



**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

Curso de Licenciatura em Química Industrial

TRABALHO DE LICENCIATURA

Tema:

**ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ESTUÁRIO DO
ESPÍRITO SANTO, MATOLA – MOÇAMBIQUE**

Autora: Emília Elizabeth Chirinda

Maputo, Junho de 2024



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

**FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**

Curso de Licenciatura em Química Industrial

TRABALHO DE LICENCIATURA

Tema:

**ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO ESTUÁRIO DO
ESPÍRITO SANTO, MATOLA – MOÇAMBIQUE**

Autora: Emília Elizabeth Chirinda

Supervisor: Prof. Doutor Paulino Vicente Muteto

Co-supervisor: Mestre Miguel Mussa Ernesto

Maputo, Junho de 2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Castigo Ernesto Chirinda (em memória) e Elizabete Albino Chuma (em memória) por me terem colocado no mundo, cuidado desde os meus primeiros dias de vida e por terem dado tudo deles por mim. Aos meus irmãos Eulália Chirinda, Crêscencio Chirinda, Valdemar Chirinda e Castro Chirinda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida, saúde, protecção, por me dar forças para chegar ao fim desta jornada e por tudo que ele tem feito em minha vida.

À minha querida mamã Elizabete Chuma agradeço de forma especial e de todo o meu coração por todo amor, carinho, acompanhamento e por não ter deixado faltar o essencial durante todo o processo da minha formação. Agradeço igualmente aos meus irmãos Eulália Chirinda, Crêscencio Chirinda, Valdemar Chirinda e Castro Chirinda por serem os melhores irmãos, pela amizade, companheirismo e por sempre me apoiarem nas minhas escolhas.

Ao meu supervisor Prof. Doutor Paulino Vicente Muteto pelo acolhimento, orientação, ajuda, disponibilidade, apoio, atenção e ensinamentos durante a execução do trabalho. À Lic. Nelda Comé pelo apoio durante a execução do trabalho laboratorial.

Ao Leonel Chiguai pela amizade, ensinamentos, orações, incentivo, apoio e por estar comigo em todos os momentos. Agradeço igualmente às minhas amigas Ornela Fumo, Érica Munguambe e Salima Tembe pela amizade.

No âmbito académico agradeço a todos os professores e colegas do Departamento de Química, de forma especial aos meus amigos Celeste Bembele, Waila Nhapele, Lic. Eugénio Tembe, Lic. Junquer Dembo e Lic. Custódio Júnior pelos momentos agradáveis e felizes que tivemos durante a nossa formação.

E por fim agradeço a todos que directamente ou indirectamente contribuíram para a realização deste trabalho.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Emília Elizabeth Chirinda declaro por minha honra que o presente trabalho de culminação do curso intitulado Avaliação da qualidade da água do Estuário do Espírito Santo, Matola - Moçambique é o resultado da minha investigação e nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau académico ou na sua essência para quaisquer fins e que foi elaborado com base nas experiências laboratoriais e na bibliografia que se faz referência ao longo deste relatório.

Maputo, Maio de 2024

A autora

(Emília Elizabeth Chirinda)

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

% RSD	– Desvio padrão relativo
CE	– Condutividade eléctrica
DBO	– Demanda biológica de oxigénio
EBT	– Negro de eriocromo T
EDTA	– Ácido etileno diamino tetra acético
EES	– Estuário do Espírito Santo
EPA	– Environmental Protection Agency
FNU	– Unidade nefelométrica de formazinha
GPS	– <i>Global Positioning System</i>
IC	– Intervalo de confiança
mS/cm	– milisiemens por centímetro
OD	– Oxigénio Dissolvido
OMS	– Organização Mundial da Saúde
pH	– Potencial hidrogénio
ppm	– Partes por milhão
PSU	– Unidade prática de salinidade
Sal.	– Salinidade
Turb.	– Turbidez
VMA	– Valor máximo admissível

RESUMO

O estuário do Espírito Santo, localizado na cidade da Matola, na margem ocidental da baía de Maputo, é tido como um dos mais importantes ecossistemas de Moçambique devido à sua biodiversidade e actividade pesqueira realizada nas suas águas, com impacto considerável na economia do País.

O presente trabalho de investigação científica faz uma avaliação do ambiente aquático do estuário do Espírito Santo na província de Maputo, em Moçambique. A avaliação foi feita através da análise da água, por determinação quantitativa dos parâmetros físico-químicos: pH, condutividade eléctrica, salinidade, oxigénio dissolvido, temperatura, turbidez, dureza total, cálcio, magnésio, sulfatos, alcalinidade total e fosfatos. As concentrações obtidas no monitoramento dos parâmetros foram comparadas com os limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para águas estuarinas e com valores de estudo anterior realizado na época seca no mesmo estuário.

As amostras de água do estuário do Espírito Santo apresentaram concentrações acima dos limites recomendados pela OMS para dureza total, Ca^{2+} , Mg^{2+} , sulfatos, alcalinidade total e fosfatos. Os parâmetros pH, CE, OD e Turvação apresentaram concentrações dentro dos limites recomendados. Os valores obtidos no presente estudo mostram que as contaminações da época seca estão acima dos níveis da época chuvosa em todos os pontos estudados.

Os cálculos estatísticos demonstram que a precisão dos resultados dos parâmetros analisados das amostras de água do Espírito Santo variou de muito boa a boa, com valores de % RSD entre 0.00 e 4.7 % em todos os parâmetros, com excepção dos parâmetros Mg^{2+} e fosfatos, cuja precisão foi baixa.

Os resultados obtidos deste estudo permitiram concluir que a água do estuário do Espírito Santo é poluída, onde o maior nível de poluição ocorre na estação seca, e o estuário representa um risco para a vida das espécies aquáticas, podendo afectar na sua qualidade, quantidade e até mesmo levar à sua extinção. O estuário em estudo também não é adequado para a realização de algumas actividades de subsistência das comunidades humanas, tais como o uso da água no auxílio da remoção de sujidade e em equipamentos geradores de vapor.

Palavras-chave: Estuários, Qualidade da água, pH, temperatura e salinidade.

ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA	i
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	iv
RESUMO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos	2
1.1.1. Geral.....	2
1.1.2. Específicos	2
1.2. Justificativa da escolha do tema.....	2
1.3. Metodologia do trabalho	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Ambiente estuarino	3
2.2. Importância dos estuários.....	4
2.3. Classificação dos estuários.....	5
2.3.1. Classificação do estuário com base no balanço hídrico e salinidade	5
2.3.2. Classificação dos estuários com base no padrão de circulação da água	7
2.3.3. Classificação dos estuários de acordo com a geomorfologia.....	8
2.4. Factores determinantes na qualidade da água dos estuários	9
2.5. Caracterização dos parâmetros indicadores da qualidade da água.....	10
2.5.1. Parâmetros físicos e químicos da qualidade da água	11
2.6. Padrões de qualidade da água para ambiente estuarino	14
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.1. Estuário de Espírito Santo: Localização e generalidades.....	15
4. PARTE EXPERIMENTAL	17
4.1. Material, reagentes e equipamentos	17
4.2. Amostragem.....	19
4.3. Procedimentos experimentais	20
4.3.1. Procedimentos da determinação da dureza total, cálcica e magnésica por volumetria de complexação	21
4.3.2. Procedimento da determinação da alcalinidade total por titulação	21
4.3.3. Determinação do teor de sulfatos.....	22

4.3.4.	Determinação do teor de fosfatos por espectroscopia de UV-Vis	22
4.3.5.	Determinação de pH, CE, salinidade, turbidez, OD e Temperatura.	23
5.	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	25
5.1.	Resultados obtidos das análises dos parâmetros físico-químicos	26
6.	DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	29
6.1.	pH.....	29
6.2.	Condutividade eléctrica (CE).....	30
6.3.	Turbidez	31
6.4.	Oxigénio dissolvido (OD).....	32
6.5.	Dureza	33
6.6.	Cálcio e magnésio	34
6.7.	Alcalinidade	35
6.8.	Sulfatos	36
6.9.	Fosfatos	37
6.10.	Temperatura	39
6.11.	Salinidade.....	39
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
	ANEXOS	a

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estuário positivo. Fonte: Valle-Levinson (2010).	5
Figura 2. Estuário negativo ou inverso. Fonte: Valle-Levinson (2010).	6
Figura 3. Estuário neutro. Fonte: Valle-Levinson (2010).	6
Figura 4. Estuário altamente estratificado. Fonte: Nebra (2015).	7
Figura 5. Estuário fracamente estratificado. Fonte: Nebra (2015).	8
Figura 6. Estuário verticalmente misto. Fonte: Nebra (2015).	8
Figura 7. Localização geográfica: a) Província de Maputo, b) Baía de Maputo, c) Estuário do Espírito Santo.	16
Figura 8. Mapa de amostragem do estuário do Espírito Santo – Matola.	20
Figura 9. Medidor multiparamétrico com eléctrodo de ião selectivo	24
Figura 10. Comparação dos valores de pH das amostras de água do estuário do Espírito Santo com os limites mínimo e máximo admissíveis pela OMS.	29
Figura 11. Comparação dos valores de CE das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	30
Figura 12. Comparação dos valores de turbidez das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	32
Figura 13. Comparação dos valores de OD das amostras de água do estuário Espírito Santo com os limites mínimo e máximo admissíveis pela OMS.	32
Figura 14. Comparação dos valores de dureza total das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	33
Figura 15. Comparação dos valores de Ca^{2+} das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	34
Figura 16. Comparação dos valores de Mg^{2+} das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	35
Figura 17. Comparação dos valores de alcalinidade das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo estabelecidos pela OMS.	36
Figura 18. Comparação dos valores de SO_4^{2-} das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	37
Figura 19. Comparação dos valores de PO_4^{3-} das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.	38
Figura 20. Curva de calibração normal	p

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Padrões de qualidade para águas estuarinas.....	14
Tabela 2. Equipamentos utilizados na determinação de parâmetros físico-químicos.	18
Tabela 3. Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem.....	19
Tabela 4. Padrões preparados para a construção da recta de calibração normal para análise de fosfatos.....	23
Tabela 5. Resultados experimentais obtidos da análise de pH, temperatura e condutividade eléctrica.	26
Tabela 6. Resultados experimentais obtidos da análise de salinidade, turbidez e oxigénio dissolvido.	27
Tabela 7. Resultados experimentais obtidos das análises de dureza, cálcio, magnésio, fosfato, alcalinidade e sulfato, para as amostras A1 a A5.....	27
Tabela 8. Resultados experimentais obtidos das análises de dureza, cálcio, magnésio, fosfato, alcalinidade e sulfato, para as amostras A6 a A10.....	28
Tabela 9. Dados das análises de dureza total em mg CaCO ₃ por litro.....	c
Tabela 10. Tabela 2. Dados das análises de Ca ²⁺ em mg de Ca ²⁺ por litro.....	d
Tabela 11. Dados das análises de Mg ²⁺ em mg de Mg ²⁺ por litro.....	e
Tabela 12. Dados das análises de alcalinidade.....	f
Tabela 13. Dados da medição do pH.....	h
Tabela 14. Dados da medição da temperatura.....	i
Tabela 15. Dados da medição de conductividade eléctrica.....	j
Tabela 16. Dados da medição de Salinidade.....	k
Tabela 17. Dados da medição de Turbidez.....	l
Tabela 18. Dados da medição de Oxigénio dissolvido.....	m
Tabela 19. Dados da determinação de sulfatos.....	n
Tabela 20. Intensidades das amostras para análises de fosfatos.....	o
Tabela 21. absorvância dos padrões na determinação de fosfatos.....	p

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são definidos como um corpo de água costeiro parcialmente fechado onde a água doce e a água do mar se encontram e se misturam. Os estuários são ambientes complexos, altamente dinâmicos e muito vulneráveis às mudanças climáticas, ambientais, perturbações naturais e antrópicas independentemente do seu estado de conservação (Mateus et al., 2008). Os estuários desempenham um papel vital e importante no apoio ao bem-estar humano por causa dos seus imensos recursos biológicos e dos serviços de suporte à vida que fornecem (Miththapala, 2013).

O crescimento populacional, urbano e industrial, tem gerado grandes perturbações nos estuários, imperando a necessidade do monitoramento da qualidade da água o que permite avaliar o ambiente aquático, o seu funcionamento em manter a vida e a sua capacidade de continuar prestando serviços à flora, à fauna e à sociedade (Nascimento et al., 2020).

O estuário do Espírito Santo representa um dos mais importantes sistemas costeiros de Moçambique, por abrigar uma grande e invejável biodiversidade marinha e por ser um dos melhores centros de pesca do país. Porém acções antropogénicas, como a recreação, piscicultura, descarga de águas residuais, agricultura, entre outras actividades realizadas no próprio estuário ou nos rios que desaguam no mesmo afectam negativamente a qualidade ambiental do estuário.

O presente trabalho faz uma avaliação da qualidade da água do estuário do Espírito Santo situado na Matola, província de Maputo em Moçambique a partir da determinação de parâmetros físico-químicos das amostras da água estuarina. Estas determinações foram feitas através das técnicas de volumetria, espectroscopia de absorção molecular, gravimetria e de ião selectivo.

Este estudo enquadra-se na área de sustentabilidade ambiental e foi realizado no âmbito do projecto financiado pelo Fundo Nacional de Investigação (FNI) do Ministério da Ciência e Tecnologia de Moçambique.

O presente trabalho é constituído por 7 capítulos: 1. Introdução, 2. Revisão bibliográfica, 3. Descrição da área de estudo, 4. Parte experimental, 5. Resultados, 6. Discussão e interpretação dos resultados, 7. Conclusões e Recomendações. No fim é apresentada a bibliografia consultada e os anexos.

1.1. Objectivos

1.1.1. Geral

- ✓ Avaliar a qualidade da água do estuário do Espírito Santo na Matola, província de Maputo em Moçambique.

1.1.2. Específicos

- ✓ Determinar os parâmetros físico-químicos das amostras de água da época chuvosa do estuário do Espírito Santo;
- ✓ Comparar os resultados obtidos da análise de parâmetros físico-químicos com os valores estabelecidos pela OMS;
- ✓ Comparar os resultados obtidos na época chuvosa com os resultados de estudo realizado no mesmo estuário e nos mesmos pontos na época seca.

1.2. Justificativa da escolha do tema

Os estuários são ambientes de alta produtividade biológica, muitas espécies marinhas dependem dos estuários para a reprodução, crescimento, sobrevivência, abrigo e alimentação.

Os estuários são áreas cada vez mais contaminadas, muitas vezes são utilizados e impactados pelo Homem, devido às actividades antropogénicas tais como a agricultura, pecuária, pesca, recreação, descarga de efluentes residuais dentre outras. A qualidade da água é fundamental para garantir a continuidade sustentável dessas actividades e a vida aquática.

Deste modo existe a necessidade de determinar, avaliar e monitorar os parâmetros físico-químicos das águas estuarinas, uma vez que a alteração desses parâmetros pode ocasionar a perda da biodiversidade aquática.

1.3. Metodologia do trabalho

O presente trabalho foi realizado obedecendo à seguinte metodologia: revisão bibliográfica, trabalho laboratorial, tratamento dos resultados e elaboração do relatório final.

A revisão bibliográfica consistiu na recolha de informações sobre a qualidade da água de um estuário, os métodos de análise para determinar os parâmetros físico-químicos.

O trabalho laboratorial consistiu na higienização do material, preparação das soluções e realização das análises. A etapa de tratamento dos resultados consistiu na realização de cálculos estatísticos dos dados, compilação dos dados, discussão, interpretação dos resultados, realização das conclusões e por fim a elaboração do relatório final.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ambiente estuarino

Nos últimos 50 anos foram propostas várias definições para os estuários. A definição mais amplamente conhecida ou popularmente usada foi sugerida por Pritchard (1967), e de acordo com a sua definição, um estuário é um corpo de água costeiro semifechado, que tem uma conexão livre com o mar aberto, e dentro do qual a água do mar é imensuravelmente diluída com água doce derivada da drenagem terrestre e dos rios (Scanes et al., 2017).

Os estuários são ambientes altamente dinâmicos com a sua estrutura física, química e biológica caracterizada por alta variabilidade espacial e temporal, por isso cada estuário possui uma combinação única de características, muitas vezes expressas em gradientes físicos, químicos e biológicos acentuados. Todas essas características, juntamente com a influência das actividades do Homem, tornam cada estuário único. Pelo facto de o estuário ser o lugar onde a água doce e a salgada se encontram, ele também é influenciado por processos que afectam estes dois tipos de água, tais como, variações do caudal do rio, marés, hidrodinâmica costeira, entre outros. Porém apresenta mais semelhança com o ambiente marinho do que com o ambiente de água doce (Mateus et al., 2008).

O ambiente estuarino pode ser dividido em três partes com base na interacção entre o prisma de maré e a vazão fluvial, factores primeiramente responsáveis pela circulação e padrão de sedimentação. A primeira zona é chamada de estuarina fluvial, onde o rio começa a se encontrar com água salgada, mais água doce do que salgada é encontrada nessa zona, nesta região a salinidade das águas é sempre menor que 1 PSU; a próxima é a zona de turbidez máxima, em direção ao mar, é onde há uma mistura aproximadamente igual de água doce e salgada, normalmente na região de salinidade entre 1 e 4 PSU; a última é a zona estuarina costeira, a área onde a água desagua no oceano e esta zona é maioritariamente de água salgada (Moura, 2017; Silva, 2011).

A circulação da água dentro do estuário e os processos de mistura são de grande importância, uma vez que estes condicionam a distribuição e o transporte de parâmetros ambientais no sistema, como nutrientes, poluentes, salinidade, sedimentos entre outros. A descarga fluvial, as correntes de maré, eventos meteorológicos e a geometria do estuário são os principais factores que definem os processos de mistura, circulação e estratificação em um estuário (Silva, 2014). A maioria dos estuários são caracterizados por uma circulação mais ou menos contínua e ocorre principalmente de duas maneiras, a maneira comum é denominada circulação estuarina, que é

quando a água menos densa e, portanto, mais leve flui para o mar a partir de perto da superfície, enquanto a água salina mais densa e pesada flui para o estuário do mar a partir do fundo. E a outra é denominada circulação anti-estuarina, onde a água densa flui perto do fundo e a água menos densa circula para dentro na superfície (Silva, 2011).

2.2. Importância dos estuários

Os estuários estão entre os ambientes mais produtivos da terra, são ecossistemas ecologicamente e economicamente importantes porque fornecem muitos serviços de suporte à vida. Os estuários são ainda extremamente importantes no sustento da pesca costeira, muitos mariscos e peixes costeiros habitam, alimentam-se e reproduzem-se em mangais e ervas dos estuários (Bjork et al., 2008). Os seus serviços de suporte à vida incluem: controle da erosão, a vegetação nos estuários ajuda a sustentar os sedimentos e o solo; protecção contra tempestades, os ecossistemas do estuário fornecem uma barreira natural para proteger a terra da acção de tempestades, inundações e grandes ondas; captação de carbono, os estuários armazenam carbono nas plantas, ajudando a reduzir os efeitos das mudanças climáticas; ciclagem de nutrientes, os estuários ajudam a regular nutrientes (N e P) no ambiente marinho que são essenciais para o crescimento das plantas; habitat e abrigo, muitas plantas, aves limícolas e outros animais vivem dentro ou ao redor dos estuários (EPA, 2006a).

O ambiente estuarino é crítico para a sobrevivência de muitas espécies, oferece oportunidades de abrigo, alimentação e espaço para o desenvolvimento de espécies biológicas. Dezenas de milhares de pássaros, mamíferos, peixes e outros animais selvagens dependem dos estuários. Além de servir como um habitat importante para a vida selvagem, os estuários são de valor inestimável para as populações humanas face aos recursos naturais que abrigam e actividades ecossistêmicas que prestam (abastecimento de água, diluição de efluentes, recursos pesqueiros), fornece também diferentes tipos de alimentos, oportunidade de recreação, fonte de renda e outros recursos (EPA, 2006a; Nascimento et al., 2020).

Os estuários também desempenham o importante papel de manter a qualidade da água através da filtração natural, água que é drenada da terra carrega sedimentos, nutrientes e outros poluentes. Mas à medida que flui da terra para o oceano, a vegetação e os sedimentos do estuário filtram muitos dos poluentes. Este processo de filtragem cria uma água mais limpa e clara, que beneficia tanto o homem quanto a vida marinha (EPA, 2006a)

2.3. Classificação dos estuários

Ao longo dos anos, vários esquemas foram propostos para classificar os estuários com base na sua definição como corpos de água costeiros semifechados, onde a água do oceano é diluída por descargas de água doce derivadas da terra (Valle-Levinson, 2011). As diferentes classificações de estuários existentes na literatura são baseadas nas variações de salinidade ou de densidade da água, nas amplitudes de maré da área oceânica adjacente e nas características geomorfológicas. Não existe qualquer consenso sobre qual das classificações é a mais completa (Silva, 2011). As classificações mais descritas na literatura são com base no balanço hídrico e salinidade, na estratificação da água e com base na geomorfologia (a formação da terra após a interação com os elementos) (Miththapala, 2013).

2.3.1. Classificação do estuário com base no balanço hídrico e salinidade

De acordo com a definição acima, e em termos de balanço hídrico e de salinidade os estuários são classificados em três tipos: estuários positivos, negativos e neutros.

- a) **Estuários positivos** – são aqueles em que as adições de água doce da descarga do rio, chuva e derretimento do gelo excedem as perdas de água doce por evaporação ou congelamento, sendo a salinidade inferior à da água do mar. Nesse tipo de estuário o gradiente de densidade longitudinal leva a um fluxo de volume líquido para o oceano, o que faz com que a densidade da água aumente em direção ao mar (Valle-Levinson, 2010), como se ilustra na figura 1 seguinte.

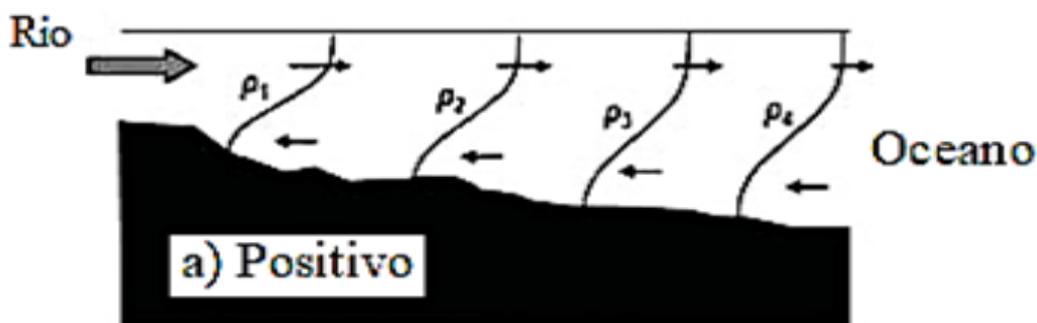


Figura 1. Estuário positivo. Fonte: Valle-Levinson (2010).

- b) **Estuários negativos** – Geralmente encontrados em regiões áridas, neste tipo de estuário a perda de água doce por evaporação excede as adições de água doce por precipitação, tornando-se hipersalinas. Há pouca ou nenhuma descarga fluvial nesses estuários. Eles são chamados inversos, ou negativos, porque o gradiente de densidade longitudinal tem o sinal oposto ao dos estuários positivos, ou seja, a densidade da água

aumenta em direção à terra. As perdas de água relacionadas aos estuários inversos tornam a sua descarga mais lenta do que os estuários positivos. Devido à sua descarga relativamente lenta, os estuários negativos são provavelmente mais propensos a problemas de qualidade da água do que os estuários positivos (Valle-Levinson, 2010), como se ilustra na figura 2 seguinte.



Figura 2. Estuário negativo ou inverso. Fonte: Valle-Levinson (2010).

- c) **Estuário de baixo fluxo ou neutros** – Neste tipo de estuário há equilíbrio entre as afluições de água doce e evaporação. Durante a estação quente e seca, a alta evaporação resulta em uma zona onde a salinidade é muito alta, chamada de tampão de sal. Em direção ao mar a partir deste tampão de sal, a densidade da água diminui, como em um estuário inverso. Por outro lado, em direção à terra a partir deste tampão, a densidade da água diminui como em um estuário positivo. Devido à sua fraca descarga na região terrestre do máximo de salinidade, os estuários de baixo fluxo também são propensos a problemas de qualidade da água (Valle-Levinson, 2010), como se ilustra na figura 3 seguinte.

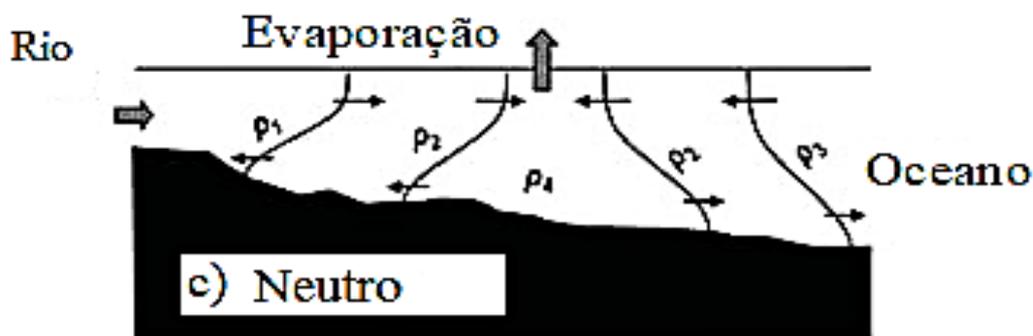


Figura 3. Estuário neutro. Fonte: Valle-Levinson (2010).

2.3.2. Classificação dos estuários com base no padrão de circulação da água

A diferença de densidade geralmente causa camadas ou estratificação da água, o que afecta significativamente a circulação e o perfil químico de um estuário. A quantidade de circulação afecta a distribuição de sal e as concentrações de salinidade. Em termos de padrão de circulação da água, os estuários podem ser classificados em três tipos: estuário altamente estratificado, moderadamente estratificado e verticalmente misto (EPA, 2006b).

- **Estuário altamente estratificado** – A estratificação entre a água doce dos afluentes e a água salgada do oceano é mais distinta neste tipo de estuário, embora alguma água do mar ainda se misture com a camada superficial de água doce. O perfil vertical de salinidade é homogéneo, ou seja, a salinidade das águas superficiais é igual à salinidade das águas do fundo. A salinidade da água só varia lateralmente, sendo mais alta na região oceânica e mais baixa em direcção ao continente (Dyer, 1997). Como se ilustra na figura 4 seguinte.

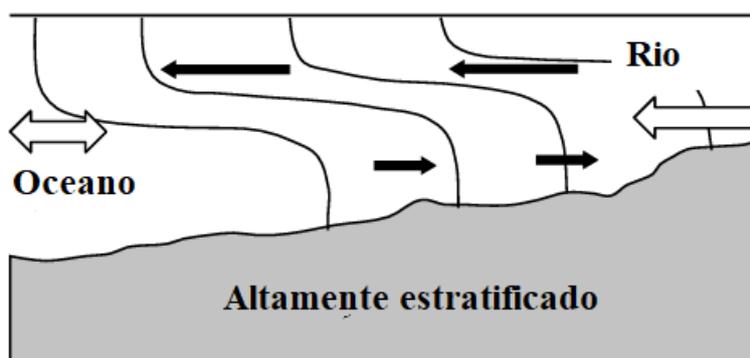


Figura 4. Estuário altamente estratificado. Fonte: Nebra (2015).

- **Estuário fracamente estratificado** – Este é um estuário intermédio, aqui ocorrem marés moderadas a fortes e descargas de água doce fracas a moderadas. A mistura de água doce e salgada ocorre em todas as profundidades e os níveis de salinidade geralmente aumentam em direcção à foz do estuário, as camadas inferiores de água normalmente permanecem mais salgadas do que as camadas superiores (Valle-Levinson, 2010; Miththapala, 2013), como se ilustra na figura 5 seguinte.

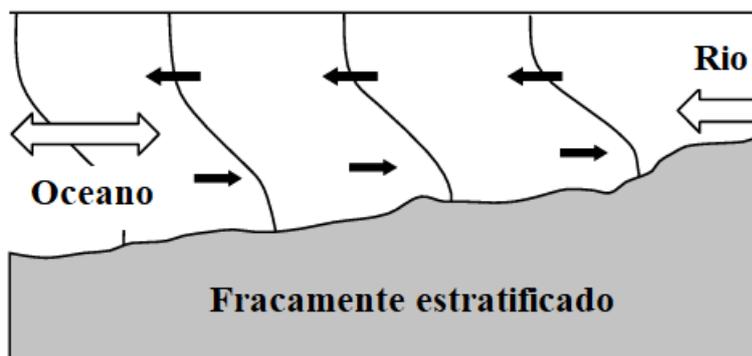


Figura 5. Estuário fracamente estratificado. Fonte: Nebra (2015).

- **Estuário verticalmente misto** – Nestes estuários ocorrem fortes marés e fraca descarga de água doce. Água doce e água salgada são completamente misturadas, a poderosa mistura das marés tende a eliminar completamente a estratificação. A salinidade é a mesma de cima para baixo e diminui do oceano para o rio (Valle- Levinson, 2010; Miththapala, 2013), como se ilustra na figura 6 seguinte.

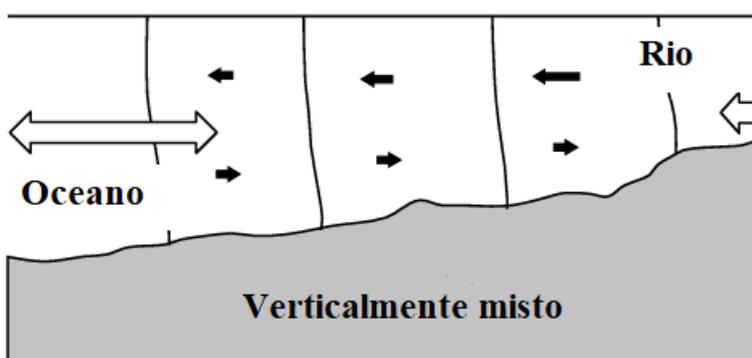


Figura 6. Estuário verticalmente misto. Fonte: Nebra (2015).

2.3.3. Classificação dos estuários de acordo com a geomorfologia

De acordo com a geomorfologia os estuários podem ser classificados como planície costeira, fiorde, barra e tectónico.

- **Estuário de planície costeira** – Esse tipo de estuário é também chamado de vales de rios afogados, forma-se como resultado do aumento do nível de mar no pleistoceno. Originalmente rios, formam-se durante as inundações ao longo de vários milénios pelo aumento do nível de mar, eles são tipicamente largos (na ordem de vários quilómetros) e rasos (na ordem de 10 m) com grandes proporções de largura e profundidade (Valle-Levinson, 2010).
- **Estuário dos fiordes** – Os fiordes estão associados a altas latitudes onde a actividade glacial é intensa. Eles são caracterizados por um canal alongado e profundo com um

peitoril. Os fiordes são vales profundos (até 800 m) e estreitos (várias centenas de metros) onde a profundidade varia de 10 a 90 metros (Valle-Levinson, 2010).

- **Estuário de barramento** – Os estuários construídos em barra eram originalmente pequenas baías que se tornaram parcialmente fechadas por causa da deriva litorânea (a areia e os sedimentos derivam e depositam-se), formando uma barra de areia ou restinga entre a costa e o oceano. Algumas destas barras apresentam uma pequena abertura, onde o rio comunica com o oceano e algumas outras barras de areia podem ser destacadas da costa e representam ilhas que resultam em duas ou mais enseadas que permitem a comunicação entre o estuário e o oceano. Em alguns casos adicionais, bancos de areia foram formados pelo aumento do nível do mar (Valle-Levinson, 2010).
- **Estuário tectónico** – Os estuários tectónicos são formados por terremotos ou por fracturas da crosta terrestre, e vincos que geraram falhas em regiões adjacentes ao oceano. As falhas fazem com que parte da crosta afunde, formando uma bacia oca. Um estuário é formado quando a bacia é preenchida pelo oceano (Valle-Levinson, 2010).

Segundo Duarte & Vieira (1997) é praticamente impossível uma classificação que englobe e descreva a totalidade dos estuários, face à diversidade de formas, dimensões, topografia e características hidrodinâmicas apresentadas por esses sistemas.

2.4. Factores determinantes na qualidade da água dos estuários

A qualidade da água dos sistemas estuarinos é influenciada pela ocorrência de vários fenómenos, sendo de destacar, pela sua preponderância os seguintes:

2.4.1. Escoamento fluvial

A acção fluvial é um factor determinante da qualidade das águas estuarinas por induzir efeitos como:

A advecção – O escoamento resultante, da acção da maré, é capaz de introduzir nos estuários poluentes (transportados pelos cursos de água) e partículas em suspensão;

A estratificação vertical das águas estuarinas – A menor densidade da água doce determina o seu escoamento sobre a cunha salina, inibindo a sua mistura com a água salgada. Esta estratificação favorece a inversão do sentido de escoamento das camadas de água inferiores, que transportam sal e poluentes para montante;

A existência de gradientes horizontais de salinidade – A batimetria e força de coriolis contribuem para a heterogeneidade dos valores da salinidade, a uma determinada profundidade,

facto que induz a uma circulação gravitacional com características rotacionais, favorecendo a difusão turbulenta (Duarte & Vieira, 1997).

2.4.2. Maré

As marés são movimentos oscilatórios das águas marinhas, relativamente ao referencial da altitude, determinadas por forças induzidas pela variação das posições relativas da lua e do sol com a terra. A acção da maré pode ser decomposta em dois efeitos distintos:

O prisma de maré – Que é a capacidade da massa de água salgada, que penetra de forma cíclica no estuário, em transportar sal, poluentes e partículas em suspensão;

A oscilação das correntes de maré – Que é responsável por dois fenómenos distintos: a dispersão da salinidade e de poluentes, isso dá-se devido aos gradientes de velocidade, à difusão turbulenta e ao amortecimento da maré nas zonas ramificadas (Duarte & Vieira, 1997).

2.4.3. Vento

O vento por sua vez pode promover a aeração e a mistura da água, ocasionando uma ressuspensão de nutrientes das partes mais profundas, introdução de poluentes e a desestabilização dos gradientes verticais de salinidade, possibilitando gerar também ondas e correntes nos estuários com grande área superficial, intensificando a mistura (Duarte & Vieira, 1997).

2.5. Caracterização dos parâmetros indicadores da qualidade da água

De acordo com Pereira (2006) a qualidade dos ambientes aquáticos pode ser definida: (i) por um conjunto de concentrações, especiações e características físicas de substâncias orgânicas e inorgânicas, e (ii) pela composição e estado da biota encontrada em um corpo de água. As actividades industriais, municipais (despejo doméstico e industrial), agrícolas e minerárias são as principais fontes de contaminantes.

Os parâmetros que são utilizados para a análise da qualidade da água funcionam como indicadores associados a características ambientais que estão em contacto directo ou indirecto com a variabilidade das características hidráulicas do corpo hídrico. Os parâmetros físicos e químicos que foram estudados no presente trabalho são: temperatura (T), turbidez (Turb), condutividade eléctrica (CE), salinidade, dureza, sulfatos (SO_4^{2-}), fosfatos (PO_4^{3-}), alcalinidade total, cálcio, magnésio, oxigénio dissolvido (OD) e potencial hidrogénio (pH) (Boletim da República, 2004).

2.5.1. Parâmetros físicos e químicos da qualidade da água

▪ Potencial hidrogénio (pH)

O pH é um dos parâmetros mais importantes da qualidade da água. Em águas naturais o pH é influenciado pela concentração de H^+ originado da dissolução do ácido carbónico, que gera valores baixos de pH, e das reacções de iões carbonato e bicarbonato com a molécula de água, que elevam os valores de pH para a faixa alcalina (Esteves, 1998).

▪ Dureza

Dureza é um termo usado para expressar o estado de mineralização da água. Cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) são os maiores causadores da dureza em águas naturais, entram na água principalmente pelo contacto com solo e rocha (Siqueira, 2016). A técnica geralmente utilizada para a determinação da dureza é a titulação com EDTA (ácido etileno diamino tetra acético). A dureza da água é expressa em mg de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) por litro.

- ✓ Menor que 50 mg/L $CaCO_3$ - água mole;
- ✓ Entre 50 e 150 mg/L $CaCO_3$ - água com dureza moderada;
- ✓ Entre 150 e 300 mg/L $CaCO_3$ - água dura; e
- ✓ Maior que 300 mg/L $CaCO_3$ - água muito dura (Chibantão, 2012).

▪ Alcalinidade

A alcalinidade é uma medida da capacidade quantitativa que as águas têm de neutralizar ácidos. Esta capacidade é devida à presença de sais de ácidos fracos e álcalis cáusticos livres. Os principais responsáveis pela alcalinidade em águas são os iões bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidroxilo (OH^-) ou uma mistura de dois desses iões. Já os boratos, silicatos e fosfatos contribuem de forma pouco significativa para ela. Em casos de contaminação com ácido em águas naturais a alcalinidade fornece uma acção tampão que protege os peixes e outros organismos aquáticos contra a mudança repentina de pH (Omer, 2019).

▪ Salinidade

A salinidade é uma propriedade importante das águas naturais, é compreendida como a medida dos sais dissolvidos na água. A salinidade das águas está relacionada tanto a factores naturais como antrópicos e com outros parâmetros de qualidade da água como os sólidos totais dissolvidos e a condutividade, que de forma isolada ou interagindo, são decisivos na qualidade da água para diferentes usos. Os níveis de salinidade são geralmente mais elevados durante os períodos de fluxos baixos e aumenta à medida que os níveis de água diminuem. Os altos níveis de sal afectam o crescimento das plantas, qualidade da água e do solo (Li & Liu, 2009).

▪ **Sulfatos (SO_4^{2-})**

O ião sulfato é altamente abundante no meio ambiente. É encontrado em quase toda água natural. A alta concentração de sulfatos em águas naturais é geralmente causada pela lixiviação de depósitos naturais de sulfato de sódio ou sulfato de magnésio (Self, 2010). Para além da sua origem natural os sulfatos podem também ser introduzidos no meio aquático pelos resíduos de indústrias que utilizam sulfatos e ácido sulfúrico, como operações de mineração e fundição, celulose e fábricas de papel, fábricas de tecidos e curtumes, por sua vez, o dióxido de enxofre atmosférico (SO_2), formado pela combustão de combustíveis fósseis e pelo processo de torrefacção metalúrgica, também pode contribuir para o teor de sulfato das águas superficiais (Esteves, 1998).

▪ **Fosfatos (PO_4^{3-})**

O fósforo (P) é essencial aos seres vivos, plantas, animais e microrganismos. Encontrado na forma de ião fosfato na natureza, este nutriente tem como principal reservatório as rochas, mas também pode ser encontrado no solo, nos oceanos, rios e lagos. O elemento é extraído das rochas pela dissolução de fosfatos, como a apatite. Após a dissolução das rochas durante o intemperismo, o ião fosfato pode ser levado aos solos e aos rios, onde então poderá ser absorvido pelos organismos vivos. Acções antrópicas como cultivo excessivo e efluentes urbanos e industriais, têm aumentado os níveis de fósforo em sistemas aquáticos. O acúmulo de fósforo acaba resultando na eutrofização, que é o processo de poluição de águas por excesso de nutrientes, tornando-as turvas e com baixos níveis de oxigénio disponível, um processo que leva à morte de diversos animais e vegetação (Ruttenberg, 2003; Siqueira, 2016).

▪ **Oxigénio dissolvido (OD)**

Refere-se à quantidade de oxigénio (O_2) dissolvido na água, é um indicador importante da qualidade dos ecossistemas aquáticos. As variações de OD são decorrentes de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpos de água (Siqueira, 2016).

A avaliação de oxigénio dissolvido é considerada um teste-chave da poluição da água. Águas poluídas apresentam baixa concentração de oxigénio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto as águas limpas apresentam concentrações de oxigénio dissolvido elevadas, chegando até a um pouco abaixo da concentração de saturação. As principais fontes de oxigénio dissolvido em águas naturais são a atmosfera e a fotossíntese, originado pela difusão do oxigénio presente na atmosfera e pela introdução por

plantas aquáticas verdes e algas durante a fotossíntese. A quantidade real de oxigénio dissolvido varia dependendo da pressão, temperatura e salinidade da água (Esteves, 1998).

▪ **Turbidez**

A turbidez na água representa o grau de interferência por partículas, principalmente por materiais sólidos em suspensão, é uma medida da capacidade da luz atravessar a água, ou seja, uma medida da turvação da água. É causada por material em suspensão, como argila, lodo, material orgânico e outros materiais particulados na água. A medição da turvação fornece uma estimativa dos sólidos suspensos na água (Omer, 2019). O aumento da turbidez numa água pode alterar as suas características organolépticas como aparência, cor, sabor e odor e conferir-lhe rejeição para fins de potabilidade. Esta elevação relaciona-se indiretamente com a fotossíntese, alterando a cadeia trófica aquática e influenciando comunidades biológicas na água, podendo levar à mortandade de peixes (WHO, 1993).

▪ **Temperatura**

A temperatura é a avaliação da intensidade do calor, desempenha um papel importante em quase todas as características da água, afecta algumas das importantes propriedades físicas e características da água (capacidade térmica, densidade, peso específico, viscosidade, tensão superficial, cloração, demanda biológica de oxigénio (DBO), adsorção dos metais pesados dissolvidos na água, condutividade específica, salinidade, solubilidade, odores e reacções químicas) (Omer, 2019).

A temperatura é de extrema importância para o estímulo do crescimento e reprodução das espécies, porém acima da faixa óptima, ela cria modificações na biota e influência na variação brusca do oxigénio dissolvido; mudanças drásticas de temperatura podem ser fatais para organismos aquáticos (Buzell & Santino, 2012).

▪ **Condutividade eléctrica (CE)**

A condutividade eléctrica (CE) da água é uma medida da capacidade de uma solução transportar ou conduzir uma corrente eléctrica e está directamente relacionada com a concentração dos sólidos dissolvidos na água, uma vez que os iões dos sólidos dissolvidos influenciam na capacidade da água de conduzir corrente eléctrica. Como a corrente eléctrica é transportada por iões em solução, a condutividade aumenta à medida que a concentração dos iões aumenta. É um dos principais parâmetros utilizados para determinar a adequação da água para irrigação e combate a incêndios (Esteves, 1998).

2.6. Padrões de qualidade da água para ambiente estuarino

A tabela 1 apresenta os valores máximos admissíveis (VMA) pela organização mundial da saúde (OMS) para águas estuarinas.

Tabela 1. Padrões de qualidade para águas estuarinas

Nº	Parâmetros	Unidade	VMA
1	Ph	-	5,5-8,5
2	T	°C	-
3	Turbidez	FNU	40
4	CE	mS/cm	6000
5	Dureza	mg/L	600
6	Ca ²⁺	mg/L	200
7	Mg ²⁺	mg/L	100
8	PO ₄ ³⁻	mg/L	1,0
9	SO ₄ ²⁻	mg/L	400
10	Alcalinidade	mg/L	130
11	Salinidade	PSU	-
12	OD	Ppm	2-5

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Estuário de Espírito Santo: Localização e generalidades

A baía de Maputo está localizada no canal de Moçambique, é uma baía rasa bastante grande com uma área de cerca de 1200 km² (40 km de comprimento e 30 km de largura) e pouco profunda, com variação de profundidade de 8-20 m, sendo a maior parte inferior a 10 m de profundidade. A baía é conhecida pela sua biodiversidade (168 espécies e 4 géneros endémicos), bem como pela actividade pesqueira nas suas águas (Canhanga & Dias, 2005; Malhadas et al., 2012).

O estuário do Espírito Santo é um braço-de-mar na margem ocidental da baía de Maputo com espaço natural de cerca de 800 metros de largura, onde desaguam três grandes rios: Tembe, Umbeluzi e Matola (Bandeira, 2012). Topograficamente o estuário é caracterizado por vários bancos de areia que cobrem uma área de cerca de 138 km² e canais com uma orientação norte/sul e por ser uma área preenchida por mangais na qual se distingue um vale que é o rio Tembe (Markull, 2013; Bene, 1999). A água do estuário é bem misturada, na estação seca os níveis de salinidade variam de 26 a 30 ppm e na estação chuvosa de 10 a 27 ppm. O estuário possui muito sedimento em suspensão o que torna o corpo de água turvo, porém relativamente mais claro durante a estação chuvosa e maré cheia (Bene, 1999).

O estuário do Espírito Santo está situado na cidade da Matola, o clima desta região é do tipo subtropical húmido, caracterizado por duas estações chuvosa e seca. A estação chuvosa vai desde Outubro a Março, enquanto que a estação seca ocorre de Abril a Setembro. Na Matola, a temperatura média anual é de cerca de 28 °C e a precipitação média anual é de 713 mm (Magalhães, 2005). Na figura 7 são apresentadas as imagens que ilustram a localização geográfica do estuário do Espírito Santo.

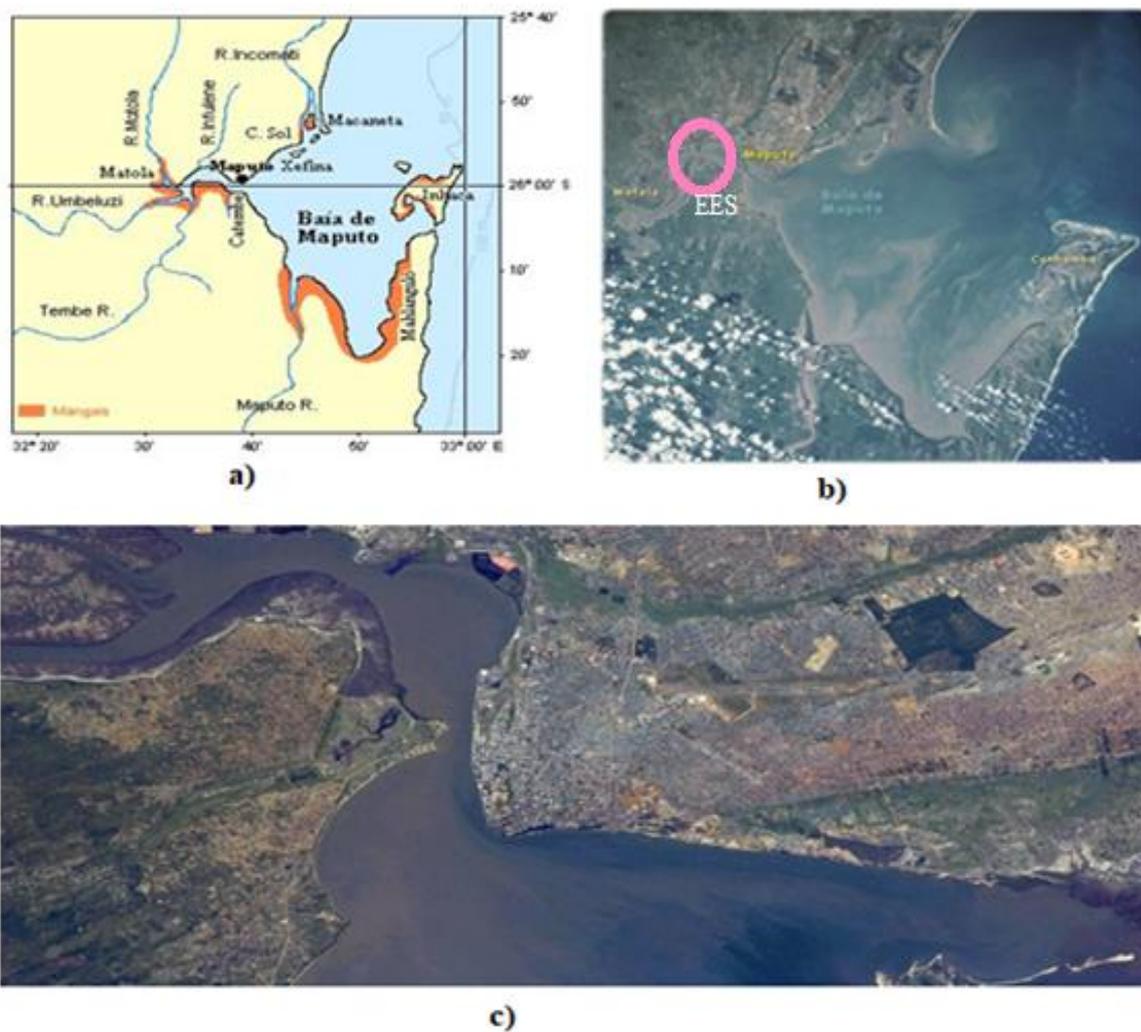


Figura 7. Localização geográfica: a) Província de Maputo, b) Baía de Maputo, c) Estuário do Espírito Santo.

4. PARTE EXPERIMENTAL

A seguir são apresentados os materiais, reagentes, equipamentos e procedimentos utilizados para a realização da amostragem e realização das análises físico-químicas. As análises laboratoriais foram realizadas na Universidade Eduardo Mondlane, na Faculdade de Ciências, Departamento de Química.

4.1. Material, reagentes e equipamentos

a) Material

- Garrafas PET 1,5 L;
- Funil de vidro;
- Balões volumétricos 50, 100, 250, 500 e 1000 mL;
- Pipetas;
- Copo Becker;
- Vidro relógio;
- Esguicho;
- Espátula;
- Erlenmeyer 250 mL;
- Vareta de vidro;
- Buretas;
- Conta-gotas;
- Papel de filtro 5 A 70 mm (Advantec);
- Provetas graduadas de 5, 10 e 50 mL;
- Pera de sucção;
- Cadinhos de porcelana;
- Pinça;
- Suporte para bureta;
- Exsiccador.

Os materiais utilizados na realização das experiências foram lavados com detergente e água corrente, em seguida mergulhados na solução de ácido clorídrico 20 % por 24 horas. Após as 24h foram transferidos e mergulhados em ácido nítrico a 5 % por 24 horas e, por fim, foi feita a lavagem do material com água destilada e colocado para secar em estufa por 24 horas. As garrafas PET foram colocadas para secar à temperatura ambiente.

b) Reagentes

- Ácido etileno diamino tetra acético ($C_{10}H_{16}N_2O_8$) 98,04 % (m/m) GLASSWORD;
- Carbonato de cálcio ($CaCO_3$) 99,9 % (m/m) Oxford;
- Indicador negro de eriocromo T (EBT) sólido MINEMA CHEMICALS;
- Indicador murexida sólido ($C_8H_8N_6O_6 \cdot H_2O$), FARMITALIA CARLO ERB;
- Hidróxido de sódio (NaOH) 98 % (m/m) Scharlau;
- Ácido clorídrico (HCl) 37 % (m/v) - Fisher Chemical;
- Indicador misto (verde bromocresol/vermelho de metilo);
- Cloreto de bário ($BaCl_2$) 99 % (m/m) GLASSWORD;
- Molibdato de amónio tetrahidratado 99.99 % (m/m) ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$) ANALAR;
- Metavanadato de amónio 98 % (m/m) ($(NH_4)_3VO_4$) Scharlau;
- Alaranjado de metilo 0,1 %;
- Solução tampão (NH_4^+/NH_3) (pH = 10).

c) Equipamentos

Os equipamentos utilizados na determinação de parâmetros físico-químicos das amostras são listados na Tabela 2.

Tabela 2. Equipamentos utilizados na determinação de parâmetros físico-químicos.

Equipamento	Marca	Modelo	Precisão	Série
Estufa	BIOBASE	BOV-T30C	-	011021906
Manta eléctrica	SHIMADZU Corporation	-	-	-
Balança analítica	SHIMADZU Corporation	AUW220D	0,0001g	D450028450
Medidor multiparamétrico com eléctrodo de ião selectivo	HANNA	IH 9829	-	HI7609829
Espectrotómetro de absorção molecular	JENWAY	6850 UV/VIS	-	-

4.2. Amostragem

A colecta das amostras foi realizada na época chuvosa (meses de Outubro a Março) no dia 20 de novembro de 2021. Foram colectadas 10 amostras em triplicado numa profundidade de 20 cm em garrafas de polietileno de 1.5 L, em 10 pontos de amostragem.

Os 10 pontos de amostragem foram seleccionados e as suas coordenadas geográficas registadas pelo GPS. A figura 9 que se segue mostra o mapa com os pontos de amostragem obtido no Google earth no dia 20 de Novembro de 2023, a partir das coordenadas apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem.

Pontos de amostragem		
Amostra	Latitude (Sul)	Longitude (Este)
A1	25°96.73'411''	32°54.81'585''
A2	25°97.8.5'537''	32°54.05'346''
A3	25°94.69'136''	32°51.63'213''
A4	25°99.44'99''	32°50.18'924''
A5	25°97.54'818''	32°47.90'493''
A6	26°00.34'96''	32°48.47'899''
A7	26°015.7'308''	32°49.24'537''
A8	26°009'859''	32°47.72'928''
A9	25°99.36'800''	32°47.07'150''
A10	25°99.27'373''	32°46.6'6984''



Figura 8. Mapa de amostragem do estuário do Espírito Santo – Matola.

Fonte: Google Earth (20/10/2023)

4.3. Procedimentos experimentais

Para a análise dos parâmetros físico-químicos das amostras de água foram usados métodos clássicos (volumetria e gravimetria) e instrumentais (espectroscopia UV-Vis e o eléctrodo de iões selectivo). A volumetria foi utilizada para a análise da dureza total, Ca^{2+} , Mg^{2+} e alcalinidade total, a gravimetria para a análise de SO_4^{2-} , a espectrofotometria UV-Vis para a análise de PO_4^{3-} e o medidor multiparamétrico com eléctrodo de ião selectivo na análise pH, CE, salinidade, temperatura, turbidez e OD.

Os procedimentos 4.3.1 a 4.3.4 seguidos para a realização das análises de dureza total, cálcio, magnésio, alcalinidade total, sulfatos e fosfatos é descritos pela APHA (1998).

4.3.1. Procedimentos da determinação da dureza total, cálcica e magnésica por volumetria de complexação

▪ Aferição do titulante do EDTA com CaCO₃

O titulante utilizado para a complexação foi a solução do EDTA. Para a sua aferição, colocou-se 20 mL da solução-padrão de CaCO₃ em um Erlenmeyer, adicionou-se 50 mL de água bidestilada e 3 gotas de Mg²⁺. De seguida acrescentou-se 10 mL de solução-tampão (NH₄⁺/NH₃) de pH = 10 e pequena quantidade do indicador EBT, agitou-se e titulou-se com EDTA até ao aparecimento da cor azul. Repetiu-se o procedimento por três vezes.

▪ Determinação da dureza total (CaCO₃)

Para a determinação da dureza total, pipetou-se 25 mL da amostra para um Erlenmeyer, acrescentou-se 2,5 ml da solução-tampão (NH₄⁺/NH₃) de pH =10 e pequena quantidade do indicador de EBT, agitou-se e titulou-se com a solução de EDTA 0,1 M até ao ponto de viragem de rosa para azul. Repetiu-se o procedimento por três vezes.

▪ Determinação da dureza cálcica (Ca²⁺)

Para a determinação do teor de cálcio, pipetou-se 25 mL da amostra para um Erlenmeyer, adicionou-se 0,25 ml de NaOH 1N e pequena quantidade do indicador murexida. Agitou-se e titulou-se com EDTA 0,1 M até ao ponto de viragem de vermelho a azul. Repetiu-se o procedimento por três vezes.

▪ Determinação da dureza magnésica (Mg²⁺)

O teor de magnésio foi calculado pela diferença do número de moles da dureza total e de Cálcio.

4.3.2. Procedimento da determinação da alcalinidade total por titulação

▪ Aferição de HCl

Para a aferição de HCl colocou-se 25 mL da solução-padrão de Na₂CO₃ em um Erlenmeyer e acrescentou-se 4 gotas do indicador misto (verde de bromocresol/vermelho de metilo). Agitou-se e titulou-se com HCl (0,02 N), na proximidade do ponto de viragem ferveu-se a solução para eliminar o CO₂ formado pela titulação. De seguida deixou-se arrefecer a solução e continuou-se a titulação até à viragem de verde a azul-cinzento. Repetiu-se o procedimento por três vezes.

▪ **Determinação da alcalinidade total**

Para a determinação da alcalinidade total, pipetou-se 50 mL da amostra para um Erlenmeyer e acrescentou-se 4 gotas do indicador misto (verde bromocresol/vermelho de metilo). Titulou-se com ácido clorídrico 0,02 N até a viragem de verde-azul em azul-cinza. Repetiu-se o procedimento por três vezes.

4.3.3. Determinação do teor de sulfatos

• **Procedimento da determinação do teor de sulfatos por gravimetria**

Para a determinação do teor de sulfatos, pipetou-se 50 mL da amostra para um copo Becker, adicionou-se à amostra 3 gotas de alaranjado de metilo 0,1 %, 1 mL de ácido clorídrico concentrado e 10 mL de solução 10 % cloreto de bário quente de forma lenta, em constante agitação (havendo formação de um precipitado branco, sulfato de bário). Após a formação do precipitado colocou-se a amostra para ferver durante 5 min na manta e em seguida levou-se a ferver em banho-maria durante 1h:30 min. Deixou-se arrefecer, filtrou-se o precipitado com papel de filtro e lavou-se o precipitado com água bidestilada quente até que a água de lavagem ao adicionar gotas de nitrato de prata não acusasse reação com cloretos. Colocou-se o papel de filtro contendo o precipitado num cadinho de porcelana previamente calcinado e pesado, e levou-se para secar em estufa a cerca de 800 °C durante uma hora, em seguida arrefeceu-se o cadinho contendo o precipitado num exsiccador e pesou-se.

4.3.4. Determinação do teor de fosfatos por espectroscopia de UV-Vis

a. Preparação da curva de calibração normal

Para a preparação dos padrões foi utilizada uma solução de 10 mg/L de fosfato e o reagente molibdato-vanadato. Foram pipetados volumes de 0; 1; 2; 4; 6; 8 e 10 mL da solução de fosfatos para balões volumétricos de 50 mL, acrescentou-se 10 ml do reagente molibdato-vanadato e fez-se o volume com água bidestilada, obtendo balões volumétricos com concentrações de fosfatos de 0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2 mg/L respectivamente, como se ilustra na tabela 4 seguinte.

Tabela 4. Padrões preparados para a construção da recta de calibração normal para análise de fosfatos.

Padrões	Volume do padrão de fosfato (mL)	Volume de Molibdatovanadato (mL)	Volume de H₂O destilada (mL)	Concentração do padrão (mg/L)
Branco	0	10	40	0
P₁	1	10	39	0,2
P₂	2	10	38	0,4
P₃	4	10	36	0,8
P₄	6	10	34	1,2
P₅	8	10	32	1,6
P₆	10	10	30	2

b. Procedimento para a determinação de fosfatos nas amostras de água

Para a determinação do fosfato em amostras de água, pipetou-se 35 mL da amostra em um balão volumétrico de 50 mL, acrescentou-se 10 mL de molibdato-vanadato e perfez-se o volume com água bidestilada. Após 10 minutos, leu-se a absorvância da amostra em comprimento de onda de 420 nm no espectrofotómetro do UV-Vis.

4.3.5. Determinação de pH, CE, salinidade, turbidez, OD e Temperatura.

Os parâmetros de pH, condutividade eléctrica (mS/cm), salinidade (PSU), turbidez (FNU), oxigénio dissolvido (ppm) e temperatura (°C) foram determinados por leitura directa pelo medidor multiparamétrico com eléctrodo de iões selectivo, onde primeiro se fez a calibração do equipamento.

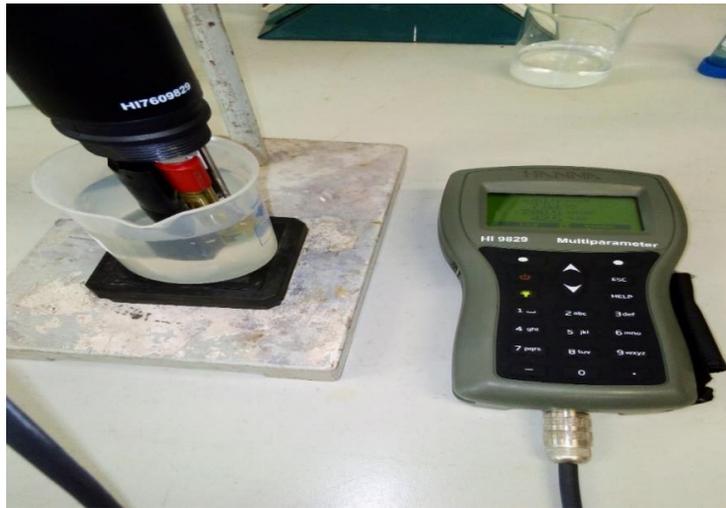


Figura 9. Medidor multiparamétrico com eléctrodo de ião selectivo

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos da análise quantitativa das concentrações dos parâmetros físico-químicos das amostras de água do estuário do Espírito Santo na época chuvosa para a avaliação da qualidade da água. Para as análises das amostras foram consideradas três réplicas em cada ponto de amostragem. Os resultados experimentais estão apresentados em forma de intervalo de confiança (IC) (eq.1) da média das três réplicas com nível de confiança de 95 % e a precisão do método foi estimada através do cálculo da percentagem do desvio padrão relativo (% RSD) (eq.2).

$$IC = \bar{X} \pm t(n-1) * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\% \text{ RSD} = \frac{s}{\bar{X}} * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

onde: n - número de réplicas (3); s - desvio padrão; \bar{X} - média experimental das três réplicas; t- 4,3 (Miller & Miller, 2005).

Para o cálculo do desvio padrão usou-se a equação (3):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{Equação 3})$$

Para o fosfato foi utilizado o método de regressão linear para o cálculo do intervalo de confiança da média (\bar{X}_A) (eq.4) das três réplicas.

$$IC = \bar{X}_A \pm t_{(n-2)} S_{x_A} \quad (\text{Equação 4})$$

onde: \bar{X}_A – média experimental das réplicas; s_{x_A} – desvio padrão de \bar{X}_A (Miller & Miller, 2005).

Para o cálculo de desvio padrão (\bar{X}_A) usou-se a equação (5):

$$s_{x_A} = S_{x/y} / b \left[\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(Y_A - \bar{Y})^2}{b^2 \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2} \quad (\text{Equação 5})$$

5.1. Resultados obtidos das análises dos parâmetros físico-químicos

Nas tabelas 5, 6 e 7 que se seguem estão apresentados os resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos das amostras de água do estuário do Espírito Santo na época chuvosa.

Tabela 5. Resultados experimentais obtidos da análise de pH, temperatura e condutividade eléctrica.

Pontos de amostragem	pH		t (°C)		CE (mS/cm)	
	IC	%RSD	IC	%RSD	IC	%RSD
A1	7,98±0,00	0,00	22,03±0,59	1,07	65,42±5,85	3,60
A2	7,93±0,04	0,22	21,17±0,32	0,61	65,85±0,74	0,45
A3	7,83±0,02	0,13	22,88±0,14	0,24	58,70±0,39	0,27
A4	7,83±0,00	0,00	21,80±0,09	0,17	44,87±0,17	0,15
A5	7,89±0,08	0,41	22,08±0,09	0,17	60,88±4,59	3,04
A6	7,89±0,06	0,29	22,11±0,11	0,21	61,03±0,27	0,18
A7	7,91±0,07	0,36	22,29±0,21	0,38	62,24±0,09	0,06
A8	7,90±0,01	0,07	22,64±0,05	0,09	62,10±0,32	0,21
A9	8,12±0,01	0,07	21,91±0,41	0,75	32,16±0,45	0,56
A10	9,97±0,01	0,07	22,32±0,09	0,17	65,68±0,45	0,27

A água do estuário do Espírito Santo apresentou valores de pH básico que variam de 7,83 a 9,97; valores da temperatura entre 21,17 e 22,88 °C e de condutividade eléctrica entre 32,16 e 65,85 mS/cm.

Os resultados experimentais foram obtidos com boa precisão com valores de % RSD de 0,00 até 0,41 para o pH, 0,09 até 1,07 para a temperatura e 0,06 até 3,60 para a condutividade eléctrica.

Tabela 6. Resultados experimentais obtidos da análise de salinidade, turbidez e oxigênio dissolvido.

Pontos de amostragem	Sal. (PSU)		Turb. (FNU)		OD (ppm)	
	IC	% RSD	IC	% RSD	IC	%RSD
A1	45,48±0,09	0,08	7,57±0,14	0,77	2,53±0,21	3,38
A2	44,75±0,58	0,52	12,07±0,38	1,27	2,48±0,29	4,71
A3	39,37±0,08	0,08	4,83±0,62	4,41	2,53±0,19	3,09
A4	29,04±0,12	0,16	8,83±0,76	3,46	2,51±0,09	1,51
A5	41,48±0,34	0,33	5,83±0,14	0,99	2,12±0,02	0,47
A6	41,01±0,14	0,13	7,56±0,52	2,75	2,04±0,24	1,58
A7	41,97±0,04	0,04	10,77±1,22	4,58	2,04±0,03	0,57
A8	41,83±0,17	0,16	7,2±0,25	1,39	1,86±0,12	2,65
A9	20,08±0,26	0,53	2,87±0,14	1,95	1,56±0,10	2,66
A10	44,59±0,30	0,27	8,57±0,94	4,42	1,58±0,09	2,39

As águas do estuário do Espírito Santo apresentaram a salinidade da água que variou entre 20,08 a 45,48 PSU; a turbidez entre 2,87 e 12,07 FNU e oxigênio dissolvido entre 1,56 a 2,53.

Os resultados experimentais foram obtidos com boa precisão com valores de % RSD a variarem entre 0,04 e 0,53 para salinidade, 0,77 até 4,58 para a turbidez e de 0,47 a 4,71 para oxigênio dissolvido.

Tabela 7. Resultados experimentais obtidos das análises de dureza, cálcio, magnésio, fosfato, alcalinidade e sulfato, para as amostras A1 a A5.

Parâmetros químicos		Pontos de amostragem				
		A1	A2	A3	A4	A5
Dureza (mg/L CaCO ₃)	IC	4996,34±79,51	4494,57±45,91	3736,58±91,81	3213,46±45,91	5476,76±79,51
	%RSD	0,64	0,41	0,99	0,58	0,58
Ca ²⁺ (mg/L)	IC	1722,82±36,79	1415,02±18,38	1154,25±63,68	953,32±48,64	910,57±0
	%RSD	0,86	0,52	2,22	2,05	0
Mg ²⁺ (mg/L)	IC	171,31±19,32	233,33±0	233,33±102,18	202,22±38,62	777,76±19,31
	%RSD	4,54	0	17,64	7,70	1,00
Fosfatos (mg/L)	IC	1,70±0,06	0,56±0,05	0,24±0,05	1,11±0,05	0,32±0,05
	%RSD	0,26	0,29	1,36	1,30	5,14
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	IC	292,6±34,01	287,5±5,45	277,4±9,43	264,7±5,45	259,6±14,41
	%RSD	4,68	0,76	1,34	0,83	2,24
Sulfatos (mg/L)	IC	3674,20	2503,65	5665,86	2825,28	7418,52

Tabela 8. Resultados experimentais obtidos das análises de dureza, cálcio, magnésio, fosfato, alcalinidade e sulfato, para as amostras A6 a A10.

Parâmetros químicos		Pontos de amostragem				
		A6	A7	A8	A9	A10
Dureza (mg/L CaCO ₃)	IC	3362,92±0	5188,50±0	5007,01±91,81	4761,47±45,91	4942,28±45,91
	%RSD	0	0	0,74	0,39	0,37
Ca ²⁺ (mg/L)	IC	940,50±48,64	936,22±0	812,25±73,52	666,90±63,68	829,35±92,55
	%RSD	2,08	0	3,65	3,85	4,50
Mg ²⁺ (mg/L)	IC	246,29±29,49	692,21±0	723,32±38,62	777,76±126,61	697,39±62,07
	%RSD	4,82	0,00	2,15	6,56	3,59
Fosfatos (mg/L)	IC	0,92±0,05	1,60±0,05	0,76±0,05	0,35±0,09	0,57±0,05
	%RSD	0,37	0,48	1,00	1,66	3,95
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	IC	276,1±5,45	258,4±9,43	254,6±9,43	177,3±5,45	253,3±19,64
	%RSD	0,79	1,47	1,49	1,24	3,12
Sulfatos (mg/L)		6271,34	8656,56	3077,77	3519,48	2959,18

As águas do estuário do Espírito Santo apresentaram valores de dureza da água que variaram entre 3213,46 e 5476,76 mg/L; o cálcio entre 666,90 e 1722,82 mg/L; o magnésio entre 171,31 e 777,67 mg/L; o fosfato entre 0,24 e 1,70 mg/L; a alcalinidade entre 177,3 e 292,6 mg/L e o sulfato entre 2503,65 e 8656,56 mg/L.

Os resultados experimentais foram obtidos com precisão variável de muito boa a boa para dureza, cálcio e alcalinidade, com valores de 0,0 até 0,99 % RSD, 0,0 até 4,50 e 0,76 até 4,68 respectivamente. Para o fosfato a precisão variou de muito boa a boa de 0,26 a 5,14 % RSD. Para o magnésio a precisão variou de boa a moderada com valores de 0 a 7,70 % RSD. Com a exceção do ponto A3 cuja a precisão foi má com valor de % RSD de 17,64.

6. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo é feita a discussão e interpretação dos resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos avaliados na estação chuvosa do estuário do Espírito Santo. Os resultados experimentais são comparados com os valores máximos e mínimos estabelecidos pela OMS para a avaliação da qualidade de águas estuarinas. As rectas vermelhas e pretas nos gráficos indicam os valores máximos e mínimos estabelecidos pela norma OMS respectivamente.

6.1. pH

O pH das amostras da água do estuário Espírito Santo é ligeiramente alcalina e está dentro do intervalo recomendado pela OMS, com excepção do ponto A10 que está acima do valor máximo admissível. No gráfico a seguir é ilustrada a comparação dos valores de pH das amostras de água do estuário Espírito Santo com os valores estabelecidos pela OMS.

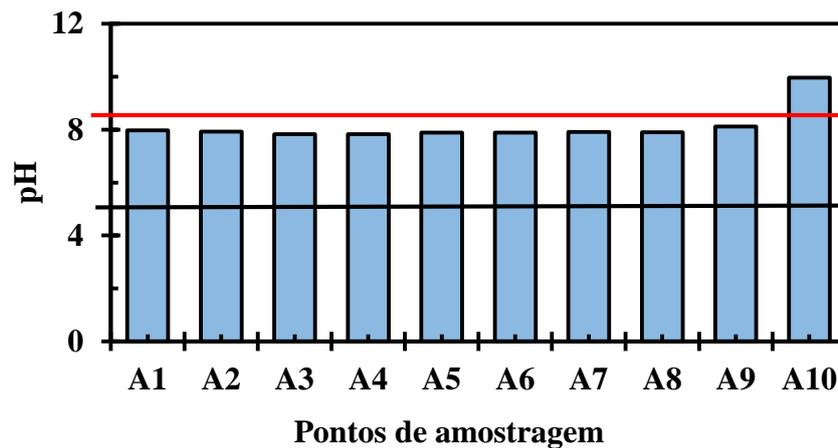


Figura 10. Comparação dos valores de pH das amostras de água do estuário do Espírito Santo com os limites mínimo e máximo admissíveis pela OMS.

As amostras de água do estuário do Espírito Santo apresentaram valores de pH no intervalo de 7,83 a 9,97. No estudo realizado no mesmo estuário e com os mesmos pontos de amostragem por Fernando (2022) na época seca, obteve-se valores de pH entre 7,87 a 8,02. O ambiente aquático do estuário do Espírito Santo apresentou valores de pH relativamente maiores na época chuvosa em comparação com a época seca.

O pH é uma variável abiótica muito importante nos ecossistemas aquáticos naturais devido aos seus efeitos na fisiologia de diversas espécies e é de difícil interpretação pela quantidade de factores que o podem afectar, podendo variar durante o dia, em função da actividade fotossintética e respiratória das comunidades aquáticas (Esteves, 2011). De acordo com Von

Sperling (2007), factores naturais como a maré, dissolução de rochas, fotossíntese e ou respiração, ou factores antrópicos como os esgotos domésticos e industriais afectam o nível de pH. O pH em águas estuarinas é fundamental para a sobrevivência das espécies aquáticas, onde o pH ideal para crescimento e reprodução da maioria das espécies varia de 5,5 a 8,5 sendo que valores acima ou abaixo prejudicam o seu desenvolvimento.

6.2. Condutividade eléctrica (CE)

A água do estuário do Espírito Santo apresentou valores de condutividade eléctrica abaixo do limite máximo admissível pela OMS em todos os pontos, conforme se ilustra no gráfico a seguir.

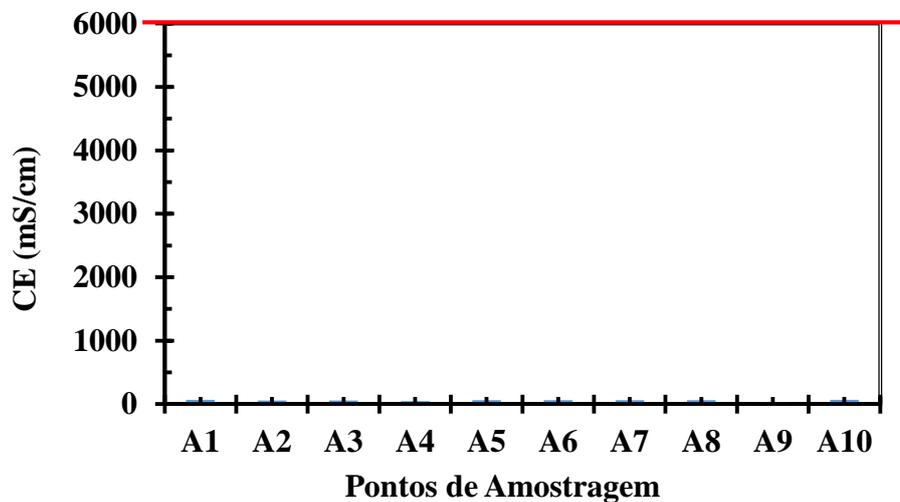


Figura 11. Comparação dos valores de CE das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

As amostras de água do estuário do Espírito Santo apresentaram valores de condutividade eléctrica no intervalo de 32,16 a 65,85 mS/cm. Em estudo feito por Fernando (2022) na época seca nos mesmos pontos registou-se valores de condutividade eléctrica no intervalo de 43,20 a 46,77 S/cm. Maiores valores de condutividade eléctrica no estuário foram registados na estação seca.

A condutividade eléctrica representa uma medida indirecta da concentração de poluentes e estima a quantidade de sais dissolvidos no corpo hídrico, podendo variar segundo a temperatura e pH. Em regiões tropicais, os valores de condutividade eléctrica nos ambientes aquáticos estão mais relacionados com a concentração de iões, com as características geoquímicas e com a sazonalidade (estação de seca ou de chuva) da região onde se localizam, sendo menores no período chuvoso, o que é observado no estuário do Espírito Santo (Esteves, 2011).

Os valores de condutividade eléctrica registados no estuário de Espírito Santo na estação chuvosa indicam um grau de decomposição e poluição do ambiente aquático baixo e acentuada produção primária, estes valores estão principalmente relacionados com a condição chuvosa, que tende a aumentar o factor de diluição dos iões no estuário e consequentemente reduzir a condutividade eléctrica. Factores como o lançamento de efluentes domésticos e indústrias, actividades de mineração, aumento da temperatura, a geoquímica do local se for caracterizada por elevada concentração de minerais, entre outras actividades realizadas ao longo dos rios que desaguam no estuário podem elevar os valores da condutividade eléctrica independentemente da sazonalidade (Esteves, 2011; Piratoba et al., 2017).

O conhecimento de valores de condutividade eléctrica de águas naturais é de grande importância porque tem influência sobre a biótica aquática. Concentrações elevadas podem acarretar acúmulo de iões tóxicos, diminuir a quantidade de oxigénio dissolvido e diminuir a capacidade de absorção de micronutrientes por parte dos organismos aquáticos, podendo afectar o seu desenvolvimento, produtividade e sua sobrevivência (Esteves, 2011).

6.3. Turbidez

As amostras do estuário do Espírito Santo apresentaram valores de turbidez dentro do limite máximo admissível pela OMS em todos os pontos. No gráfico da Figura 12 é apresentada a comparação dos valores de turbidez das amostras de água do estuário do Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

A turbidez no estuário do Espírito Santo apresentou valores entre 2,87-12,07 FNU, o maior valor foi registado no ponto A2 e o menor no ponto A9. Comparados com os valores obtidos na estação seca por Fernando (2022) onde o maior foi 62 e o menor 17, o estuário apresentou maiores valores na estação seca, o que está em concordância com o descrito por Bene (1999) que afirma que o estuário do Espírito Santo é relativamente mais claro durante a estação chuvosa.

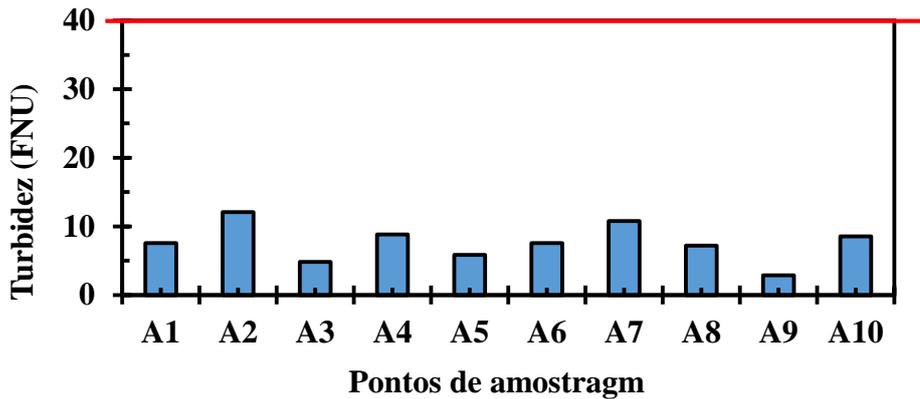


Figura 12. Comparação dos valores de turbidez das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

Taxas de turbidez observadas na época chuvosa no estuário do Espírito Santo favorecem a fotossíntese de vegetação enraizada submersa, contribuindo para boas taxas de produção primária e redução de possíveis distúrbios na fauna e na flora devido à redução da penetração da luz (Moura, 2017).

6.4. Oxigénio dissolvido (OD)

O oxigénio dissolvido para as amostras de água do estuário do Espírito Santo apresentou valores dentro dos limites admissíveis pela OMS, com excepção dos pontos A8, A9 e A10 que apresentaram valores abaixo do limite mínimo admissível. No gráfico a seguir está ilustrada a comparação dos valores de OD das amostras com os limites mínimo e máximo admissíveis pela OMS.

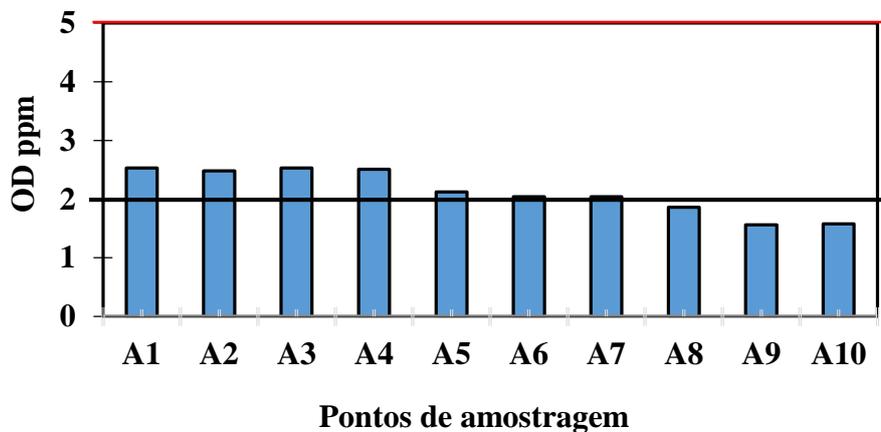


Figura 13. Comparação dos valores de OD das amostras de água do estuário Espírito Santo com os limites mínimo e máximo admissíveis pela OMS.

Segundo Santos (2014), o oxigénio dissolvido é um importante parâmetro da qualidade da água em ambientes estuarinos, baixas concentrações de OD submetem os organismos ao estresse respiratório e até à morte, diminuem o apetite, aumentam a susceptibilidade a diversas doenças e é um indicador da contaminação das águas. A maioria das espécies aquáticas, especialmente os peixes, não resiste a concentrações de oxigénio dissolvido na água inferior a 4,0 ppm (Siqueira, 2016; Vasconcelos, 2012).

Acções naturais, assim como antrópicas são indicadas como responsáveis pelas baixas concentrações de teores de oxigénio dissolvido em estuários. Actividades como despejos de efluentes de origem orgânica (esgotos e alguns industriais) constantes na região, perdas de O₂ para a atmosfera (desaeração), respiração de organismos aquáticos, nitrificação, decomposição de matéria orgânica e oxidação química abiótica de substâncias como iões metálicos, por exemplo, ferro (II) e manganês (II) levam a baixos níveis de oxigénio dissolvido (Esteves, 1998; Santos, 2014).

6.5. Dureza

As amostras de água do estuário do Espírito Santo apresentaram concentrações de dureza muito acima do limite máximo admissível pela OMS em todos os pontos. O gráfico a seguir ilustra a comparação entre os valores obtidos com o limite máximo admissível pela OMS.

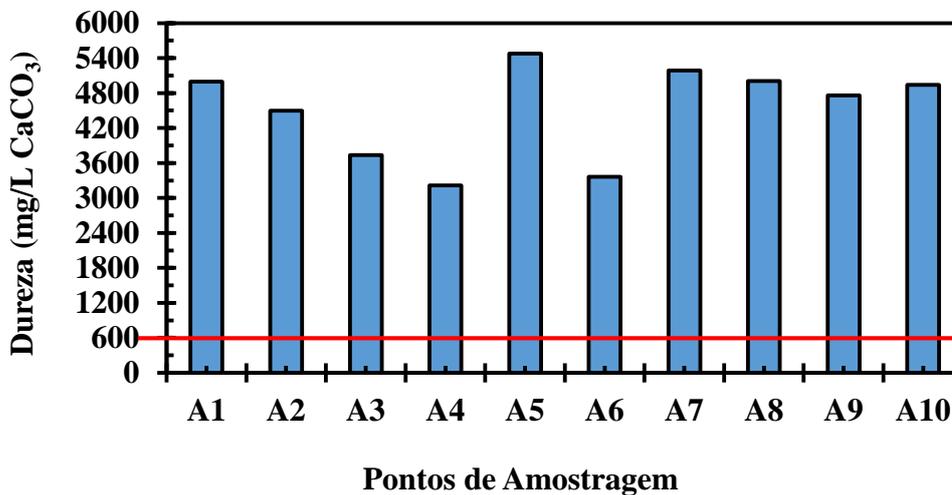


Figura 14. Comparação dos valores de dureza total das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

As amostras de água analisadas apresentaram valores de dureza total no intervalo de 3213,46 a 5476,76 mg/L CaCO₃. Em análise feita na época seca nos mesmos pontos por Fernando (2022) registou-se valores de dureza total no intervalo de 3861,35 a 6107,30 mg/l CaCO₃. O

estuário Espírito Santo apresentou valores de dureza maior na época seca em comparação com a chuvosa.

A dureza de um corpo de água está associada à concentração de cátions multimetálicos, principalmente os cátions bivalentes de cálcio e magnésio, e dificilmente a actividades antrópicas, como descarga de efluentes (Vasconcelos, 2012). Concentrações muito elevadas de dureza registadas nas amostras de água analisadas podem indicar presença de rochas calcárias ricas em cálcio e magnésio na região do estuário Espírito Santo. De acordo com a classificação de Chibantão (2012) as águas do estuário do Espírito Santo são classificadas como muito duras. Este tipo de águas impedem a acção dos sabões dificultando a remoção da sujidade e da gordura, como também apresenta restrições para uso em indústrias, por exemplo para o abastecimento de equipamentos geradores de vapores, pelo facto do cálcio e magnésio possuírem características naturais de se agregarem nas paredes das tubulações e em altas temperaturas cristalizam-se, formando incrustações, causando sérios danos aos equipamentos (Silva & Carvalho, 2007).

6.6. Cálcio e magnésio

As amostras do estuário Espírito Santo apresentaram concentrações de cálcio e magnésio muito acima do limite máximo admissível pela OMS. Os gráficos das Figuras 15 e 16 ilustram a comparação dos valores de cálcio e magnésio obtidos do estuário do Espírito Santo com o limite máximo estabelecido pela OMS.

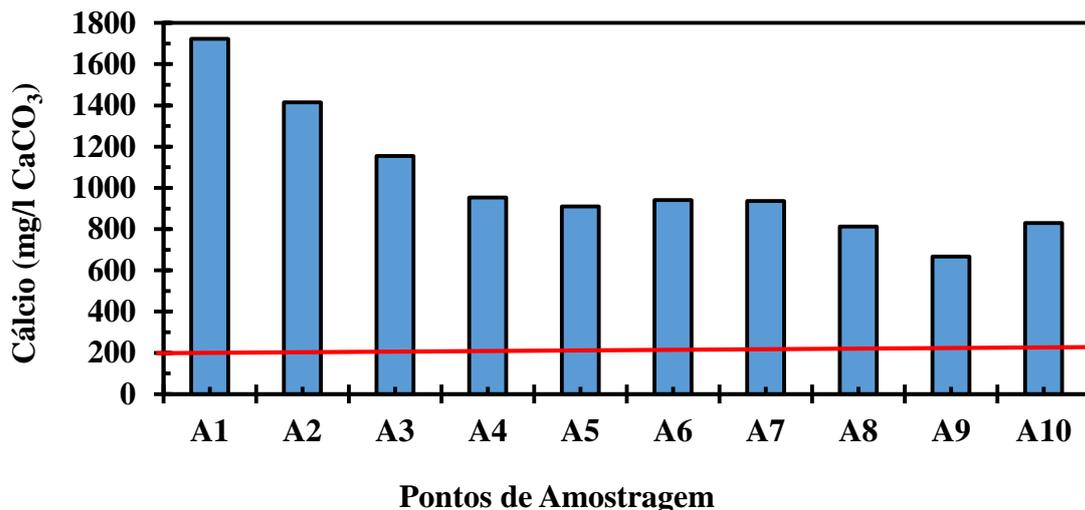


Figura 15. Comparação dos valores de Ca²⁺ das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

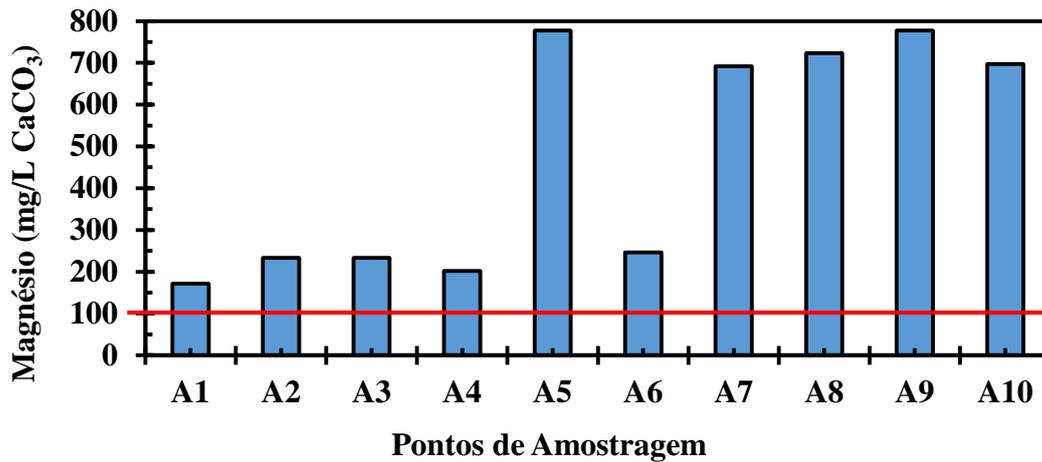


Figura 16. Comparação dos valores de Mg²⁺ das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

A água do estuário Espírito Santo apresentou concentração de cálcio e magnésio no intervalo de 666,90 a 1722,82 mg/L CaCO₃ e 171,31 a 777,76 mg/L CaCO₃ respectivamente. Em estudo feito na época seca nos mesmos pontos por Fernando (2022) registou-se concentração de cálcio acima (1676,06 a 2149,78 mg/L CaCO₃) e de magnésio abaixo (98,03 a 43,70 mg/L CaCO₃) comparados aos obtidos nesse estudo.

O magnésio e cálcio apresentam o mesmo comportamento químico quando presentes em águas, concentrações elevadas registadas no estuário do Espírito Santo são responsáveis por conferir elevada dureza observada no estuário. Porém o cálcio apresentou concentrações maiores em relação ao magnésio, deste modo, pode-se concluir que o cálcio é o maior responsável por conferir alta dureza no estuário do Espírito Santo.

6.7. Alcalinidade

As amostras do estuário do Espírito Santo apresentaram concentrações de alcalinidade muito acima do limite máximo admissível pela OMS. O gráfico da Figura 17 ilustra a comparação dos valores obtidos com o valor máximo admissível pela OMS.

Amostras do estuário do Espírito Santo apresentaram concentrações de alcalinidade no intervalo de 177,3 a 292,6 mg/L CaCO₃. O estuário apresentou concentrações de alcalinidade menor na estação chuvosa em comparação com a concentração obtida por Fernando (2022) na época seca nos mesmos pontos onde se registou valores de 600 a 1000 mg/L CaCO₃.

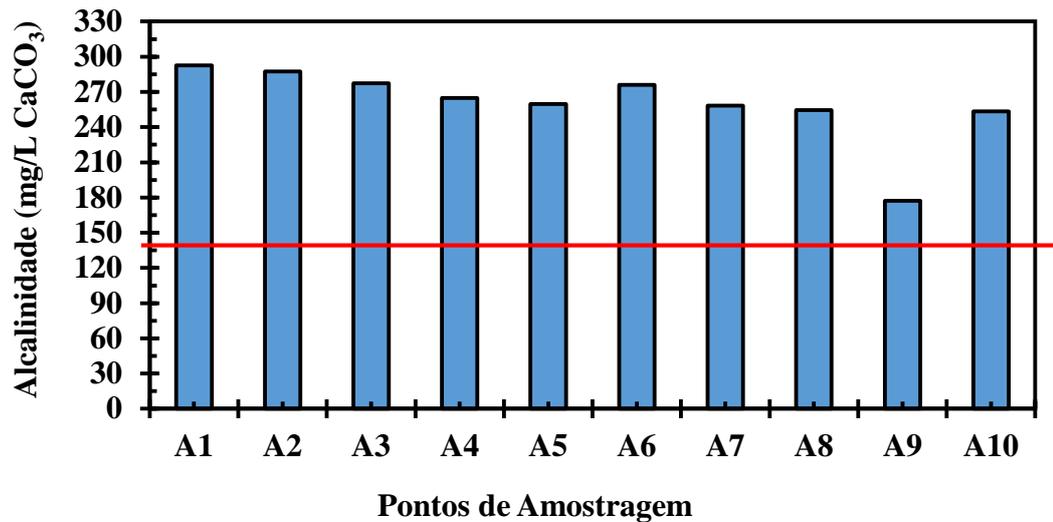


Figura 17. Comparação dos valores de alcalinidade das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo estabelecidos pela OMS.

Em ambientes estuarinos a alcalinidade na faixa aceitável é muito importante para a preservação do ambiente e da vida aquática, pois está directamente relacionada com o grau de decomposição de matéria orgânica, e conseqüentemente, a libertação de CO₂, assim como influencia na alteração do pH. Valores de alcalinidade acima do limite admissível observadas no estuário do Espírito Santo podem elevar o processo de decomposição que interfere directamente no oxigénio dissolvido no meio criando um ambiente aquático desequilibrado e instabilidade para diversas formas de vida presentes nele (Baird, 2002). Concentrações elevadas de alcalinidade estão associadas à presença de carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻) e iões hidroxilo (OH⁻) dos boratos, fosfatos, silicatos e outras bases que também contribuem para a alcalinidade, se presentes. Geralmente a presença destes elementos deve-se à geologia da área por onde os rios que desaguam no estuário percorrem e onde o estuário está localizado, e a dissolução do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera (Omer, 2019).

6.8. Sulfatos

As amostras do estuário Espírito Santo apresentaram concentrações de sulfatos muito acima do limite máximo admissível pela OMS. O gráfico da Figura 18 ilustra a comparação das concentrações obtidas com o limite máximo admissível pela OMS. O estuário do Espírito Santo apresentou concentrações de sulfatos no intervalo de 2503,65 a 8656,57 mg/L, que é maior em comparação com valores obtidos por Fernando (2022) na época seca onde obteve valores no intervalo de 1596,70 a 4083,55 mg/L CaCO₃.

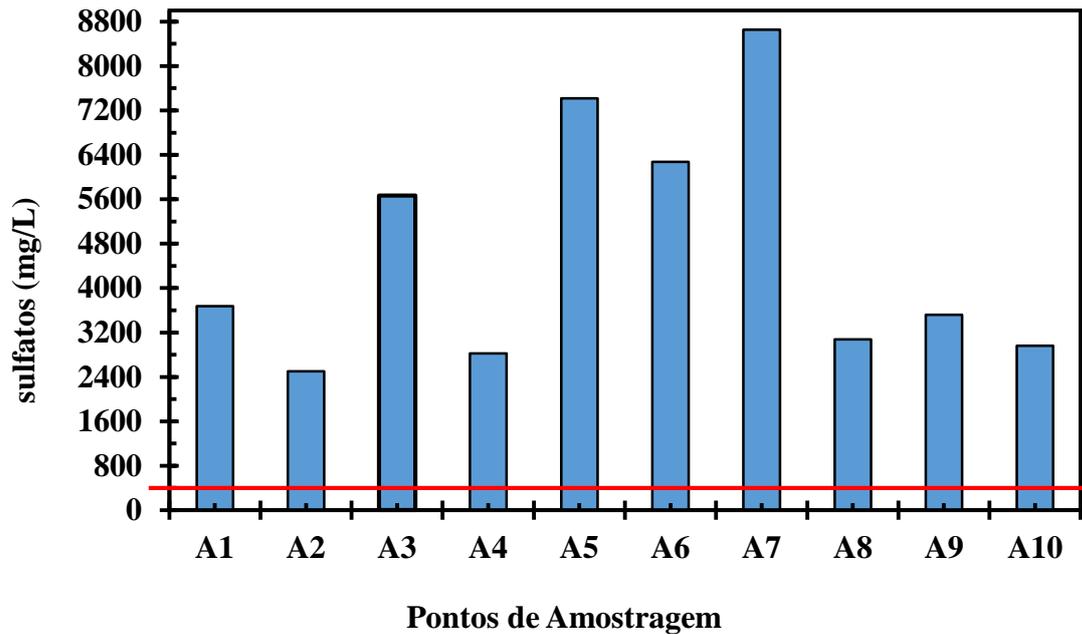


Figura 18. Comparação dos valores de SO_4^{2-} das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

O sulfato é um dos iões mais abundante na água do mar e conseqüentemente nos estuários, estando presente em diversas formas e proporções, sendo SO_4^{2-} a forma mais predominante. O sulfato origina-se, sobretudo, a partir da oxidação da matéria orgânica ou da alteração de sulfuretos das rochas. Concentrações de sulfato muito elevadas nas águas do estuário do Espírito Santo são resultantes de uma maior influência da água do mar, descarga de esgotos domésticos e efluentes industriais (Santos, 2014).

6.9. Fosfatos

As amostras do estuário do Espírito Santo apresentaram em geral concentrações de fosfatos dentro do limite máximo admissível pela OMS, com exceção dos pontos A1, A4 e A7 que registaram concentrações acima do limite máximo admissível. O gráfico da Figura 19 ilustra a comparação das concentrações obtidas com o limite máximo estabelecido pela OMS.

As amostras do estuário do Espírito Santo apresentaram concentrações de fosfatos no intervalo de 0,24 a 1,70 mg/L. Em análise feita por Fernando (2022) na época seca nos mesmos pontos registou-se concentrações no intervalo de 1,37 a 4,19 mg/L que são maiores em comparação com os obtidos na época chuvosa. O estuário apresentou o mesmo comportamento nas duas estações, onde os maiores valores de concentrações de fosfatos foram obtidos no ponto A1 (1,70 e 4,19) e os menores no ponto A3 (0,24 e 1,37) para a estação chuvosa e seca respectivamente.

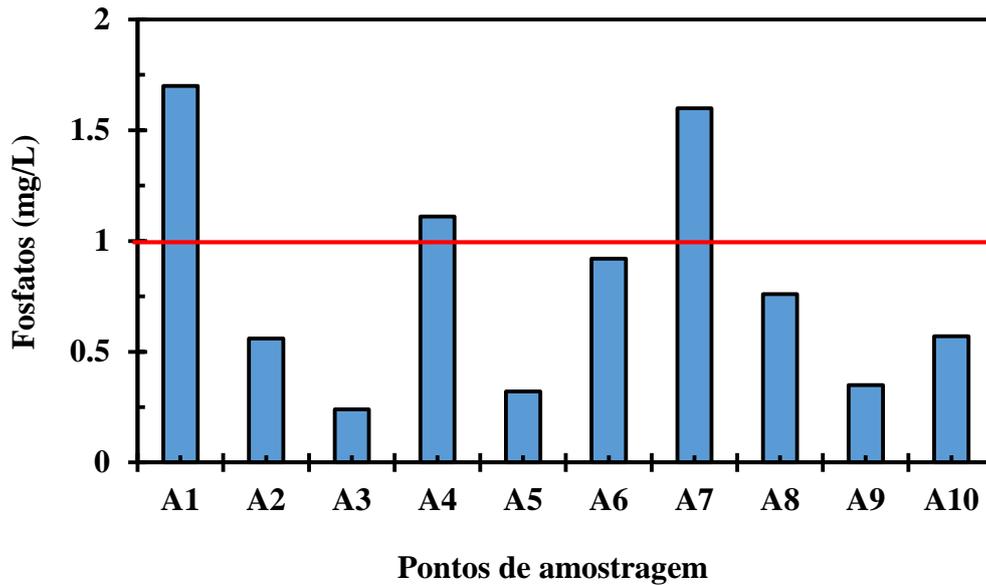


Figura 19. Comparação dos valores de PO_4^{3-} das amostras de água do estuário Espírito Santo com o limite máximo admissível pela OMS.

O fosfato é um nutriente essencial para o metabolismo de plantas e animais, altas concentrações de fosfato podem levar a eutrofização (enriquecimento das águas por nutrientes), provocando assim um crescimento rápido de algas e plantas aquáticas e um aumento na turbidez da água. O aumento da turbidez faz com que as plantas que se encontram a maior profundidade deixem de receber luz, afectando negativamente o processo de fotossíntese o que reduz o oxigénio dissolvido levando à morte das espécies aquáticas por asfixia e consequentemente a perda da biodiversidade. Fazendo com que o fosfato passe de nutriente a poluente criando um desequilíbrio irreversível ao meio aquático (Klein & Agne, 2012; Emídio, 2012).

O fosfato é introduzido em corpos de águas estuarinas através de processos naturais (precipitação, intemperismo e erosão do solo, decomposição da matéria orgânica) e actividades antrópicas, descarga de esgotos sanitários e efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, conservantes alimentícios, entre outros. Processo de drenagem em áreas de dejectos (humanos e animais) e lixiviação dos fertilizantes da agricultura também contribuem para níveis elevados do fósforo em águas naturais (Vasconcelos, 2012; Klein & Agne, 2012).

6.10. Temperatura

A temperatura da água no estuário do Espírito Santo variou de 21,17 a 22,88, onde o maior valor foi encontrado no ponto A3 e o menor no ponto A2. A OMS não apresenta limites para temperatura de águas estuarinas. A temperatura ideal depende da zona, influenciada pelo seu clima.

O conhecimento dos valores de temperatura em ecossistemas estuarinos é de grande importância, uma vez que esses têm um grande impacto em plantas e animais, influenciam nas suas taxas metabólicas e afetam a reprodução, distribuição, abundância e o seu crescimento.

A maioria das espécies aquáticas das zonas tropicais tem problemas de sobrevivência para níveis de temperatura abaixo de 25 e acima de 30 °C. Temperaturas muito acima dos 30 °C causam danos a proteínas e enzimas levando à morte pelo excesso de calor e temperaturas muito abaixo de 25 °C causam o retardamento das reações químicas que sustentam a vida; taxas de metabolismo, crescimento e reprodução geralmente aumentam em direção ao limite superior da faixa de sobrevivência e diminuem em direção ao limite inferior. A temperatura nesses ecossistemas está relacionada com diversos factores, como a época do ano, período do dia, clima da região, movimento da água, dentre outros (Vasconcelos, 2012).

6.11. Salinidade

A salinidade da água no estuário do Espírito Santo variou de 20,08 a 45,48 PSU onde o maior valor foi encontrado no ponto A1 e o menor no ponto A9. A OMS não apresenta limites para a salinidade em águas estuarinas.

A salinidade das águas naturais acompanha proporcionalmente a condutividade eléctrica e estas estão intimamente relacionadas, uma vez que ambas medem a capacidade das águas de conduzir electricidade. Segundo Toledo (2019) a salinidade da água é a quantidade de sais definida pela condutividade eléctrica. Deste modo, níveis baixos e aceitáveis de condutividade eléctrica registados no estuário do Espírito Santo indicam que os seus valores de salinidade são aceitáveis para o estuário. Assim como a condutividade os valores de salinidade na estação chuvosa tendem a ser menores pela acção das águas da chuva que tende a aumentar o factor de diluição dos iões presentes no meio aquático, contribuindo para baixos valores de salinidade. A salinidade é um dos principais controladores da distribuição da flora e fauna nos estuários, níveis elevados limitam a distribuição e a sua alteração cria efeitos variados nos organismos estuarinos, uma vez que estes têm diferentes respostas a mudanças de salinidade (Scanes et al., 2017).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusões

Os resultados experimentais obtidos permitiram avaliar a qualidade da água do estuário do Espírito Santo localizada na Matola província de Maputo em Moçambique, na época chuvosa, objecto do estudo principal deste trabalho de licenciatura.

A avaliação foi feita através da determinação dos parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, condutividade eléctrica, turbidez, dureza, Ca, Mg, salinidade, alcalinidade, oxigénio dissolvido, sulfatos e fosfatos, na análise das amostras de águas estuarinas em estudo por diferentes técnicas. Os cálculos estatísticos demonstram que a precisão dos resultados dos parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de água variou de muito boa a boa, com valores de % RSD entre 0.0 e 7.7 %, com excepção do Mg^{2+} , no ponto A3 onde a precisão foi má com o valor do % RSD de 17,64 %.

Na comparação dos valores experimentais obtidos com os limites estabelecidos pela OMS, pode-se concluir, de um modo geral, que: o pH, a CE, o OD, fosfatos e turbidez estão dentro dos limites estabelecidos pela norma da OMS, com excepção de 3 pontos (A1, A4 e A7) para o fosfatos que estão acima do estabelecido pela OMS, enquanto que os restantes dos parâmetros estão acima dos limites máximos da OMS.

A comparação dos valores obtidos nesse estudo para época chuvosa com os resultados obtidos por (Fernado, 2022) para época seca nos mesmos pontos do mesmo estuário pode-se concluir que o estuário do Espírito Santo apresenta maior nível de poluição na época seca uma vez que foram nessa época registados maiores teores.

A conclusão final da avaliação do estuário é de que o ambiente aquático do estuário está poluído, e que as variações dos níveis de contaminação no estuário do Espírito Santo são sazonais, ou seja, dependem da época. Esta poluição representa um risco para os ecossistemas aquáticos uma vez que as concentrações dos parâmetros físico-químicos obtidos de forma geral ultrapassam os limites estabelecidos pela OMS para águas estuarinas, que são habitats privilegiados para a maioria de organismos aquáticos e outros ecossistemas ao redor.

Recomendações

- Recomenda-se a práticas periódicas de monitoramento na qualidade do estuário uma vez que as condições naturais dos ecossistemas estuarinos são rapidamente alteradas com os impactos antrópicos e ambientais;
- Recomenda-se que seja feita a análise de compostos de nitrogénio, cloretos e microbiológicos para que se possa ter uma melhor compreensão da qualidade das águas analisadas; e
- Recomenda-se a orientação das comunidades próximas sobre a importância de conservação dos ecossistemas estuarinos de modo a reduzir os impactos gerados pelas mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
2. Baird, C. (2002). *Química Ambiental*. 2ed. Porto Alegre, RS: Bookman
3. Bandeira, S. (2012). *Maputo Bay (Southern Mozambique)*. Department of Biological Sciences, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Mozambique.
4. Bene, M. (1999). *Relação entre avifauna e Macrofauna no Estuário Espírito Santo* (Trabalho de Licenciatura). Faculdade de ciências, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
5. Boletim da República (2004). I Série -Número 37. Quarta-feira, 15 de Setembro
6. Björk M., Short F., Mcleod, E. & Beer, S. (2008). Manejo de ervas marinhas para resiliência às mudanças climáticas. Gland, Suíça: IUCN. 56pp.
7. Buzell, G. M. & Santino, M. B. (2012). *Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita*. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 8(1) p. 186-205. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.930>
8. Canhanga, S. & Dias, J. (2005). *Características das marés da Baía de Maputo, Moçambique*. Journal of Marine Systems. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.08.001>
9. Chibantão, G. V. G. (2012). *Controle da qualidade da água do rio infulene para fins de irrigação*. Trabalho de Licenciatura. Faculdade de Ciências, Departamento de Química, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
10. Duarte, A. L. S. & Vieira, M. (1997). *Caracterização dos ambientes estuarinos*. Mistura em Estuários. Tese de mestrado, Departamento de engenharia civil, Universidade do Minho, Braga, Portugal.
11. Dyer, K. R. (1997). *Estuaries: A Physical Introduction* (Baffins Lane); 2nd ed: John Wiley & Sons Ltd., Hoboken.
12. Emídio, V. J. G. (2012). *A problemática do fósforo nas águas para consumo humano e águas residuais e soluções para o seu tratamento*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro.
13. Esteves F. A. (2011). *Fundamentos de limnologia*. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, p. 826.

14. Esteves F. A. (1998). *Fundamentos de limnologia*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência.
15. EPA. (2006a). *Voluntary Estuary Monitoring Manual Chapter 2: Overview, covering the science, the problems, and the solution*. March. <http://www.epa.gov/owow/estuaries/monitor/>
16. EPA. (2006b). *Voluntary Estuary Monitoring Manual Chapter 10: Nutrients -- Nitrogen and Phosphorus*. March. http://www.epa.gov/owow/estuaries/monitor/2009_03_13_estuaries_monitor_chap10.
17. Fernando, C. C. (2022). *Análise Da Qualidade Da Água Para Avaliação Dos Ambientes Aquáticos Do Estuário Do Espírito Santo E Púngué Em Moçambique* (Trabalho de licenciatura). Faculdade de Ciências, Departamento de Química, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
18. Klein, G., & Agne, S. G. A. (2012). *FÓSFORO: DE NUTRIENTE À POLUENTE!*. Revista Eletrónica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Vol.(8), nº 8, p. 1713-1721. <http://dx.doi.org/10.5902/223611706430>
19. Li, D. & Liu, S. (2019). Detection of river water quality. *Water Quality Monitoring and Management*, p. 211–220. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811330-1.00007-7>
20. Magalhães, A. M. W. (2005). *Aplicação do método hidrodinâmico bidimensional para o estudo da dispersão de poluentes na baía de Maputo* (Trabalho de licenciatura). Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
21. Malhadas, M. S., Leitão, P. C., Ribeiro, J., Silva, A., Leitão, P. & Cota, T. (2012). *Sistema integrado de simulação de cheias no Estuário do Espírito Santo (Baía de Maputo, Moçambique)*. 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica. Lisboa, 20-22 de junho. [Www.mohid.com](http://www.mohid.com).
22. Mateus, M., Mateus, S. & Baretta, J.W. (2008). *Basic concepts of estuarine ecology*. Perspectives on Integrated coastal zone management in South America, October, p.3-14. <https://doi.org/10.13140/2.1.4497.0562>
23. Miththapala, S. (2013). *Lagoons and Estuaries*. Coastal Ecosystems Series Vol.4, p.73. IUCN Sri Lanka Country Office, Colombo.
24. Markull, k. (2013). *Aprisionamento da Pluma Estuarina na Baía de Maputo, Moçambique*. Dissertação de mestrado. Departamento de física, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

25. Moura, T. S. (2017). *Avaliação Da Qualidade Da Água Do Rio Sanhauá Na Área De Influência Direta Do Antigo Lixão Do Róger* (Trabalho De Licenciatura). Universidade Federal Da Paraíba, João Pessoa, PB.
26. Miller, J. N. & Miller, J. C. (2005) *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry* (5th ed). Pearson education.
27. Nascimento, R. C. M., Magarotto, M., Silva, J. C., & Costa, M. F. (2020). *Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização*. *Revista de Gestão Costeira* 20(3): 169-178. http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-n284_Nascimento.pdf. doi: 10.5804/rgci-n284
28. Nebra, A. (2015). *Ecology and bioindicator potential of benthic macroinvertebrates in Mediterranean salt wedge estuary: the Ebro River case*. University de Barcelona. <https://www.researchgate.net/publication/350344762>.
29. Omer, N. H. (2019). *Water quality parameters*. Department of environmental engineering, Sundan University for science and technology. Khartoum. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89657>
30. Pereira, C.T. do C. (2006). *Caracterização hidrogeoquímica do estuário do rio Curuçá* (Dissertação de mestrado). Centro de geociência, Universidade federal do Pará, Belém.
31. Piratoba, A. R. A., Ribeiro, H. M. C., Morales, G.P. & Goncalves, W. G. (2017). *Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena*. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Vol. 12(3), p. 436-456. <https://doi:10.4136/ambi-agua.1910>
32. Ruttenberg, K. C. (2003). *The global phosphorus cycle*. *Treatise on geochemistry*, v. 8, p. 682. <https://doi:10.1016/B0-08-043751-6/08153-6>
33. Santos, T. T. S. (2014). *Dinâmica Do Oxigênio Dissolvido No Estuário Do Rio Do Sal/Sergipe* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE.
34. Scanes, P., Ferguson, A. & Potts, J. (2017). *Estuary form and function: implications for palaeoecological studies*. In *Applications of paleoenvironmental techniques in estuarine studies* (pp. 9-44). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-024-0990-1_2
35. Self, J. R. (2010). *Domestic Water Quality Criteria*, Colorado State University, disponível em <http://www.ext.colostate.edu/pubs/crops/00513.html> acessado em 05/2022

36. Silva, A. F. da (2011). *Características Hidrográficas do Estuário da Beira, Moçambique*. Journal of Chemical Information and Modeling, 53 (9), 1689-1699. http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/AntonioFernadesDaSilva.pdf
37. Silva, D.O. & Carvalho, A. O R. P. (2007). *Soluções em Engenharia de Tratamento de Água*. Disponível em: http://www.kurita.com.br/adm/download/Tratamento_de_agua_de_Resfriamento.pdf
38. Silva, F. N. D. P. (2014). *Dinâmica de um canal estuarino fracamente estratificado* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, SP.
39. Siqueira, L. (2016). *Análise da qualidade da água para fins de abastecimento público no rio pardo*. Trabalho de Licenciatura. Universidade Estadual Paulista, Ourinhos. SP: Unesp.
40. Toledo, L. Q. L. L. (2019). *Análise Preliminar Da Qualidade E Quantidade Da Água Do Ribeirão Das Rosas Em Juiz De Fora - MG*. Trabalho de Licenciatura. Faculdade de Engenharia, Universidade Federal De Juiz De Fora.
41. Valle-Levinson, A. (2010). *Definition and classification of estuaries*. Contemporary Issues in Estuarine Physics, p. 1-11. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511676567.002>
42. Valle-Levinson, A. (2011). *Classification of Estuarine Circulation*. In Treatise on Estuarine and Coastal Science (Vol. 1, Issue January 2010) Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00106-6>
43. Vasconcelos, M. D. G. (2012). *Avaliação Integrada da Qualidade Da Água Do Rio Uberabinha - MG Com Base Na Caracterização Química Dos Sedimentos e De Espécimes Da Ictiofauna*. Dissertação de doutorado. Universidade Federal de Goiás, Uberlândia.
44. Von Sperling, M. (2007). *Estudos de modelagem da qualidade da água de rios*. UFMG, Belo Horizonte: V.7, P. 452.
45. Von Sperling, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. DESA/UFMG, Belo Horizonte-MG, P. 452
46. WHO –World Health Organization. (1993). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. 2nd. ed. Geneve: v.1 – Recommendations. pp.1–15; 39–57. v.2 – Health criteria and other supporting information. pp.1-18.

ANEXOS

▪ Anexo 1: Preparação das soluções

Solução de AgNO₃ 0,01N

Dissolveu-se 1.7 g de AgNO₃ em um copo Becker, transferiu-se a solução num balão de 1000 mL e completou-se o volume com água bidestilada.

Solução de CaCO₃ 0,1 M

Pesou-se 5 g de CaCO₃ num copo Becker, dissolveu-se com água bidestilada e transferiu-se a solução para um balão de 500 mL, e perpez-se o volume com água bidestilada.

Solução de BaCl₂ 10%

Dissolveu-se 100 g de BaCl₂.2H₂O em água destilada e completou-se o volume de 1000 mL

Solução de Na₂CO₃ 0,02 N

Dissolveu-se 1,0600g de Na₂CO₃ previamente seco em estufa a 270 °C durante duas horas em um Becker, transferiu-se a solução para um balão de 1000 mL e completou-se o volume com água bidestilada.

Solução de NaOH 1 N

Dissolveu-se 40 g de NaOH em água bidestilada, transferiu-se a solução para um balão de 1000 mL e completou-se o volume com água destilada.

Solução de HCl (1:1)

Mediu-se 50 mL da solução de HCl concentrado e adicionou-se com precaução a 50 mL de água destilada.

Solução de HCl 0,02 N

Juntou-se 1,70 mL de HCl concentrado a cerca de 100 mL de água destilada e diluiu-se até 1000 mL.

Solução de EDTA 0,1 M

Pesou-se 37,224 g de EDTA num Becker de 200 mL, adicionou-se água bidestilada e agitou-se com ajuda de uma vareta de vidro até a dissolução completa do EDTA. Transferiu-se a solução para um balão de 1000 mL, e perpez-se o volume com água bidestilada.

Indicador misto verde de bromocresol/vermelho de metilo

Dissolveu-se 0,1 g de cada um dos indicadores em 3 ml de NaOH cerca de 0,02 N e fez-se o volume com água bidestilada até 100 mL.

Solução padrão de PO_4^{3-} 10 mg/L

Dissolveu-se em água destilada 0,0144 g de KH_2PO_4 anidro e diluiu-se para 100 mL. Mediu-se 10 mL da solução preparada e diluiu-se para 100 mL, obtendo uma solução de 10 mg/L de fosfato.

Solução do reagente molibdato-vanadato (A+B)

A: pesou-se 25 g de molibdato de amónio e dissolveu-se em 300 mL de água destilada.

B: pesou-se 1,25 g de metavanadato de amónio e dissolveu-se em água bidestilada, aqueceu-se a mistura até a dissolução completa do sal de seguida esfriou-se a solução e acrescentou-se 330 mL de HCl concentrado.

Aguardou-se o arrefecimento da solução B até a temperatura ambiente, adicionou-se a solução A na B misturou-se e diluiu-se até 1000 mL com água bidestilada

▪ **Anexo 2: Resultado das análises**

As tabelas que se seguem mostram os resultados das análises realizadas nas amostras do Espírito Santo, correspondentes a 3 réplicas para os parâmetros pH, CE, temperatura, turvação, salinidade, dureza total, alcalinidade total, Ca²⁺, Mg²⁺, OD.

Tabela 9. Dados das análises de dureza total em mg CaCO₃ por litro

Pontos de amostragem	Réplicas	V _{EDTA} (mL)	CaCO ₃ (mg/L)	\bar{X}	S	IC (95 %) mg/L	% RSD
A1	1	15.6	4996,3380	4996,34	32,03	4996,34±79,51	0,64
	2	15.5	4964,3102				
	3	15.7	5028,3659				
A2	1	14.0	4483,8931	4494,57	18,49	4494,57±45,91	0,41
	2	14.1	4515,9209				
	3	14.0	4483,8931				
A3	1	11.8	3779,2813	3736,58	36,98	3736,58±91,81	0,99
	2	11.6	3715,2257				
	3	12.6	3715,2257				
A4	1	10.0	3202,7808	3213,46	18,49	3213,46±45,91	0,58
	2	10.0	3202,7808				
	3	10.1	3234,8086				
A5	1	17.0	5444,7274	5476,76	32,03	5476,76±79,51	0,58
	2	17.2	5508,7829				
	3	17.1	5476,7555				
A6	1	10.5	3362,9198	3362,92	0	3362,92±0	0
	2	10.5	3362,9198				
	3	10.5	3362,9198				
A7	1	16.2	5188,5049	5188,50	0	5188,50±0	0
	2	16.2	5188,5049				
	3	16.2	5188,5049				
A8	1	15.7	5028,3659	5007,01	36,98	5007,01±91,81	0,74
	2	15.7	5028,3659				
	3	15.5	4964,3103				
A9	1	15,9	4772,1434	4761,47	18,49	4761,47±45,91	0,39
	2	14,8	4740,1156				
	3	14,9	4772,1434				
A10	1	15,4	4932,2824	4942,96	18,49	4942,96±45,91	0,37
	2	15,5	4964,3103				
	3	15,4	4932,2824				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 10. Tabela 2. Dados das análises de Ca²⁺ em mg de Ca²⁺ por litro

Amostra	Réplicas	VEDTA (mL)	Ca ²⁺ (mg/L)	\bar{X}	s	IC (95 %) mg/L	% RSD
A1	1	13.3	1705,7197	1722,82	14,81	1722,82±36,76	0,86
	2	13.4	1731,3692				
	3	13.5	1731,3696				
A2	1	11,0	1410,7456	1415,02	7,40	1415,02±18,38	0,52
	2	11,1	1423,5706				
	3	11,0	1410,7456				
A3	1	9.2	1179,8963	1154,25	25,65	1154,25±63,68	2,22
	2	8.8	1128,5965				
	3	9.0	1154,2465				
A4	1	7.6	974,6969	953,32	19,59	953,32±48,64	2,05
	2	7.4	949,0470				
	3	7.3	936,2220				
A5	1	7.1	910,5725	910,57	0	910,57±0	0
	2	7.1	910,5725				
	3	7.1	910,5725				
A6	1	7.3	936,2220	940,50	19,59	940,50±48,64	2,08
	2	7.5	961,872				
	3	7.2	923,3971				
A7	1	7.3	936,2220	936,22	0	936,22±0	0
	2	7.3	936,2220				
	3	7.3	936,2220				
A8	1	6.6	846,4474	812,25	29,62	812,25±73,52	3,65
	2	6.2	795,1475				
	3	6.2	795,1475				
A9	1	5.2	666,8979	666,90	25,65	666,90±63,68	3,85
	2	5.4	692,5478				
	3	5.0	641,248				
A10	1	6.3	807,0973	829,35	37,28	829,35±92,55	4,50
	2	6.3	807,9725				
	3	6.8	872,0973				

Tabela 11. Dados das análises de Mg^{2+} em mg de Mg^{2+} por litro

Amostra	Réplicas	Mg^{2+} (mg/L)	\bar{X}	s	IC (95 %) mg/L	% RSD
A1	1	178,8848	171,31	7,79	171,31±19,32	4,54
	2	163,3296				
	3	171,7012				
A2	1	233,328	233,33	0	233,33±0	0
	2	233,328				
	3	233,328				
A3	1	202,2176	233,33	41,16	233,33±102,18	17,64
	2	217,7728				
	3	279,9936				
A4	1	186,6624	202,22	15,56	202,22±38,62	7,70
	2	202,2176				
	3	217,7728				
A5	1	769,9824	777,76	7,78	777,76±19,31	1
	2	785,5376				
	3	777,7600				
A6	1	248,8832	246,29	11,88	246,29±29,49	4,82
	2	233,3280				
	3	256,6608				
A7	1	692,2064	692,21	0	692,21±0	0%
	2	692,2064				
	3	692,2064				
A8	1	707,76	723,32	15,56	723,32±38,62	2,15
	2	738,872				
	3	723,3168				
A9	1	832,2032	777,76	51,00	777,76±126,61	6,56
	2	731,0944				
	3	769,9824				
A10	1	707,7616	697,39	25,00	697,39±62,07	3,59
	2	715,5392				
	3	668,8736				

As concentrações da dureza total, cálcica e magnésica foram calculadas através das expressões 1, 2 e 3 respectivamente:

$$D(\text{total}) = \frac{[EDTA]. VEDTA. MM\text{CaCO}_3}{V_{am}} \times \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} \quad (1)$$

$$D(\text{Ca}^{2+}) = \frac{[EDTA]. VEDTA. MM\text{Ca}}{V_{am}} \times \frac{1000\text{mg}}{1\text{g}} \quad (2)$$

$$D(\text{Mg}^{2+}) = \frac{n\text{Mg}^{2+} * MM\text{Mg}^{2+} * 1000}{V_{am}/1000} \quad (3)$$

Onde:

$$n\text{Mg}^{2+} = n\text{CaCO}_3 - n\text{Ca}^{2+};$$

$$MM_{\text{Mg}} = 42,3039;$$

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

$$MM_{Ca} = 40,078;$$

$$MM_{CaCO_3} = 100,0869;$$

$$[EDTA] = 0,08 \text{ M};$$

$$V_{am} = 25 \text{ mL};$$

V_{EDTA} - é o volume de EDTA gasto na titulação para cada réplica.

Aferição EDTA

$$[CaCO_3] = 0,1M \qquad [EDTA] = \frac{[CaCO_3].VCaCO_3}{VEDTA} = \frac{0,1M \cdot 20mL}{24,76mL} = 0,08M$$

$$VCaCO_3 = 20 \text{ mL}$$

$$VEDTA = 24,76 \text{ mL}$$

A concentração aferida do EDTA foi de 0,08 M.

Tabela 12. Dados das análises de alcalinidade

Amostra	Réplicas	Vol.HCl	[Alcalinidade]	\bar{X}	S	IC (95 %) mg/L	% RSD
A1	1	8,0	304,0	292,6	13,70	292,6±34,01	4,68
	2	7,8	296,4				
	3	7,3	277,4				
A2	1	7,6	288,8	287,5	2,19	287,5±5,45	0,76
	2	7,6	288,8				
	3	7,5	285,0				
A3	1	7,4	281,2	277,4	3,80	277,4±9,43	1,34
	2	7,3	277,4				
	3	7,2	273,6				
A4	1	7,0	266,0	264,7	2,19	264,7±5,45	0,83
	2	7,0	266,0				
	3	6,9	262,2				
A5	1	7,0	266,0	259,7	5,80	259,6±14,41	2,24
	2	6,8	258,4				
	3	6,7	254,6				
A6	1	7,3	277,4	276,1	2,19	276,1±5,45	0,79
	2	7,2	273,6				
	3	7,3	277,4				
A7	1	6,7	254,6	258,4	3,80	258,4±9,43	1,47
	2	6,8	258,4				
	3	6,9	262,2				
A8	1	6,8	258,4	254,6	3,80	254,6±9,43	1,49
	2	6,7	254,6				
	3	6,6	250,8				
A9	1	4,7	178,6	177,3	2,19	177,3±5,45	1,24
	2	4,6	174,8				
	3	4,7	178,6				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

A10	1	6,5	247,0	253,3	7,91	253,3±19,64	3,12
	2	6,9	262,2				
	3	6,6	250,8				

Aferição HCL

$$[Na_2CO_3] = 0,02N$$

$$[HCl] = \frac{[Na_2CO_3] \cdot V_{Na_2CO_3}}{V_{HCl}} = \frac{0,02N \cdot 25mL}{27 mL} = 0,019N$$

$$V_{Na_2CO_3} = 25 mL$$

$$V_{HCl} = 27 mL$$

A concentração aferida do HCl foi de 0,019 N.

$$\text{Alcalinidade total em mg/L CaCO}_3 = \frac{V \cdot N \cdot 1000}{V_{am}} \cdot 50$$

onde:

V- volume de HCl 0,02 N gastos até à viragem de verde-azul em azul-cinzentos

V_{am}- volume da amostra (mL)

N - Normalidade do HCl.

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 13. Dados da medição do pH

Amostras	Réplicas	pH	\bar{x}	S	IC	% RSD
A1	1	7,98	7,98	0,00	7,98±0,00	0
	2	7,98				
	3	7,98				
A2	1	7,91	7,93	0,02	7,93±0,04	0,22
	2	7,94				
	3	7,94				
A3	1	7,82	7,83	0,01	7,83±0,02	0,13
	2	7,83				
	3	7,84				
A4	1	7,83	7,83	0,00	7,83±0,00	0
	2	7,83				
	3	7,83				
A5	1	7,86	7,89	0,03	7,89±0,08	0,41
	2	7,91				
	3	7,92				
A6	1	7,86	7,89	0,02	7,89±0,06	0,29
	2	7,90				
	3	7,90				
A7	1	7,88	7,91	0,03	7,91±0,07	0,36
	2	7,93				
	3	7,93				
A8	1	7,90	7,90	0,0058	7,90±0,01	0,07
	2	7,90				
	3	7,91				
A9	1	8,12	8,12	0,00	8,12±0,01	0,07
	2	8,13				
	3	8,12				
A10	1	7,96	7,97	0,00	9,97±0,01	0,07
	2	7,97				
	3	7,97				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 14. Dados da medição da temperatura

Pontos de Amostras	Réplicas	t (°C)	\bar{x}	s	IC	% RSD
A1	1	21,81	22,03	0,24	22,03±0,59	1,07
	2	22,00				
	3	22,28				
A2	1	21,04	21,17	0,13	21,17±0,32	0,61
	2	21,18				
	3	21,30				
A3	1	22,83	22,88	0,05	22,88±0,14	0,24
	2	22,88				
	3	22,94				
A4	1	21,77	21,80	0,04	21,80±0,09	0,17
	2	21,78				
	3	21,84				
A5	1	22,05	22,08	0,04	22,08±0,09	0,17
	2	22,06				
	3	22,12				
A6	1	22,06	22,11	0,05	22,11±0,11	0,21
	2	22,14				
	3	22,14				
A7	1	22,21	22,29	0,09	22,29±0,21	0,38
	2	22,27				
	3	22,38				
A8	1	22,62	22,64	0,02	22,64±0,05	0,09
	2	22,66				
	3	22,65				
A9	1	22,07	21,91	0,17	21,91±0,41	0,75
	2	21,74				
	3	21,92				
A10	1	22,30	22,32	0,04	22,32±0,09	0,17
	2	22,36				
	3	22,29				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 15. Dados da medição de condutividade eléctrica

Pontos de Amostras	Replicas	CE (mS/cm)	\bar{x}	s	IC	% RSD
A1	1	62,70	65,42	2,36	65,42±5,85	3,60
	2	66,77				
	3	66,79				
A2	1	65,53	65,85	0,30	65,85±0,74	0,45
	2	65,90				
	3	66,12				
A3	1	58,75	58,70	0,16	58,70±0,39	0,27
	2	58,82				
	3	58,52				
A4	1	44,79	44,87	0,07	44,87±0,17	0,15
	2	44,90				
	3	44,91				
A5	1	61,78	60,88	1,85	60,88±4,59	3,04
	2	62,10				
	3	58,75				
A6	1	60,98	61,03	0,11	61,03±0,27	0,18
	2	60,95				
	3	61,15				
A7	1	62,20	62,24	0,04	62,24±0,09	0,06
	2	62,25				
	3	62,27				
A8	1	62,00	62,10	0,13	62,10±0,32	0,21
	2	62,06				
	3	62,25				
A9	1	31,96	32,16	0,18	32,16±0,45	0,56
	2	32,31				
	3	32,21				
A10	1	65,48	65,68	0,18	65,68±0,45	0,27
	2	65,75				
	3	65,82				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 16. Dados da medição de Salinidade

Pontos de amostragem	Réplicas	Salinidade (PSU)	\bar{x}	s	IC	% RSD
A1	1	45,52	45,48	0,04	45,48±0,09	0,08
	2	45,47				
	3	45,45				
A2	1	44,96	44,75	0,23	44,75±0,58	0,52
	2	44,80				
	3	44,50				
A3	1	39,39	39,37	0,03	39,37±0,08	0,08
	2	39,38				
	3	39,33				
A4	1	28,99	29,04	0,05	29,04±0,12	0,16
	2	29,06				
	3	29,08				
A5	1	41,69	41,84	0,14	41,48±0,34	0,33
	2	41,88				
	3	41,96				
A6	1	41,01	41,01	0,06	41,01±0,14	0,13
	2	40,96				
	3	41,07				
A7	1	41,97	41,97	0,02	41,97±0,04	0,04
	2	41,95				
	3	41,98				
A8	1	41,81	41,83	0,07	41,83±0,17	0,16
	2	41,78				
	3	41,91				
A9	1	19,96	20,08	0,11	20,08±0,26	0,53
	2	20,16				
	3	20,12				
A10	1	44,68	44,59	0,12	44,59±0,30	0,27
	2	44,45				
	3	44,63				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 17. Dados da medição de Turbidez

Amostras	Replicas	Turbidez (FNU)	\bar{x}	s	IC	% RSD
A1	1	7,6	7,53	0,06	7,57±0,14	0,77
	2	7,5				
	3	7,5				
A2	1	11,9	12,07	0,15	12,07±0,38	1,27
	2	12,1				
	3	12,2				
A3	1	4,6	4,83	0,21	4,83±0,52	4,31
	2	5,0				
	3	4,9				
A4	1	8,9	8,83	0,31	8,83±0,76	3,46
	2	8,5				
	3	9,1				
A5	1	5,8	5,83	0,06	5,83±0,14	0,99
	2	5,8				
	3	5,9				
A6	1	7,8	7,56	0,21	7,56±0,52	2,75
	2	7,5				
	3	7,4				
A7	1	10,2	10,77	0,50	10,77±1,22	4,58
	2	11,0				
	3	11,1				
A8	1	7,2	7,2	0,10	7,20±0,25	1,39
	2	7,1				
	3	7,3				
A9	1	3,0	2,97	0,06	2,87±0,14	1,95
	2	3,0				
	3	2,9				
A10	1	8,3	8,57	0,38	8,57±0,94	4,42
	2	9,0				
	3	8,4				

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 18. Dados da medição de Oxigênio dissolvido

Amostras	Réplicas	OD (ppm)	\bar{x}	s	IC	% RSD
A1	1	2,62	2,53	0,09	2,53±0,21	3,38
	2	2,52				
	3	2,45				
A2	1	2,35	2,48	0,12	2,48±0,29	4,71
	2	2,50				
	3	2,58				
A3	1	2,57	2,53	0,08	2,53±0,19	3,09
	2	2,58				
	3	2,44				
A4	1	2,55	2,51	0,04	2,51±0,09	1,51
	2	2,48				
	3	2,49				
A5	1	2,13	2,12	0,01	2,12±0,02	0,47
	2	2,11				
	3	2,12				
A6	1	2,05	2,04	0,03	2,04±0,24	1,58
	2	2,00				
	3	2,06				
A7	1	2,03	2,04	0,01	2,04±0,03	0,57
	2	2,03				
	3	2,05				
A8	1	1,92	1,86	0,05	1,86±0,12	2,65
	2	1,84				
	3	1,83				
A9	1	1,60	1,56	0,04	1,56±0,10	2,66
	2	1,58				
	3	1,52				
A10	1	1,60	1,58	0,04	1,58±0,09	2,39
	2	1,54				
	3	1,61				

Tabela 19. Dados da determinação de sulfatos

Pontos de Amostragem	Peso de C. Vazio (g)	Peso de C. precipitado (g)	Peso do precipitado (g)	[SO ₄ ⁻] mg/L
A1	79,83715	80,28359	0,44644	3674,2012
A2	52,07923	52,38344	0,30421	2503,6483
A3	53,05256	53,74100	0,68844	5665,8612
A4	52,44997	52,79326	0,34329	2825,2767
A5	52,84028	53,74168	0,9014	7418,522
A6	52,25485	53,01686	0,76201	6271,3423
A7	52,14350	53,19533	1,05183	8656,5609
A8	51,75182	52,12579	0,37397	3077,7731
A9	51,02313	51,45077	0,42764	3519,4772
A10	51,60324	51,96195	0,35871	2959,1833

$$[\text{SO}_4^-] = \frac{0,4115 * P}{V} * 1000 \text{ mg/L}$$

$$\text{Fp}(\text{factor de proporcionalidade}) = \frac{MM \text{ SO}_4}{MM \text{ BaSO}_4} = 0,4115$$

V- Volume da amostra (mL)

P- Peso do precipitado em (mg)

Avaliação da Qualidade da Água do Estuário do Espírito Santo na época chuvosa

Tabela 20. Intensidades das amostras para análises de fosfatos

Pontos de Amostras	Absorvância	Concentração (mg/L)	\bar{x}	S	IC	%RSD
A1	0,1363	1,7003	1,70	0,00	1,70±0,06	0,26%
	0,1360	1,6916				
	0,1361	1,6945				
A2	0,0967	0,5591	0,56	0,00	0,56±0,05	0,29
	0,0968	0,5619				
	0,0968	0,5619				
A3	0,0858	0,2449	0,24	0,00	0,24±0,05	1,36
	0,0856	0,2392				
	0,0856	0,2392				
A4	0,1162	1,1121	1,11	0,01	1,11±0,05	1,30
	0,1165	1,1297				
	0,1155	1,1009				
A5	0,0892	0,3429	0,32	0,02	0,32±0,05	5,14
	0,0882	0,3141				
	0,0882	0,3141				
A6	0,1090	0,9135	0,92	0,00	0,92±0,05	0,37
	0,1090	0,9135				
	0,1092	0,9193				
A7	0,1330	1,6052	1,60	0,01	1,60±0,05	0,48
	0,1325	1,5908				
	0,1329	1,6023				
A8	0,1033	0,7493	0,76	0,01	0,76±0,05	1,00
	0,1037	0,7608				
	0,1038	0,7637				
A9	0,0892	0,3429	0,35	0,01	0,35±0,09	1,66
	0,0896	0,3545				
	0,0894	0,3487				
A10	0,0961	0,5418	0,57	0,02	0,57±0,05	3,95
	0,0972	0,5735				
	0,0976	0,5850				

Tabela 21. absorvância dos padrões na determinação de fosfatos

Padrão	Absorvância	\bar{x}	S	IC (95%)	% RSD
1 (0)	0,0772	0,08	0,00	0,08±0,00	0,22
	0,0775				
	0,0772				
2 (0,2)	0,0849	0,08	0,00	0,08±0,00	0,18
	0,0846				
	0,0848				
3 (0,4)	0,0920	0,09	0,00	0,09±0,00	0,16
	0,0923				
	0,0921				
4 (0,8)	0,1035	0,10	0,00	0,10±0,00	0,11
	0,1037				
	0,1037				
5 (1,2)	0,1185	0,12	0,00	0,19±0,00	0,27
	0,1184				
	0,1179				
6 (1,6)	0,1331	0,13	0,00	0,13±0,00	0
	0,1331				
	0,1331				
7 (2)	0,1474	0,15	0,00	0,15±0,00	0,39
	0,1474				
	0,1475				

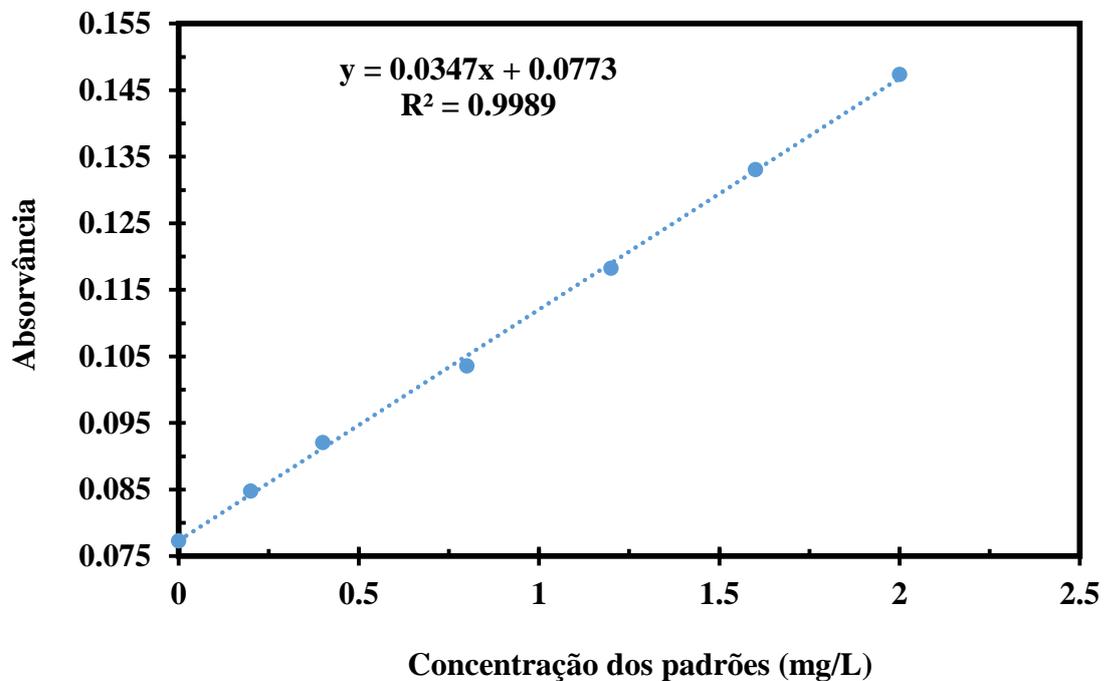


Figura 20. Curva de calibração normal