



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia Para Obtenção do Grau de Licenciatura em Química Marinha

Avaliação das Características Químicas, Bioquímicas e Físicas das Águas Residuais Depositadas pelos Esgotos para Estuário dos Bons Sinais – Quelimane, província da Zambézia



Autora:

Ónica da Caridade Eduardo Macocola

(Ónica da Caridade Macocola)

Quelimane, Novembro de 2023



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia Para obtenção do Grau de Licenciatura em Química Marinha

Avaliação das Características Químicas, Bioquímicas e Físicas das Águas Residuais Depositadas pelos Esgotos para Estuário dos Bons Sinais – Quelimane, província da Zambézia

A autora:

Ónica da Caridade Eduardo Macocola

(Ónica da Caridade Macocola)

O supervisor:

H. Paulo Milice

(MSc. Horácio Respeito)

O presidente de Júri

Paula Milice

(dra. Paula Milice)

O oponente

Hélder Eduardo João

(dr. Hélder Eduardo João)

Quelimane, Novembro de 2023

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu Deus todo-poderoso e aos meus queridos pais, Eduardo João Macocola e Isabel Alfiado Tangune, pela educação por vós prestada e pelo incentivo e carinho nas horas de desespero. Aos meus irmãos pela dedicação e apoio prestado durante meu curso universitário que culmina com o presente trabalho.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço á Deus que sempre iluminou a minha vida e esteve do meu lado em todos momentos no alcance dos meus objectivos.

Sem um vasto apoio institucional e pessoal este trabalho jamais poderia ser desenvolvido.

Á minha família por todo apoio e preocupação, pelo amor e carinho incondicionais. Aos meus pais Eduardo João Macocola e Isabel Alfiado Tangune e aos meus irmãos Francisco Eduardo Macocola, Bosco Eduardo Macocola, Florinda Eduardo Macocola, Elsa Eduardo Macocola e Eliseu Eduardo Macocola, por investirem e acreditarem na minha formação. Aos meus sobrinhos e tias e tios pela compreensão das minhas ausências e por todo carinho oferecido, amo-vos.

Á Escola Superior de Ciências Marinhas Costeiras (ESCMC), pela importância em minha formação profissional e pessoal e suporte deste trabalho de monografia, agradeço sinceramente. Á todos os docentes da Escola superior de ciências Marinhas e Costeiras pela transmissão do conhecimento, agradeço aos Mestres Lúcio Jasse, Yolanda Mula, Noca, Célio Machaieie, Dra. Arcenia, dra. Iranete, a Engenheira Joana José, Lic. Paula Milice, Ph.D. Fialho Nehama.

Ao meu supervisor Mestre Horácio Luís Respeito, meu profundo agradecimento pela sua preocupação no meu currículo académico e por me orientar e acreditar que isso tudo daria certo, A sua visão crítica e construtiva durante todas as fases da elaboração do trabalho foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Foram muito importante para mim, amigos e amigas que não precisavam estar por perto para se fazerem presentes, e a todos que directa ou indirectamente contribuíram no percurso da minha formação, meu muito obrigada

.

Declaração de Honra

Eu, Ónica da Caridade Eduardo Macocola, declaro por minha honra que o presente trabalho de pesquisa nunca antes foi apresentado ou publicado e que constitui fruto do meu total esforço e dedicação na realização do mesmo como cumprimento parcial dos requisitos necessários para obtenção do grau de Licenciatura em Química Marinha na Universidade Eduardo Mondlane – Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras (UEM – ESCMC).

A autora:

(Ónica da Caridade Eduardo Macocola)

Resumo

O presente estudo teve como objectivo avaliar as características químicas, bioquímicas e físicas das águas residuais depositadas pelos esgotos municipais no Estuário dos Bons Sinais, na cidade de Quelimane, província da Zambézia. O estudo baseou-se na análise de dezoito (18) amostras de água colectadas manualmente em três pontos de descarga, durante três dias alternados. Foram determinados parâmetros físico-químicas como pH, turbidez, oxigénio dissolvido, sólidos suspensos e dissolvidos, bem como iões de nitrato, nitrito, amónia livre, cálcio, magnésio, manganês, ferro, além da DBO e DQO. As medições *in situ* revelaram valores de pH entre 8,14 e 8,47, turbidez entre 15 e 30 cm, e condutividade eléctrica variando de 1961,67 a 5333,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Os teores de sólidos dissolvidos oscilaram entre 983,67 e 2671,33 mg/L, enquanto os sólidos suspensos variaram de 89 a 237 mg/L. As concentrações de nitrato (NO_3^-) situaram-se entre 3,40 e 8,08 mg/L; nitrito (NO_2^-), entre 0,04 e 0,19 mg/L; e amónia livre (NH_3), de 0,05 a 4,89 mg/L. No que se refere aos iões metálicos, observaram-se as seguintes concentrações: cálcio (Ca^{2+}) entre 20,69 e 24,01 mg/L; magnésio (Mg^{2+}) entre 7,19 e 8,47 mg/L; manganês (Mn^{4+}) entre 0,67 e 2,03 mg/L; e ferro (Fe^{2+}) entre 0,46 e 0,50 mg/L. A DBO variou de 3,77 a 5,30 mg/L, enquanto a DQO apresentou valores entre 10,2 e 17,71 mg/L. Os resultados indicaram concentrações elevadas de sólidos e alta condutividade eléctrica, evidenciando o predomínio de material inorgânico não biodegradável nas águas residuais. Observou-se também uma relação entre pH elevado e a possível predominância de bactérias desnitrificantes. Apesar das concentrações registadas, a maioria dos parâmetros analisados encontrava-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação nacional em vigor (Decreto n.º 18/2004). Conclui-se que as águas residuais possuem predominantemente origem doméstica, com baixo impacto directo sobre o ecossistema local. No entanto, foram identificados sinais de contaminação química pontual por metais como ferro e manganês.

Palavras-chave: Águas residuais; Estuário dos Bons Sinais; Qualidade da água; Parâmetros físicos-químicos; Parâmetros bioquímicos; Esgotos urbanos; Contaminação estuarina.

Abstract

The present study aimed to assess the chemical, biochemical, and physical characteristics of wastewater discharged by municipal sewers into the Bons Sinais Estuary, located in the city of Quelimane, Zambézia Province. The research was based on the analysis of eighteen (18) water samples manually collected at three discharge points over three alternate days. Physico-chemical parameters were determined, including pH, turbidity, dissolved oxygen, total suspended solids (TSS), total dissolved solids (TDS), as well as concentrations of nitrate, nitrite, free ammonia, calcium, magnesium, manganese, and iron, in addition to biochemical parameters such as biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). In situ measurements indicated pH values ranging between 8.14 and 8.47, turbidity between 15 and 30 cm, and electrical conductivity from 1961.67 to 5333.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$. TDS levels ranged from 983.67 to 2671.33 mg/L, while TSS varied from 89 to 237 mg/L. Nitrate (NO_3^-) concentrations ranged from 3.40 to 8.08 mg/L; nitrite (NO_2^-) from 0.04 to 0.19 mg/L; and free ammonia (NH_3) from 0.05 to 4.89 mg/L. With regard to metal ions, the following concentrations were observed: calcium (Ca^{2+}) between 20.69 and 24.01 mg/L; magnesium (Mg^{2+}) between 7.19 and 8.47 mg/L; manganese (Mn^{4+}) between 0.67 and 2.03 mg/L; and iron (Fe^{2+}) between 0.46 and 0.50 mg/L. BOD levels ranged from 3.77 to 5.30 mg/L, while COD ranged from 10.2 to 17.71 mg/L. The results indicated elevated concentrations of solids and high electrical conductivity, highlighting the predominance of non-biodegradable inorganic material in the wastewater. A correlation was also noted between high pH values and the possible predominance of denitrifying bacteria. Despite the concentrations recorded, most of the parameters analysed were within the limits established by the national legislation in force (Decree No. 18/2004). It was concluded that the wastewater is predominantly of domestic origin, with limited direct impact on the local ecosystem. However, signs of localised chemical contamination by metals such as iron and manganese were identified.

Keywords: Wastewater; Bons Sinais Estuary; Water quality; Physico-chemical parameters; Biochemical parameters; Urban sewage; Estuarine contamination.

Índice de Tabelas

Tabela 1: Concentrações médias dos constituintes químicos e microbiológicos das águas residuais domésticas não tratadas. Editado de <i>Serrano, (2014)</i>	6
Tabela 2: Descrição dos locais de amostragem.	13
Tabela 3: Lista dos materiais e reagentes utilizados no âmbito do desenvolvimento do trabalho.	14
Tabela 4: <i>Concentração dos iões de nitratos, nitritos e de amónia livre na água,</i>	17
Tabela 5: Relação concentração total dos sólidos dissolvidos e suspensos e concentração de cloretos e alcalinidade da água.	18
Tabela 6: Características físicas da água residual depositada no estuário.	20
Tabela 7: Valores médios referentes demandas (bioquímica e química) de oxigénio nos três pontos de amostragem.	21

Lista de Figuras

Figura 1: Perfil de um local com proliferação de algas acentuada pelo aporte excessivo de nutrientes (eutrofização). Obtido de https://www.biologianet.com/ecologia/eutrofizacao.htm	7
Figura 2: Localização da área de estudo e pontos de amostragem.	12
Figura 5: Disco de Secchi.	32
Figura 6: Régua para medições em campo de 50 centímetros.	32
Figura 7:	32

Lista de abreviaturas

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigénio

DQO – Demanda Química de Oxigénio

LDO – Liquid dissolved Oxygen

MO – Matéria orgânica

pH – Potencial Hidrogeniónico

TDS – Total dissolved Solids

TSS – Total de sólidos suspensos

CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ESCMC – Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

AdRC – Águas da Região Centro

Índice

Dedicatória	I
Agradecimentos	II
Declaração de Honra	III
Resumo	IV
Abstract	V
Índice de Tabelas	VI
Lista de Figuras	VII
Lista de abreviaturas	VIII
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS	1
1. Introdução.....	1
1.1. Problematização	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objectivos.....	3
1.3.1. Objectivo geral	3
1.3.2. Objectivos específicos.....	3
1.4. Hipóteses	3
CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Estuários	4
2.2. Poluição e contaminação dos estuários	4
2.3. Escoamento superficial e lixiviação	5
2.4. Águas residuais	5
2.5. Características das águas residuais.....	6

2.5.1. Nutrientes	7
2.5.2. pH e Alcalinidade das águas residuais	8
2.5.3. Metais pesados	8
2.5.4. Matéria orgânica.....	8
2.5.5. Demanda bioquímica e química de oxigénio (DBO e DQO)	9
2.6. Influência de águas residuais não tratadas ao estuário	10
2.7. Tratamento das águas residuais.....	10
CAPÍTULO III: METODOLOGIA	12
3. Metodologia	12
3.1. Caracterização da área de estudo	12
3.2. Amostragem	13
3.3. Materiais e métodos	14
3.3.1. Métodos.....	15
3.3.2. Determinação das características físico-químicas	15
3.3.3.Procedimentos laboratoriais.....	15
3.3.4.Determinação da Nitrogénio total, DBO5 e DQO	15
3.4. Análise dos dados.....	16
CAPÍTULO IV: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	17
4. Resultados e Discussão	17
4.1.Características químicas.....	17
4.1.1. Nitrogénio total (NO_3^- , NO_2^- e NH_3)	17
4.1.2. TSS, TDS, Cloretos e Alcalinidade	18
4.1.3. Dureza total Mg^{2+} , Ca^{2+} e Mn^{4+} e Fe^{2+}	18
4.2. Características físicas.....	19
4.2.Características bioquímicas	21

4.2.1. DBO e DQO.....	21
CAPITULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	25
5. Conclusão	25
5.1. Recomendações.....	25
Referências bibliográficas.....	26
Anexos	30

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1. Introdução

Os estuários são zonas de transição entre ambientes dulcícolas e marinhos, onde ocorre a mistura de águas continentais e oceânicas. São considerados ecossistemas altamente dinâmicos, complexos e produtivos, mas também extremamente vulneráveis a impactos ambientais (Miranda, Castro, & Kjerfve, 2009). De modo geral, consistem em corpos de água semifechados, com uma ou mais conexões livres com o mar, onde a intrusão de água salgada pode estender-se além do limite da influência das marés e ser diluída pelas águas doces provenientes da drenagem continental (Castello & Krug, 2015).

A singularidade dos estuários está directamente relacionada à sua hidrodinâmica, à biodiversidade que abrigam e à sua função ecológica como berçário de muitas espécies aquáticas. No entanto, esses ambientes também são pontos críticos de recepção de resíduos resultantes das actividades humanas. A influência antrópica manifesta-se principalmente por meio de descargas pluviais, despejo de resíduos domésticos e industriais, lixiviação agrícola e lançamento de esgotos não tratados elementos que, quando introduzidos em larga escala, comprometem a qualidade ambiental do estuário (Castello & Krug, 2015).

Um dos impactos mais visíveis dessa degradação é o aumento da turbidez da água, provocada pelo acúmulo de material em suspensão tanto líquido quanto sólido oriundo de esgotos e escoamentos superficiais. A elevada turbidez dificulta a penetração da luz solar, prejudica a fotossíntese de organismos autotrofos e reduz a produtividade primária, afectando toda a cadeia trófica do ecossistema estuarino (Castello & Krug, 2015). Quando esse desequilíbrio se instala, o ambiente passa a ser considerado poluído ou contaminado.

No Estuário dos Bons Sinais observa-se o lançamento directo de águas residuais urbanas, sem qualquer tratamento prévio. Este despejo contínuo de esgoto constitui uma das principais fontes de contaminação hídrica e representa uma ameaça tanto para a fauna e flora locais quanto para a saúde humana (Veiga, 2005). As águas residuais podem ser caracterizadas a partir de parâmetros físicos (como cor, temperatura e turbidez), químicos (pH, oxigénio dissolvido, metais pesados e nutrientes como nitrogénio e fósforo) e biológicos (coliformes fecais e outros microrganismos patogénicos) (Serrano, 2014). A composição dessas águas depende de diversos factores, como o tipo de actividades humanas na região, condições climáticas, densidade populacional, nível socioeconómico e infra-estrutura sanitária existente.

Estudos realizados em zonas costeiras moçambicanas já demonstraram a presença de microbactérias patogénicas e níveis elevados de salinidade atribuídos a efluentes domésticos descarregados sem tratamento (CFM, 2007; Nhambirre Jr, 2023). Esse cenário agrava a degradação da qualidade da água e a salubridade do ambiente, comprometendo a sustentabilidade ecológica e económica da região.

1.1.Problematização

A degradação ambiental representa um sério problema não apenas para os ecossistemas, mas também para a saúde humana. Actualmente, enfrentamos uma variedade de problemas globais que estão comprometendo o ambiente e a vida de maneira alarmante, com consequências potencialmente irreversíveis. A falta de tratamento adequado das águas residuais pode causar sérios impactos ambientais e saúde pública, como contaminação de corpos de água, degradação dos ecossistemas aquáticos (Cardoso *et al.*, 2009). Essa prática resulta na introdução de poluentes químicos, bioquímicos e físicos, como matéria orgânica, nutrientes em excesso, metais pesados e microorganismos patogénicos, que afectam negativamente a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Além disso, a degradação da qualidade da água impacta directamente as comunidades locais que dependem do estuário para alimentação e sustento (Pokrywiecki *et al.*, 2013).

A descarga de efluentes directamente nos corpos hídricos, especialmente em áreas costeiras e estuarinas, tem promovido alterações significativas nos ecossistemas aquáticos (Archela *et al.*, 2003). Este fenómeno é particularmente preocupante no Estuário dos Bons Sinais, onde se verifica o lançamento constante de águas residuais urbanas sem tratamento adequado. Essa prática tem alterado o equilíbrio ecológico do estuário, promovendo a eutrofização, a redução da biodiversidade aquática, e o comprometimento dos usos múltiplos da água (Machado *et al.*, 2002).

Diante deste pressuposto coloca-se a seguinte questão: Até que nível influencia as águas residuais provenientes dos esgotos da cidade de Quelimane no Estuário dos Bons Sinais?

1.2.Justificativa

A presente pesquisa surgiu a partir da observação empírica das descargas contínuas de efluentes urbanos directamente no Estuário dos Bons Sinais, na cidade de Quelimane, sem qualquer tipo de tratamento prévio. Este fato constitui as razões que levaram a condução do presente estudo.

É de conhecimento geral que o lançamento de águas residuais sem tratamento adequado representa sérios riscos ao meio marinho, especialmente em ambientes sensíveis como os estuarinos. Esses riscos incluem a introdução de nutrientes em excesso, matéria orgânica e substâncias tóxicas, os quais podem desencadear processos de eutrofização, degradação da qualidade da água e desequilíbrio ecológico (Cunha & Calijuri, 2011; Von Sperling, 2005). Tais alterações comprometem directamente a biodiversidade local, bem como os recursos pesqueiros dos quais muitas comunidades costeiras dependem.

Dessa forma, a avaliação das características químicas, bioquímicas e físicas das águas residuais que são lançadas no estuário torna-se fundamental para compreender os impactos ambientais existentes e

subsidiar medidas de mitigação. Este estudo fornecerá dados científicos fundamentais para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de gestão ambiental que visam a protecção do estuário e o bem-estar das comunidades locais.

1.3.Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

- ✓ Avaliar as características químicas, bioquímicas e físicas das águas residuais depositadas pelos esgotos para Estuário dos Bons Sinais – Quelimane, província da Zambézia.

1.3.2. Objectivos específicos

- ✓ Determinar os parâmetros químicos (NO_3^- , NO_2^- e NH_3 , Dureza total, Cloretos e Alcalinidade) bioquímicos (DBO5 e DQO) e físicas (TSS, TDS e condutividade eléctrica) das águas residuais depositadas no Estuário dos Bons Sinais;
- ✓ Descrever o comportamento dos parâmetros químicos bioquímicos e físicas das águas residuais depositadas no estuário dos Bons Sinais;
- ✓ Comparar os resultados obtidos dos constituintes da água com os padrões estabelecidos da qualidade de água residual para o despejo em corpos de água;
- ✓ Identificar os possíveis impactos socioambientais causados pelas águas residuais depositadas pelos esgotos no Estuário dos Bons Sinais na cidade de Quelimane.

1.4.Hipóteses

- a) **Hipótese Nula (H_0):** as águas depositadas no Estuário dos Bons Sinais em Quelimane apresentam as características químicas, bioquímicas e físicas que têm influência directa à vida sócio-ambiental;
- b) **Hipótese Alternada (H_1):** as águas depositadas no Estuário dos Bons Sinais em Quelimane apresentam as características químicas, bioquímicas e física que não tem uma influência directa à vida sócio-ambiental.

CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Estuários

Os estuários são ecossistemas de transição entre o ambiente terrestre (continente) e aquático (oceano), regiões de encontro dos rios com o mar, visto como um ambiente dinâmico e com mudanças constantes devido as variações das forçantes naturais (Ferraz, 2014). Possuem importante função para os demais ecossistemas costeiros, pois desempenham papel fundamental na manutenção da produção pesqueira, incluindo invertebrados e vertebrados, como fonte expressiva de recurso económico e alimentar para as populações que sobrevivem em seu entorno (Dilva, Lacerda, & Mota, 2013). Portanto, o estudo de ambientes estuarinos foi iniciado já antes e são fundamentais para o manejo dos ecossistemas costeiros (Miranda, Castro, & Kjerfve, 2009).

Os estuários com forte aporte continental e estratificação vertical de salinidade são chamados de positivos ou de cunha-salina, enquanto aqueles com pouca contribuição de rios e com grande evaporação são denominados de negativos ou de evaporito. Os estuários que variam sua característica de acordo com as estações do ano são chamados de sazonais ou intermitentes (Castello & Krug, 2015). As características hidrodinâmicas dos estuários podem proporcionar condições ideais de alta produtividade e torná-los verdadeiros berçários para diversas espécies marinhas e costeiras, o que acaba por servir de atractivo para o desenvolvimento de actividades socioeconómicas como a pesca, a aquacultura. Portanto, é por isso que se afirma que a renovação e depuração das águas desses ambientes dependem de interacções entre processos físicos, químicos, biológicos e geológicos ainda não bem compreendidas.

Hoguane *et al.*, (2020) citado por Cafermane, (2021) diz que os processos físicos que controlam os ambientes estuarinos, nomeadamente as misturas, tanto transversais bem como as misturas longitudinais e a circulação são em grande parte conduzidos pelas marés e pelas descargas fluviais. Segundo Ferraz, (2014) o estuário dos Bons Sinais está vinculado à economia da região através dos sectores primários e secundários, por esse motivo o estudo de suas características hidrodinâmicas é de suma importância.

2.2. Poluição e contaminação dos estuários

São chamadas de poluição as alterações no meio ambiente que provocam efeito negativo em seu equilíbrio, devido à introdução, pelo homem, directa ou indirectamente, de substâncias ou energia. O esgoto, por conter diversas impurezas, pode transmitir doenças infecciosas e contagiosas, causar intoxicação e até mesmo morte de peixes, moluscos, crustáceos, corais e outros seres marinhos (Gerling, Ranieri, & Fernandes, 2016). Os imensos oceanos, os estuários, baías e praias não podem continuar eternamente a absorver a poluição doméstica e industrial. A poluição e contaminação de estuários estão associadas ao crescimento populacional desordenado se desenvolvem graves problemas de desequilíbrio

ambiental na região estuarina, provocados pela deficiente gestão sanitária de águas residuais domésticas, disposição incorrecta de efluentes industriais e uso descontrolado de agro-tóxicos em cultivos que são carregados para os rios (Dilva, Lacerda, & Mota, 2013).

Portanto, a introdução directa ou indirecta de substâncias e de energia pelo homem podem atingir níveis elevados de concentrações, causando contaminações das águas estuarinas com efeitos nocivos para os recursos vivos, perigo para saúde pública, obstáculos para actividades marinhas e de pesca, deterioração da água e redução de seus atractivos naturais (Miranda, Castro, & Kjerfve, 2009).

Sendo assim, a utilização de biomonitores de poluição se apresenta como uma ferramenta na determinação e controle de poluentes nos diversos ecossistemas (Dilva, Lacerda, & Mota, 2013). Por vezes, ambientes com maiores descargas fluviais e pluviais podem ser biologicamente mais produtivos devido a alta concentração de nutrientes e propiciarem a produção primária, no entanto, em excesso causam a eutrofização do ambiente, condicionando a produtividade primária.

Assim, atendendo e considerando que a poluição e contaminação dos ecossistemas costeiros, ou seja, dos estuários deve-se às diversas fontes de descargas, vale ressaltar a descrição do modo de ocorrência, transporte e fluxo de poluentes considerando os agentes poluidores e suas principais contribuições.

2.3. Escoamento superficial e lixiviação

A lixiviação e o escoamento superficial merecem destaque. Através da lixiviação, substâncias podem ser conduzidas para camadas profundas do solo, podendo atingir e, assim, contaminar as massas subterrâneas de água. O escoamento superficial favorece a contaminação das águas superficiais, que pode ocorrer através do transporte das moléculas ou compostos adsorvidos às partículas de solo erodido ou em solução (Queiroz *et al.*, 2011). Portanto, resultados do estudo realizado por Queiroz *et al.*, (2011) revela maior transporte de substâncias residuais agrícolas e capacidade destas de adsorção da matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio e, também, devido às argilas que compõem o solo e maior mobilidade por lixiviação relativamente ao escoamento superficial. Portanto, a lixiviação de herbicidas ou de resíduos de fertilizantes para os estuários pode contribuir significativamente na concentração de metais e metais pesados no ambiente.

2.4. Águas residuais

A natureza das águas residuais é descrita pelas suas características quantitativas e qualitativas. As características quantitativas (caudal) dependem das variações de comunidade para comunidade (clima, dimensão do aglomerado populacional, tipo de habitações, preço da água, nível económico e social das populações e qualidade e permanência do abastecimento de água da rede pública), das variações diárias e das variações sazonais. As características qualitativas podem ser físicas, químicas e biológicas e

dependem das variações de comunidade para comunidade e das variações em função da expressão dos diferentes componentes do efluente (Serrano, 2014). No entanto, a composição dos resíduos totais que chegam na drenagem varia de acordo com o nível de urbanização entre os sedimentos e lixo (Tucci, 2005).

2.5.Características das águas residuais

As águas residuais domésticas estão constituídas por matérias sólidas, uma temperatura típica, odor, cor, turbidez e variação de vazão. Portanto, aproximadamente 99.9% de água 0.1% de matéria sólida constituída por material orgânico e inorgânico, suspenso e dissolvido e microrganismos (Aissa, 2022). A matéria inorgânica nas águas residuais domésticas é constituída, principalmente, pela presença de substâncias minerais dissolvidas e areia (Chiavelli, *et al.*, 2019; Funasa, 2007; Aissa, 2022). Portanto, a turbidez e a cor são os parâmetros indicadores imediatos da decomposição da água residual no entanto, a temperatura das águas residuais é directamente proporcional à velocidade de decomposição da água residual e a variação de vazão é de acordo com os hábitos da população e é calculada em função do consumo médio diário (Funasa, 2007). A tabela 1 apresenta as características químicas e físicas e biológicas das águas residuais domésticas não tratadas.

Tabela 1: Concentrações médias dos constituintes químicos e microbiológicos das águas residuais domésticas não tratadas. Editado de Serrano, (2014).

Constituinte	Concentração média
• <i>Total de Sólidos dissolvidos (TDS)</i> • <i>Total de Sólidos suspensos (TSS)</i> • <i>Nitrogénio total</i> • <i>Demanda química de oxigénio (DQO)</i> • <i>Carbono orgânico total</i> • <i>Demanda Bioquímica de oxigénio (DBO₅)</i> • <i>Cloretos</i> • <i>Amónia livre</i> • <i>Nitritos</i> • <i>Nitratos</i> • <i>Óleos e gorduras</i> • <i>Fósforo total</i> • <i>Coliformes totais</i> • <i>Coliformes fecais</i>	• 500 mg/L • 210 mg/L • 40 mg/L • 430 mg/L • 140 mg/L • 190 mg/L • 50 mg/L • 25 mg/L • 0 mg/L • 0 mg/L • 90 mg/L • 7 mg/L • 10⁷ – 10⁹ N°/100 ml • 10⁴ – 10⁶ N°/100 ml

2.5.1. Nutrientes

Os poluentes presentes nas águas residuais contêm elementos necessários ao desenvolvimento das plantas, os quais, se não forem eficientemente removidos nas estações de tratamento de águas residuais (ETAR) podem causar danos ao ecossistema (Santos, Barreiros, Albuquerque, & Monte, 2016). No entanto, a excessiva proliferação de plantas macroscópicas e microscópicas, conduzindo ao desequilíbrio do ecossistema do meio recetor, fenómeno deletério conhecido como a eutrofização da água.



Figura 1: Perfil de um local com proliferação de algas acentuada pelo aporte excessivo de nutrientes (eutrofização). Obtido de <https://www.biologianet.com/ecologia/eutrofizacao.htm>.

O azoto e o fósforo, porque são necessários em quantidades sensivelmente superiores às de outros, são os principais dos 16 elementos considerados como indispensáveis, ou pelo menos como úteis, ao desenvolvimento das plantas, englobados na designação genérica de nutrientes, a qual não contempla o carbono (C), o oxigénio (O) e o hidrogénio (H), que são muito importantes por constituírem grande parte dos tecidos vegetais, mas que são obténíveis a partir da atmosfera (Santos, Barreiros, Albuquerque, & Monte, 2016). Portanto para a determinação do nitrogénio total nas águas residuais é usada a seguinte expressão matemática.

$$N_{total} = \frac{[NO_2] \times A_r(N)}{Mr(NO_2)} + \frac{[NO_3] \times A_r(N)}{Mr(NO_3)} + \frac{[NH_3] \times A_r(N)}{Mr(NH_3)} \quad (\text{Equação 1})$$

A presença de compostos azotados na água é, geralmente, indicadora de poluição. Este pode ocorrer nas águas residuais sob as seguintes formas: *Nitrogénio molecular dissolvido decorrente da dissolução do ar na água* ou da transformação de nitratos, *em nitrogénio diatómico por reacção bioquímica intermediada por bactérias desnitrificantes e inorgânicas, como os iões nitrato nitrito e azoto amoniacal, orgânicas, como aminas e proteína* (Santos, Barreiros, Albuquerque, & Monte, 2016).

2.5.2. pH e Alcalinidade das águas residuais

O pH para a nitrificação deve situar-se entre 7,2 e 8,0 e entre 6,0 e 8,0 para a desnitrificação Sperling, (2007) citado por Montes, et al., (2018). Se o pH das águas for baixo, tende a inibir o desenvolvimento de bactérias nitrificantes e a induzir a proliferação de indesejáveis bactérias filamentosas, pelo que pode ser necessário promover a sua neutralização. A alcalinidade das águas residuais pode constituir um fator limitante da nitrificação do azoto amoniacal, pois este processo consome cerca de 7,1 g de CaCO_3/g , sendo ainda necessária uma alcalinidade suficiente para manter o valor do pH na zona da neutralidade, isto é, no intervalo 6,8 a 7,4, a qual é da ordem de 70 – 80 mg/L CaCO_3 (Monte, Monte, & Barreiros, 2018),

2.5.3. Metais pesados

Metais pesados juntamente com pesticidas e nutrientes são considerados poluentes perigosos devido aos efeitos adversos que podem causar sobre os organismos vivos e ainda pela possibilidade da bioacumulação Locatelli et al., (1998) citados por Ferreira, (2001). Um grupo de elementos variável, que inclui metais e semimetais ou metaloides, os quais têm todos em comum a circunstância de representam um potencial de toxicidade ecológica e um risco de saúde. Geralmente, são considerados metais pesados são impurezas coloridas caracterizados por poluir e sua toxicidade característica e que apresentam uma densidade maior que $5\text{g}/\text{cm}^3$ (Ferreira, 2001).

A maioria dos metais pesados é tóxica em reduzidas concentrações para a vida humana e para a biota vegetal e animal (Santos et al., 2016). O lodo de esgotos contém muitos metais pesados, incluindo-se Zn, Cu, Pb, Cr, As e Mo, porém a grande preocupação é com o Cd. Apesar de sua baixa concentração (0,10 ng g⁻¹) ele é relativamente absorvido por grãos comestíveis, principalmente os vegetais com folhas, entrando na cadeia alimentar humana (Ferreira, 2001). Contudo, a presença de lodo nas águas residuais, proporciona elevados valores de pH e o aumento no teor de matéria orgânica e menor mobilidade de metais (Bertoncini & Mattiazzo, 1999)

2.5.4. Matéria orgânica

A matéria orgânica tem um importante papel no transporte dos metais uma vez que ela pode ligar traços de metais e abrigar a ocorrência de processos digenéticos depois da deposição. Além do mais, há evidências de que as partículas suspensas em água naturais estão cobertas por filmes orgânicos, os quais determinam a grande extensão do seu comportamento hidrológico como também as características de adsorção (Ferreira, 2001).

A avaliação da biodegradabilidade da matéria orgânica tem interesse, pois permite avaliar o tipo de processo de tratamento adequado para as águas residuais Sperling, (2007) citado por Santos, et al.,

(2016). Pode ser determinada através da razão entre demanda bioquímica e química de oxigénio, pois são os principais parâmetros usados para avaliar o teor de matéria orgânica num corpo de água. Vale ressaltar que:

- Se DBO/DQO elevada (maior que 0,5), a fracção biodegradável é grande, sendo um bom indicador para aplicação do tratamento biológico;
- Se DBO/DQO intermédia (0,3 a 0,5), a fracção inerte ou não biodegradável é elevada, devendo ser efetuados estudos para determinar se é viável a aplicação de tratamentos biológicos;
- Se DBO/DQO baixa (menor que 0,3), a fracção não biodegradável é muito elevada, possível indicação para aplicação de tratamentos físicos-químicos.

2.5.5. Demanda bioquímica e química de oxigénio (DBO e DQO)

A quantidade de DBO/DQO presente nas águas residuais pode afectar a eficiência do processo de desnitrificação, porque pode ser insuficiente para o metabolismo das bactérias desnitrificantes (Monte, Monte, & Barreiros, 2018). A Demanda Química de Oxigénio (DQO) é um parâmetro de avaliação da matéria orgânica presente na água que traduz o oxigénio necessário para a oxidação química dessa matéria orgânica em condições padronizadas. Já que existe uma elevada correlação entre a visibilidade do disco de Secchi e a DQO de um viveiro, a taxa horária de consumo de oxigénio dissolvido pode ser estimada a partir da visibilidade do disco de Secchi pela seguinte equação:

$$DQO \left(\frac{mg}{L} \right) = -1.33 + 0.00381S + 0.0000145S^2 + 0.0812T - 0.000749T^2 - 0.000349ST$$

(Equação 2)

- **Onde:** S é a visibilidade do disco de Secchi (cm); T é a temperatura (°C)

A DBO define-se como a quantidade de oxigénio utilizado na oxidação bioquímica da matéria orgânica de uma água, durante um tempo determinado, a uma dada temperatura, geralmente 5 dias e 20 °C, respectivamente (Santos, Barreiros, Albuquerque, & Monte, 2016). Este parâmetro mede a concentração de oxigénio dissolvido causado pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica, em mg/L. A principal diferença reside no momento em que a DBO baseia-se na oxidação bioquímica, enquanto a DQO se baseia na oxidação química da matéria orgânica. O método padrão para a determinação da DBO, envolve a incubação de uma amostra de água com uma gama de nutrientes a 20 °C por um período de 5 dias. Ou seja, a quantificação da DBO consiste na determinação de diferença de teor de oxigénio dissolvido presente na amostra antes e depois da incubação a 5 dias e à temperatura de 20 °C (Santos, Barreiros, Albuquerque, & Monte, 2016).

$$DBO_5 (mg/L) = |OD_0 - OD_5|$$

(Equação 3)

- Onde: **OD₀** é a quantidade do oxigénio dissolvido da amostra de água colhida no mesmo dia;
- **OD₅** é a quantidade de oxigénio dissolvido após incubação da amostra de água a 5 dias e à temperatura de 20 °C.

Deve salientar-se que, para uma mesma água, os valores de DQO são geralmente mais elevados que os de DBO, pois o dicromato oxida quimicamente a matéria orgânica biodegradável e a não biodegradável. Teoricamente, numa água em que todos os compostos orgânicos são fácil e igualmente biodegradáveis, os valores de DBO e de DQO são iguais (Santos, Barreiros, Albuquerque, & Monte, 2016).

2.6. Influência de águas residuais não tratadas ao estuário

A principal característica dos estuários é sua variabilidade ambiental, sendo marcados por intensa alteração de suas propriedades físico-químicas. Assim, o ambiente estuarino é um ambiente estressante para os organismos que necessitam enfrentar essas variações, determinando que o número de espécies nelas encontradas seja baixo comparado com áreas adjacentes. Contudo, os principais parâmetros que variam no ambiente estuarino são a salinidade, substrato, temperatura, ondas e correntes, turbidez e oxigénio dissolvido (Castello & Krug, 2015).

A alta carga de material em suspensão gera águas turvas nos estuários e com a diminuição da penetração de luz, ocorre uma redução na fotossíntese do fitoplâncton e algas betónicas e, portanto, uma queda da produtividade primária (Castello & Krug, 2015). A circulação residual torna-se importante pelo facto de permitir trocas de calor, distribuição espacial de nutrientes, dispersão de ovos e larvas entre a região costeira e o ambiente marinho, condicionando desta forma a produtividade primária e a produção pesqueira Hogue, *et al.*, 2020; Cafermane, 2021).

Produção primária designa o processo de formação da matéria orgânica pelos autotróficos em um determinado ecossistema a partir da redução de um composto doador de carbono, geralmente o gás carbónico. A matéria orgânica produzida pela produção primária é classificada em quatro categorias bioquímicas: carboidratos, ácidos graxos (lípidos), proteínas e ácidos nucleicos (Castello & Krug, 2015). A circulação residual em referência observa-se devido a das águas continentais e oceânicas, o que possibilita de forma directa a circulação residual que condicionam o habitat dos seres vivos no ambiente aquático (Cafermane, 2021).

2.7. Tratamento das águas residuais

As águas residuais antes de serem descarregadas, no meio receptor, têm de ser tratadas nas denominadas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de modo a cumprir os limites de descarga impostos pela legislação vigente (Serrano, 2014). O tratamento das águas residuais numa ETAR engloba o tratamento da fase líquida e o tratamento da fase sólida. O grau de tratamento a implementar depende

das características do efluente bruto, da qualidade exigida ao efluente tratado, do custo e disponibilidade dos terrenos, da disponibilidade de pessoal especializado, da simplicidade de operação e manutenção e da evolução previsível das normas de rejeição. No entanto, estudos sobre métodos para o tratamento de águas residuais já são desenvolvidos a nível de escolas ou universidades.

Litsuri, (2021) estudou a eficiência do uso de macrófitas para o tratamento de efluentes aquícolas, e apontou uma eficiência de remoção de compostos nitrogenados maior que 90% e cerca de 84% de sólidos suspensos.

Aissa, (2022) estudou a eficiência do uso de Wetlands construídos de Fluxo Vertical para o tratamento de águas residuais, e apontou uma eficiência de remoção >60% de DBO, DQO e TSS.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3. Metodologia

3.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Estuário dos Bons Sinais localizado na parte leste de Moçambique, entre as longitudes. $36^{\circ}51'25,67''\text{E}$ e latitudes $17^{\circ}52'25,67''\text{S}$; (Figura 2). O clima é tropical húmido seco com duas épocas do ano bem distintas: inverno seco (Março - Agosto) e verão chuvosa (Setembro - Abril). O estuário tem cerca de 30 km de extensão desde a boca até a confluência e 2 km de largura e possui uma profundidade média de 15 metros. A zona é fortemente influenciada pelos ventos de monções da África Oriental, e é predominada por marés de natureza semidiurnas. As temperaturas diurnas são em geral superiores a 30°C na estação quente, mas as vezes podem baixar até 20°C na estação fria (Cafermane, 2021; Ferraz, 2014). O estuário apresenta uma elevada concentração de sedimentos em suspensão, com predominância de fundo lodoso. Essa carga sedimentar intensa influencia directamente a dinâmica morfológica da região, resultando na formação e destruição contínua de ilhas e bancos de sedimentos (Cafermane, 2021). Além disso, observa-se a deposição de águas residuais provenientes dos esgotos municipais da cidade de Quelimane, concretamente na zona da Avenida Marginal.

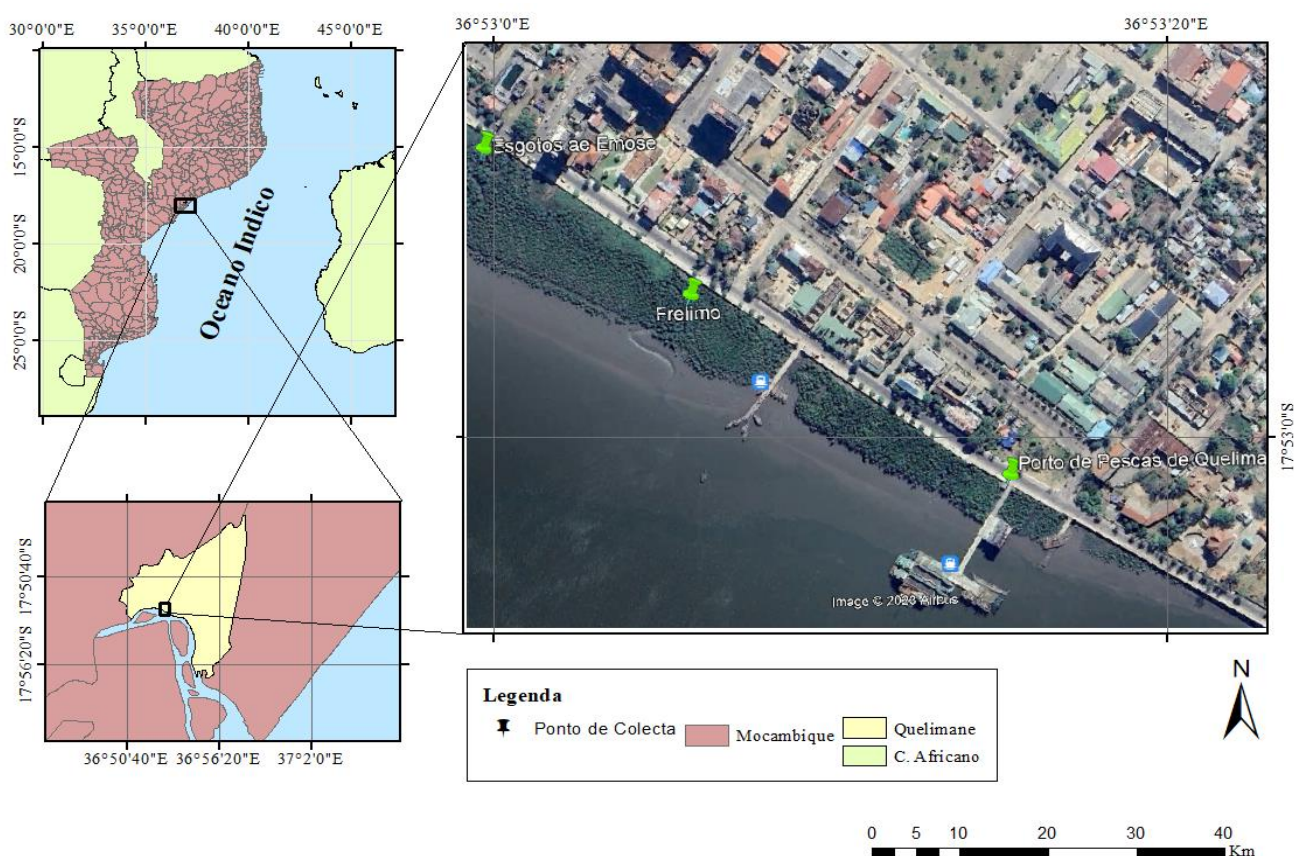


Figura 2: Localização da Área de estudo e pontos de amostragem.

3.2.Amostragem

Para a realização do presente estudo, foram colhidas dezoito (18) amostras de águas residuais na foz dos esgotos municipais que desagüam no estuário dos Bons Sinais. As amostras foram distribuídas em três pontos distintos de amostragem, devidamente representados na Figura 2. As campanhas de amostragem ocorreram em três dias alternados da mesma semana, nos dias 28 de agosto, 30 de agosto e 1 de Setembro de 2023, tanto o início como o fim da semana, de forma a captar eventuais variações nas características das águas. A escolha dos dias foi estratégica, tendo em conta o estado da maré, sendo que as amostragens do primeiro e do terceiro dia ocorreram durante a maré enchente, enquanto a do segundo dia foi realizada na maré vazante.

A colheita das amostras foi efetuada *in situ*, com base no protocolo descrito por Martins & Medeiros (2017). Para tal, utilizou-se um recipiente de 1,5 litros, previamente desionizado com água destilada. O recipiente foi passado duas vezes pela água antes da colecta definitiva, a qual foi realizada a uma profundidade entre 10 e 30cm. As amostras recolhidas foram devidamente identificadas, seladas e armazenadas em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) para posterior análise.

As amostras foram destinadas a dois laboratórios distintos. Nove (9) amostras foram enviadas ao laboratório de Química da ESCMC para determinação da Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO) e da Demanda Química de Oxigénio (DQO), após cinco dias de incubação. As demais foram encaminhadas ao laboratório de qualidade da água da empresa Águas da Região Centro (AdRC), para a realização de outras análises físico-químicas.

Durante cada campanha de amostragem, foram determinados no local os parâmetros de rotina da água, nomeadamente: pH, condutividade eléctrica, turbidez, temperatura, oxigénio dissolvido, sólidos dissolvidos totais e salinidade (ppm). Além disso, foram observadas características visuais da água depositada, como a coloração, sinais de eutrofização e a presença predominante de macroalgas ou plantas aquáticas, de forma a complementar a interpretação dos dados laboratoriais.

Tabela 2: Descrição dos locais de amostragem.

Ponto 1		Ponto 2	Ponto 3
Localização	Esgoto que encontra-se próximo ao edifício da EMOSE	Esgoto que encontra-se próxima à escola da FRELIMO	Esgoto que encontra-se do lado do porto de Pesca de Quelimane, pode ser influenciado pelo Hospital Geral de Quelimane

3.3. Materiais e métodos

Tabela 3: Lista dos materiais e reagentes utilizados no âmbito do desenvolvimento do trabalho.

<i>Materiais e reagentes</i>	<i>Funções</i>
<i>Disco de Secchi</i>	Para análise da turbidez
<i>Fita teflon</i>	Para celar a amostra
<i>Régua graduada de 50 cm</i>	Para medir a profundidade de colecta de amostras de água
<i>Garrafas de 1.5 litros</i>	Colheita de amostras e conservar amostras até a análise
<i>Multi-parâmetro Az 86031</i>	Para medir o OD, salinidade, pH, T°C, Cond. TDS,
<i>Espectrofotómetro HACH DR 900</i>	Para medir NO_3^- , NO_2^- , NH_3 , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mn^{4+} , Fe^{2+}
<i>Incubadora Labcon (150°C)</i>	Incubar amostra de água para determinar DBO_5
<i>EDTA</i>	Usado no acto da determinação de Mg^{2+} e Ca^{2+}
<i>Nitrato de prata (AgNO_3)</i>	Titulante para análise de cloretos (Cl^-)
<i>Cromato de potássio (K_2CrO_4)</i>	Indicador para análise de cloretos
<i>Acido sulfúrico diluído (H_2SO_4)</i>	Titulante para análise de alcalinidade
<i>Sodium periodate MD00021 F10</i>	Reagente parcial para análise do manganês
<i>Ferrous Iron RGT M00024 F25</i>	Para análise to teor de ferro total presente
<i>Indicador Bromocresol</i>	Indicador para análise da alcalinidade da água
<i>Manganese Citra Tebuffer M00023 F10</i>	Reagente parcial para análise do manganês
<i>HR Nitrite M00031 F10</i>	Para análise de nitritos
<i>HR Nitrate M00049 F10</i>	Para análise de nitratos
<i>Cianureto de amónia MD0128 F10</i>	Para análise de amónia livre

3.3.1. Métodos

3.3.2. Determinação das características físico-químicas

As características químicas da água, nomeadamente os iões NO_3^- (nitrato), NO_2^- (nitrito), NH_3 (amônia), Mg^{2+} (magnésio), Ca^{2+} (cálcio), Mn^{4+} (manganês) e Fe^{2+} (ferro), foram determinadas através da espectrometria de absorção molecular (EAM), conforme descrito por Nhambirre Jr. (2023), em análises realizadas no laboratório de qualidade de água da instituição Águas da Região Centro (AdRC), anteriormente designada FIPAG de Quelimane.

3.3.3. Procedimentos laboratoriais

No mesmo laboratório, os cloretos e a alcalinidade foram determinados por técnicas volumétricas, utilizando titulação com solução padrão de nitrato de prata para os cloretos e titulação com solução de ácido sulfúrico para a alcalinidade. Para as análises por EAM, foi seguido o seguinte procedimento: em um volume de 10 mL da amostra de água adicionou-se o reagente correspondente a cada parâmetro a ser analisado; em seguida, a amostra foi submetida a agitação mecânica com o objectivo de acelerar a reacção entre o reagente e o analito. Após a formação do complexo ou da coloração desejada, a amostra foi introduzida no espectrofotómetro HACH DR 900, equipamento multiparâmetro de feixe simples, onde se seleccionou o programa correspondente a cada ião analisado. A leitura foi realizada directamente no visor do equipamento, com os resultados expressos em mg/L.

As características físicas da água, incluindo a condutividade eléctrica, o total de sólidos dissolvidos (TDS), a temperatura, o pH e o oxigénio dissolvido (parâmetro de natureza físico-química), foram determinadas com o auxílio de um multiparâmetro portátil devidamente calibrado, disponibilizado pelo Laboratório de Química da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras da Universidade Eduardo Mondlane (ESCMC – UEM). A turbidez foi estimada de forma empírica por meio da visibilidade do disco de Secchi, ferramenta utilizada em campo para avaliar a transparência da coluna de água.

3.3.4. Determinação da Nitrogénio total, DBO5 e DQO

A determinação da Demanda Bioquímica de Oxigénio em cinco dias (DBO_5) seguiu a metodologia descrita por Santos et al. (2016), tendo consistido na incubação de 250 mL de amostra de água a 20°C durante cinco dias, com uma constante de diluição de 5%. A partir desse procedimento, aplicou-se a equação 3 abaixo para obter o valor da DBO_5 :

$$\text{DBO}_5 \text{ (mg/L)} = |\text{OD}_0 - \text{OD}_5|$$

Onde: OD_0 é a quantidade do oxigénio dissolvido da amostra de água colhida no mesmo dia; OD_5 é a quantidade de oxigénio dissolvido após incubação da amostra de água a 5 dias e à temperatura de 20 °C

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi determinada com base na relação entre os valores de turbidez observados pelo disco de Secchi e a carga orgânica presente na água, conforme descrito por Santos et al. (2016) e expressa na equação 2:

$$DQO \left(\frac{mg}{L} \right) = -1.33 + 0.00381S + 0.0000145S^2 + 0.0812T - 0.000749T^2 - 0.000349ST$$

Onde: S é a visibilidade do disco de Secchi (cm); T é a temperatura (oC)

Por fim, após a determinação espectrofotométrica das concentrações de nitrato, nitrito e amônia livre, o nitrogênio total foi calculado com base na equação 1 deste trabalho, utilizando-se as massas moleculares dos compostos envolvidos e a massa atômica do nitrogênio com base na equação abaixo:

$$N_{total} = \frac{[NO_2] \times A_{r(N)}}{Mr_{(NO_2)}} + \frac{[NO_3] \times A_{r(N)}}{Mr_{(NO_3)}} + \frac{[NH_3] \times A_{r(N)}}{Mr_{(NH_3)}}$$

Onde: N_{total}- nitrogênio total, nitrito (NO₂⁻), nitrato (NO₃⁻) e amônia (NH₃).

3.4. Análise dos dados

Após as análises laboratoriais efetuadas pela AdRC, todos os resultados analíticos foram recolhidos, sistematizados e posteriormente convertidos em logaritmo natural (Ln) no programa Microsoft Office 2013, pacote Excel, para fins de análise exploratória e interpretação. Nesse mesmo pacote, realizaram-se a construção de gráficos, a determinação de parâmetros estatísticos para comparação com dados de outras literaturas, bem como a elaboração de tabelas. Portanto, os resultados foram expressos sob a forma de tabelas e gráficos devidamente detalhados.

CAPÍTULO IV: APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4. Resultados e Discussão

4.1. Características químicas

4.1.1. Nitrogénio total (NO_3^- , NO_2^- e NH_3)

A tabela 4 ilustra os resultados dos compostos nitrogenados em mg/L presentes nas amostras de água residual analisada dos três (3) pontos colectados.

Tabela 4: Concentração dos iões de nitratos, nitritos e de amónia livre na água,

<i>Parâmetro</i>	<i>Símbolo do ião</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 3</i>
<i>Nitratos</i>	NO_3^- (mg/L)	5.97	8.08	3.40
<i>Nitritos</i>	NO_2^- (mg/L)	0.08	0.04	0.19
<i>Amónia livre</i>	NH_3 (mg/L)	0.11	0.05	4.89

Considerando os níveis de aceitação apontados no presente trabalho (Tabela 1), os níveis de nitratos e nitritos não entram em concordância e, no entanto, a quantidade de amónia presente na água nos pontos 1, 2 e 3 foi de 0.11, 0.05 e 4.89 mg/L, respectivamente. Tendo desta maneira variado de 0.11 a 4.89 ao longo de todos locais de despejo e, portanto, dentro do limite presente na tabela 1.

Sobretudo, o pH elevado observado na presente pesquisa (Tabela 6) justifica o facto da concentração dos nitratos ser maior em relação a amónia presente devido o processo de desnitrificação. As águas residuais domésticas são ricas numa vasta variedade de compostos orgânicos e inorgânicos, necessários ao crescimento microbiológico (Silva P. M., 2013). Nestas, estão presentes compostos essenciais em elevadas quantidades como o carbono, hidrogénio, azoto e fósforo, bem como compostos necessários em menores quantidades, como o magnésio, potássio, cálcio e manganês. Analisando, os esgotos que drenam suas águas no estuário Bons Sinais exibem resultados que assimilam-se com a descrição acima referida.

A quantidade no nitrogénio total presente nas amostras analisadas. Portanto, observou-se maior quantidade do nitrogénio total no ponto 3 com cerca de 4.87 mg/L em relação aos outros pontos e, um mínimo deste parâmetro no ponto 1 com cerca de 1.477 mg/L de nitrogénio total. O ponto 3 apresentou uma concentração igual a 1.88 mg/L deste parâmetro. Estes valores são baixos em relação às médias apontadas por Serrano, (2014) a concentração máxima observada dos compostos nitrogenados geralmente encontrada em águas residuais é de 25 mg/L.

4.1.2. TSS, TDS, Cloretos e Alcalinidade

Em função da tabela abaixo (tabela 5) pode se observar que o teor de sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e cloretos é maior no ponto 3 com concentrações respectivamente iguais a 237, 2671.33 e 619 mg/L e menores no ponto 1 com 89, 983.67, 210.53 mg/L, respectivamente.

Tabela 5: Relação concentração total dos sólidos dissolvidos e suspensos e concentração de cloretos e alcalinidade da água.

<i>Parâmetro</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 3</i>
<i>Total de sólidos suspensos – TSS (mg/L)</i>	89	170	237
<i>Total de sólidos dissolvidos – TDS (mg/L)</i>	983.67	1235.67	2671.33
<i>Cloretos</i>	210.53	354.6	619.53
<i>Alcalinidade</i>	51.33	51.33	45.33

Notou-se também que a concentração de TSS e de TDS foi supostamente directamente proporcional. O ponto 1 apresentou a concentração mínima dos cloretos com até 210.53 mg/L, o ponto 3 com 354.6 mg/L e o valor máximo foi observado no ponto 3 com 619.53 mg/L. A água despejada nos pontos 1 e 2 apresentou mesma alcalinidade de 51.33 mg/L e menos alcalina no ponto 3 com 45.33 mg/L.

A concentração de cloretos depende das condições químicas, pode ser provenientes de depósitos minerais, vapores oceânicos levados pelo vento, invasão das águas salgadas, poluição por matéria fecal, despejos industriais (Veiga, 2005). Para além de outros factores (como capacidade de separação e recirculação) valores elevados de TSS estão limitados pela disponibilidade de oxigénio (Silva P. M., 2013). Além disso, os TSS são compostos por massa microbiológica activa e não activa, compostos orgânicos não biodegradáveis e massa inorgânica (Silva P. M., 2013). Portanto, estes resultados sugerem que os esgotos estão preenchidos por materiais inorgânicos não biodegradáveis, no entanto, o padrão de sólidos suspensos em águas residuais é de 60mg/L de acordo com o Decreto nº 18/2004 da legislação moçambicana sobre descargas de efluentes líquidos em corpos de água citado por Aissa, (2022).

A alcalinidade óptima das águas residuais para manter o pH na neutralidade de modo que não seja limitado o processo de nitrificação do nitrogénio amoniacal é de 70 a 80 mg/L (Santos, *et al.*, 2016). Portanto, para a quantidade apresentada na tabela 7, não corresponde a este intervalo.

4.1.3. Dureza total Mg^{2+} , Ca^{2+} e Mn^{4+} e Fe^{2+}

O gráfico apresentado abaixo indica a concentração dos iões de cálcio e de magnésio na água em todos pontos de despejo da água residual. O ponto 1 apresentou concentração mínima de iões de cálcio e de

magnésio com 20.69 e 7.19 mg/L, o ponto 2 com 23.42 e 8.47 mg/L, e valores máximos foram observados no ponto 3 com uma concentração máxima de 24.01 e 8.42 mg/L de cálcio e magnésio, respectivamente.

Tabela 6: Resultados da dureza e de seus componentes associados.

<i>Parâmetro</i>	<i>Concentração (mg/L)</i>		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
<i>Dureza</i>	38	46	46
<i>Ca²⁺</i>	20.69	23.42	24.01
<i>Mg²⁺</i>	7.19	8.47	8.42
<i>Mn⁴⁺</i>	2.03	0.67	1.67
<i>Fe²⁺</i>	0.50	0.47	0.46

Denomina-se dureza total a soma das durezas individuais atribuídas à presença de iões de cálcio e magnésio. Portanto, constatou-se por meio destes resultados maior dureza para a água do ponto 3, com uma concentração máxima de 46 mg/L. De acordo com classificação das águas quanto a dureza, a água analisada é mole, porque apresenta águas moles apresentam concentração menor que 50 mg/L de CaCO₃ (Veiga, 2005). Os metais apresentados na tabela abaixo (tabela 6) mostraram um comportamento variado e dependente da natureza do ambiente em que o esgoto se encontra. Sendo assim, valores máximos do manganês foram encontrados no ponto 1 e ferro foram encontrados no ponto 3. A concentração mínima de manganês foi encontrada no ponto 2 e de ferro foi encontrada no ponto 3.

	2.03	0.67	1.67
Manganês			
Ferro	0.50	0.47	0.46

Os parâmetros analisados e apresentados na tabela acima (tabela 6) são caracterizados em função do ambiente de amostragem, portanto, estes valores estão associados a actividades portuárias e descargas de material inorgânico por acção antropogénica no meio. Estas declarações estão de acordo com o apontado por (Veiga, 2005). As análises físico químicas da água analisadas por Veiga, (2005) apontaram concentrações de manganês e ferro que variam de 0.01 a 1.37 mg/L e 0.05 a 11.1 mg/L, respectivamente. Constatou-se pois neste estudo que geralmente pode ocorrer este nível de predominância destes iões em corpos de águas residuais.

4.2. Características físicas

A caracterização apresentada para a *tabela 7* é baseada nos pontos de amostragem ao longo de todo percurso de amostragem. Portanto, a *tabela 7* mostra os valores médios de todos parâmetros analisados

em campo, referentes a característica física e salinidade em todo período de amostragem ao longo dos três pontos identificados previamente (*Figura 2*). Estes valores mostram que a água residual despejada no estuário Bons Sinais é de característica salobra, tendo em conta o nível de salinidade encontrado que variou nos três pontos de *1.05 a 3.06 ppm*, associam – se estes resultados às características químicas do solo local da descarga das águas residuais. Dado o teor da salinidade, a condutividade eléctrica desta água mostrou-se elevada, com valores que variam de *1961.67 a 5333.67 µmohs* e assim também ocorreu com a quantidade total de sólidos dissolvidos. Contudo, são os únicos parâmetros que, os valores mínimos foram verificados no ponto 1 e os máximos no ponto 3.

Tabela 7: pH e características físicas da água residual depositada no estuário.

PARAMETRO	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
<i>pH</i>	8.47	8.18	8.14
<i>Turbidez (cm)</i>	23.33	30.00	15.00
<i>Condutividade (µmohs)</i>	1961.67	2471.00	5333.67
<i>TDS (mg/L)</i>	983.67	1235.67	2671.33

O pH não variou significativamente entre os pontos pois, apresenta valores em torno de *8.14 (ponto 3) a 8.47 (ponto 1)*. Monte, *et al.*, (2018) diz o pH aplicável ao tratamento de água residual reside em torno de 6.0 a 9.0. No entanto, o pH neutro (pH=7) é a condição de pH que corresponde à formação de um ecossistema mais diversificado e a um tratamento mais estável tanto para os meios aeróbios como para os anaeróbios (<https://2engenheiros.com/2018/03/20/ph-e-qualidade-da-agua/>). Ainda Monte, *et al.*, (2018) ressalta que valores de pH baixo inibem o desenvolvimento de bactérias nitrificantes, contudo, dependendo do tipo de processo de tratamento do esgoto, este pode ser ajustado.

O crescimento microbiano tem como consequência uma redução de pH do meio pela libertação de metabolitos ácidos, como ácidos orgânicos e ácido sulfúrico (Silva P. M., 2013). Seguindo nesta linha do pensar, pode se constatar que não houve crescimento deste tipo de microrganismos na água, no entanto, sim de bactérias desnitrificantes tendo em conta o pH elevado que foi observado.

A água destes esgotos apresentou um grau de transparência bastante reduzido, isto é, a água foi transparente desde os *0 a 30 cm* de profundidade em quase todos pontos de amostragem de acordo com os valores apresentados na tabela acima sobre a *turbidez*. Segundo autores, a cor da água pode indirectamente determinar valores da turbidez ou do grau de transparência da água e, portanto, auxiliando nesta declaração, a turbidez da água analisada foi maior e alguns pontos e dias água apresentou um coloração cinzenta e em outros pontos muito escura.

Santos, et al., (2016) diz que a turbidez está associada a maior quantidade de partículas em suspensão de dimensões bastante reduzidas, sobretudo, de natureza diversa desde microrganismos até partículas minerais como compostos de silício, ferro e fibras. Ainda o mesmo autor diz que cor muita das vezes deve-se a substâncias inorgânicas (como sais de ferro e de manganês) e substâncias orgânicas (como ácidos húmicos, resíduos do metabolismo de algas e outros organismos aquáticos, produtos de decomposição de poluentes) e pelo lançamento de descargas industriais.

Todavia, pelas condições locais em que foi notada a coloração cinzenta (ponto 2 e 3) discute-se que seja pela presença de substâncias orgânicas e os restantes locais e dias de amostragem com coloração escura deve-se aos produtos de decomposição de poluentes, resíduos de metabolismo de algas e outros organismos aquáticos e ácidos húmicos. Ainda, a cor acinzentada caracteriza a água residual recente e cor preta para água residual velha (Aissa, 2022).

4.2.Características bioquímicas

4.2.1. DBO e DQO

A tabela 8 apresenta valores médios que representam a quantidade de oxigénio utilizado na oxidação bioquímica e química da matéria orgânica da água colectada, analisada inicialmente na amostragem e após os 5 dias de incubação a 20 °C. Deste modo, mínimo de LDO foi verificado no ponto 2 e máximo no ponto 1, com 10.67 e 12.67 mg/L respectivamente. Após 5 dias o mesmo parâmetro, nos mesmos pontos anteriormente descritos apresentou o mesmo comportamento, com teores iguais a 14.67 e 16.63 mg/L.

No entanto, no local de despejo a concentração máxima permitida de descarga DBO₅ e DQO é de 40 e 150 mg/L, respectivamente. Deste modo, os valores da demanda bioquímica são menores que os valores da demanda química, em todos respectivos pontos amostrados.

O valor máximo da quantidade do oxigénio necessário para a oxidação química da matéria orgânica foi observado no ponto 3 e mínimo no ponto 2, com cerca de 17.71 e 10.2 mg/L/h, respectivamente.

Tabela 8: Valores médios referentes demandas (bioquímica e química) de oxigénio nos três pontos de amostragem.

<i>PARAMETRO</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 3</i>
<i>Oxigénio Líquido Dissolvido: LDO (mg/L)</i>	12.67	10.67	10.97
<i>Oxigénio Líquido Dissolvido₅: *LDO₅ (mg/L)</i>	16.63	14.57	14.73
<i>Demanda Química de Oxigénio: DQO (mg/L/h)</i>	13.33	10.2	17.71
<i>Demanda Bioquímica de oxigénio₅: *DBO₅ (mg/L)</i>	5.30	3.97	3.77

* → Parâmetro determinado após a incubação da amostra de água a 30°C durante 5 dias.

Ressalta-se que os valores de DQO também foram determinados considerando o período de cinco dias, a fim de equalizar as demandas em função do tempo. Segundo Santos *et al.* (2016), o consumo de oxigénio é proporcional à quantidade de matéria orgânica oxidada bioquimicamente. A demanda bioquímica de oxigénio em cinco dias (DBO₅) apresentou valores máximos no ponto 1 (5,30 mg/L) e mínimos no ponto 3 (3,77 mg/L), o que corrobora a afirmação de Santos *et al.* (2016).

Ao comparar os valores de DBO₅ obtidos nas amostras analisadas com os dados da literatura, observa-se que estes se encontram significativamente abaixo da média de 190 mg/L apontada por Serrano (2014) para esgotos típicos. Esse resultado sugere uma baixa taxa de oxidação bioquímica da matéria orgânica nas amostras analisadas. Serrano (2014) também classifica concentrações de DBO₅ inferiores a 110 mg/L como fracas, o que reforça essa interpretação.

A mesma tendência foi observada para a DQO, cujos valores se mantiveram abaixo da média apresentada na Tabela 1 e também inferiores ao limite máximo de 150 mg/L estabelecido pelo Decreto n.º 18/2004 da legislação moçambicana sobre padrões de descarga de efluentes líquidos em corpos hídricos (Aissa, 2022).

De acordo com Silva (2013), concentrações de oxigénio dissolvido entre 1 e 2 mg/L em tanques biológicos são suficientes para manter uma actividade microbiana aeróbia activa, embora o crescimento óptimo dependa da disponibilidade de nutrientes essenciais. No entanto, os baixos valores de DBO₅ e DQO indicam que ocorreu uma limitada oxidação bioquímica da matéria orgânica nas amostras analisadas.

As concentrações de nitrato variaram de 3,40 a 8,08 mg/L, nitrito de 0,04 a 0,19 mg/L e amónia livre de 0,05 a 4,89 mg/L. Esses valores estão abaixo dos limites máximos de 40 mg/L (NO₃⁻), 1 mg/L (NO₂⁻) e 25 mg/L (NH₃), segundo a OMS (2004) e a legislação moçambicana (Decreto n.º 18/2004). A presença maior de nitrato em relação à amónia livre indica que o processo de nitrificação está parcialmente activo, o que é reforçado pelos valores elevados de pH (acima de 8), condição favorável para bactérias nitrificantes (Monte *et al.*, 2018).

Estudos similares, como o de Santos *et al.* (2016) em corpos hídricos urbanos de Portugal, também apontaram nitrificação activa em ambientes com pH neutro a alcalino e baixa concentração de matéria orgânica. No entanto, ao comparar com o estudo de Chiavelli *et al.* (2019) em águas residuais urbanas brasileiras, os valores encontrados em Quelimane são consideravelmente mais baixos, indicando menor carga orgânica e menor poluição nitrogenada.

As concentrações de sólidos suspensos (TSS) variaram de 89 a 237 mg/L, e os sólidos dissolvidos (TDS) de 983,67 a 2671,33 mg/L. Os valores de TSS ultrapassam o limite estabelecido pela legislação moçambicana (60 mg/L), o que indica uma carga significativa de partículas em suspensão,

provavelmente oriundas de matéria orgânica não tratada, resíduos domésticos e até sedimentos carreados pela drenagem urbana.

A elevada turbidez associada (15–30 cm de visibilidade) também está em linha com esse resultado. Segundo Aissa (2022), águas residuais com turbidez elevada apresentam maior risco ambiental por impedir a penetração de luz solar e reduzir a produtividade primária em ambientes estuarinos. Além disso, Santos *et al.* (2016) apontam que os sólidos suspensos são indicadores imediatos de degradação orgânica e presença de substâncias coloidais. A semelhança com esses autores fortalece a interpretação dos resultados. Contudo, o valor de TDS acima de 2000 mg/L, especialmente no ponto 3 (2671,33 mg/L), pode indicar presença de sais dissolvidos oriundos de água salobra ou mesmo da intrusão salina do oceano. O estudo de Veiga (2005) confirma que áreas estuarinas costeiras são sujeitas à salinização devido à invasão de águas marinhas, fenómeno comum em zonas com drenagem irregular como Quelimane.

O pH variou de 8,14 a 8,47, indicando águas ligeiramente alcalinas, o que favorece o processo de desnitrificação e a estabilidade de metais como ferro e manganês em forma insolúvel. Os valores elevados de condutividade (1961,67 a 5333,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$) reforçam a hipótese de influência marinha ou acúmulo de sais dissolvidos, como cloretos, cujos valores atingiram até 619,53 mg/L.

O estudo de Castello e Krug (2015) descreve a condutividade como parâmetro sensível à presença de iões dissolvidos e salinidade. Os resultados obtidos neste trabalho estão alinhados com essa abordagem. Contudo, a comparação com dados de ambientes fluviais não estuarinos como em (Nhambirre Jr., 2023) revela uma diferença acentuada, o que confirma o carácter específico do ecossistema analisado.

Os teores de cálcio e magnésio variaram de 20,69 a 24,01 mg/L e de 7,19 a 8,47 mg/L, respectivamente. Já o manganês e ferro apresentaram valores de 0,67 a 2,03 mg/L e 0,46 a 0,50 mg/L. Estes últimos valores são considerados altos para ambientes aquáticos, podendo representar risco para organismos estuarinos.

Ferreira (2001) e Santos *et al.* (2016) alertam que metais como manganês e ferro, mesmo em baixas concentrações, podem bioacumular em peixes e moluscos, comprometendo a segurança alimentar. Ainda que os valores estejam abaixo de limites críticos de toxicidade aguda, sua presença contínua pode causar efeitos crónicos e afectar a biodiversidade local.

Contrariamente, o estudo de Litsuri (2021), que avaliou efluentes aquícolas tratados com macrófitas, observou remoção de mais de 90% de metais pesados, o que demonstra que técnicas simples podem mitigar esse tipo de contaminação. Essa comparação evidencia uma oportunidade de melhoria para Quelimane, caso houvesse tratamento prévio dos efluentes.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) variou de 3,77 a 5,30 mg/L, enquanto a DQO variou de 10,2 a 17,71 mg/L. Ambos os valores estão muito abaixo das médias reportadas por Serrano (2014) para efluentes domésticos não tratados (190 mg/L de DBO e 430 mg/L de DQO), o que sugere uma baixa carga de matéria orgânica biodegradável.

Esse resultado pode ser explicado por diluição dos efluentes com água do estuário, presença predominante de matéria inorgânica (como indicado pelos TSS e TDS) ou baixa densidade populacional nas zonas de descarga. A relação DBO/DQO baixa ($<0,5$) sugere ainda que a matéria presente não é facilmente biodegradável, o que compromete a eficiência de tratamentos biológicos, como também referido por Santos *et al.* (2016).

CAPITULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusão

De acordo com os resultados apresentados no capítulo 4 do presente trabalho chegou-se às seguintes conclusões:

- ✓ As concentrações de nitrato (3,40–8,08 mg/L), nitrito (0,04–0,19 mg/L) e amónia livre (0,05–4,89 mg/L) ficaram dentro dos limites aceitáveis segundo a legislação vigente. A dureza total foi inferior a 50 mg/L, classificando a água como mole. Os cloretos variaram de 210,53 a 619,53 mg/L, e a alcalinidade de 45,33 a 51,33 mg/L, valores considerados compatíveis com águas residuais de origem doméstica.
- ✓ Os valores de DBO (3,77–5,30 mg/L) e DQO (10,2–17,71 mg/L) estão muito abaixo dos limites permitidos, revelando baixa presença de matéria orgânica biodegradável nas águas residuais analisadas.
- ✓ Os sólidos suspensos variaram entre 89 e 237 mg/L, enquanto os sólidos dissolvidos oscilaram de 983,67 a 2671,33 mg/L, indicando águas com alta turbidez e presença significativa de sais dissolvidos. A condutividade eléctrica apresentou valores elevados (1961,67–5333,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$), compatíveis com águas estuarinas com influência salina.
- ✓ Observou-se variações significativas entre os três pontos de amostragem, sendo o ponto 3 o mais contaminado, possivelmente devido à proximidade do hospital e à maior carga orgânica e mineral. A alcalinidade e o pH elevados favoreceram processos de nitrificação e desnitrificação, enquanto a baixa DBO sugeriu presença majoritária de matéria inorgânica.
- ✓ A maioria dos parâmetros está dentro dos limites do Decreto n.º 18/2004, sugerindo impacto ambiental controlado, mesmo sem tratamento prévio. Apesar de os parâmetros estarem, em sua maioria, dentro dos padrões legais, a elevada concentração de sólidos, condutividade, ferro e manganês pode comprometer a qualidade ecológica do estuário a longo prazo, afectando a biodiversidade local e potencialmente a saúde pública, caso não sejam adoptadas medidas de mitigação.

5.1.Recomendações

- ✓ Recomenda-se que antes da descarga no Estuário dos Bons Sinais, as águas residuais passem por processos mínimos de tratamento físico-químico para remoção de sólidos suspensos, metais como ferro e manganês, e matéria orgânica.
- ✓ Recomenda-se avaliação microbiológica e toxicológica para determinar riscos sanitários directos à saúde humana.

Referências bibliográficas

- 1 Archela, E; Carraro, A; Fernandes, F; Barros, O.N.F; Archela, R.S.(2003) Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. UEL - Universidade Estadual de Londrina. Paraná,.
- 2.Aissa, K. N. (2022). *Avaliação da Eficiência de Wetland Construído de Fluxo Vertical para o Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Moçambique*. Monografia , Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
2. Bertoncini, E. I., & Mattiazzo. (1999). Lixiviação de Metais Pesados em Solos Tratados com Lodo de Esgoto. 8.
3. Cafermane, A. C. (2021). *Massas de 'Água e Circulação Residual no Estuário dos Bons Sinais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Eduardo Mondlane, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, Quelimane.
4. Castello, J. P., & Krug, L. C. (2015). *Introdução Às Ciências do Mar* (2 ed., Vol. 1). Pelotas, Brasil: Editora Textos.
5. Cavalcante, K. D. (2015). *Uso de águas residuais e as vantagens de sua aplicação na agricultura*. Campina Grande-PB: Trabalho de Licenciatura em Biologia, pela Universidade Estadual da Paraíba.
6. CFM. (2007). *Estudo Ambiental Simplificado da Dragagem do Canal de acesso ao Porto da Beira*. Maputo-Moçambique.
7. Dilva, R. A., Lacerda, S. D., & Mota, A. M. (Setembro de 2013). Bioacumulação de Cádmio, Chumbo, Cromo e Níquel no Molusco *Mytella falcata* (Orbigny, 1846) do Estuário Urbano da Baía do Pina, Nordeste do Brasil. *Natural Resources*, 3, 1. doi:10.6008/ESS2237-9290.2013.002.0027
8. Ferraz, T. M. (2014). *Estudo da Hidrodinâmica e Renovação da Água no Estuário dos Bons Sinais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Eduardo Mondlane, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, Quelimane.
9. Ferreira, R. J. (2001). *Determinação de Metais Traço em Sedimentos de Rios: Caso da Baía do Baixo Itajaí-Açu*. Dissertação de Mestrado , Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
10. Gerling, C., Ranieri, C., & Fernandes, L. (2016). *Manual dos Ecossistemas Marinhos e Costeiros para Educadores*. São Paulo: Paulo Pechmann.
11. Knapik, H. G., Fernandes, C. V., Azevedo, J. C., França, M. S., & Porto, M. F. (2008). *Dinâmica da matéria orgânica em águas naturais: Estudo de caso do rio Iguaçu*. XVIII Simpósio Nacional de Recursos Hídricos.

12. Litsuri, E. d. (2021). *Estudo do Tratamento de efluentes quícolas na Aquapesca LTD a partir de Macrófitas Aquáticas de espécie Eichhornia crassipes (aguapé)*. Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Química Marinha, Universidade Eduardo Mondlane, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, Quelimane.
13. Machado, R.M.G.; Freire, v.h.; Silva, p.c.; Figueiredo, d.v.; Ferreira, P.E. (2002) Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. Projeto Minas Ambiente, Belo Horizonte,.
14. Martins, M. d., & Medeiros, G. M. (2017). *Guia RELACRE 28: Amostragem de Águas* (RELACRE ed.). Lisboa, Portugal.
15. Miranda, L. B., Castro, B. M., & Kjerfve, B. (2009). *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. Brasil: edusp.
16. Monte, H. M., Monte, M. T., & Barreiros, A. M. (2018). *Trstamento de Águas Residuais: Processos de Tratamento Biológico*. Lisboa.
17. Monteiro, L.H.U. (2005). Estudo das áreas de mangues entre os estados Piauí e Pernambuco com um enfoque para o estado do Ceará nos anos de 1978 e 1999/2004 utilizando sensoriamento remoto. Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
18. Nhamposse, Sevene Alberto Acácio.(2016) Estuda da variacao do fluxo de amónio, nitrato e fosfato nos canais de mangal de vegetação densa e menos densa no estuário dos Bons Sinais Quelimane
19. Nataniel, A. N, (2010). Nitrate and Phosphate fluxes between the Bons Sinais Estuary and the adjacent mangrove forest, Master in Chemical Oceanography, UNIVERSITY OF BERGEN Geophysical Institute.
20. Nhambirre Jr, R. M. (2023). *Avaliação da Eficiência dos Métodos de Destilação Instantânea e Congelamento na Dessalinização da Água do Mar para o Consumo Humano*. Monografia , Universidade Eduardo Mondlane, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, Ciências Marinhas, Quelimane.
21. Pokrywiecki, T.S.; Gumy, m.p.; Tonial, i.b.; Pokrywiecki, J.C. (2013) Avaliação do processo de tratamento de efluentes de laticíneos. Revista Acadêmica: Ciência Animal, v.11, p.155-161,.
22. Pina, M. A. (2010). *Caracterização das águas residuais produzidas no campus universitário da FCT/UNL*. Lisboa: Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária .

23. Queiroz, G. M., Silva, M. R., Bianco, R. J., Pinheiro, A., & Kaufmann. (2011). Transporte de Glifosato pelo Escoamento Superficial e por Lixiviação em um Solo Agrícola. *34*, 6.
24. Raposo, C. V. (2020). *Revisão e Execução de alguns Métodos de Análise de Águas*. Porto: Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente, pela Universidade do Porto.
25. Santos, M. T., Barreiros, A. M., Albuquerque, & Monte, H. M. (2016). *Tratamento de Águas Residuais, Operações e Procesos de Tratamento Físico e Químico*. Lisboa.
26. Samiento, J. L., Gruber, N. (2006). Ocean biogeochemical dynamics. Oxiford, UK.
27. Sánchez-Carrilo, S. S.-A.-L. (2009). Nutrient fluxes in a semi-arid microtidal mangrove wetland in the Gulf of California. California: Coastal and Shelf Science.
28. Silva (2007). Biogeoquímica dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e biomassa fitoplanctônica no estuário do rio. Ilheus-BA.
29. Silva, A. (2011). Características Hidrográficas do Estuário da Beira, Moçambique. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
30. Serrano, C. I. (2014). *Impactos da Presença de Água do Estuário do Rio Tejo em ETAR. Caso de Estudo - ETAR do Seixal*. Dissertação, Universidade Nova de Lisboa, Ciências e Tecnologia , Lisboa.
31. Silva, C. S. (2017). *Análise dos impactos ambientais provocados pelo descarte de esgoto doméstico na cidade de Arapiraca-AL*. Delmiro Gouveia/AL: Tese de Bacharelato em Engenharia Civil.
32. Silva, P. M. (2013). *Capacidade de nitrificação e desnitrificação da ETAR Sul da SIMRIA*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Aveiro.
33. Tappin, A. D. (2002) An Examination of the Fluxes of Nitrogen and Phosphorus in Temperate and Tropical Estuaries: Current Estimates and Uncertainties. Estuarine, Coastal and Shelf Science.
34. Valeila, I, (1995). Marine ecological processes. Now York.
35. Wiley, Martin. (1976) Estuarine Processes I. New York: p 67- 69.
36. Rodella, A.A. (1994) & Alcarde, J.C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. Sci. Agric
37. Rocha, C.J; Rosa, A.H; Cardoso, A.A.(2009) Introdução à química ambiental. Porto Alegre: Bookman,.
38. Tucci, C. E. (2005). Gestão de Águas Pluviais Urbanas. p. 192.
39. Veiga, G. (2005). *Análises Físico-Químico e Microbiológicas de Água de Poços de diferentes cidades da Região Sul de Santa Catarina e Efluentes Líquidos Industriais de algumas Empresas da*

Grande Florianópolis. Relatório de Estágio, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Química, Florianópolis.

Anexos

Parâmetros Organolépticos e Físico-químicos					
Parâmetros	Método Aplicado	Resultados	Expressão dos Resultados	VMR	VMA
A. ORGANOLÉPTICOS					
Cor	NMA B 03	Incolor	(Unidades Hazen)	Incolor	
Sabor	NMA B 06	Insípido		Insípido	
Cheiro	NMA B 01	Inodoro		Inodoro	
B. FÍSICO-QUÍMICOS					
Temperatura	NMA B 11		(°C)	-	-
PH	NMA B 05			6,5 - 8,5	6,5-
Alcalinidade	NMA C 10	6,0	(mg/l)	-	
Condutividade Eléctrica	NMA B 02		(micro-Mho/cm)	50-2000	
Cloro	NMA C 03 ou (DPD)		(mg/l)	>0,20 - 1	
TDS	Potenciométrico/SM (*)		(mg/l)	500	
SS	NMA B10		(mg/l)	-	1
ST	NMA B07		(mg/l)	1000	
Turvação	NMA B 12	1,47	(NTU)	5	
Cloretos	NMA C 17	>3545	(mg/l)	250	
Fosfato	NMA		(mg/l)	-	
Sulfatos	NMA C 21		(mg/l)	250	
Cálcio	NMA C15	15,07	(mg/l)	75	
Magnésio	NMA C 16	5,88	(mg/l)	30	
Alumínio	Standards methods (*)		(mg/l)	0,2	
Sódio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	200	
Potássio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	10	
Dureza Total	NMA C 13		(mg/l)	100	
Oxigénio Dissolvidos	Potenciométrico/SM (*)	64	(% saturação)	75	
CO2	NMA C 12		(mg/l)	20	
Sulfito Hidratado	Standards methods (*)		(mg/l)	-	
Nitrato	NMA C 07		(mg/l)	50	
Nitrito	NMA C 06	4,8	(mg/l)	0,10	
Amónio	NMA C 05	0,025	(mg/l)	0,50	
Manganês	Standards methods (*)	0,12	(mg/l)	0,10	
Ferro	NMA C 22	2,8	(mg/l)	0,30	
Zinco	Standards methods (*)		(mg/l)	3	
Cobre	Standards methods (*)	0,42	(mg/l)	0,05	
Flúor	NMA C 23		(µ gr/l)	1,5	
Chumbo	Standards methods (*)		(mg/l)	0,01	
Sílica	NMA C 25		(mg/l)	50	
Bicarbonato	Cálculo		(mg/l)	-	
Carbonato de calcio	Cálculo		(mg/l)	-	
Matéria Orgânica	NMA C 09	40	(mg/l)	2,5	

Parâmetros Organolépticos e Físico-químicos					
Parâmetros	Método Aplicado	Resultados	Expressão dos Resultados	VMR	VMA
A. ORGANOLÉPTICOS					
Cor	NMA B 03	Incolor	(Unidades Hazen)	Incolor	
Sabor	NMA B 06	Insípido		Insípido	
Cheiro	NMA B 01	Inodoro		Inodoro	
B. FÍSICO-QUÍMICOS					
Temperatura	NMA B 11		(°C)	-	-
PH	NMA B 05			6,5 - 8,5	6,5- 9,2
Alcalinidade	NMA C 10	2,0	(mg/l)	-	
Condutividade Eléctrica	NMA B 02		(micro-Mho/cm)	50-2000	
Cloro	NMA C 03 ou (DPD)		(mg/l)	>0,20 - 1	
TDS	Potenciométrico/SM (*)		(mg/l)	500	
SS	NMA B10		(mg/l)	-	1500
ST	NMA B07		(mg/l)	1000	
Turvação	NMA B 12	1,34	(NTU)	5	
Cloretos	NMA C 17	638,1	(mg/l)	250	25
Fosfato	NMA		(mg/l)	-	600
Sulfatos	NMA C 21		(mg/l)	250	
Cálcio	NMA C15	13,07	(mg/l)	75	
Magnésio	NMA C 16	9,49	(mg/l)	30	400
Alumínio	Standards methods (*)		(mg/l)	0,2	200
Sódio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	200	150
Potássio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	10	
Dureza Total	NMA C 13		(mg/l)	100	
Oxigénio Dissolvidos	Potenciométrico/SM (*)	90	(% saturação)	75	
CO2	NMA C 12		(mg/l)	20	500
Sulfito Hidratado	Standards methods (*)		(mg/l)	-	
Nitrato	NMA C 07		(mg/l)	50	
Nitrito	NMA C 06	2,5	(mg/l)	0,10	
Amónio	NMA C 05	0,018	(mg/l)	0,50	
Manganês	Standards methods (*)	0,08	(mg/l)	0,10	
Ferro	NMA C 22	2,0	(mg/l)	0,30	
Zinco	Standards methods (*)	0,27	(mg/l)	3	1,50
Cobre	Standards methods (*)		(mg/l)	0,05	
Flúor	NMA C 23		(µ gr/l)	1,5	
Chumbo	Standards methods (*)		(mg/l)	0,01	
Sílica	NMA C 25		(mg/l)	50	15
Bicarbonato	Cálculo		(mg/l)	-	
Carbonato de cálcio	Cálculo		(mg/l)	-	
Matéria Orgânica	NMA C 09	52	(mg/l)	2,5	

Parâmetros Organolépticos e Físico-químicos					
Parâmetros	Método Aplicado	Resultados	Expressão dos Resultados	VMR	VMA
A. ORGANOLÉPTICOS					
Cor Sabor Cheiro	NMA B 03 NMA B 06 NMA B 01	Incolor Insípido Inodoro	(Unidades Hazen)	Incolor Insípido Inodoro	
B. FÍSICO-QUÍMICOS					
Temperatura	NMA B 11		(°C)	-	-
PH	NMA B 05			6,5 - 8,5	6,5- 9,2
Alcalinidade	NMA C 10			-	
Conductividade Eléctrica	NMA B 02	4,0	(mg/l)	50-2000	
Cloro	NMA C 03 ou (DPD)		(micro-Mho/cm)	>0,20 - 1	
TDS	Potenciométrico/SM (*)		(mg/l)	500	
SS	NMA B10		(mg/l)	-	1500
ST	NMA B07		(mg/l)	1000	
Turvação	NMA B 12	1,35	(NTU)	5	
Cloretos	NMA C 17	241,06	(mg/l)	250	25
Fosfato	NMA		(mg/l)	-	600
Sulfatos	NMA C 21		(mg/l)	250	
Cálcio	NMA C15	12,83	(mg/l)	75	400
Magnésio	NMA C 16	4,67	(mg/l)	30	200
Alumínio	Standards methods (*)		(mg/l)	0,2	150
Sódio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	200	
Potássio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	10	
Dureza Total	NMA C 13		(mg/l)	100	
Oxigênio Dissolvidos	Potenciométrico/SM (*)	50	(% saturação)	75	
CO2	NMA C 12		(mg/l)	20	500
Sulfito Hidratado	Standards methods (*)		(mg/l)	-	
Nitrato	NMA C 07		(mg/l)	50	
Nitrito	NMA C 06	2,8	(mg/l)	0,10	
Amónio	NMA C 05	0,013	(mg/l)	0,50	
Manganês	Standards methods (*)	0,09	(mg/l)	0,10	
Ferro	NMA C 22	2,8	(mg/l)	0,30	
Zinco	Standards methods (*)	0,42	(mg/l)	3	1,50
Cobre	Standards methods (*)		(mg/l)	0,05	
Flúor	NMA C 23		(µ gr/l)	1,5	
Chumbo	Standards methods (*)		(mg/l)	0,01	
Sílica	NMA C 25		(mg/l)	50	15
Bicarbonato	Cálculo		(mg/l)	-	
Carbonato de cálcio	Cálculo		(mg/l)	-	
Matéria Orgânica	NMA C 09	32	(mg/l)	2,5	

Parâmetros Organolépticos e Físico-químicos					
Parâmetros	Método Aplicado	Resultados	Expressão dos Resultados	VMR	VMA
A. ORGANOLÉPTICOS					
Cor Sabor Cheiro	NMA B 03 NMA B 06 NMA B 01	Incolor Insípido Inodoro	(Unidades Hazen)	Incolor Insípido Inodoro	
B. FÍSICO-QUÍMICOS					
Temperatura	NMA B 11		(°C)	-	-
PH	NMA B 05			6,5 - 8,5	6,5- 9,2
Alcalinidade	NMA C 10			-	
Conductividade Eléctrica	NMA B 02	3,0	(mg/l)	50-2000	
Cloro	NMA C 03 ou (DPD)		(micro-Mho/cm)	>0,20 - 1	
TDS	Potenciométrico/SM (*)		(mg/l)	500	
SS	NMA B10		(mg/l)	-	150
ST	NMA B07		(mg/l)	1000	
Turvação	NMA B 12	1,40	(NTU)	5	
Cloretos	NMA C 17	77,99	(mg/l)	250	25
Fosfato	NMA		(mg/l)	-	600
Sulfatos	NMA C 21		(mg/l)	250	
Cálcio	NMA C15	17,16	(mg/l)	75	400
Magnésio	NMA C 16	6,06	(mg/l)	30	200
Alumínio	Standards methods (*)		(mg/l)	0,2	150
Sódio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	200	
Potássio	Fotometria de chama/SM		(mg/l)	10	
Dureza Total	NMA C 13		(mg/l)	100	
Oxigênio Dissolvidos	Potenciométrico/SM (*)	66	(% saturação)	75	
CO2	NMA C 12		(mg/l)	20	500
Sulfito Hidratado	Standards methods (*)		(mg/l)	-	
Nitrato	NMA C 07		(mg/l)	50	
Nitrito	NMA C 06	2,5	(mg/l)	0,10	
Amónio	NMA C 05	0,024	(mg/l)	0,50	
Manganês	Standards methods (*)	0,27	(mg/l)	0,10	
Ferro	NMA C 22	1,90	(mg/l)	0,30	
Zinco	Standards methods (*)	0,23	(mg/l)	3	1,5
Cobre	Standards methods (*)		(mg/l)	0,05	
Flúor	NMA C 23		(µ gr/l)	1,5	
Chumbo	Standards methods (*)		(mg/l)	0,01	
Sílica	NMA C 25		(mg/l)	50	15
Bicarbonato	Cálculo		(mg/l)	-	
Carbonato de cálcio	Cálculo		(mg/l)	-	
Matéria Orgânica	NMA C 09	42	(mg/l)	2,5	



Figura 3: Disco de Secchi.



Figura 4: Régua para medições em campo de 50 centímetros.

A Tabela abaixo identifica os materiais usados e suas funções durante a colheita de amostras e análises das características químicas, físicas e das amostras.