o consumo humano.

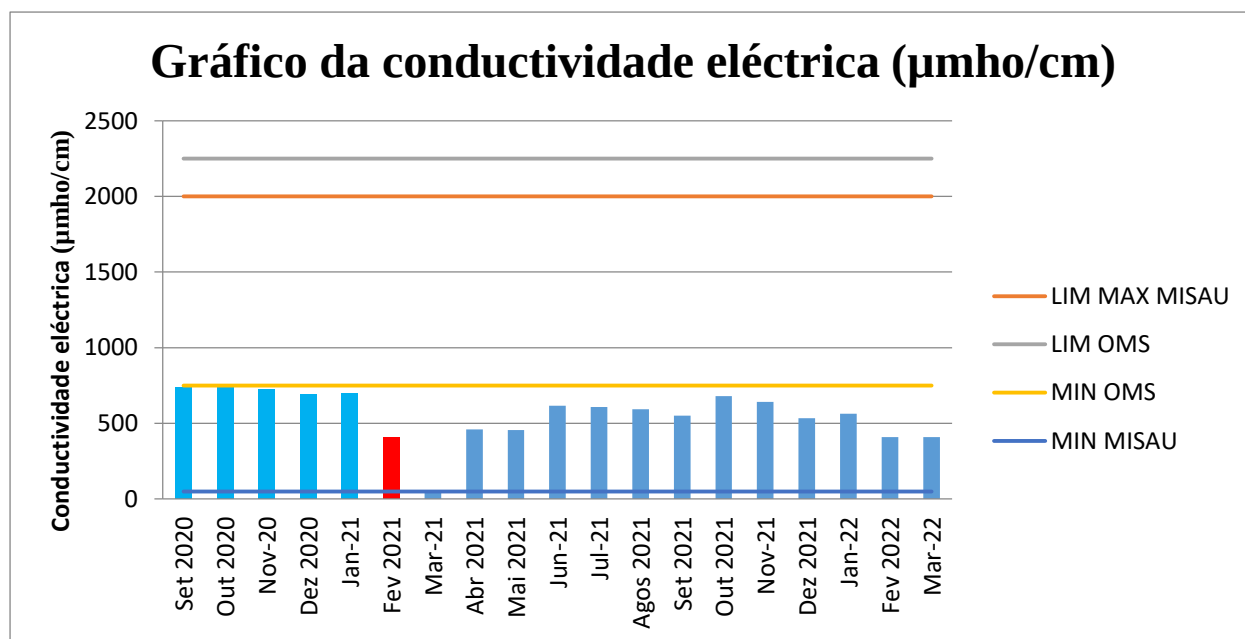


Figura 6: Gráfico da concentração da condutividade eléctrica (µmho/cm) rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

5.1.4. Turvação

A turvação do rio Umbeluzi variou setembro de 2020 para fevereiro de 2021 (0.73 e 59.36) NTU, apresentando um aumento gradual até atingir o pico máximo em fevereiro de 2021, após o pico observado em fevereiro de 2021, os valores da turbidez tendem a diminuir gradualmente até novembro de 2021 (7.8 NTU), seguida de um aumento ligeiro em fevereiro de 2022 (15.6 NTU), sendo assim os valores do pH voltam a diminuir até março de 2022.

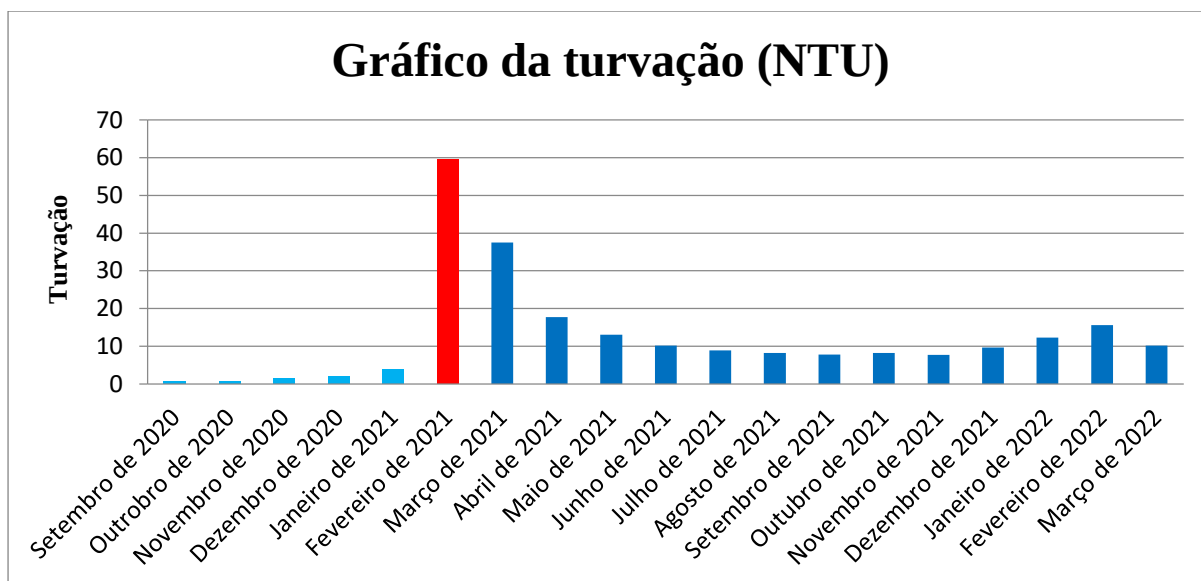


Figura 7: Gráfico da concentração da turvação (NTU) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

Das análises dos valores da turvação correspondentes aos meses de Setembro de 2020 a Março de 2022, indicam uma condição inicial da turvação do rio próximas de zero, ou seja, relativamente estável (livres de alguma poluição), devido a influência da temperatura sobre os parâmetros da qualidade afectando o processo de tratamento da água (Ibrahim & Azza H, 2000; Albino, 2012 e Uamusse 2015), observou-se que, o aumento da temperatura registrada em fevereiro de 2021 coincide com pico da turvação (no mesmo período).

O pico máximo da turvação em fevereiro de 2021 (59.73) associa-se a fatores como: à erosão que ocorre nas margens do rio, o fluxo do rio conferindo um mau aspecto a água, as descargas que os países da África Austral compartilham nas épocas chuvosas, (Boana 2011). Importa também referir que foi nesta data (fevereiro de 2021) que ocorreu o descarrilamento na linha de Goba, facto que pode ter contribuído para o aumento da turvação da água do rio Umbeluzi. Sendo assim, de março de 2021, os valores da turvação tendem a diminuir gradualmente até ao mês de novembro de 2021 facto que pode estar associado às seguintes causas, o contaminante é maior no local de despejo (Fevereiro de 2021) e por acções advectivas afectando os ecossistemas, levando o óleo para zonas sensíveis como os recifes de corais, zonas costeiras aumentando as consequências advindas da contaminação. A ligeira subida no mês de fevereiro de 2022 associa-se a época chuvosa nesta região do país, (Albino 2012 e Notisso 2020).

Resultados similares a estes forma observados por Pilchowski, (2003) (> 100 NTU), Olalekan, Adedoyin, Nimisnnga, Odipe, & Olalekan, (2018) (21,5 NTU, 23,00 NTU e 19,0 NTU) e por Frank & Boisa, (2018) associando à presença de partículas oleosas e sedimentos em suspensão como as que influenciaram sobre turvação.

Contudo, a OMS não estabelece valores correspondentes aos limites máximos admissíveis para água destinada ao consumo humano, deste modo, os valores da concentração dos valores da turvação estiveram muito acima dos limites das normas moçambicanas, tornado essa água imprópria para o consumo humano.

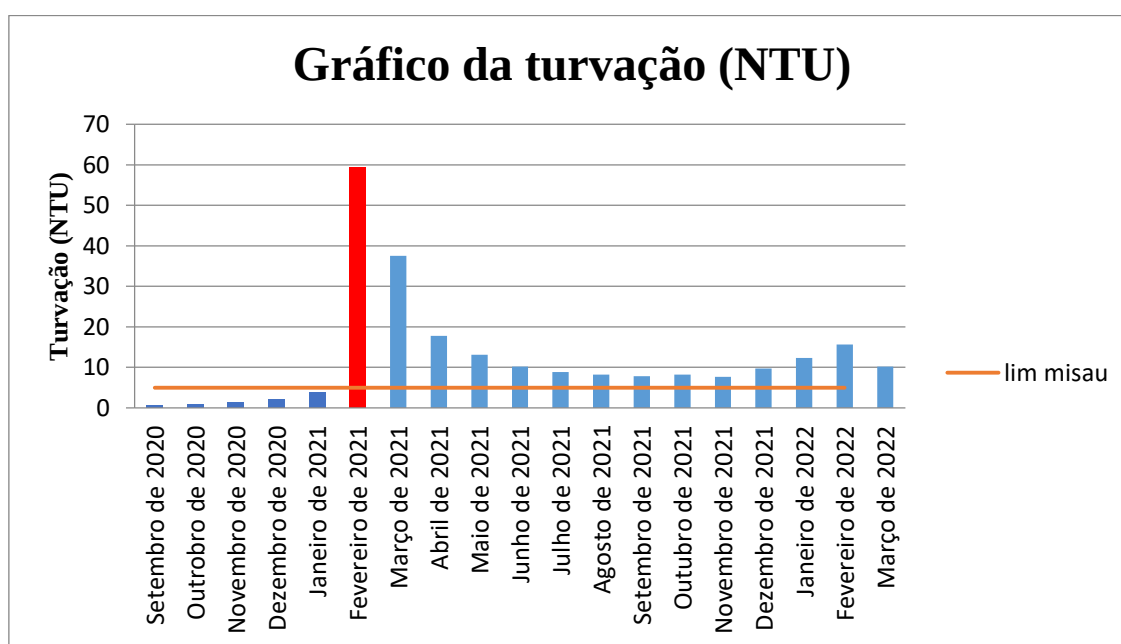


Figura 8: Gráfico da concentração da turvação (NTU) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

5.1.5. Cálcio

O gráfico da concentração do cálcio no rio Umbeluzi em setembro de 2020 (30.83 mg/L) seguida de uma ligeira diminuição em novembro de 2020 (27.73), em dezembro (30.18) de 2020 verifica-se uma subida, em fevereiro de 2021 (18.6) a concentração do cálcio regista uma variação brusca ate atingir o valor mínimo registrado ao do período de analise, os mesmos valores do cálcio tendem a subir gradualmente ate junho de 2021 (25.39), verifica-se uma subida e descida ate ao mesmo de outubro de 2021 (27.07), deste modo, esses valores vão decrescendo ate verificar o seu mínimo em fevereiro de 2022 (18.06).

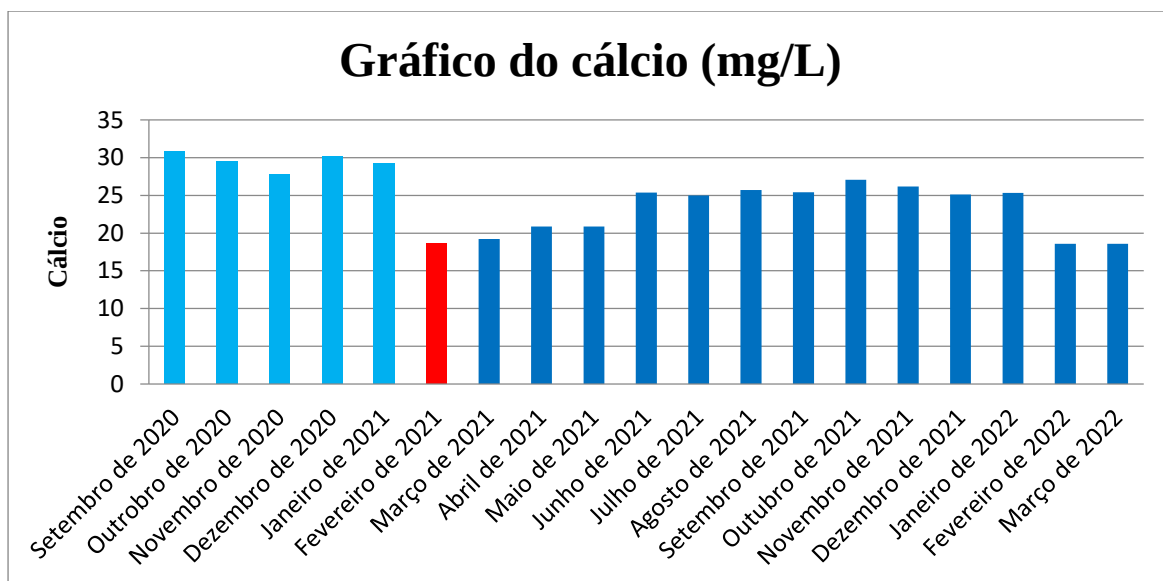


Figura 9: Gráfico variação do cálcio (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de Setembro de 2020 a Março de 2022.

De acordo com Boana (2011), advoga que a composição geológica do rio (no fundo e nas margens) interfere de forma directa nos valores do cálcio e que por meio do processo de intemperismo libertam quantidades significativas do cálcio, sendo assim, a máxima concentração do cálcio do rio Umbeluzi foi verificada em setembro de 2020.

Sendo assim, a análise dos níveis de cálcio no rio Umbeluzi revelou uma queda significativa em fevereiro de 2021, coincidente com o descarrilamento de uma composição contendo combustível diesel, indicando possível contaminação da água. Outra redução, menos acentuada, foi observada em fevereiro de 2022, possivelmente devido a fatores meteorológicos ou impactos ambientais residuais, (Albino, 2012, Notisso, 2020).

Resultados similares a esses foram observados por Glória C. F., (2016) indicando que enquanto a fonte de hidrocarbonetos existir, as condições atípicas da água irão continuar.

Os valores da concentração do cálcio na coluna de água do rio Umbeluzi estão dentro do intervalo dos graus de restrição estabelecidos pelas normas moçambicanas e pela OMS, tornando a água do rio Umbeluzi é apta para o consumo humano.

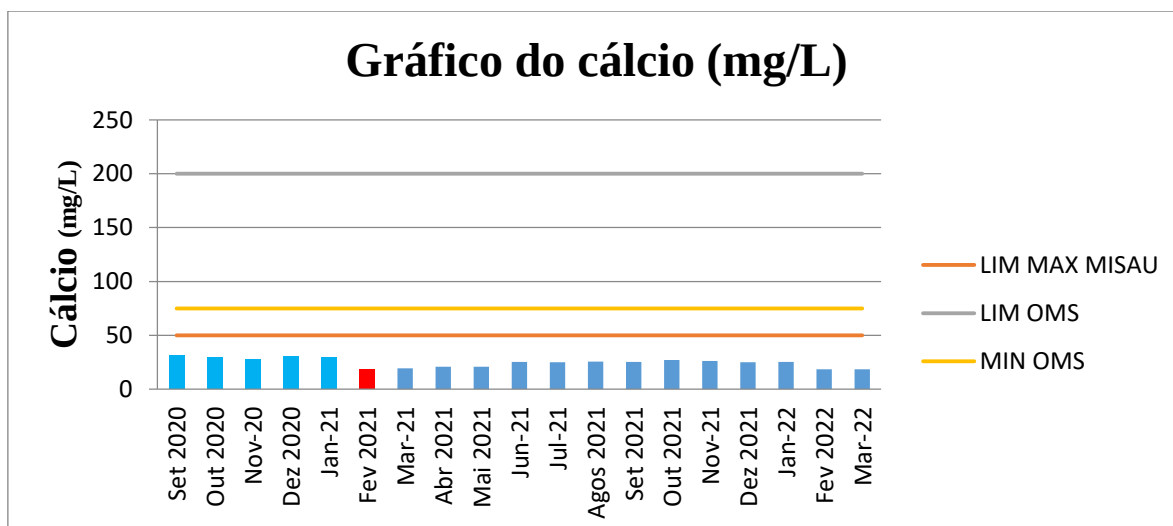


Figura 10: Diagrama de concentração do cálcio (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

5.1.6. Dureza total

A análise da dureza da água do rio Umbeluzi entre setembro de 2020 e março de 2022 mostrou variações significativas (195.44 para 106.52) mg/L. Inicialmente em setembro de 2020 (184.39 mg/l) demonstrando uma subida gradual até registrar o pico em novembro de 2020 (195.44 mg/l), de seguida representa uma descida acentuada registrando o seu mínimo para fevereiro de 2021 (106.52 mg/l), subidas graduais vão sendo demonstradas para junho de 2021 (148.21 mg/l), sendo que esses mesmos valores vão decrementando para setembro de 2021 (145.55 mg/l), sendo que de setembro de 2021 os valores demonstram um incremento para novembro de 2021 (163.41 mg/l) e por fim os mesmos valores voltam a decrescer para março de 2021 (106.52 mg/l).

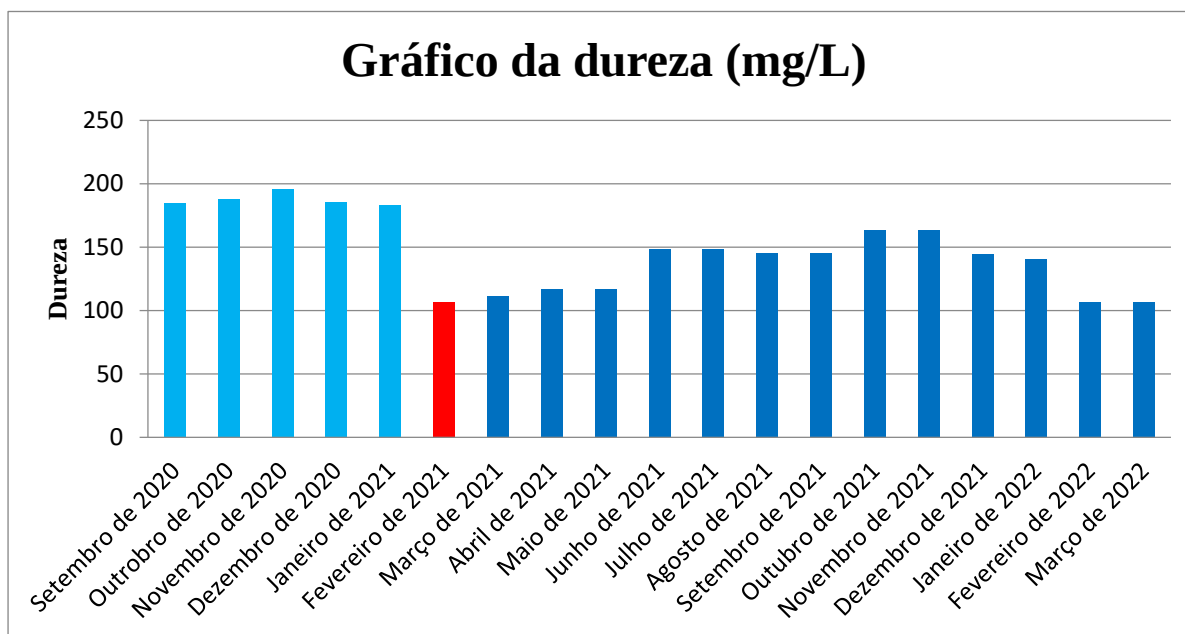


Figura 11: Gráfico da variação da dureza (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

De acordo com Albino, (2012); Uamusse, (2015) e Notisso, (2020) as variações dos valores da dureza da água estão associadas a factores como, as variações das estações do rio Umbeluzi que vão influenciar o seu caudal e o fluxo, sendo assim, os valores da dureza água do rio Umbeluzi passaram de dura (novembro a setembro) de 2020 para moderadamente dura (fevereiro de 2021), esta queda está associada a alta taxa de precipitação (700m^3) anual do rio que ocorre nessa época de ano.

Sendo, de acordo com Boana (2011) o cálcio é o elemento principal responsável pela dureza da água, precipitando-se em elevadas temperaturas deste modo, A maior queda na dureza da água (fevereiro de 2021 de 106.52 e março de 2022) coincide com reduções nos níveis de cálcio (18.6) a uma temperatura de (26.89).

No que diz respeito à dureza da água do rio Umbeluzi no período de setembro e 2020 a março de 2022, estiveram acima dos limites máximos admissíveis pela OMS (tornando-se impróprias para o consumo humano) e estiveram dentro dos limites moçambicanos, ou seja, a água deste rio apresenta-se com uma conversão dura para dura moderada, podendo ser considerada adequada para consumo de acordo com as moçambicanos apenas.

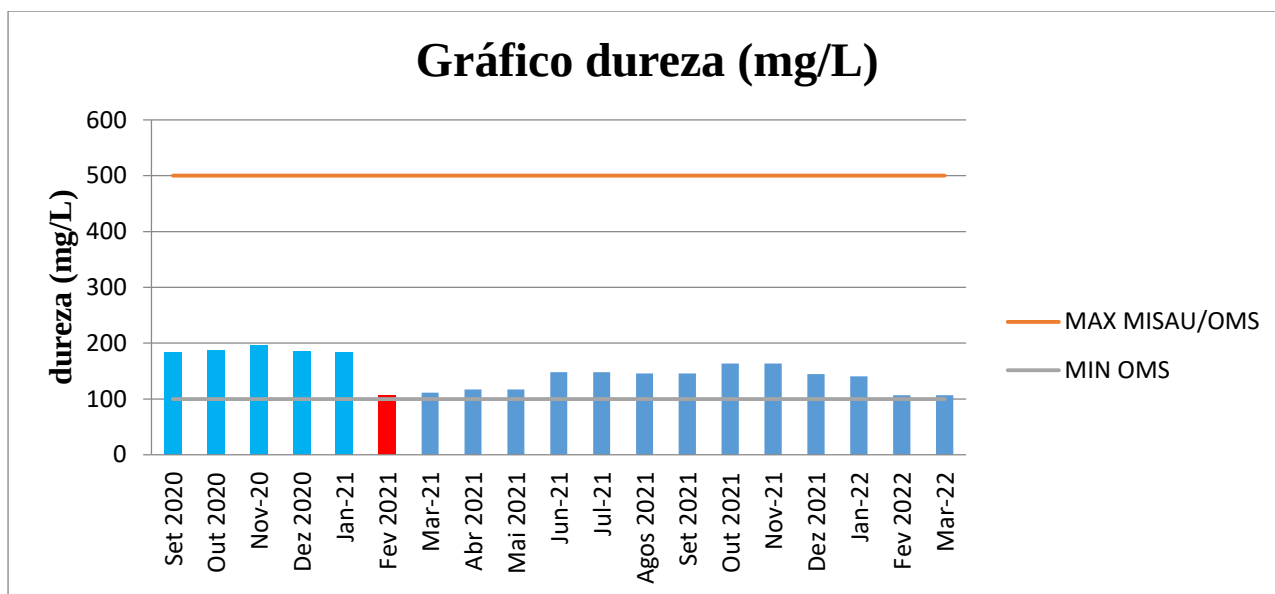


Figura 12: Gráfico concentração da dureza (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

5.1.7. Nitritos

Das análises dos valores de nitritos no rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 (0.02 mg/L para 0.03), sendo assim, em setembro de 2020 os valores da concentração dos nitritos estão na faixa de 0.02, apresentando uma verificação brusca para dezembro de 2020 na ordem de 0.01mg/L, de seguida registra-se uma subida brusca para fevereiro de 2021 na ordem de 0.03 mg/L, sendo assim, os valores dos nitritos apresentam um decremento para março sendo que estes mesmos valores se mantem constantes ate o mês de agosto de 2021 na ordem de 0.02 mg/L, os mesmos valores voltando a decrescer de setembro mantem um valor constante ate dezembro de 2021, seguida de uma subida acentuada para janeiro de 2022 na ordem de 0.03 mg/L e por fim esses mesmos valores decrescem bruscamente ate março de 2022 (0.01).

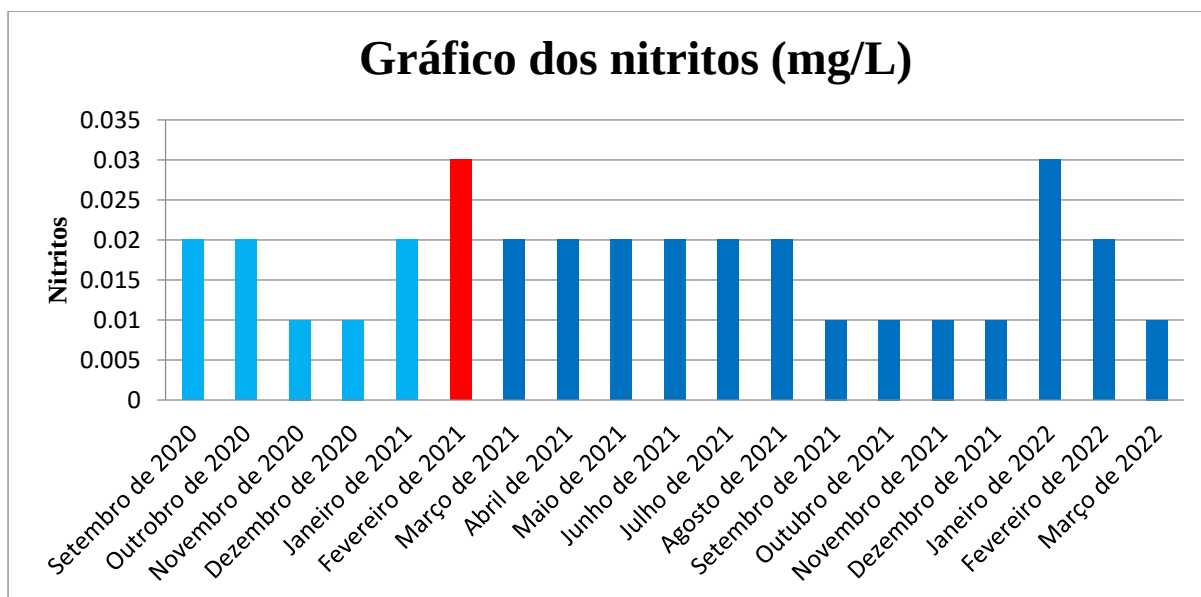


Figura 13: Gráfico variação dos nitritos (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

De acordo com (Casali, 2008; Boana, 2011; Uamusse, 2015) associam a diminuição dos nitritos como sendo o resultado da ação bacteriana, que convertendo os nitritos em nitratos, por outro lado, o aumento/pico pode indicar uma poluição contínua, possivelmente devido à conversão de amônia do combustível em nitritos por ação das bactérias, corrobora Glória, (2020) e Haripavan, Babu, & Basha, (2021) a variação dos nitritos também está ligada às estações do ano, com concentrações mais altas no período chuvoso em janeiro de 2022, com o descarrilamento ocorrido em fevereiro de 2021 podem ter influenciado para a alta concentração dos nitritos. Sendo assim, resultados similares foram verificados por Glória C. F., (2016) e por Boana (2011).

No geral, os valores da concentração dos nitritos do rio Umbeluzi estão dentro dos limites estabelecidos pela OMS das moçambicanas, sendo assim, a água do rio Umbeluzi é adequada para consumo humano.

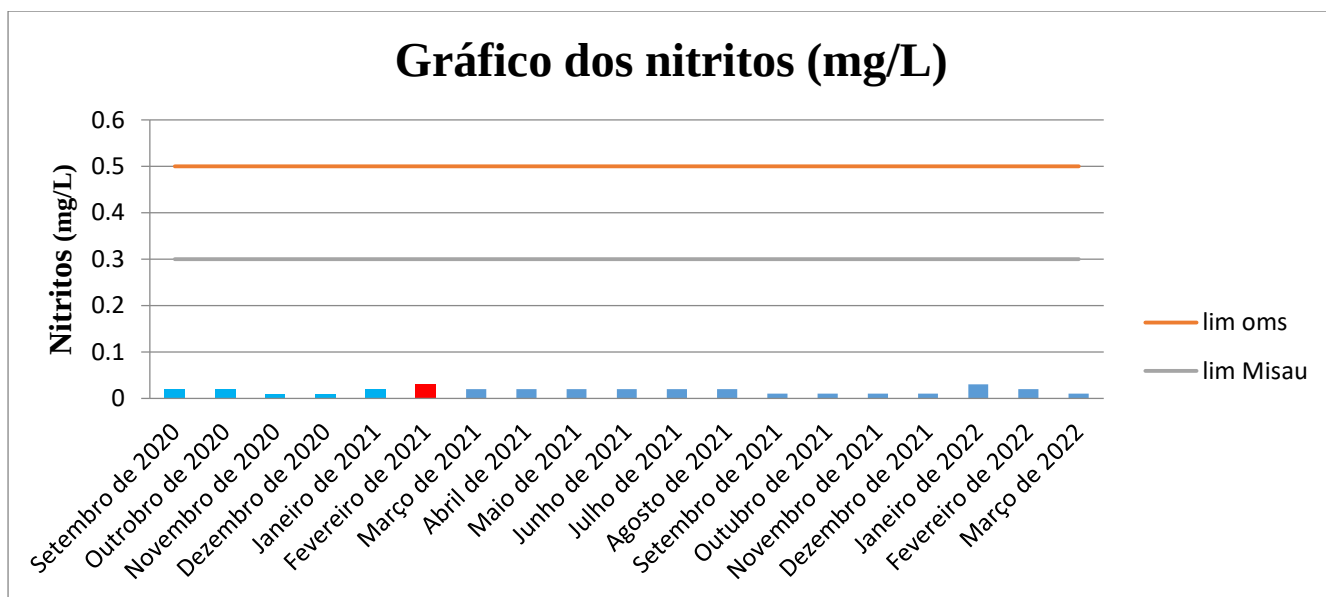


Figura 14: Gráfico da concentração dos nitritos (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

5.1.8. Amoníaco

Das análises da concentração dos valores do amoníaco ao longo do rio Umbeluzi, em setembro de 2020 os níveis da concentração do amoníaco variam de (0.07) apresentando variações consideráveis ate observar o mínimo em abril de 2021 (0.02), sendo assim, estes valores registam uma subida brusca para junho e julho de 2021 na ordem de 0.4 mg/L do amoníaco, seguindo-se de uma variação brusca para novembro de 2021 (0.03 mg/L), verificando de seguida uma subida para dezembro de 2021 (0.07 mg/L) contendo variações consideráveis entre janeiro (0.03) e fevereiro (0.04) de 2021 e por fim uma subida para março de 2022 (0.09 mg/L).

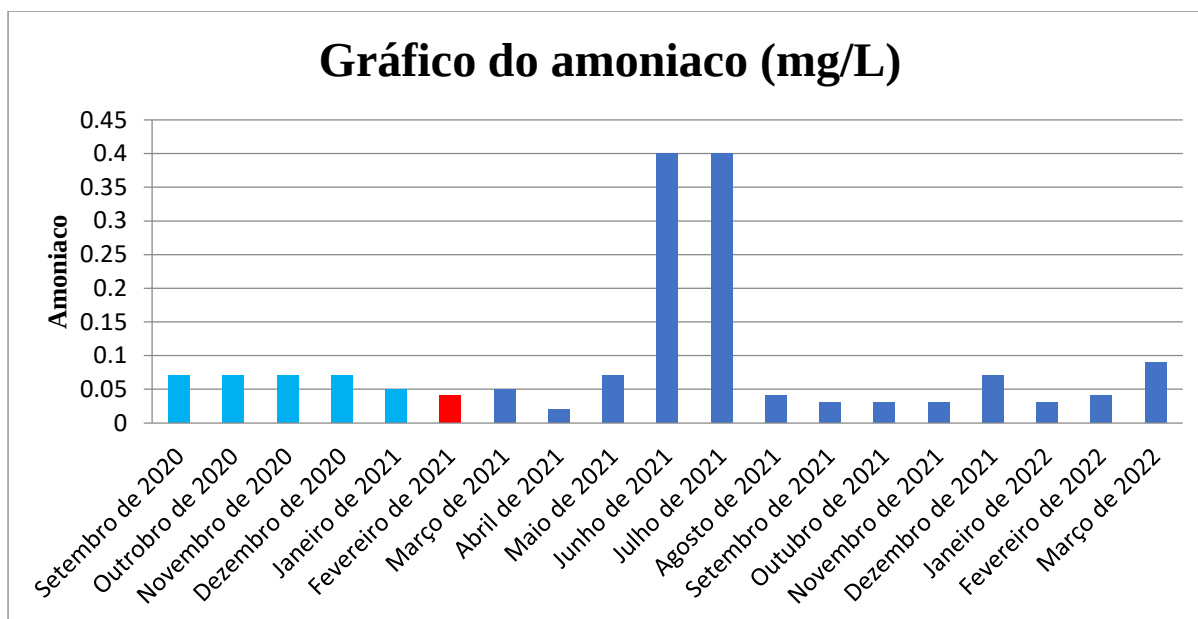


Figura 15: Gráfica variação do amoníaco (mg/L) da água ao longo do rio Umbeluzi no período de setembro de 2020 a março de 2022.

A variação da concentração do amoníaco está associada a factores ambientais (altas contrações no verão e baixas no inverno), e ação de microrganismos na degradação do composto, sendo assim, em ambientes marinhos o amoníaco encontram-se em concentrações moderadas (onde há a conversão da amônia/ nitrito para nitratos), estes elementos são imprescindíveis para o crescimento de algas e as altas concentrações, tem como consequência a eutrofização, (Boana, 2011; Uamusse, 2015).

A queda dos valores do amoníaco de setembro 2020 (0,07) para abril 2021 (0,02) está associada a sazonalidade (alta precipitação) do rio apresentando baixas concentrações em épocas chuvosas, sendo assim, a amônia é um elemento solúvel em água e quando encontrada em altas concentrações indicam uma contaminação como consequência das acções antrópicas por meio de lançamento de efluentes e propiciando ambientes eutrofizados. O incremento brusco do amoníaco em junho e julho indicam conversão de amônia (do combustível) para nitritos por acção das bactérias, (Casali, 2008; Boana, 2011; Uamusse, 2015).

Resultados similares a estes foram observados por Ibrahim & Azza H, (2000), Ibisi, Ojo, & Ano, (2017), e Haripavan, Babu, & Basha, 2021), indicando que a poluição exerceu uma influência sobre o amoníaco.

Contudo, a OMS não estabelece limites para o amoníaco, sendo assim, os resultados referentes ao amoníaco encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelas normas moçambicanas, considerando essa água apta para o consumo humano.

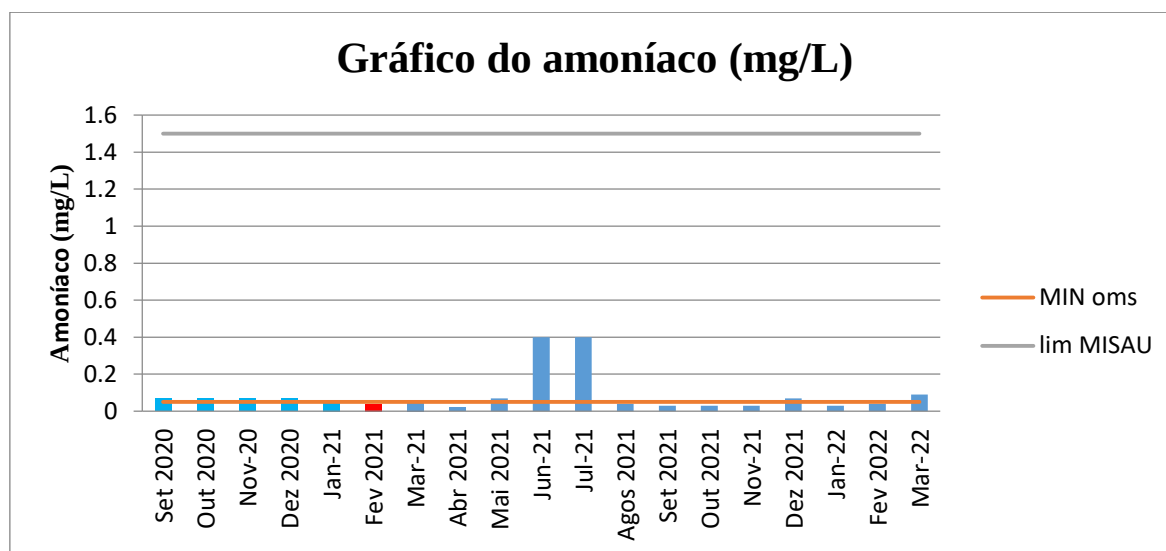


Figura 16: Gráfico de concentração do amoníaco (mg/L) do rio Umbeluzi de setembro de 2020 a março de 2022 e limites das normas para o consumo humano.

6. Conclusões e recomendações

6.1. Conclusões

Levando-se em consideração o objectivo principal do presente trabalho que é analisar os impactos causados pelo derramamento do combustível *diesel* na qualidade de água ao longo do rio Umbeluzi em fevereiro 2021, analisando-se parâmetros físicos-químicos, nomeadamente turvação, ph, temperatura, cálcio, nitritos, amónio, dureza total, antes e depois do descarrilamento, com base nos limites máximos estabelecidos pelas normas da OMS e pela Lei das Águas. Por meio dos dados obtidos na empresa AdrM, tomando-se em consideração os valores médios de cada indicador, conclui-se então que:

O descarrilamento contribuiu para o incremento dos valores da turvação, condutividade eléctrica, cálcio, a dureza total. Sendo assim, os indicadores tais como a temperatura, pH, os nitritos, estes satisfazem os limites máximos admissíveis recomendados pelas normas da OMS e pelas normas moçambicanas.

Durante o período antes e depois do descarrilamento (setembro de 2020 a janeiro de 2021) os valores da turvação encontram-se dentro OMS o contrário se verifica durante o período do descarrilamento Fevereiro de 2021 até o mês de Março de 2022 estes extrapolam o limite máximo admissível pelas normas da OMS e normas moçambicanas.

Deste modo, conclui-se que o descarrilamento ocorrido ao longo do rio Umbeluzi afectou de a qualidade de água do rio. Contudo, a água do rio Umbeluzi é apta para o consumo doméstico de acordo com os limites máximos estabelecidos pela lei das águas.

6.2. Recomendações

Recomenda-se que para os próximos estudos de análise dos impactos causados pelo derramamento do combustível *diesel* na qualidade de água ao longo do rio Umbeluzi:

- Que se analise também os solos das zonas afectadas pelo combustível.
- Que se determine o tempo de renovação da água do rio Umbeluzi.

7. Referências Bibliográficas

- ALBINO, A. J. (2012). *BASES GEOAMBIENTAIS PARA A GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO*. DISSERTAÇÃO, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, RIO DE JANEIRO.
- Almeida, J. C. (2013). *Avaliação do Índice de Qualidade da Água na Lagoa dos Patos*. Pelotas.
- Barbosa, V. (10 de Outubro de 2010). Os 10 maiores acidentes petrolíferos da história. São Paulo, Brasil.
- Boana, F. M. (2011). *Estudo da qualidade da agua dos rios umbelúzi e incomati para fins de consumo doméstico e irrigação*. Licenciatura , Universidade Eduardo Mondlane, Química, Maputo.
- Brasil, M. d. (2006). *Vilância e controle da qualidade de água para consumo humano*. Brasília.
- Casali, C. A. (2008). *Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Universiddae Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Santa Maria .
- Chibantão, G. V. (2012). *Controlo da Qualidade da Água do Rio Infulene para fins de Irrigação*. Maputo.
- Correia, F. N., & Bezerra, I. S. (2015). *A poluição causada por petróleo e suas consequências para o meio marinho*.
- Fuzinatto, C. F. (2009). *AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS LOCALIZADOS NA ILHA DE SANTA CATARINA UTILIZANDO PARÂMETROSTOXICOLÓGICOS E O ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA*. Florianópolis.
- Glória, L. P. (2020). *Qualidade de água da bacia hidrográfica do ribeirão São João no município de Porto Nacional (TO)*. Quipá Editora.
- Gomes, J. M. (2011). *CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA A ADOPTAR EM ZONAS ECONOMICAMENTE*

- DESAVORECIDAS. Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Ciências e Engenharia do Ambiente, Lisboa.
- Herculano, L. M. (2012). *Implanatação de tecnologias alternativas de saneamento como forma de garantir água de qualidade, quantidade e higiene no semiárido Moçambicano: caso do Distrito de Funhalouro*. Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Pesquisas hidráulicas, Porto Alegre.
- ITOPF. (2001). *International Tanker Pollution Federation Accidental Tanker Oil Spill Statistics*. London .
- MISAU. (2004). *Boletim da República de Moçambique*.
- Moreira, P. A. (2016). *Derrames de hidrocarbonetos no mar: Uma avaliacao da questoes operacionais*. Dissertacao de Mestrado, Universidade do Porto, Departamento de Engenharia, Porto.
- Muchangos. (1999). *Moçambique: Paisagens Regiões Naturais*. Maputo: Tipografia Globo, Lda.
- NOTISSO, P. F. (2020). *APLICAÇÃO DO MODELO WEAP NA AVALIAÇÃO DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA DO RESERVATÓRIO DOS PEQUENOS LIBOMBOS, MOÇAMBIQUE*. Tese de Mestrado, UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS , CIÊNCIAS AMBIENTAIS, GOIÂNIA .
- Paulos, E. M. (2008). *Qualidade da água para consumo humano*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre, Universidade da Beira Interior, Covilhã.
- Ramos, A. d., Oliveira, V. d., & Araújo, T. M. (05 de 06 de 2019). WATER QUALITY: PARAMETERS AND METHODS USED FOR WATER ANALYSIS OF SURFACE WATER RESOURCES. *holos envaironment*, 205-206.
- Santo, C. M. (2000). *Protenção das zonas costeiras contra a poluição por hidrocarbonetos*.
- Scapucin, C., Talarico, M. F., & Moura, R. (2018). *Poluicao dos Mares*. Pós-Graduacao, Universidade Catolica de Sao Paulo, Departamento de Economia, Sao Paulo.
- Tacuana, S. J. (2018). *Aplicação de Macroinvertebrados Aquáticos como Bioindicadores da Avaliação da Qualidade de Água do Rio Umbeluzi - Maputo*. Maputo.

Uamusse, A. J. (2015). *Estudo da qualidade de água dos poços e furos para fins domésticos no distrito de Chigubo, província de.* Universidade Eduardo Mondlane , QUÍMICA, Gaza.

UCHÔA, A. C. (2014). *O TRANSPORTE DE ÓLEO DIESEL COMO POTENCIAL FONTE DE POLUIÇÃO NA REGIÃO DO PORTO DE SANTANA-AP.* UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP, DEPARTAMENTO DE PESQUISA, ENSINO E PÓS-GRADUAÇÃO – PROPESPG , MACAPÁ- AP.

WHITE. (200). *Oil Spill Experience, Trends and Challenges.* Darwin.

Anexo

Tabela 01: Ocorrência de acidentes com derramamento de óleo no mar.

Tipo de Navio	Ano de ocorrência	Localização	Toneladas de óleo derramado
AtlanticEmpress	1979	Índia	287 000
ABT Summer	1991	Angola	260 000
Castillo de Bellver	1983	África do Sul	252 000
Amoco Cadiz	1978	França	223 000
Haven	1991	Itália	144 000
Odyssey	1988	Canadá	132 000
TorreyCanyon	1967	Reino Unido	119 000
Sea Strar	1972	Golfo de Omã	115 000
Irenes Serenade	1980	Grécia	100 000
Urquiola	1976	Espanha	100 000
HawaiianPatriot	1977	Havaí -EUA	95 000
Indenpendenta	1979	Turquia	95 000
Jakob Maersk	1975	Portugal	88 000
Braer	1993	Reino Unido	85 000
AegeanSea	1992	Espanha	74 000
SeaEmpress	1996	Inglaterra	72 000
Khark5	1989	Morocco -EUA	70 000
Nova	1985	Golfo do Irã	70 000
Katina P	1992	Moçambique	67 000

Prestige	2002	Espanha	63 000
Exxon Valdez	1989	Alasca -EUA	41 000
HebeiSpirit	2007	Coréia	11 000

Fonte: Uchôa, (2014).