



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

Faculdade de Ciências

Departamento de Química

**Licenciatura em Química Ambiental**

*Trabalho de Licenciatura*

Tema:

**Avaliação da Qualidade Ambiental do Estuário do Espírito Santo na  
Matola - Moçambique**

**Autor:**

Cardoso, Neide da Graça

**Maputo, Agosto de 2024**



Faculdade de Ciências

Departamento de Química

**Licenciatura em Química Ambiental**

*Trabalho de Licenciatura*

Tema:

**Avaliação da Qualidade Ambiental do Estuário do Espírito Santo na  
Matola - Moçambique**

**Autor:**

Cardoso, Neide da Graça

**Supervisor:**

Prof. Doutor Paulino Vicente Muteto

**Co-supervisor:**

Mestre Miguel Mussa Ernesto

**Maputo, Agosto de 2024**

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esta grande conquista em primeiro lugar a Deus, aos meus pais João Cardoso e Nora David.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de modo profundo agradecer ao grandioso e soberano senhor do universo, Deus pelo dom da vida, por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso, e por me amparar nos momentos difíceis e suprir todas as minhas necessidades.

Agradecer especialmente aos meus Pais João Cardoso e Nora David, que me deram o apoio e incentivo nos momentos difíceis. Agradeço igualmente às minhas irmãs Carina Cardoso, Percila Cardoso e Yura de Vaz pelas oportunidades de aprendizagem e troca de experiência.

No âmbito académico agradeço de forma especial ao meu supervisor Prof. Doutor Paulino Vicente Muteto, pela dedicação e orientações prestadas para a elaboração desta dissertação, possibilitando assim a transmissão de conhecimentos vastos.

Agradeço de forma muito especial à Cheila Mariza, Leila Mutumane, Artilénia Sílvia, Marlene Novela, Hodilia Samuel, Aires Noga, pelo amor e apoio incondicional.

## DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA

Eu, Neide da Graça declaro que este trabalho de licenciatura em **Química Ambiental** nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau académico e que ele é o resultado da minha investigação e foi elaborado com base nos meios que são referenciados ao longo do corpo do trabalho.

Maputo, Abril de 2024

---

(Neide da Graça)

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

EPA	– <i>Environmental Protection Agency</i>
GPS	– <i>Global Positioning System</i>
ICP – OES	– <i>Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry</i>
INM	– Instituto Nacional de Metrologia
OMS	– Organização Mundial da Saúde
ONU	– Organização das Nações Unidas
RF.	– Radiofrequência
UNCLOS	– <i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>
CDB	– Convenção da Diversidade Biológica
DEA	– <i>Department of Environmental Affairs</i>
AG	– Assembleia Geral
%RSD	– Desvio Padrão Relativo
IC	– Intervalo de Confiança
LD	– Limite de Detecção
LQ	– Limite de Quantificação
ODS	– Objectivos do Desenvolvimento Sustentável

## RESUMO

O presente trabalho de licenciatura em química ambiental enquadra-se no número 14: “*vida na água*” dos 17 Objectivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS): *gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos, tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitats naturais, deter a perda de biodiversidade, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas.*

Neste trabalho é feita a avaliação da qualidade ambiental das águas estuarinas do Espírito Santo na Matola em Moçambique através da determinação das concentrações dos metais por ICP-OES. Para tal foram analisadas 10 amostras de águas colectadas na estação chuvosa em diferentes pontos seleccionados com ajuda do GPS.

Os valores das concentrações dos metais determinados, em geral, apresentam teores de metais acima dos limites estabelecidos pelas normas da OMS e/ou EPA. A comparação dos níveis de contaminação na época chuvosa com estudos anteriores realizados pelo Fernando (2022) nos mesmos pontos e no mesmo estuário mostram uma contaminação com tendência sazonal, sendo que na época seca as águas estuarinas estão mais poluídas com prata, manganês e zinco, enquanto que, na época chuvosa o arsénio, crómio, cobre, ferro, níquel e chumbo apresentam maior concentração.

Foram identificados como fontes de poluição as actividades agrícolas, portuárias, descargas de resíduos domésticos, industriais e hospitalares.

Os factos acima indicados demonstram que o estuário do Espírito Santo está contaminado com metais e por isso apresenta um risco sério à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos. Deste modo é indiscutivelmente urgente e imperioso a implementação de práticas de gestão sustentável da terra e da água ao redor do estuário, bem como a tomada de medidas de protecção, preservação e conservação contínua do ambiente aquático do estuário Espírito Santo. Estas medidas podem evitar a degradação e devolver estes habitats e locais de alimentação aos ambientes mais próximos do natural.

**Palavras-chave:** Avaliação ambiental, metais em ambiente aquático, estuário, Estuário do Espírito Santo.

## ÍNDICE GERAL

DEDICATÓRIA .....	i
AGRADECIMENTOS .....	ii
DECLARAÇÃO SOB COMPROMISSO DE HONRA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	iv
RESUMO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objectivo .....	2
1.1.1. Objectivo geral .....	2
1.1.2. Objectivos específicos .....	2
1.2. Justificativa da escolha do tema .....	2
1.3. Metodologia.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. Terminologia e definição dos estuários.....	4
2.2. Importância dos estuários.....	5
2.3. Principais características de um estuário.....	7
2.3.1. Características físico-químicas .....	8
2.3.2. Circulação da água e processo de mistura .....	8
2.4. Classificação dos estuários .....	10
2.4.1. Classificação por geomorfologia .....	10
2.4.2. Classificação de acordo com estratificação de salinidade .....	13



2.4.3. Classificação baseada na razão entre a água doce e água do mar .....	15
2.5.Principais classes de contaminantes das águas estuarinas.....	16
2.6.Fontes de poluição das águas estuarinas.....	16
2.7.Transportes dos poluentes em ambientes estuarinos.....	18
2.8.Critério de classificação e parâmetros de qualidade das águas no sistema estuarino.....	19
2.9.Políticas das acções para a preservação do ecossistema estuarino .....	21
3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO.....	23
4. MÉTODOS DE ANÁLISE .....	27
5. PARTE EXPERIMENTAL.....	28
5.1. Materiais e reagentes.....	28
5.2. Procedimentos da amostragem.....	29
6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	31
7. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	35
8.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	47
8.1.CONCLUSÕES.....	47
8.2. RECOMENDAÇÕES.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama das etapas do estudo.....	3
Figura 2. Modelo que delimitava o estuário conforme os processos fluviais ou marinhos proposto por Dalrymple et al (1992).....	4
Figura 3. Mistura entre água doce e água salgada num estuário.....	9
Figura 4. Estuário do tipo planície costeira.....	10
Figura 5. Estuário do tipo tectónico.....	11
Figura 6. Estuário do tipo fiorde.....	12
Figura 7. Estuário formado por barreira.....	12
Figura 8. Estuário fortemente estratificado.....	13
Figura 9. Estuário modernamente estratificado.....	14
Figura 10. Estuário homogéneo ou bem misturado.....	15
Figura 11. Fontes principais de poluição nos estuários.....	17
Figura 12. Transporte dos poluentes em estuário.....	18
Figura 13. Estuário Espírito Santo.....	24
Figura 14. Identificação dos pontos de amostragem no estuário Espírito Santo.....	26
Figura 15. Representação esquemática dos componentes e princípio de ICP-OES.....	27
Figura 16. Comparação dos valores experimentais da Ag das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.....	35
Figura 17. Comparação dos valores experimentais do As das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.....	37
Figura 18. Comparação dos valores experimentais do Co das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela OMS (1996) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.....	38
Figura 19. Comparação dos valores experimentais do Cr das amostras de água do estuário Espírito Santo com os limites estabelecidos pela EPA e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022). .....	39
Figura 20. Comparação dos valores experimentais do Cu das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.....	40
Figura 21. Comparação dos valores experimentais de Fe das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.....	41

Figura 22. Comparação dos valores experimentais do Mn das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela OMS (1996) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca. ....	42
Figura 23. Comparação dos valores experimentais do Ni das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca .....	43
Figura 24. Comparação dos valores experimentais do Pb das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca. ....	44
Figura 25. Comparação dos valores experimentais do Zn das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca .....	45

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Serviços ecossistémicos estuarinos e suas categorias. ....	6
Tabela 2. Limites máximos admissíveis de metais pesados nas águas estuarinas estabelecidos pela OMS e EPA. ....	20
Tabela 3. Coordenadas dos pontos de colecta das amostras no estuário Espírito Santo. ....	25
Tabela 4. Resultados experimentais obtidos na determinação do teor dos metais nas amostras analisadas. ....	31
Tabela 5. Resultados experimentais obtidos na determinação do teor dos metais nas amostras analisadas (continuação). ....	32
Tabela 6. Limites de detecção e de quantificação (mg/L) do ICP-OES. ....	34

## 1. INTRODUÇÃO

Moçambique é um dos países da África com muitos recursos naturais. O grau de conhecimento geológico, mostra que todos os recursos minerais considerados apresentam uma boa perspectiva para a sua exploração. O sector de mineração representa grande contributo para a economia do país bem como para o seu desenvolvimento. Apesar da sua importância na economia, esse sector causa danos aos ambientes aquáticos. Além disso, outras actividades como agrícolas, portuárias, industriais e o crescimento populacional têm intensificado a poluição dos ecossistemas aquáticos (Freitas *et al.*, 2013).

O ambiente aquático é um ecossistema frágil à poluição causada principalmente pela intensa actividade antropogénica. Nas últimas décadas com o crescimento populacional tem-se verificado um aumento da poluição aquática, o que coloca em risco o desenvolvimento da biota marinha. Os ambientes aquáticos estão divididos em pântanos, lagoas, mangais, estuários, entre outros. Dentre esses ambientes, o estuário tem um interesse especial, devido à sua localização e importância ecológica, pois fornecem alimentos a peixes, crustáceos e moluscos para homens e animais, além de servir de local de navegação, comércio, lazer e habitat para uma grande variedade de organismos e para algumas espécies migratórias (Mocuba, 2014).

O estuário do Espírito Santo localiza-se no Sul de Moçambique, é uma das áreas de grande importância económica, social e ecológica. Está localizado na cidade da Matola, província de Maputo e apresenta uma grande biodiversidade dos ecossistemas e alta produção biológica que está associada à existência dos mangais, e quantidade de nutrientes, tais como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) e fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), características que favorecem o desenvolvimento dos recursos pesqueiros (espécies de peixes, moluscos e crustáceos) (Da Silva, 2011; Halo, n.d.; Malhadas *et al.*, 2012).

Esses sistemas são bastantes dinâmicos no tempo e no espaço, com origem associada à elevação do nível do mar e inundações de vales nas áreas costeiras, fazendo com que haja transferência de sedimentos, nutrientes e poluentes da região continental para novas áreas, especialmente o oceano Índico. Devido à intensa actividade antropogénica praticada nessas áreas, esses ecossistemas estão constantemente sujeitos a degradação ambiental proveniente da actividade pesqueira, portuária, agrícola, despejo de efluentes industriais e domésticos, aterros, drenagem urbana, prejudicando assim, as espécies aquáticas (Da Silva, 2011; Gaze, 2005).

Este trabalho de licenciatura inserido na área de poluição ambiental e financiado pela FNI (Fundo Nacional de Investigação) pretende fazer uma avaliação do ambiente aquático através da quantificação de metais pelo método de ICP-OES nas amostras de águas estuarinas do Espírito Santo, localizado em Maputo.

## **1.1. Objectivo**

### **1.1.1. Objectivo geral**

Avaliar a qualidade do ambiente aquático do estuário do Espírito Santo em Maputo a partir da determinação de metais.

### **1.1.2. Objectivos específicos**

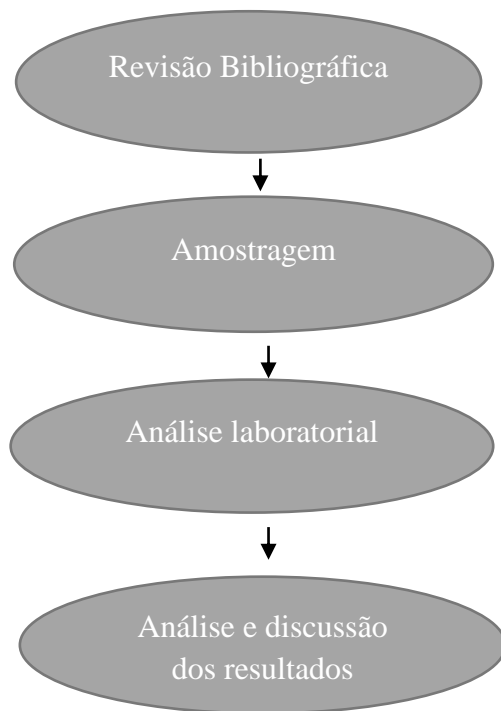
- Determinar os metais em amostras de águas estuarinas por ICP-OES;
- Fazer a comparação dos resultados obtidos com valores máximos estabelecidos pela EPA e OMS;
- Comparar os resultados obtidos na época chuvosa e época seca nos mesmos pontos de amostragem;
- Identificar os riscos à saúde pública e aos ecossistemas aquáticos no estuário em estudo.

## **1.2. Justificativa da escolha do tema**

Os estuários são zonas de grande importância económica, social e ecológica, visto que contribuem significativamente para a produção e biodiversidade dos ecossistemas aquáticos, além de fornecer alimentos para o homem e servir de local de navegação e comércio. As actividades de exploração de recursos minerais em Moçambique têm contribuído significativamente para o aumento de cargas de metais tóxicos que chegam aos corpos hídricos. Os estudos recentes mostraram que os problemas de qualidade da água em muitos estuários estão se tornando cada vez mais sérios devido aos efeitos das actividades humanas e das mudanças climáticas. A industrialização e a urbanização têm afectado negativamente a qualidade da água, assim como a fertilização excessiva dos campos agrícolas e os resíduos domésticos que levam a um enriquecimento excessivo de nutrientes nos estuários. Para avaliar a qualidade ambiental dessas áreas é necessário quantificar esses elementos químicos, pois servem de bioindicadores para estimar o nível de poluição, daí a importância de se realizar o presente trabalho.

### 1.3. Metodologia

O presente trabalho foi realizado em quatro etapas que são ilustradas no diagrama a seguir:



**Figura 1.** Diagrama das etapas do estudo.

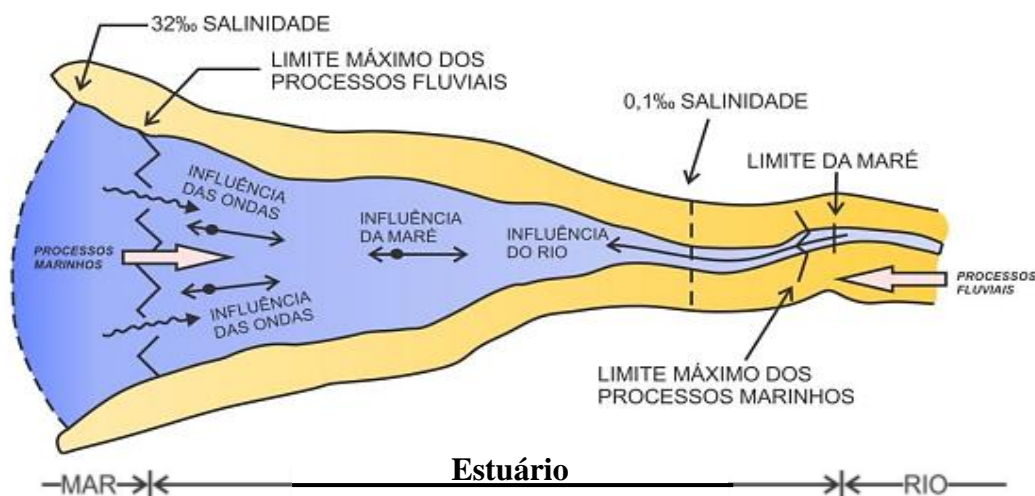
- A primeira etapa consistiu na revisão bibliográfica dos assuntos relacionados com o tema em estudo; as informações foram colectadas nos manuais didáticos, artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertação de mestrado, tese de doutoramento, sites da internet e outras fontes confiáveis as quais foram citadas e referenciadas ao longo do corpo do trabalho.
- A segunda etapa compreende a realização da amostragem no estuário de Espírito Santo na estação chuvosa.
- A terceira etapa do estudo consistiu nos ensaios laboratoriais que foram realizados no Laboratório do Departamento de Química, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane para a quantificação dos metais pesados nas amostras de água.
- A última etapa consistiu na compilação dos dados, interpretação, análise e discussão dos resultados, e elaboração do relatório final.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Terminologia e definição dos estuários

A definição mais aceite para o estuário foi proposta por Pritchard (1955) e Cameron & Pritchard (1963), considerando como sendo um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação com oceano aberto, no interior do qual a água do mar é imensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental.

Os ambientes estuarinos são ecossistemas de constantes transições entre o continente e o oceano, sendo áreas de grande influência dos rios e da maré (figura 2). A alta reactividade biogeoquímica das zonas de grande turvação, resultantes da acção do maré, assim como as interações dinâmicas entre as águas doces, águas marinhas, o sistema terrestre e a atmosfera, transformam o estuário num *habitat* privilegiado de numerosos organismos de alto valor económico, tornando-o num ecossistema mais produtivo do mundo, mas também entre os mais vulneráveis (Duarte & Viera, 1997; Halo, 2004.).



**Figura 2.** Modelo que delimitava o estuário conforme os processos fluviais ou marinhos proposto por Dalrymple *et al* (1992). **Fonte:** Dos Santos (2018).

## 2.2. Importância dos estuários

Os estuários são locais naturais, altamente dinâmicos e complexos. Esse ambiente contém diversos ecossistemas e habitats suficientemente produtivos para manter uma cadeia trófica completa, incluindo mar aberto, mangais, salinas e leitos de erva marinha (Victoria e Boulton, 2021). Eles fornecem bens e serviços que são económicos e ecologicamente indispensáveis e também ajudam a manter ambientes oceânicos saudáveis, pelo facto de filtrarem os sedimentos e poluentes de rios antes que desaguem nos oceanos, proporcionando águas mais limpas para a vida marinha (NOS, 2007; Tordo *et al.*, 2014).

- **Benefícios económicos**

Os estuários são sistemas ecológicos complexos que marcam a transição entre a água doce e a costa aberta; a sua hidrodinâmica é favorável à retenção de nutrientes que aí afluem, sustentando, por isso, uma actividade biológica intensa nas zonas estuarinas, capaz de transformá-las em autênticos viveiros de várias espécies de peixes e crustáceos, de grande importância económica. A importância económica dos estuários traduz-se em fornecer alimentos para humanos, para além de servir como local de comércio, navegação e lazer (Mocuba, 2014). Esses ambientes são importantes áreas recreativas, oferecendo segurança financeira para as comunidades que dependem dos turistas para sustentar as suas economias. A economia e ambiente estão intimamente ligados, portanto a indústria pesqueira depende de estuários saudáveis para fornecer áreas de berçário essenciais para espécies comercialmente importantes (NOS, 2007).

- **Benefícios ecológicos**

Do ponto de vista ecológico a importância dos estuários é traduzida por alta diversidade biológica, servindo de habitat para uma grande variedade de organismos e algumas espécies migratórias, por serem a principal fonte de nutrientes para a região costeira, pois recebem e concentram o material oriundo da sua bacia de drenagem, podendo receber a contribuição da acção humana. Todo esse aporte de nutrientes torna as águas dos estuários mais produtivas do que as dos rios e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas da circulação que, aprisionando nutrientes, algas e outras plantas, estimulam a produtividade desses corpos de água (Mocuba, 2014; Tordo *et al.*, 2014).



- **Fornecimento de serviços**

Os estuários não só fornecem serviços de abastecimento de produtos alimentares, mas também, pela sua localização e as suas zonas são utilizadas para fixação das populações, já que, como zonas abrigadas, são propícias à localização de portos, actividades pesqueiras, lazer, descanso e desportos náuticos, assim como recurso hídrico localizado na parte terminal dos sistemas fluviais, dispõem normalmente de qualidade de águas capazes de assegurar o abastecimento de águas industriais e domésticas (Duarte & Viera, 1997). Por outro lado, cerca de 60 % das grandes cidades distribuídas ao redor da Terra estão localizadas nas proximidades dos estuários, o que faz com que esses ambientes tenham importância histórica e fundamental para o desenvolvimento da humanidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Serviços ecossistémicos estuarinos e suas categorias.

Categoria de serviços	Serviços	Função que contribui para esses serviços
Serviços de abastecimento de alimentos	Produção de matérias-primas, medicamentos e produtos farmacêuticos;	Produção primária e secundária; Biodiversidade; Ciclos biogénicos associados ao fornecimento de nutrientes, etc.
Serviços de regulação e manutenção	Armazenamento e ciclagem dos nutrientes; regulação dos processos de assimilação dos resíduos, etc.	Armazenamento e processamento; Ciclos biogeoquímicos; Formação de conchas e abundâncias de bivalves, etc.
Serviços culturais	Lazer e turismo; Estética; Património cultural e espiritual;	Processamento que influenciam a clareza de água e diversidade de habitats; biodiversidade, etc.
Habitat e serviços comunitários ecológicos	Fornecimento de estrutura de habitat; Recursos genéticos; Resiliência.	Manutenção da estrutura trófica; complementaridade de uso de recursos, etc.

**Fonte:** Victoria e Boulton (2021).

Os serviços de produção em estuários são sustentados por vários processos ecossistémicos, como produtividade primária, reciclagem de nutrientes, clareza de água, etc. As aves, peixes e mariscos fornecem serviços culturais, estéticos e potencial de geração de conhecimentos. Por outro lado, as conchas são usadas para ornamentação, instrumentos musicais e fonte de inspiração artística. Uma das matérias-primas fornecidas por estuários é a vegetação que é utilizada como fertilizantes, alimentos para peixes e pastagem de gado. Além disso o pó das algas marinhas são fontes de produtos químicos, actualmente testado em pesquisas anti câncer, em Nova Zelândia (Victoria e Boulton, 2021).

Os serviços de regulação e manutenção envolvem processos químicos e biofísicos que são realizados pelas plantas e animais que vivem no fundo do corpo da água e as suas actividades elevam as trocas químicas. Esses serviços desempenham um papel importante para os seres humanos, produzindo o ar que respiramos, mantendo a integridade do sistema e mitigando os impactos humanos. Os nutrientes orgânicos e inorgânicos são armazenados, reciclados e transformados pelas actividades dessas espécies nos estuários. A reciclagem de nutrientes é realizada através da coluna da água no sedimento. As bactérias nos sedimentos estão envolvidas na desintoxicação de metais pesados e algumas espécies de crustáceos sequestram essas substâncias, diminuindo assim a toxicidade do organismo, mas potencialmente aumentando o risco de exposição a outros predadores (Victoria e Boulton, 2021).

### **2.3. Principais características de um estuário**

As características de um estuário são determinadas pela geologia de uma região e influenciadas por condições físicas, químicas e climáticas. Os estuários são caracterizados como um ecossistema mais produtivo do planeta, devido à grande diversidade de componentes biológicos, favorecidos pelas zonas interditais muito produtivas, sendo importantes habitats para bancos vasosos, sapais e mangais. Os bancos vasosos são característicos da maior parte dos estuários, resultando da deposição de sedimentos do mar e dos rios. Os sapais encontram-se no interior do ecossistema estuarino, geralmente em zonas planas, permitindo o desenvolvimento das gramíneas juntamente com algas, caranguejos, caracóis, insectos, aves, répteis e os mamíferos que são habitats comuns desses ambientes. Além da componente biológica, as condições físico-químicas, formação de deltas e circulação de água, também são importantes na determinação das características dos estuários (Neto *et al.*, 2022).

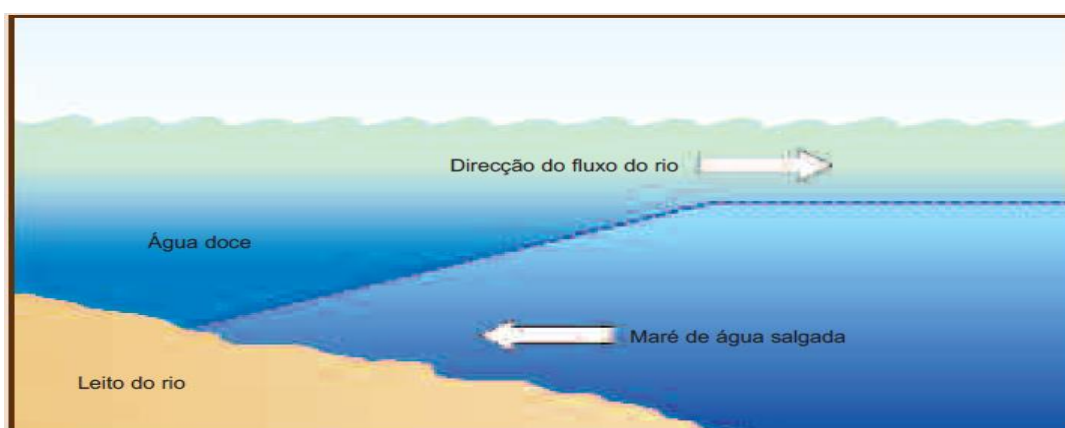
### 2.3.1. Características físico-químicas

Uma das características dos estuários é a grande variabilidade das condições físico-químicas e dos parâmetros biológicos. As condições físico-químicas nas zonas estuarinas, tais como as flutuações de salinidade, temperatura, oxigénio e pH, têm efeito adverso na diversidade de espécies, enquanto que as condições alimentares, tais como as concentrações de nutrientes e matéria orgânica, são favoráveis e contribuem para uma grande abundância das espécies (Kakoi *et al.*, 2016). A nível físico-químico, embora as condições naturais dos sedimentos sejam variáveis e, em parte, reguladas por aspectos morfológicos e hidrológicos particulares de cada sistema estuarino, sabe-se também que as causas antropogénicas contribuem significativamente nas características desses ambientes (Neto *et al.*, 2022). A concentração dos diferentes elementos, como metais e nutrientes, no sedimento pode variar de modo significativo dos seus limites naturais e contribuir, pela sua persistência, para uma instabilidade ecológica de difícil resolução, como é o caso da eutrofização. Pela sua natureza e localização, os estuários são utilizados pelo Homem como locais de abrigo, sustentos e locais onde se desenvolvem actividades ligadas à pesca ou extracção, aquacultura, comércio ou controlo sobre a troca de produtos, bem como a prática de actividade de lazer ou criatividade. Devido a essas práticas e fragilidade natural, os estuários são zonas muito vulneráveis, onde as suas características dependem muito mais das intensidades das pressões antropogénicas (Neto *et al.*, 2022).

### 2.3.2. Circulação da água e processo de mistura

O ambiente estuarino é caracterizado como sendo um sistema heterogéneo, onde ocorrem fenómenos relacionados com a mistura de água marinha e interiores, que é induzida pela energia da água doce. As forças de atrito que ocorrem na camada limite entre a camada superficial da água doce e a camada inferior da água do mar são responsáveis pela mistura interfacial da água nos estuários e depende da geologia, da topografia e do caudal do rio. A mistura de água doce e água salgada nos estuários condiciona a fisiologia e a ecologia dos organismos. Só um número reduzido de espécies é capaz de sobreviver durante todo o seu ciclo de vida neste habitat, necessitando, para o seu efeito, de estarem bem-adaptadas a constantes variações de salinidade, assim como oxigénio e temperatura. Portanto, os parâmetros físico-químicos, assim com a biomassa fitoplanctónica são importantes porque determinam a qualidade ambiental desses ambientes (Paturej, 2008).

A circulação da água nos estuários é gerada por várias forçantes, como as correntes de maré, ventos e forças gravitacionais terrestres e a diferença de densidade entre água doce e água salgada, que actuam simultaneamente sobre o corpo da água estuarina e controlam a distribuição de salinidade e das propriedades químicas, biológicas e geológicas nesses sistemas. A água mais quente e menos densa ocupa as camadas superficiais, enquanto que a água mais fria, por ser mais densa ocupa os níveis inferiores, originando assim uma coluna de água estratificada, que por acção do vento forte pode ser quebrada, originando uma mistura vertical da coluna da água. Durante o processo de mistura ocorrem trocas entre a superfície e as camadas mais profundas das águas conforme ilustra a figura 3 (Neto *et al.*, 2022; Paturej, 2008).



**Figura 3.** Mistura entre água doce e água salgada num estuário.

A entrada de água doce nesses sistemas tende a carregar elevadas concentrações de nutrientes, em forma de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{PO}_4^-$ , em comparação com as concentrações de nutrientes que as águas salinas apresentam, oferecendo assim, a oportunidade de produtores primários florescerem, particularmente em águas de superfície rasas, onde a luz do sol é mais forte e a água é quente (Mocuba, 2014). No movimento estuarino o abaixamento da água doce arrasta elementos de volume de água do mar para a camada superficial e a salinidade aumenta com a profundidade e em direcção ao mar. Essa transferência de água da camada inferior para a camada superior é unidireccional e este fenómeno é denominado por estranhamento, que tem uma grande importância no estudo da dinâmica e mistura no ambiente estuarino. Esse fenómeno é de natureza advectiva, que constitui um mecanismo interno adicional à advecção e à difusão turbulenta para ocasionar a mistura estuarina, dando como consequência, o aumento da salinidade da camada superficial (Paturej, 2008).

## 2.4. Classificação dos estuários

Existem vários critérios utilizados na classificação do sistema estuarino, na qual foram desenvolvidos com a finalidade de comparar diferentes tipos desse sistema. Os critérios de classificação são aplicados em função dos seguintes parâmetros: a estrutura geomorfológica (forma como os estuários são formados), as características de distribuição de salinidade e as características da circulação da água (Valle-Levinson, 2012).

### 2.4.1. Classificação por geomorfologia

Pritchard (1952) desenvolveu um sistema de classificação dos estuários baseando-se nas características geomorfológicas, na qual agrupou em quatro tipos: estuário de planícies costeiras, formados por barreiras, tectónicos e fiordes.

- **Estuários de planícies costeiras**

Os estuários de costas planas, também designados vales de rios afogados ou clássicos, por serem mais estudados, e são característicos das planícies costeiras com o processo de formação relacionado às transgressões marinhas no holoceno, provocando inundações dos vales dos rios. O processo de inundação foi mais acentuado que o de sedimentação, tornando a topografia actual dos estuários semelhantes aos vales do rio. Estes estuários são geralmente rasos, raramente ultrapassam 30 m de profundidade e a sua secção transversal na maioria das vezes aumenta em direcção à foz (Barbosa *et al.*, 2011). O seu perfil longitudinal é representado na figura 4.



**Figura 4.** Estuário do tipo planície costeira. **Fonte:** Bezerra (2006).

- **Estuários do tipo tectónicos**

Estuário do tipo tectónicos, são estuários que resultaram da elevação ou de abaixamento das falhas tectónicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamento da terra. São profundos e estão em bacias com bocas amplas e em bancos de areia entre cones rochosos (Figura 5). Esses estuários operam dinamicamente de muitas maneiras semelhantes aos estuários da planície costeira, embora a circulação gravitacional não ser tão desenvolvida como nos estuários de planícies costeiras (Valle-Levinson, 2012).



**Figura 5.** Estuário do tipo tectónico. **Fonte:** Bezerra (2006).

- **Estuários do tipo fiordes**

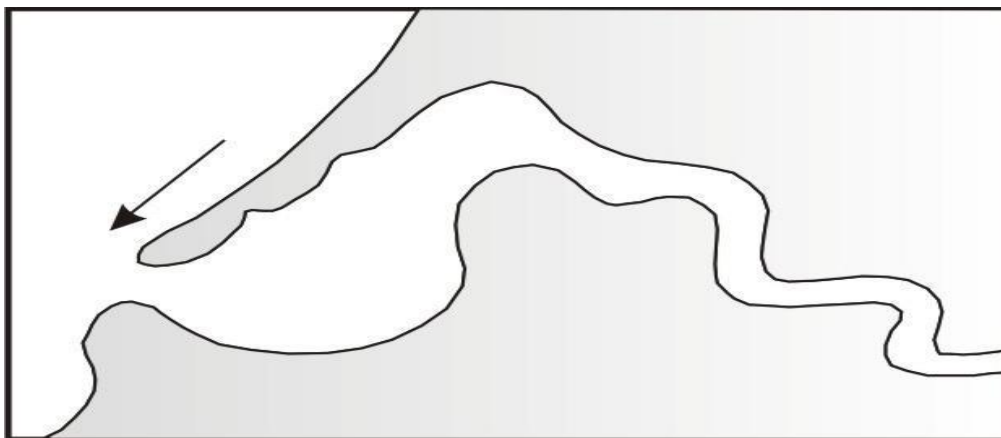
Esses tipos de sistema formaram-se através de intensas escavações glaciais na planície costeira ou na plataforma continental, em regiões montanhosas e a alta latitude (figura 6). São estuários profundos e entre os mais estratificados durante a época de maior entrada de fluabilidade perpendiculares à costa, com bacia em forma de U, acesso directo ao mar, mas apresentando na boca uma soleira de depósitos morénicos (Pinheiro, 2003). A circulação residual, nesse tipo de estuário, pode ser interpretada como uma circulação gravitacional que consiste em uma camada superficial fina fluindo em direcção ao mar e uma camada lenta e espessa inferior fluindo em direcção à terra. Por outro lado, a circulação residual pode ser interpretada como o resultado de uma camada fina e lenta de água doce fluindo para o mar que se sobrepõe a uma bacia bastante lenta (Bezerra, 2006).



**Figura 6.** Estuário do tipo fiorde. **Fonte:** Bezerra (2006).

- **Estuários formados por barreira**

Os estuários formados por barreira (figura 7) são geralmente de pequenas profundidades com fraca descarga fluvial e rápida dissipação de energia das marés à medida que penetra a onda de maré nos estuários. São encontrados principalmente em áreas baixas subtropicais e temperadas e com pequenas áreas de bacias hidrográficas. Os perfis de densidade desses sistemas tendem a ser homogêneos ou com estruturas verticais fracas em comparação com outros tipos de estuários (Valle-Levinson, 2012).



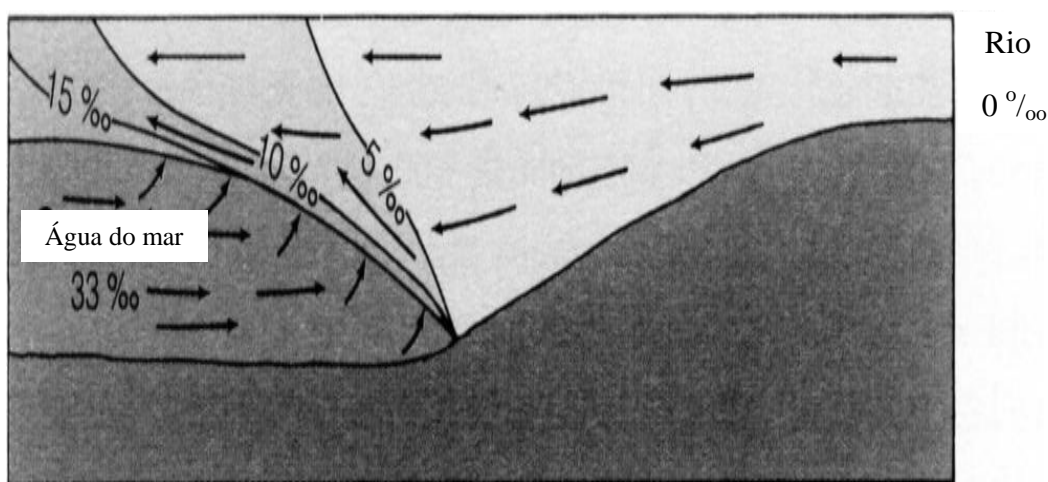
**Figura 7.** Estuário formado por barreira. **Fonte:** Bezerra (2006).

#### 2.4.2. Classificação de acordo com estratificação de salinidade

A estratificação do estuário é caracterizada pelo parâmetro de estratificação, que é a razão entre a diferença de salinidade e a média transversal de salinidade. Os valores da estratificação variam de aproximadamente zero (para um estuário misto) até aproximadamente 1 (para um estuário altamente estratificado). Com base no valor da estratificação um estuário pode ser fortemente estratificado, parcialmente misturado, misto ou salino (Valle-Levinson, 2012). A classificação de acordo com a estratificação de salinidade permite estabelecer qualitativamente as principais características na Zona de Mistura (ZM), abrangendo a maioria dos estuários de planície costeira (Bezerra, 2006).

- **Estuários fortemente estratificados**

Estuário fortemente estratificado, também designado de cunha salina, apresenta uma variação acentuada da salinidade desde a superfície até ao fundo (Paturej, 2008.). Nestes sistemas o impacto do fluxo do rio supera o impacto das marés, como observado na foz dos grandes rios que desaguam em corpos de água salgada (Paturej, 2008). São típicos de regiões em que predominam condições de grandes descargas fluviais em relação à força de maré, as quais tipicamente ocorrem com pequena amplitude (Bezerra, 2006). Os estuários salinos são uma combinação de estuários inversos e positivos (Valle-Levinson, 2012). O perfil desse tipo de estuário é esquematicamente representado na figura 8.

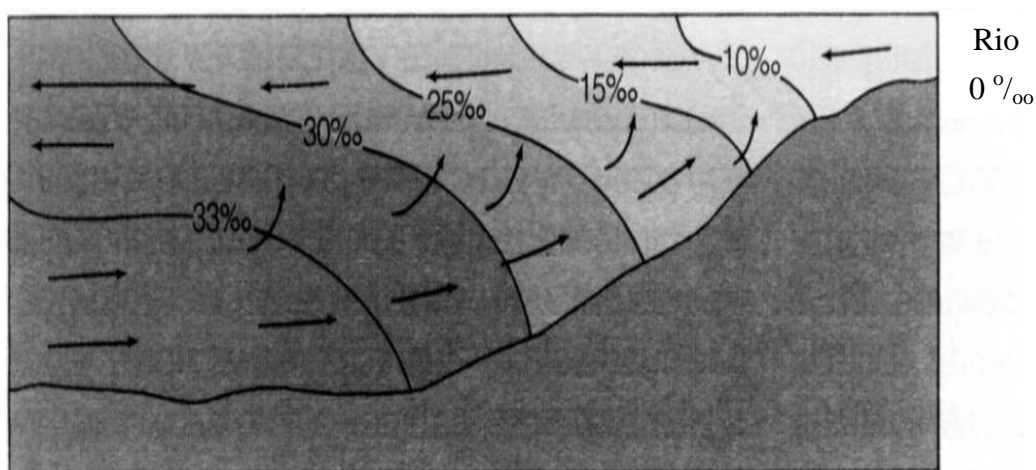


**Figura 8.** Estuário fortemente estratificado. **Fonte:** Paturej (2008).



- **Estuários moderadamente estratificados**

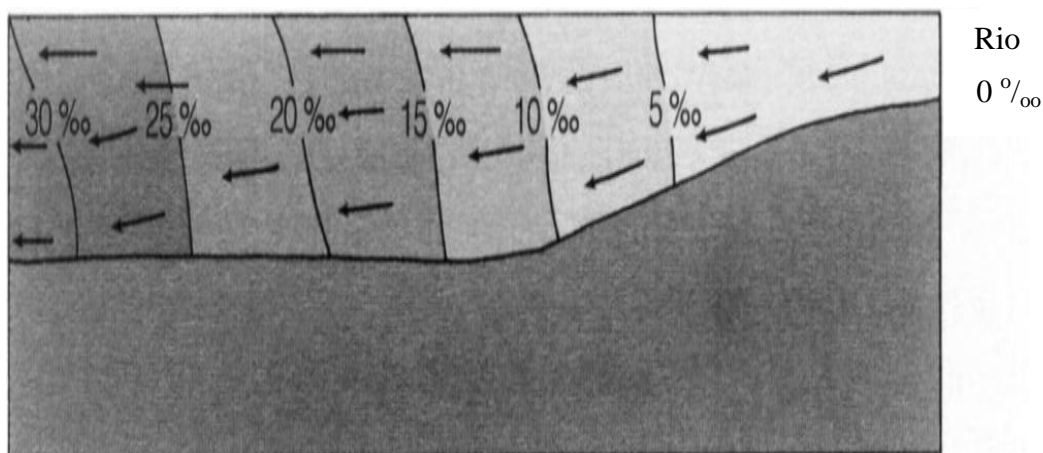
Os estuários parcialmente misturados ou moderadamente estratificados são estuários com um gradiente de verticais moderados de salinidade. São tipicamente rasos e largos, as correntes de entrada de água doce e de maré são aproximadamente iguais (figura 9). Neste sistema o principal factor responsável pela mistura da água é a natureza regular das marés baixas e altas, fazendo com que o seu perfil de salinidade seja menos variável (Pinheiro, 2003). A maré nesse processo pode possibilitar a erosão da haloclina (forte gradiente vertical de salinidade), onde a maré nesse processo deve possuir energia suficiente para gerar turbulência interna e quebrar as forças estabilizadoras presentes, provocando a mistura das camadas, salinizando toda a coluna da água (Bezerra, 2006).



**Figura 9.** Estuário moderadamente estratificado. **Fonte:** Paturej (2008).

- **Estuários homogêneos ou completamente misturados**

Os estuários completamente misturados, também designados por verticalmente homogêneos ou ainda ligeiramente estratificados são caracterizados por uma acção forte do mar, que faz com que as águas do mar e do rio sejam completamente misturadas. Devido à mistura completa das águas causada pela forte turbulência das marés, a salinidade permanece uniforme das superfícies até ao fundo (Paturej, 2008). Entretanto, com as condições naturais, em geral esses estuários apresentam pequena estratificação vertical de salinidade, o fluxo vertical de sal é desprezível e o processo de mistura ocorre parcialmente em direcção longitudinal (Dyer, 1997 citado em Bezerra, 2006).



**Figura 10.** Estuário homogêneo ou bem misturado. **Fonte:** Paturej (2008).

#### 2.4.3. Classificação baseada na razão entre a água doce e água do mar

De acordo com este critério os estuários podem ser classificados em três tipos:

- **Estuário positivo**

Os estuários positivos são aqueles em que o escoamento superficial e a precipitação excedem a evaporação, tornando a salinidade desses sistemas inferior à da água do mar, estabelecendo assim um gradiente de densidade longitudinal (Cardoso, 2000).

- **Estuário negativo**

Os estuários negativos ocorrem em regiões tropicais com uma pequena amplitude de maré. Nesses sistemas, a evaporação da água excede o volume do fluxo da água doce e da precipitação, tornando a salinidade do estuário maior do que a marinha. A circulação difere marcadamente do estuário positivo (Pinheiro, 2003).

- **Estuário neutro**

Os estuários neutros são aqueles que apresentam o equilíbrio entre as afluições de água doce e evaporação (Cardoso, 2000). Quando a evaporação se iguala ao somatório de água doce e da precipitação, desenvolve-se um regime salino estático. Portanto, pelo facto de a evaporação raramente ser igual ao suprimento de água doce, o estuário neutro representa um estado intermediário ou transitório entre o estuário positivo e estuário negativo (Pinheiro, 2003).

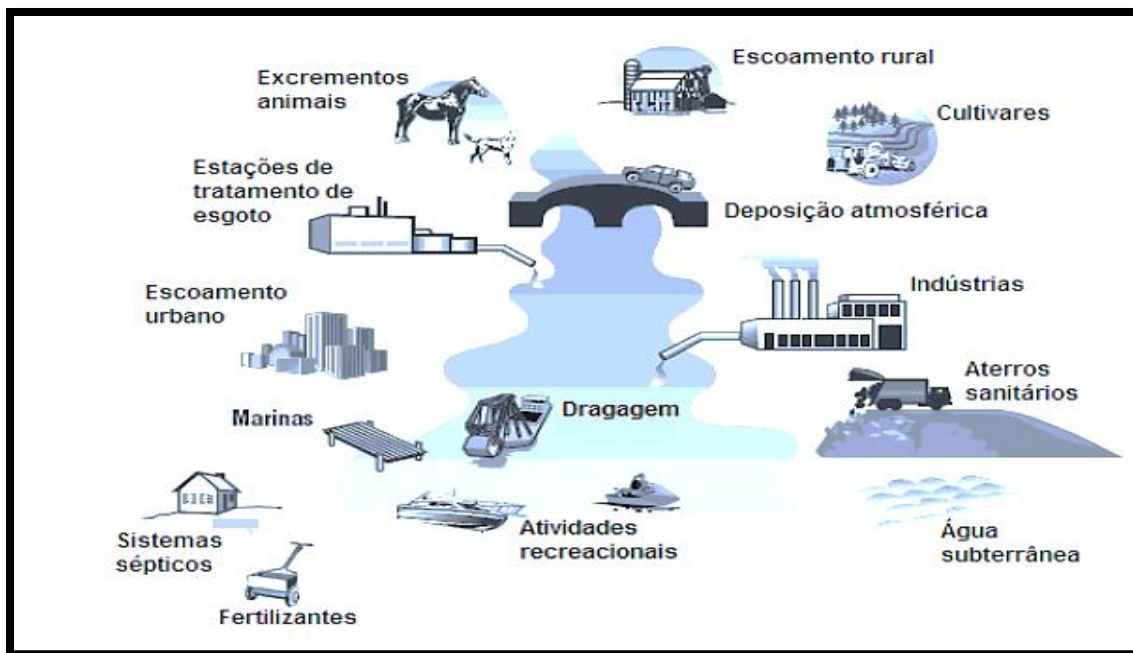
## 2.5. Principais classes de contaminantes das águas estuarinas

Os estuários são áreas de grande preocupação, ao nível do risco ambiental e ecológico, devido à sua elevada sensibilidade às diversas formas de contaminações. Os estuários são receptáculos de substâncias naturais e produtos de actividade do homem, os quais podem ocasionar a degradação da qualidade da água. Além disso, também estão sujeitos a descargas regulares de águas residuais, de diversas origens urbanas e industriais, muitas delas contendo contaminantes ambientais persistentes, como metais pesados e substâncias orgânicas. Esses produtos apresentam grandes ameaças para o lazer e o ambiente biológico, colocando em risco a saúde dos consumidores das espécies desse ambiente (Vicente, 2012). Os contaminantes que têm maior impacto na saúde e qualidade ambiental dos estuários são as substâncias tóxicas que incluem produtos químicos e metais pesados, assim como nutrientes e patogénicos (NOS, 2007).

Os nitratos e fósforo são nutrientes essenciais para o crescimento das plantas e benéficas para muitos ecossistemas em pequenas quantidades e benéficas para muitos ecossistemas. Em quantidades excessivas podem poluir o ambiente estuarino e causar a eutrofização, fenómeno que estimula o crescimento massivo das algas, tornando as águas estuarinas hipóxicas (pobres em oxigénio), podendo afectar negativamente os animais e as plantas em estuários (NOS, 2007). Quanto aos metais pesados em águas estuarinas, a sua toxicidade depende de modo de exposição, pelo facto de não serem degradados pelos seres vivos, podem causar a bioacumulação (absorção e aumento de concentração) até ao alto nível e entrar na cadeia trófica, apresentando assim grande perigo para a saúde dos homens, que se alimentam dos animais que se encontram nesses ambientes (Vicente, 2012).

## 2.6. Fontes de poluição das águas estuarinas

As características naturais dos estuários são ameaçadas pelas práticas agrícolas, actividades industriais, as obras portuárias, canais de navegação, resíduos domésticos e indústrias, funcionando como as principais fontes de contaminantes que causam a degradação do ambiente dos estuários, conforme ilustra a figura 11. A pesca, a salicultura e as actividades ligadas ao turismo e lazer, embora não sejam responsáveis pela emissão de nenhum efluente directo para o meio, podem contribuir igualmente como fonte considerável de pressão ambiental para o ambiente estuarino (Neto *et al.*, 2022).



**Figura 11.** Fontes principais de poluição nos estuários. **Fonte:** Barbosa (2010).

- **Actividades industriais, portuárias e marinhas**

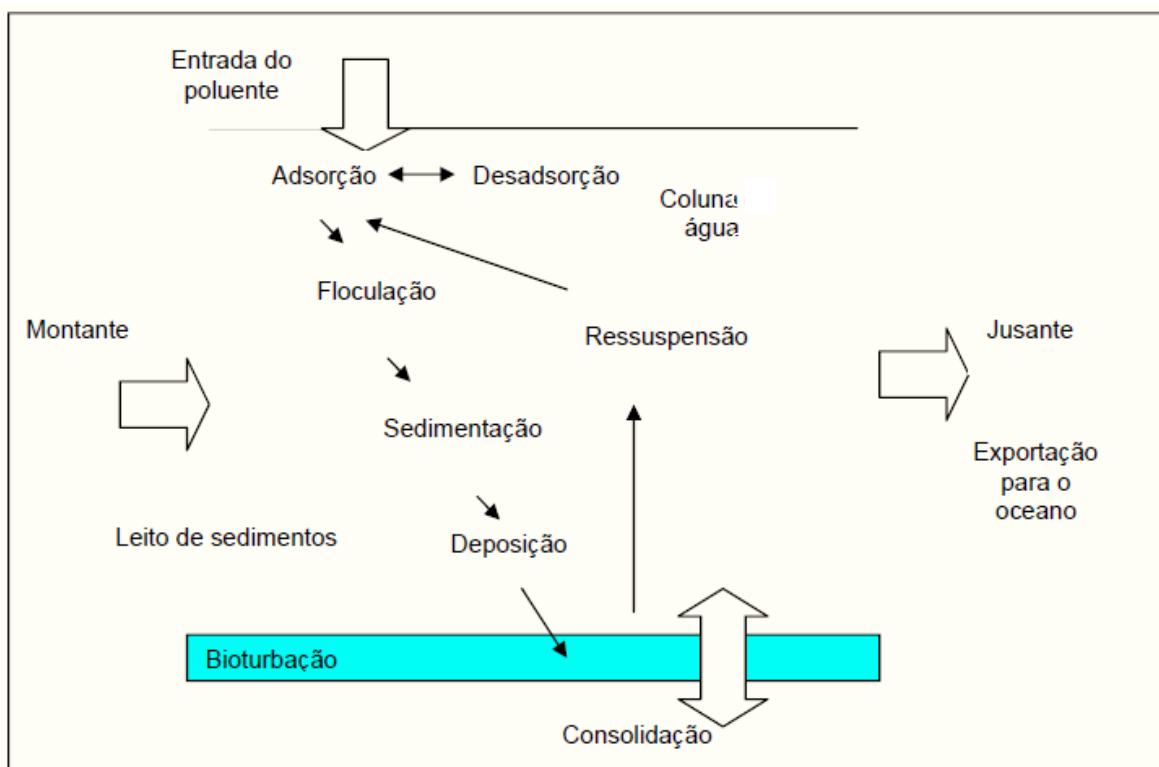
Os sectores que realizam as actividades portuárias e marinhas, assim como as industriais são as principais fontes de substâncias não biodegradáveis como os metais pesados. Os compostos não biodegradáveis podem ser tóxicos, cancerígenos ou mutagénicos em concentrações muito baixas para as plantas, animais e humanos. Entre vários alguns têm destaque zinco, ferro, manganês e cobre que participam dos processos fisiológicos, mas com efeitos tóxicos (Barbosa, 2010).

- **Agricultura, pecuária e escoamento rural**

O desenvolvimento económico e social tem intensificado a produção agrícola, que contribui para a poluição do ambiente estuarino, através de uso de fertilizantes e substâncias tóxicas, como pesticidas, fungicidas e herbicidas que, através de processo de escoamento, são arrastados até aos estuários, contaminando as suas águas. As actividades pecuárias também contribuem para o aumento de nutrientes (N, P e K), através das fezes de animais, principalmente os gados, além dos parasitas, que também são gerados nessa actividade. O escoamento urbano também pode conter grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes, que são responsáveis pela eutrofização (NOS, 2007).

## 2.7. Transporte dos poluentes em ambientes estuarinos

Os poluentes entram num ambiente estuarino através da rota pontual (poluição que vem de uma fonte discernível) ou difusa (poluição que vem de uma variedade de fontes que não possuem um único ponto de descarga), que é controlada pela hidrodinâmica (processo que resulta do encontro do rio com o oceano), que é a principal força motriz responsável pelo transporte de substâncias químicas (poluentes, nutrientes), biológicas (fitoplâncton, zooplâncton) e geológicas (sedimentos) em estuários (Fernandes, 2001).



**Figura 12.** Transporte dos poluentes em estuário. **Fonte:** Fernandes (2001).

O ciclo dos poluentes é distribuído por duas fases de acordo com as condições ambientais conforme ilustra a figura 12. A fase dissolvida está associada às partículas em suspensão, podendo depositar-se no fundo e sofrer ressuspensão e retornar para o corpo da água. A fase dissolvida está relacionada com a circulação no estuário, podendo receber a contribuição das águas interfaciais contaminadas pela concentração de poluentes no leito de sedimento (Fernandes, 2001).

## 2.8. Critério de classificação e parâmetros de qualidade das águas no sistema estuarino

Os critérios de classificação dos estuários não abordam aspectos relacionados com a qualidade de água e o equilíbrio dos ecossistemas, nem tomam em consideração as pressões antropogénicas que os estuários suportam. De acordo com Cardoso (2000), a classificação da qualidade de água nos sistemas estuarinos baseia-se nos seguintes critérios:

- **Qualidade estática:** é um critério que se baseia na frequência com que são visíveis quaisquer substâncias causadoras de aspecto desagradável, como óleos minerais, espumas (agentes tensioactivos) e alcatrões.
- **Qualidade sanitária:** este critério assemelha-se a qualidade estática, cujo objectivo é salvaguardar a saúde pública, através de avaliação e monetariamente das concentrações dos organismos indicadores da presença de patógenos, como os coliformes fecais e coliformes totais.
- **Estado trófico:** o estado trófico do sistema estuarino é de grande importância do ponto de vista ambiental. Este critério revela o significado das concentrações dos nutrientes como azoto, fósforo e de pigmentos presentes nos estuários.
- **Substâncias tóxicas:** a classificação da qualidade de água associada a substâncias tóxicas é mais problemática em relação ao estado trófico. A avaliação deste critério é feita com recurso à comparação entre os resultados de observações ou obtidos em locais sujeitos a acções antropogénicas com um potencial nocivo com resultados obtidos em zonas não perturbadas com características morfodinâmicas e climáticas semelhantes. Fazem parte dessas substâncias os metais pesados.

A concentração natural de sedimentos em suspensão nos rios, ocasionada pelo processo erosivo ao longo dos seus cursos, pode ser acrescentada pela actividade antropogénica. Os teores de contaminantes permitidos nas águas são estabelecidos em função dos seus usos. Relativamente à qualidade da água do mar, o Decreto N.º. 495/73 proíbe o lançamento de efluentes líquidos industriais e a qualquer substância capaz de poluir as águas. No entanto, existe o regulamento de padrões de qualidade ambiental e efluentes líquidos industriais que estabelecem o critério e as condições com que os efluentes devem ser despejados, de modo que não atinjam os níveis de concentração que causam a contaminação das águas.

Os limites máximos admissíveis de acordo com os padrões estabelecidos pela OMS e EPA estão ilustrados na tabela 2.

**Tabela 2.** Limites máximos admissíveis de metais pesados nas águas estuarinas estabelecidos pela OMS e EPA.

Parâmetros	Unidade	Limite máximo	Fonte
Chumbo (Pb)	mg/L	0,951	EPA (2006)
Níquel (Ni)	mg/L	0,990	EPA (2006)
Selénio (Se)	mg/L	0,998	EPA (2006)
Prata (Ag)	mg/L	0,85	EPA (2006)
Cobalto (Co)	mg/L	2,000	OMS (1996)
Cádmio (Cd)	mg/L	0,003	OMS (1996)
Alumínio (Al)	mg/L	1	OMS (1996)
Arsénio (As)	mg/L	1,000	EPA (2006)
Cobre (Cu)	mg/L	1	OMS (1996)
Manganês (Mn)	mg/L	0,1	OMS (1996)
Ferro (Fe)	mg/L	3	OMS (1996)
Zinco (Zn)	mg/L	8	EPA (2006)

A qualidade de água influencia a maioria dos processos ecológicos e biogeoquímicos que suportam a estrutura e função do ecossistema estuarino. Os organismos estuarinos, como as plantas, peixes submersos, também são directamente afectados pela qualidade de água, portanto muitos estudos e programas de monitoramento das condições estuarinas incluem as medições da qualidade de água, avaliando os parâmetros como a turvação e clorofila (Victoria & Boulton, 2021). Com a enorme expansão das actividades industriais nas proximidades dos estuários, como



a fabricação de grande diversidade de materiais e substâncias tóxicas, torna-se também importante determinar os teores dos contaminantes como os metais pesados, de modo a avaliar a qualidade ambiental dos ambientes estuarinos, visto que o corpo de água contaminada por metais pesados pode levar à bioacumulação na cadeia alimentar, apresentando assim, maior risco à saúde dos homens e recursos vivos presentes nesses ambientes (Abdullah *et al.*, 2007).

## **2.9. Políticas das acções para a preservação do ecossistema estuarino**

Os estuários são sistemas que desempenham importante função ecológica no desenvolvimento das espécies aquáticas como peixes, crustáceos e moluscos, de elevado interesse económico e ecológico. A prática das actividades agrícolas e instalação das indústrias nas proximidades dos estuários tem colocado em risco o desenvolvimento sustentável desse ambiente. Devido à grande fragilidade ecológica dos estuários e o seu uso, como suporte de múltiplas actividades, faz com que seja necessário definir planos de gestão destinados a compatibilizar tais utilizações, salvaguardar o equilíbrio ecológico e a saúde pública (Da silva, 2008). Fidélis (2010) citado por Branco (2011), acrescenta que para além de compatibilizar essas utilizações, o modelo de gestão e governação dos estuários deve ser capaz de gerir, integrar e concertar os interesses e actuações, assim como garantir a gestão integrada e sustentável desse ambiente do ponto de vista económico, ambiental e social. A gestão tradicional dos estuários tem-se caracterizado por abordagem sectorial, como turismo, agricultura, pescas e gestão urbanística, que determinam a estratégia de gestão, sem a preocupação clara de se definir uma estratégia de articulação. Uma das abordagens fundamentais para a gestão e governação dos estuários, é a gestão baseada em ecossistemas, com origem na Convenção da Diversidade Biológica (CDB), que emerge do reconhecimento de que os problemas apresentados nos ecossistemas, incluindo os estuários, são interrelacionados e devem ser geridos como um sistema, em vez de um conjunto de problemas isolados (De Carvalho, 2010).

O desenvolvimento de plano de gestão estratégica do estuário previne potenciais impactos ambientais, em vez de responder apenas quando os impactos tiverem ocorrido (DEA, 2015). O gerenciamento dos estuários deve por um lado basear-se na perspectiva mais tradicional do ordenamento do território e, por outro lado, numa perspectiva mais recente da gestão integrada dos recursos hídricos. Em Moçambique o plano da gestão dos recursos hídricos inclui, nomeadamente:



- A avaliação e o monitoramento dos recursos hídricos;
- Planos de gestão das bacias hidrográficas;
- Gestão dos rios internacionais;
- Consolidação das administrações Regionais de águas.

Um dos instrumentos importantes e regulador dos assuntos do mar é a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS) e o acordo de parte XI da mesma convenção, adoptado pela Assembleia Geral das Nações Unidas, respectivamente em Dezembro de 1982 e em Janeiro de 1994. Tendo em conta as potencialidades que o mar oferece, a coberto da UNCLOS, com vista a implementação da Estratégias Nacional de Desenvolvimento, o Governo da República de Moçambique elaborou a Política e a Estratégia do mar, que prossegue com um dos principais objectivos promover o empoderamento de cidadãos e empresas para o exercício de actividades económicas no mar e nas zonas costeiras, assim como estabelecer princípios e mecanismos para ordenamento desses ambientes, incluindo os estuários, tendo em vista a promoção da sustentabilidade económica, social e ambiental das diferentes utilizações, no contexto do desenvolvimento da economia. Para reforçar o quadro jurídico-legal à gestão e ordenamento das zonas costeiras no âmbito do regulamento da lei do Mar, houve a necessidade de adoptar-se normas e estratégias que permitem assegurar a gestão e o ordenamento das zonas costeiras, que foram decretadas pelo Conselho de Ministros, das quais são destacadas as seguintes estratégias:

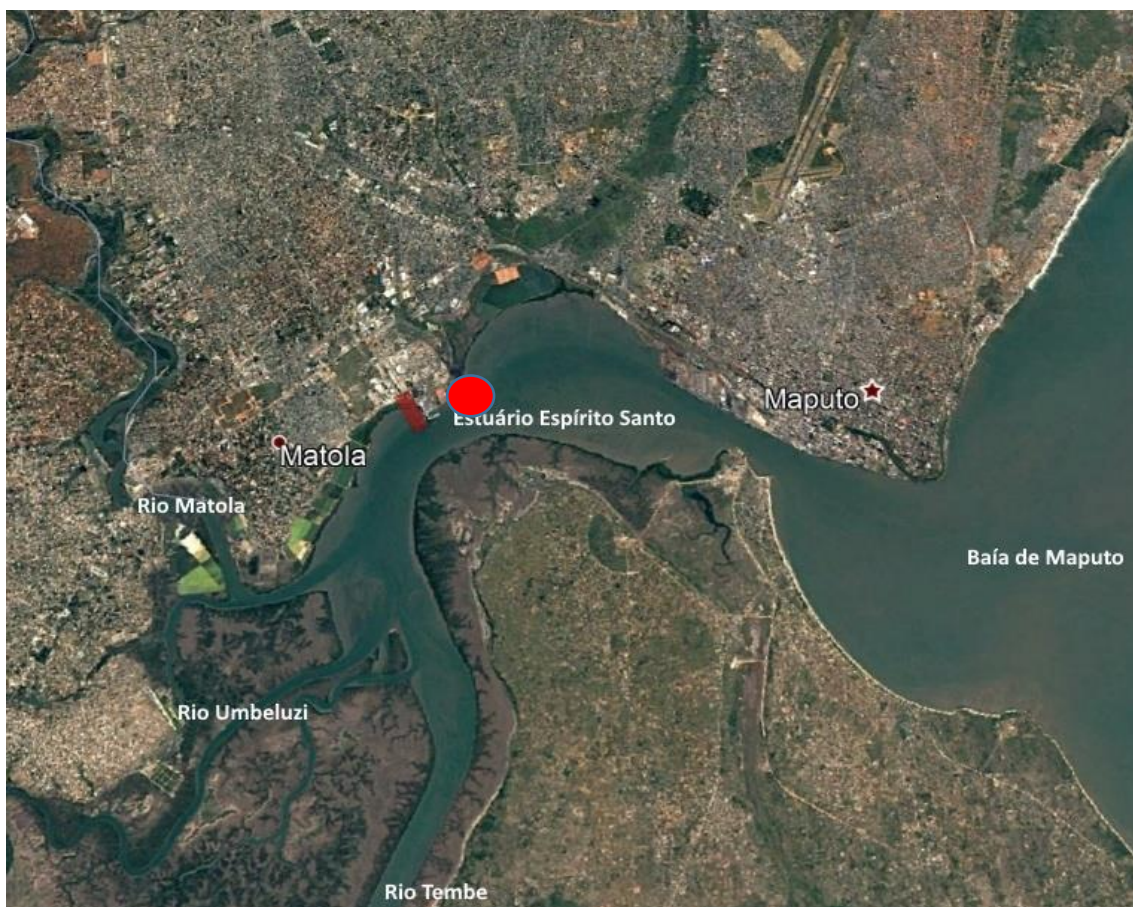
- Gestão e ordenamento das zonas costeiras e praias com objectivo de manter o controlo sobre os agentes causadores de poluição ou degradação ambiental que ameaça a qualidade de vida nas zonas estuarinas, assim como a produção e difusão de conhecimento para o desenvolvimento e aprimoramento das acções de gestão dessas zonas.
- Supervisão e fiscalização com objectivo de garantir que os resíduos sólidos urbanos não sejam lançados em ambientes aquáticos, e que não possam constituir perigo para a saúde pública e para o meio ambiente.
- Eliminação das fontes de poluição, de forma a evitar que sejam descartados quaisquer resíduos, sólidos, líquidos, susceptíveis de alterar a qualidade ambiental. Essa eliminação pode ser feita pela intervenção do sector responsável pelo mar e zonas costeiras, órgãos

de governação descentralizada provincial e entidades municipais, bem como pelos utentes no geral.

- Definição de regras para a participação do sector privado, das organizações não governamentais, sociedade civil e das comunidades de utentes para o desenvolvimento sustentável e integrado das zonas costeiras, assim como investir na educação ambiental para a sensibilização da população na preservação do meio ambiente.

### **3. DESCRIÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO**

O estuário Espírito Santo está localizado a Oeste da baía de Maputo na zona Sul de Moçambique, nas proximidades da cidade da Matola, a maior zona industrial do País. A costa sul do estuário é banhado por mangais e a margem norte é ocupada pela cidade de Maputo, a maior cidade de Moçambique, onde se encontram centro administrativo, financeiro e mercantil. Morfologicamente a sua área possui 11 metros de profundidade máxima, 800 metros de largura, uma temperatura média anual de 28 °C e 635 mm de precipitação média anual, ocorrendo entre Novembro e Abril. Este clima é ainda influenciado pelo centro de altas pressões características do oceano Índico e pela convergência intertropical na zona do Transval que conduz ao prolongamento do período chuvoso nesta região ( Malhadas *et al.*, 2012).



**Figura 13.** Estuário Espírito Santo. **Fonte:** Google earth (2024)

Este estuário é classificado como sendo homogéneo ou ligeiramente estratificado devido à mistura das águas que desaguam dos rios Tembe, Umbeluzi e Matola causada pela forte turbulências das marés astronómicas e meteorológicas (Bene, 1998; Malhadas *et al.*, 2012). A sua localização permite-lhe realizar operações comerciais, funcionando como uma porta estratégica no sector.

Além disso, verifica-se nesse ambiente as actividades agropecuárias, pesqueiras e portuárias que muitas das vezes têm contribuído para baixar a qualidade de água. O clima predominante nessa região é característico da zona litoral de Moçambique, subtropical húmido e duas estações predominam nessa área, o inverno frio e seco, que se estende desde Abril até Outubro, e o Verão quente e chuvoso entre Outubro e Março (Instituto Nacional de Meteorologia [INM], 2020)

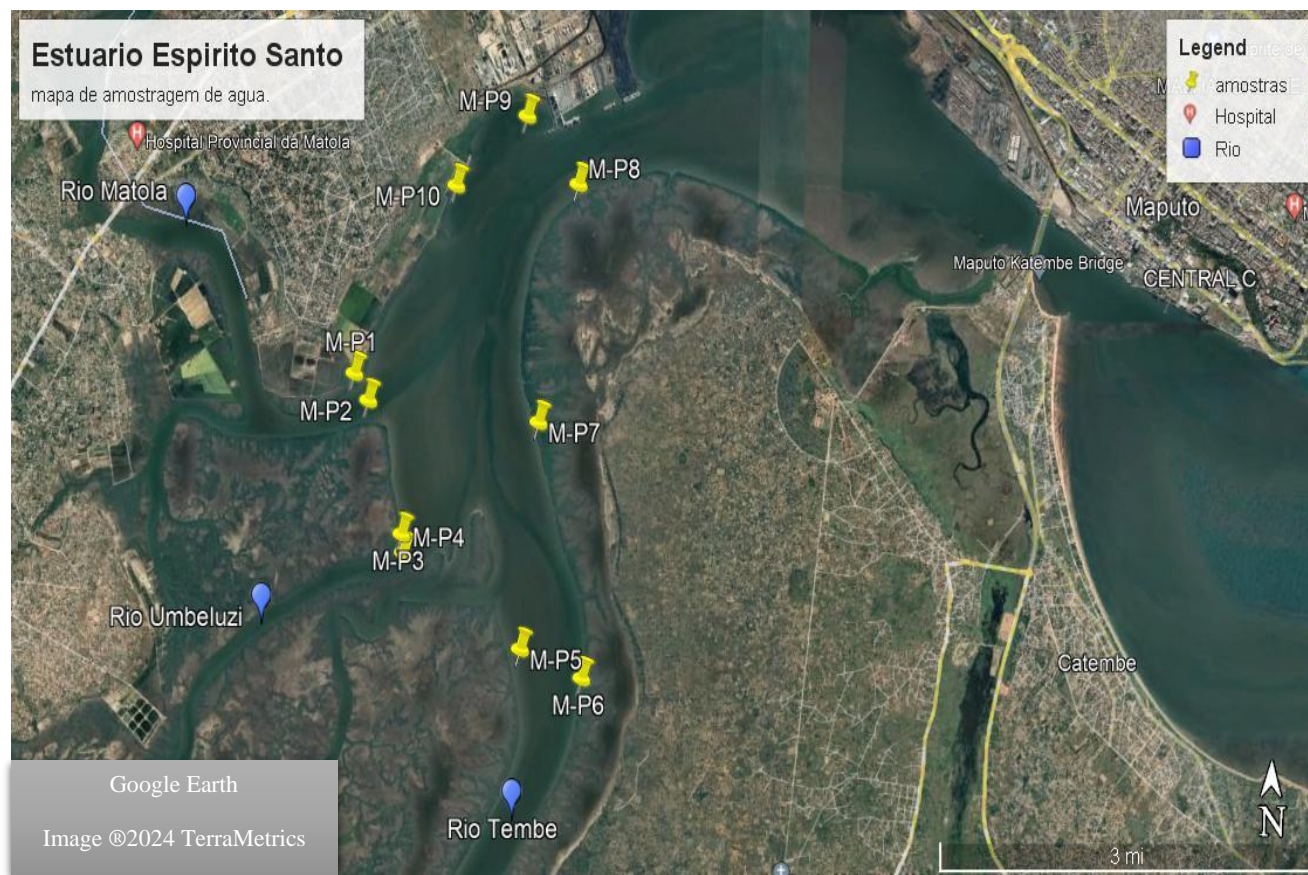
A tabela 4 que se segue apresenta os pontos de amostragens seleccionados e as respectivas coordenadas geográficas fixadas através do GPS (*Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global).

**Tabela 3.** Coordenadas dos pontos de colecta das amostras no estuário Espírito Santo.

<b>Estuário Espírito Santo</b>		
<b>Código da amostra</b>	<b>Sul</b>	<b>Este</b>
<b>MP1</b>	25°96.73'411''	32°54.81'585''
<b>MP2</b>	25°97.8.5'537''	32°54.05'346''
<b>MP3</b>	25°94.69'136''	32°51.63'213''
<b>MP4</b>	25°99.44'99''	32°50.18'924''
<b>MP5</b>	25°97.54'818''	32°47.90'493''
<b>MP6</b>	26°00.34'96''	32°48.47'899''
<b>MP7</b>	26°015.7'308''	32°49.24'537''
<b>MP8</b>	26°009'859''	32°47.72'928''
<b>MP9</b>	25°99.36'800''	32°47.07'150''
<b>MP10</b>	25°99.27'373''	32°46.6'6984''

A figura 14 que se segue apresenta os pontos de amostragem. A imagem foi obtida através do Google earth em 2024.





**Figura 14.** Identificação dos pontos de amostragem no estuário Espírito Santo. **Fonte:** Google earth (2024)

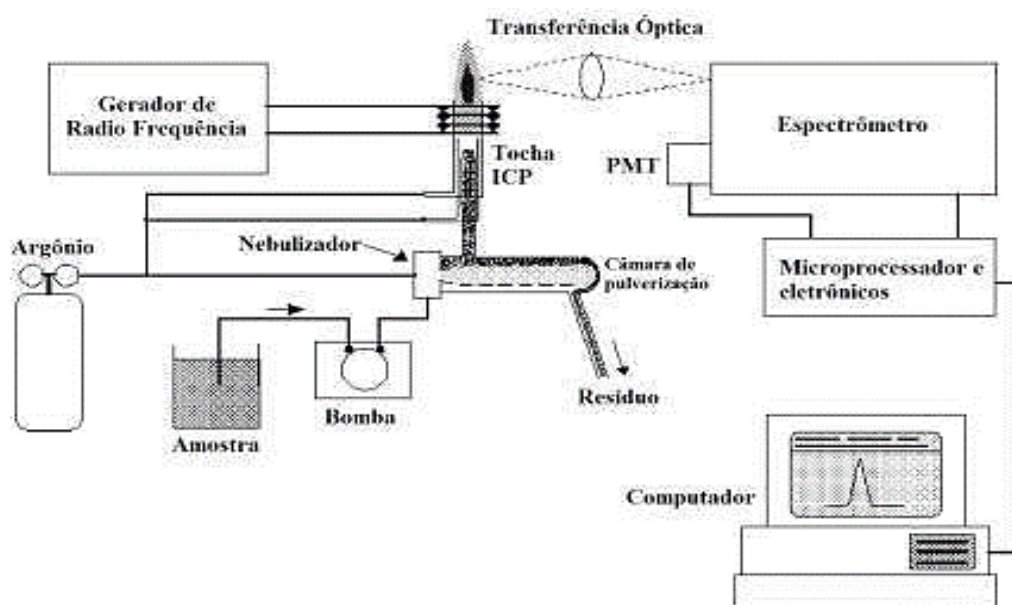
#### 4. MÉTODOS DE ANÁLISE

##### Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente

Para análise das amostras de água colectadas no estuário do Espírito Santo em Maputo usou-se o método de espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES).

O ICP-OES é um dos métodos analíticos mais poderosos e populares para a determinação multi elementar em uma variedade de matrizes de amostras diferentes (Hou *et al.*, 2016).

O princípio básico dessa técnica envolve: geração de plasma indutivo, atomização, emissão de luz, detecção e análise. Depois da preparação das amostras e determinação das condições de operação, as amostras são introduzidas no plasma, onde os componentes são vaporizados e transformados em átomos excitados. À medida que os átomos excitados voltam ao estado normal emitem luz em comprimento de onda característico de cada elemento que é registado, e deste modo permitindo a sua identificação e qualificação.



**Figura 15.** Representação esquemática dos componentes e princípio de ICP-OES. **Fonte:** Su (2012).

## 5. PARTE EXPERIMENTAL

### 5.1. Materiais e reagentes

Os materiais, equipamentos e reagentes que foram usados para a realização do ensaio laboratorial do presente estudo estão listados a seguir:

#### I. Materiais e equipamentos

- Garrafas plásticas PET de 1,5 L;
- Papel de filtro 5A 70 mm (Advantec);
- Funil de vidro;
- Pipetas automáticas de 10, 5, 2, 1 mL (Polylab);
- Beckers de 25, 50 mL;
- Pipetas volumétricas de 5 mL e 10 mL;
- Suporte universal;
- Erlenmeyers de 250 mL;
- Provetas graduadas de 5, 10, 25, 50 e 100 mL;
- Espectrómetro ICP – OES, Modelo 9800 da Shimadzu.
- Estufa, Biobase, Modelo BOV-T30C.

#### II. Reagentes

Os reagentes utilizados na determinação dos metais encontram-se listados abaixo.

- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) grau de pureza 69 % (v/v) da SKYLABS
- Solução padrão multi-elementar com concentração dos metais de 100 ppm, da *Spectroscopic Solutions*.

## 5.2. Procedimentos da mostragem

Para a realização da amostragem foram seguidos os procedimentos propostos por APHA (2017). Foram colectadas 10 amostras de água em triplicado no estuário do Espírito Santo em diferentes pontos. Os pontos foram seleccionados e as coordenadas fixadas através do GPS (tabela 3 e figura 14).

A colecta das amostras foi feita na época chuvosa no mês de Outubro de 2022 no estuário do Espírito Santo na matola, província de Maputo.

Removeu-se a tampa do frasco de polietileno de 100 mL previamente esterilizado, segurou-se o frasco pela base e mergulhou-se rapidamente com a boca para baixo, a cerca de 30 cm abaixo da superfície da água, direccionando o frasco de modo que a boca ficasse em sentido contrário à corrente da água, inclinando o frasco lentamente para cima para permitir a saída do ar e consequente enchimento do mesmo.

Após o enchimento as amostras de água foram acidificadas com solução de ácido nítrico a 5% fechou-se imediatamente o frasco e de seguida identificou-se a amostra e preencheu-se a ficha de colecta. Depois da colecta, devidamente etiquetadas e seladas, todas as amostras foram conservadas em uma caixa térmica com gelo para manter uma temperatura máxima de 5 °C e transportadas para o laboratório onde foram mantidas a uma temperatura de 5 °C.

## 5.3. Análise de metais por ICP – OES

### a) Condições de operação

As condições instrumentais do espectrómetro ICP-OES para a determinação dos metais na análise das amostras de água do estuário do Espírito Santo foram as seguintes: potência do plasma de 1,20 kW, vazão do gás de plasma 10,00 L. min<sup>-1</sup>, vazão do gás auxiliar de 0,60 L.min<sup>-1</sup>, vazão do gás do arraste de 0,70 L. min<sup>-1</sup>.



### b) Preparação da curva padrão

Para a determinação dos metais foi usado o método da curva de calibração normal. Os padrões foram preparados pela diluição da solução padrão multielementar *Spectroscopic Solutions* 100 mg/L para os metais Ag, As, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni e Pb. Foram pipetados volumes de 0; 0,5; 1; 1,5; 2 e 2,5 mL da solução para um balão de volumétrico de 50 mL e fez-se o volume com água bidestilada, de seguida as soluções padrões preparadas foram transferidas para os recipientes específicos para amostrador automático do ICP-OES e efectuou-se a leitura e posterior construção das curvas de calibração normal e suas respectivas equações das rectas de calibração através da equação (1). A equação (1) representa a equação da recta analítica que é a correlação entre o sinal medido e a concentração de um elemento a ser quantificado.

$$Y = bx + a \quad (1)$$

sendo:

y = intensidade medida

x = concentração

b = declive

a = ordenada na origem

### Procedimentos de análise das amostras

As amostras de água foram acidificadas com a solução de ácido nítrico a 5 % no acto da colecta, filtradas duas vezes com o papel de filtro 5A de 70 mm e papel de filtro de 0,45 µm. Após a filtração foram colocadas em porta-amostras apropriadas para a leitura no ICP-OES.

Após a leitura dos padrões seguiu-se com a leitura das amostras.

As concentrações dos metais nas amostras foram calculadas a partir das equações das rectas de regressão linear, substituindo a intensidade do analito de cada amostra na equação 1.

## 6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As tabelas 4 e 5 que se seguem apresentam os resultados das análises de 10 amostras de água do estuário de Espírito Santo. Os dados da determinação dos metais pelo ICP-OES são valores indicativos, uma vez que não foi utilizado um material de referência para a validação do método. Os resultados são apresentados em forma de intervalo de confiança (IC) da média de 3 réplicas obtido pela equação (2). A tabela apresenta ainda o desvio padrão relativo (%RSD), calculado pela equação 4, em cada ponto de amostragem, calculado pela equação 3. O nível de confiança considerado foi de 95%.

**Tabela 4.** Resultados experimentais obtidos na determinação do teor dos metais nas amostras analisadas.

Metal		Pontos de amostragem				
		MP1	MP2	MP3	MP4	MP5
Ag	IC	4,55±0,467	5,60±0,46	3,84±0,47	4,82±0,46	5,30±0,10
	%RSD	2,875	1,321	0,149	20,428	4,664
As	IC	91,52±0,58	89,63±0,58	85,67±0,57	85,37±0,57	83,89±0,57
	%RSD	0,26	0,33	0,58	0,52	0,57
Cr	IC	5,405±0,51	5,28±0,52	4,91±0,52	4,94±0,52	4,82±0,52
	%RSD	0,342	2,313	0,16	0,577	0,424
Cu	IC	14,88±0,70	14,43±0,70	13,73±0,70	13,46±0,70	13,46±0,70
	%RSD	0,53	0,51	0,30	0,59	0,11
Fe	IC	6,04±0,47	5,98±0,47	5,37±0,47	5,35±0,47	4,89±0,47
	%RSD	1,09	1,86	10,50	8,92	10,21
Mn	IC	1,97±0,49	2,01±0,49	1,74±0,49	1,90±0,49	2,14± 0,49
	%RSD	0,83	1,50	3,62	5,79	0,09

<b>Ni</b>	<b>IC</b>	4,28±0,84	4,17±0,84	3,84±0,840	3,79±0,84	3,79±0,84
	<b>%RSD</b>	0,79	0,06	0,63	0,37	1,71
<b>Pb</b>	<b>IC</b>	29,36±0,75	28,39±0,75	27,20±0,75	27,43±0,75	26,40±0,75
	<b>%RSD</b>	0,17	0,20	0,53	0,39	0,45
<b>Co</b>	<b>IC</b>	3,13±0,50	3,02±0,50	2,86±0,50	2,87±0,50	2,79±0,50
	<b>%RSD</b>	0,95	0,24	0,73	0,83	0,39
<b>Zn</b>	<b>IC</b>	9,25±0,24	9,01±0,24	8,40±0,24	8,80±0,24	9,30±0,24
	<b>%RSD</b>	0,67	0,97	0,89	1,07	0,19

**Tabela 5.** Resultados experimentais obtidos na determinação do teor dos metais nas amostras analisadas (continuação).

<b>Metal</b>		<b>Pontos de amostragem</b>				
		<b>MP6</b>	<b>MP7</b>	<b>MP8</b>	<b>MP9</b>	<b>MP10</b>
<b>Ag</b>	<b>IC</b>	5,50±0,47	4,98±0,47	5,64±0,46	4,23±0,47	3,99±0,47
	<b>%RSD</b>	4,799	1,271	9,228	10,497	0,350
<b>As</b>	<b>IC</b>	80,89±0,57	82,18±0,57	81,43±0,56	82,20±0,57	82,22±0,57
	<b>%RSD</b>	0,64	0,22	0,22	0,84	0,50
<b>Cr</b>	<b>IC</b>	4,58±0,52	4,69±0,52	4,68±0,52	4,65±0,52	4,78±0,52
	<b>%RSD</b>	1,452	0,017	0,399	1,098	0,011
<b>Cu</b>	<b>IC</b>	12,69±0,71	13,19±0,70	12,88±0,70	12,99±0,70	13,08±0,71
	<b>%RSD</b>	0,63	0,71	0,34	1,22	0,02
<b>Fe</b>	<b>IC</b>	11,11±0,45	4,97±0,47	5,22±0,47	4,72±0,47	14,20±0,45
	<b>%RSD</b>	1,76	4,50	4,86	2,44	13,30

<b>Mn</b>	<b>IC</b>	2,43±0,49	2,03±0,49	1,89±0,49	2,04±0,49	2,98±0,49
	<b>%RSD</b>	1,73	5,94	0,38	1,36	4,31
<b>Ni</b>	<b>IC</b>	3,40±0,84	3,54±0,27	3,54±0,84	3,48±0,84	3,62±0,84
	<b>%RSD</b>	1,96	0,01	0,19	1,61	0,78
<b>Pb</b>	<b>IC</b>	25,60±0,76	25,74±0,76	25,59±0,76	25,89±0,76	25,80±0,76
	<b>%RSD</b>	1,53	0,05	0,03	1,86	0,35
<b>Co</b>	<b>IC</b>	2,66±0,50	2,76±0,50	2,71±0,50	2,69±0,50	2,79±0,50
	<b>%RSD</b>	0,38	0,37	0,34	1,29	0,50
<b>Zn</b>	<b>IC</b>	8,40±0,24	8,80±0,24	8,70±0,24	9,10±0,24	9,10±0,24
	<b>%RSD</b>	0,01	0,56	0,23	0,51	0,14

Para o cálculo do IC utilizou-se o método de regressão linear de acordo com Vasconcelos (2019):

$$IC = \bar{X}_A \pm t_{(n-2)} s_{\bar{x}_A} \quad (2)$$

onde:

$$s_{\bar{x}_A} = s_{x/y} / b \left[ \frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(Y_A - \bar{Y})^2}{b^2 \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$s_{\bar{x}_A}$  – desvio padrão de  $\bar{X}_A$ ;

$\bar{X}_A$  – Média experimental das réplicas;

$s_{x/y}$  – Desvio padrão de y;

b – Declive

$\bar{X}; \bar{Y}$  – Médias de  $X_i; Y_i$  respectivamente;

$Y_A$  – intensidade;

$n$  – Número de padrões na curva de calibração;

$m$  – Número de medições repetidas;

$s_{x/y}$  – Desvio padrão residual.

$$\% RSD = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (4)$$

Os valores de Limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ) foram determinados com base nas equações 5 e 6 respectivamente.

Esses valores foram determinados para avaliar e garantir a confiabilidade do resultado em termos de sensibilidade e precisão.

$$LQ = \frac{10 \cdot s_{XY}}{b} \quad (5)$$

$$LD = \frac{3 \cdot s_{XY}}{b} \quad (6)$$

A tabela 6 que se segue apresenta os limites de quantificação e detecção encontrados.

**Tabela 6.** Limites de detecção e de quantificação (mg/L) do ICP-OES.

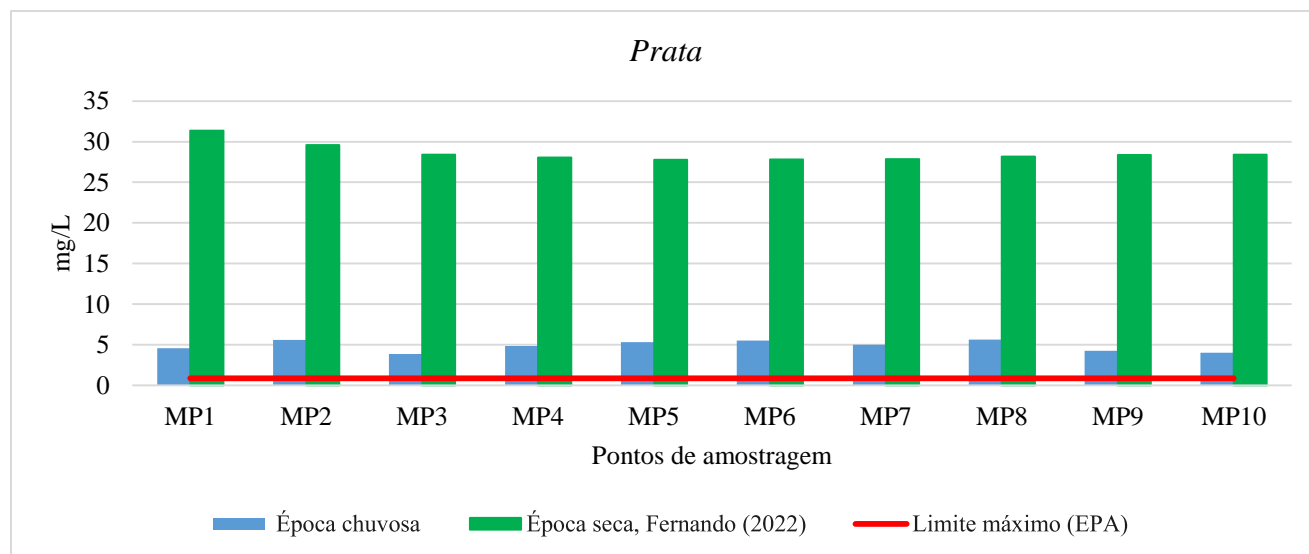
Ag		As		Cr		Cu		Fe		Mn		Ni		Pb		Zn		Co	
<b>LD</b>	0.20	<b>LD</b>	0.41	<b>LD</b>	0.34	<b>LD</b>	0.48	<b>LD</b>	0.30	<b>LD</b>	0.31	<b>LD</b>	0.55	<b>LD</b>	0.54	<b>LD</b>	0,16	<b>LD</b>	0,32
<b>LQ</b>	0.80	<b>LQ</b>	1.38	<b>LQ</b>	1.13	<b>LQ</b>	1.62	<b>LQ</b>	1.03	<b>LQ</b>	1.06	<b>LQ</b>	1.84	<b>LQ</b>	1.83	<b>LQ</b>	0,54	<b>LQ</b>	1,1

## 7. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são discutidos e interpretados os resultados experimentais obtidos na determinação dos metais nas amostras de água do estuário Espírito Santo em Maputo na época chuvosa. Os valores experimentais são comparados com os valores máximos e mínimos admissíveis estabelecidos pela OMS e pela EPA. Também são comparados os valores experimentais com os valores obtidos em estudos similares realizados em época seca e nos mesmos pontos.

### Prata (Ag)

A figura 16 mostra que as concentrações de Ag nas águas do estuário do Espírito Santo variaram entre 3,84 e 5,64 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações da Ag para águas estuarinas não devem exceder 0,85 mgL<sup>-1</sup>, portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de Ag acima do limite recomendado.



**Figura 16.** Comparação dos valores experimentais da Ag das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

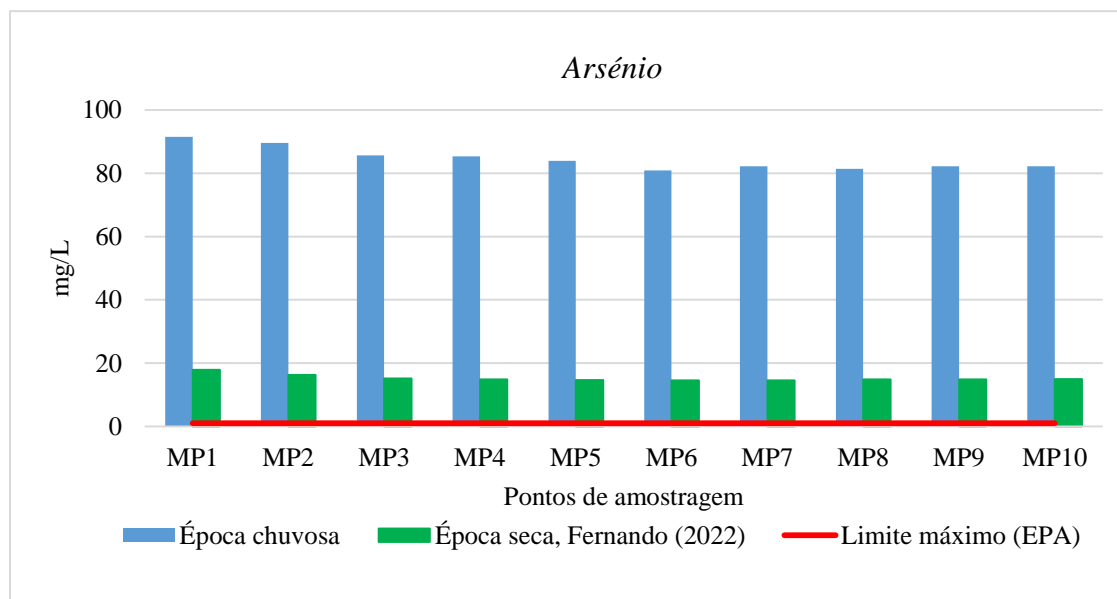
As variações dos níveis de contaminação no estuário do Espírito Santo são sazonais, ou seja, dependem da época.

Como se pode ver na figura 16, os teores de Ag na estação chuvoso são menores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo. Isto pode ser devido à diluição da concentração de Ag na estação chuvosa, causada pela acção das chuvas (Júnior e Perreira, 2021).

A prata, na sua forma iónica  $\text{Ag}^+$  em água, é um dos metais pesados mais tóxicos para organismos aquáticos (Webb *et al.*, 2001). A prata é fortemente bioacumulada pelos organismos aquáticos. A prata afecta a biodiversidade, a estrutura trófica e os processos ecossistémicos. O consumo de prata pelo ser humano através de organismos aquáticos contaminados com prata, pode levar a efeitos tóxicos crónicos à saúde humana como problemas gastrointestinais e argíria, que é uma doença caracterizada por mudança de cor da pele causada pela exposição excessiva da prata (Morford *et al.*, 2008).

### Arsénio (As)

A figura 17 mostra as concentrações do As, nas águas do estuário do Espírito Santo a variaram entre 80,89 e 91,52  $\text{mgL}^{-1}$ . A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações da As para águas estuarinas não devem exceder 1  $\text{mgL}^{-1}$ , portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de As acima do limite recomendado.



**Figura 17.** Comparação dos valores experimentais do As das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

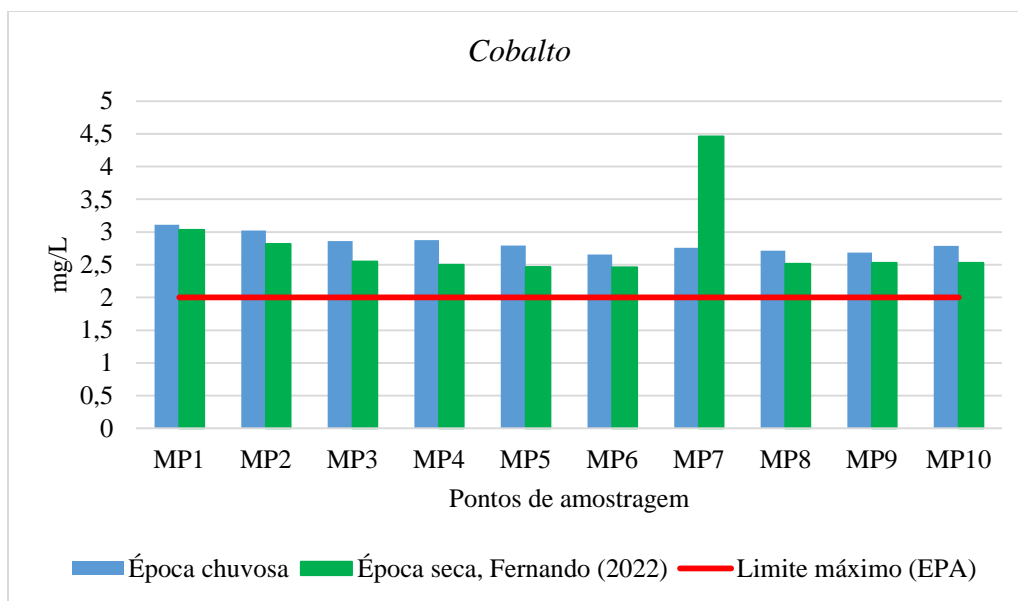
Como se pode ver na figura 17, os teores de As da estação chuvosa são maiores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.

O poluente mais importante da classe dos metalóides na água é o As, que pode causar intoxicação aguda pela ingestão de cerca de 100 mg do elemento. O As é encontrado em minerais de fosfato e também pode entrar no ambiente juntamente com alguns compostos de fósforo (Williams, 2000). A intoxicação crónica para todos os organismos ocorre mesmo com a ingestão de pequenas quantidades de As por um longo período de tempo. O As é cancerígeno (Manahan, 1999), afecta o crescimento das crianças e é responsável pela mortalidade infantil (Singh e Sahu, 2007).

#### **Cobalto (Co)**

A figura 18 mostra que as concentrações do Co, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram entre 2,63 e 3,11 mgL<sup>-1</sup>. A norma da OMS (1996) recomenda que as concentrações de Co para águas estuarinas não devem exceder 2 mgL<sup>-1</sup> portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de Co acima do limite recomendado.





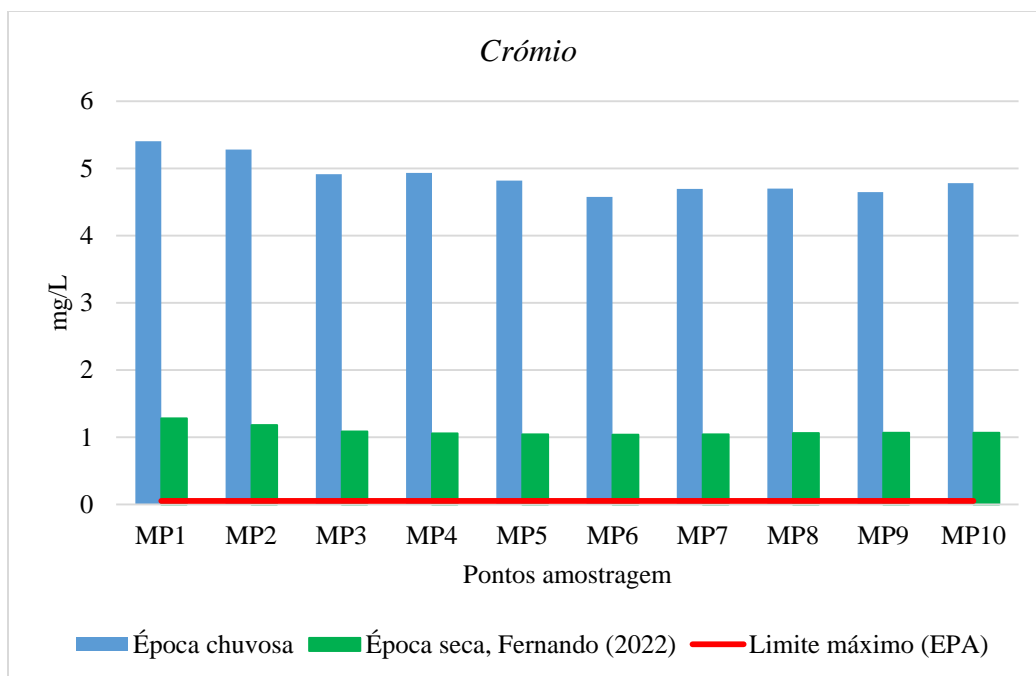
**Figura 18.** Comparação dos valores experimentais do Co das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela OMS (1996) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

Como se pode ver na figura 18, os teores de Co na estação chuvosa não apresentam uma diferença significativa quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), excepto no ponto MP7 que foi superior, evidenciando que a contaminação pelo cobalto no estuário tem valores próximos em época seca e época chuvosa com excepção do ponto MP7.

O cobalto e seus sais apresentam alta toxicidade (mesmo a curto prazo) para a vida aquática. O cobalto e seus compostos são altamente persistentes na água e no meio ambiente. O cobalto é bioacumulado ou aumenta a sua concentração ao longo do tempo nos tecidos dos peixes. A ingestão pelo homem pode causar efeitos nocivos desde a insuficiência cardíaca congénita, hiperplasia da medula, deficiência da tiróide e mutagénico (Sampaio, 2003).

### Crómio (Cr)

A figura 19 mostra que as concentrações do Cr, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram entre 4,58 e 5,40 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações de Cr para águas estuarinas não devem exceder 0,05 mgL<sup>-1</sup>, portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de Cr muito acima do limite recomendado.



**Figura 19.** Comparação dos valores experimentais do Cr das amostras de água do estuário Espírito Santo com os limites estabelecidos pela EPA e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022).

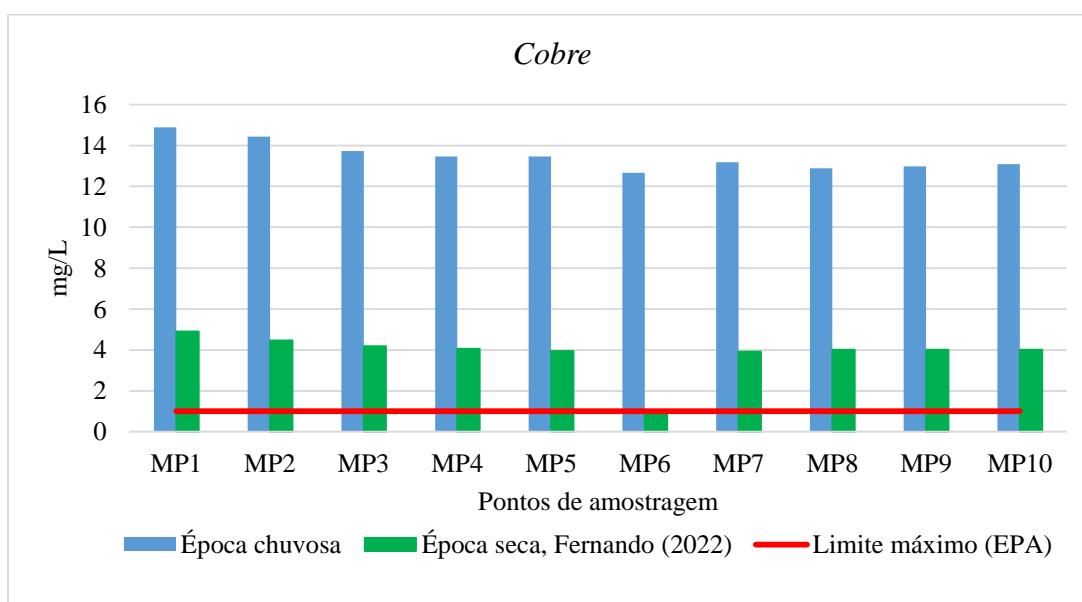
Como se pode ver na figura 19, os teores de Cr da estação chuvosa são maiores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.

As águas residuais não tratadas aumentam a contaminação do crómio no ambiente. Embora seja um micronutriente essencial para o homem, a ingestão de crómio é tóxica para o corpo humano. Geralmente a maior exposição ao Cr causa efeitos muito prejudiciais nas guelras dos peixes. O estado de oxidação do crómio afecta a absorção de crómio nas plantas. O Cr IV pode penetrar através da membrana celular e altas concentrações nas plantas podem prejudicar o seu metabolismo e crescimento (Chandra e Kulshreshtha, 2004). Quantidade excessiva de crómio prejudica o sistema respiratório e pode se tornar uma causa de doença pulmonar, assim como cancro, sensibilização da pele, distúrbios hepáticos e cardíacos que são outros efeitos causados por alto teor de crómio presente no corpo humano (Rahman e Singh, 2019).

## Cobre (Cu)

A figura 20 mostra que as concentrações do Cu, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram de 12,69 a 14,88 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações de Cu para águas estuarinas não devem exceder 1 mgL<sup>-1</sup>, portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de Cu acima do limite recomendado.

Como se pode ver na figura 20, os teores de Cu da estação chuvosa são maiores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.



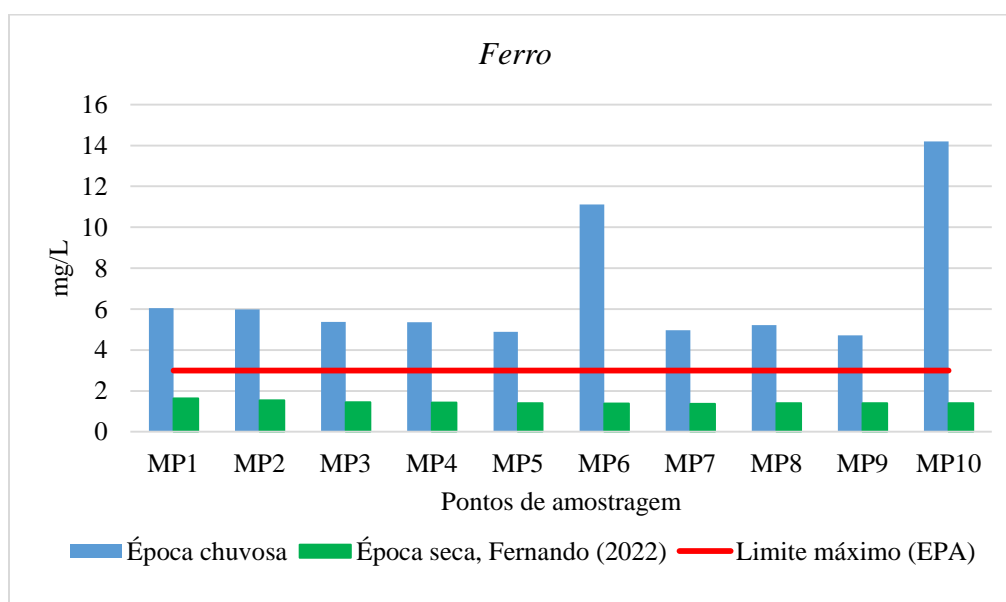
**Figura 20.** Comparação dos valores experimentais do Cu das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

Elevadas concentrações de cobre dão sabor desagradável na água e efeitos tóxicos para uma extensa variedade de formas aquáticas. Concentrações de 0,015 a 3,0 mg/L têm sido indicadas como tóxicas, em água doce, para muitas espécies tais como, crustáceos, moluscos e plâncton em geral (EPA, 2006). Os efeitos nocivos das contaminações com cobre no corpo humano, são falhas cerebrais e renais, danos no fígado, destruição de glóbulos vermelhos e podem ser transferidos para anemia grave e irritação intestinal (Mahurpawar, 2015)

## Ferro (Fe)

A figura 21 mostra que as concentrações de Fe, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram de 4,72 a 14,20 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações de Fe para águas estuarinas não devem exceder 3 mgL<sup>-1</sup>, portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de Fe acima do limite recomendado.

Como se pode ver na figura 21, os teores de Fe da estação chuvosa são maiores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.



**Figura 21.** Comparação dos valores experimentais de Fe das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

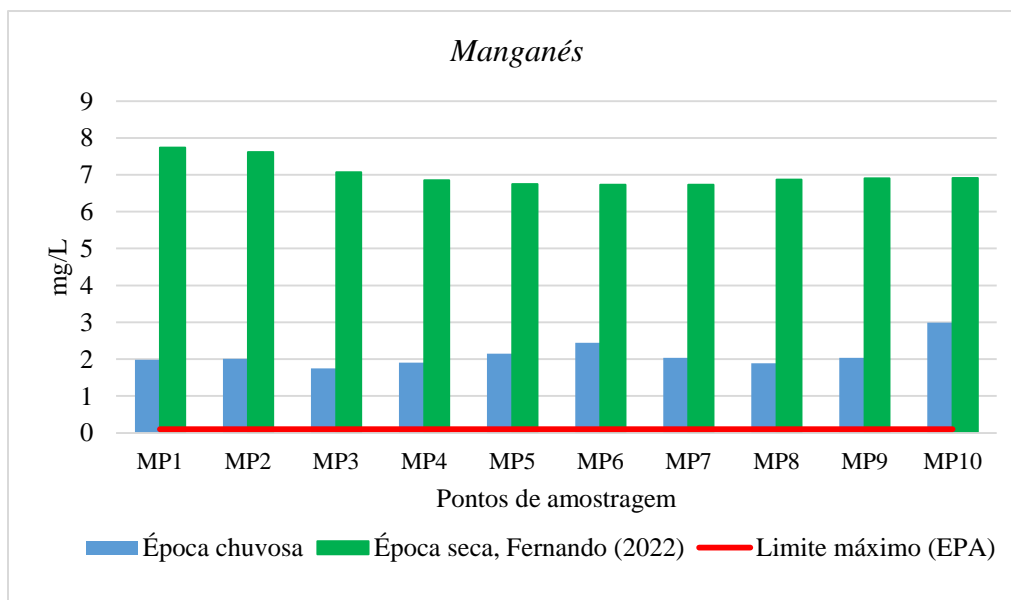
O Fe ocorre em águas naturais, oriundo da dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos. Nestes tipos de solos, a matéria orgânica decompõe-se consumindo oxigénio e produzindo gás carbónico, o qual solubiliza compostos de ferro na forma de hidróxidos. Estes compostos, quando suspensos na água podem exercer efeitos nocivos sobre peixes e outras vidas aquáticas (Sampaio, 2003). O enriquecimento de Fe em ambientes aquáticos pode causar toxicidade, representando riscos ambientais à biodiversidade local e

comprometendo a saúde humana através do consumo de água e peixes contaminados. Os efeitos nocivos no homem incluem problemas respiratórios, anemia grave, hemorragia gastrointestinal, colapso cardiovascular, coagulação, necrose hepática e falência progressiva de órgãos (Kosiorek, 2019).

### Manganês (Mn)

A figura 22 mostra que as concentrações de Mn, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram de 1,74 a 2,98 mgL<sup>-1</sup>. A norma da OMS (1996) recomenda que as concentrações de Mn para águas Estuarinas não devem exceder 0,1 mgL<sup>-1</sup>, portanto, todos os pontos apresentaram concentrações de Mn acima do limite recomendado.

Como se pode ver na figura 22, os teores de Mn da estação chuvosa são menores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.



**Figura 22.** Comparação dos valores experimentais do Mn das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela OMS (1996) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

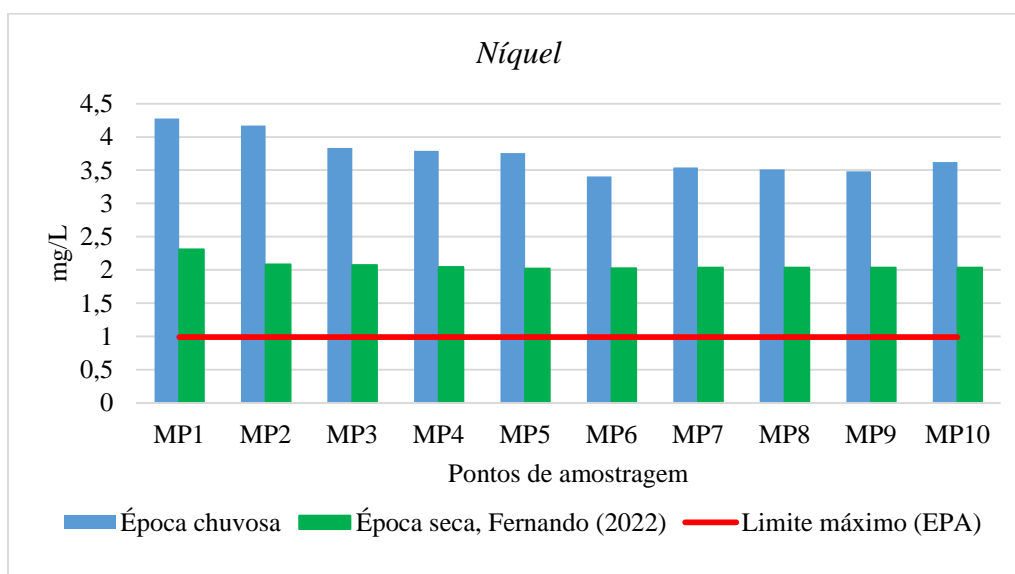
O manganês acumula-se no fígado dos peixes, pelo processo de bioacumulação, podendo assim penetrar nos mais altos níveis tróficos afectando também o Homem. A quantidade excessiva de

mangânês nos sistemas aquáticos leva à perturbação no metabolismo dos carboidratos e causa a redução na fotossíntese em plantas e danos ao sistema nervoso do homem (Gavhane *et al.*, 2021).

### Níquel (Ni)

A figura 23 mostra que as concentrações do Ni, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram de 3,40 a 4,28 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações de Ni para as águas estuarinas não devem exceder 0,99 mgL<sup>-1</sup>, portanto todos os pontos apresentaram concentrações do Ni acima do limite recomendado.

Como se pode ver na figura 23, os teores de Ni da estação chuvosa são maiores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.



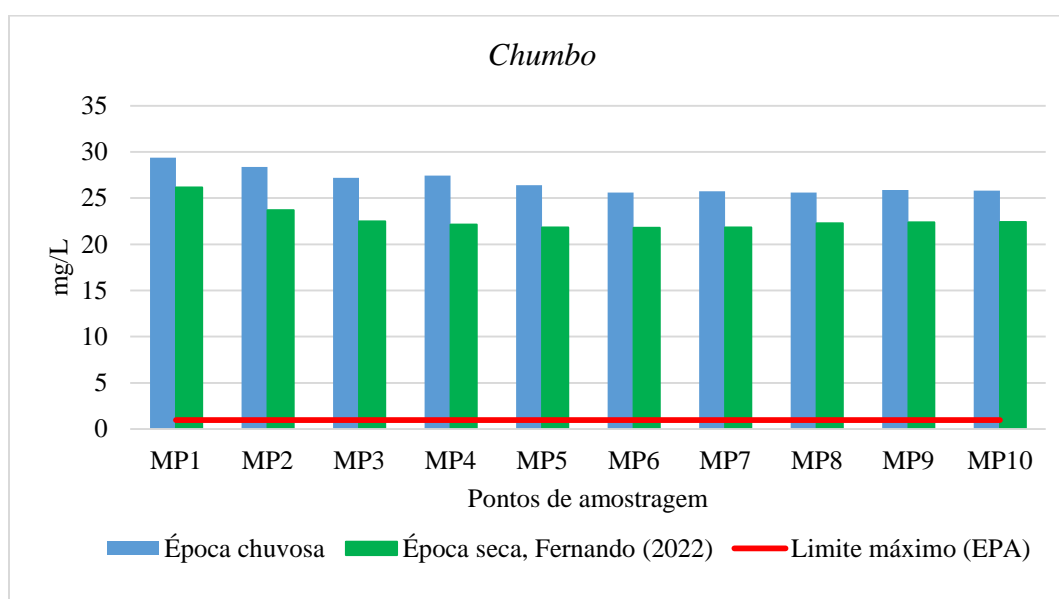
**Figura 23.** Comparação dos valores experimentais do Ni das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca

Os sais de níquel são tóxicos para a vida aquática, os níveis de toxicidade são variáveis e determinados pelo pH e efeitos sinérgicos de outros metais (Sampaio, 2003). Apesar da sua disponibilidade natural em ecossistemas estuarinos, o Ni causa efeitos nocivos às plantas e organismos marinhos (Blewet e Leonardo, 2017).

## Chumbo (Pb)

A figura 24 mostra que as concentrações do Pb, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram de 25,59 a 29,36 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações de Pb para águas estuarinas não devem exceder 0,951 mgL<sup>-1</sup>, portanto todos os pontos apresentaram concentrações do Pb acima do limite recomendado.

Como se pode ver na figura 24, os teores de Pb da estação chuvosa são maiores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.



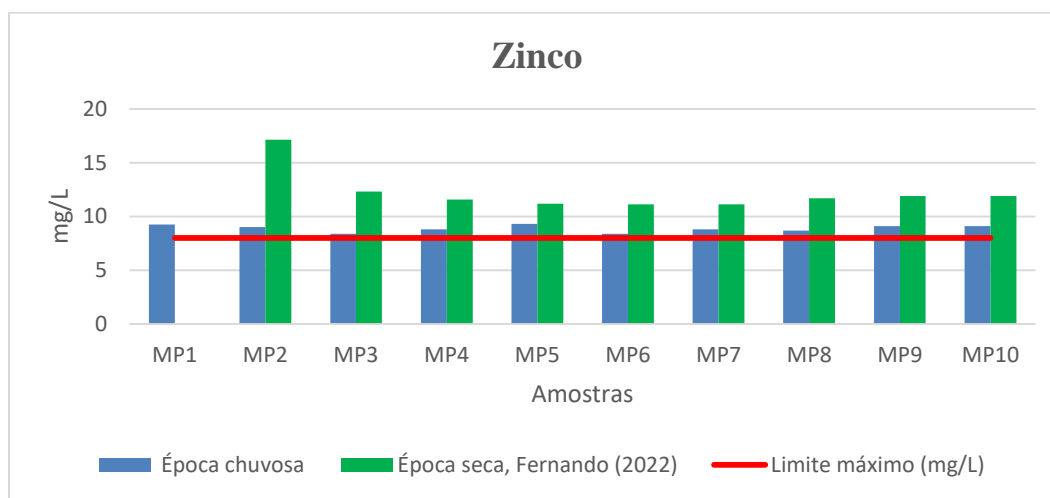
**Figura 24.** Comparação dos valores experimentais do Pb das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca.

O chumbo pode ser depositado na água do estuário, a partir da atmosfera ou da lixiviação do solo, de fontes naturais ou antropogénicas, sendo que o chumbo encontrado em águas superficiais pode estar complexado tanto com compostos orgânicos naturais (ácidos húmicos ou fúlvicos), como compostos de origem antropogénica. O chumbo é prejudicial para todos os órgãos, mas mais especificamente o pulmão (Mahurpawar, 2015). O sistema nervoso também é prejudicado pela maior quantidade de chumbo no corpo. A infertilidade nos homens, o parto

prematureo nas mulheres e o aborto espontâneo são também efeitos de níveis mais elevados de chumbo (Rahman e Singh, 2019; Singh e Sahu, 2007).

### Zinco (Zn)

A figura 25 mostra que as concentrações do Zn, nas águas do estuário do Espírito Santo variaram de 8,39 a 9,26 mgL<sup>-1</sup>. A norma da EPA (2006) recomenda que as concentrações de Zn para águas estuarinas não devem exceder 8 mgL<sup>-1</sup>, portanto todos os pontos apresentaram concentrações do Zn acima do limite recomendado.



**Figura 25.** Comparação dos valores experimentais do Zn das amostras de água do estuário Espírito Santo da época chuvosa com o limite máximo admissível estabelecido pela EPA (2006) e com os resultados obtidos pelo Fernando (2022), na época seca

Como se pode ver na figura 25, os teores de Zn da estação chuvosa são menores quando comparados com a estação seca obtidos pelo Fernando (2022), nos mesmos pontos do mesmo estuário em estudo.

O zinco é um microelemento necessário ao desenvolvimento e crescimento de plantas e animais, ocorrendo em todas as águas naturais que suportem vida aquática. A contaminação de Zn pode aumentar o risco à saúde de plantas e animais aquáticos. É, porém, em relação aos peixes e organismos aquáticos que este metal exhibe a sua maior toxicidade, provocando mudanças adversas na sua morfologia e fisiologia, obstrução das guelras, crescimento e maturação retardados e morte (Sampaio, 2003).



O zinco é adicionado no estuário por fontes naturais e antropogénicas. Os efeitos nocivos do acúmulo excessivo de zinco no homem podem causar náuseas, anemia, colesterol e também afectar o sistema imunológico (Jessica *et al.*, 2020).

Em geral, nas amostras de águas do estuário Espírito Santo, constatou-se que os metais, prata, arsénio, cobalto, crómio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco possuem concentrações acima dos limites máximos estabelecidos pela EPA (2006) e OMS (1996). Estes níveis de contaminação representam um risco aos ecossistemas aquáticos do estuário em estudo e também para o próprio homem através da cadeia trófica alimentar e dos processos de bioacumulação e biomagnificação.

No estudo realizado pelo Fernando (2022) foram obtidas concentrações de prata, cobre, crómio, manganês, chumbo, arsénio, zinco e cobalto, superiores aos limites máximos (com excepção do ferro) estabelecidos pela OMS, nos mesmos pontos do mesmo estuário.

Os resultados obtidos neste trabalho na época chuvosa foram comparados com os resultados da época seca, obtidos pelo Fernando (2022) nos mesmos pontos do estuário. A comparação mostra que a poluição por prata, manganês e zinco das águas estuarinas é maior na época seca do que na estação chuvosa, enquanto que, a poluição por arsénio, crómio, cobre, ferro, níquel e chumbo é maior na época chuvosa em relação a época seca.

A diferença nas concentrações dos metais entre a época seca e chuvosa, pode ser associada à introdução de sedimentos carregados de poluentes, incluindo os metais ou melhor, associada à distribuição dos metais no material sedimentado e em sedimentos superficiais na zona estuarina, ou ainda aos fenómenos de diluição na estação chuvosa (Júnior e Perreira, 2021).

Os elementos de maior preocupação ambiental em relação aos seus efeitos negativos à saúde das populações são o chumbo e o arsénio, e em segundo plano o níquel, crómio, cobre e cádmio (Moreira, 2012). As principais fontes de metais para as águas e os sedimentos são efluentes domésticos e industriais, além das actividades portuárias e agrícolas. Os metais pesados também são inseridos no ambiente aquático através de fontes naturais, como consequência do intemperismo de rochas e solos (Cevik *et al.*, 2009).

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 8.1. CONCLUSÕES

O objectivo geral da avaliação da qualidade do ambiente aquático do estuário Espírito Santo na Matola, na época chuvosa, foi alcançado, apesar da ausência do material de referência para a validação dos resultados das determinações dos metais por ICP-OES na análise das amostras de águas estuarinas. Da discussão para a avaliação ambiental considerando os resultados experimentais obtidos como indicativos, pode-se concluir que:

A determinação dos metais em amostras de águas estuarinas por ICP-OES, apresentou boa precisão com a excepção da prata nos pontos MP4, MP8 e MP9 e ferro nos pontos MP3, MP4, MP5 e MP10.

As concentrações dos metais analisados no presente estudo Ag, As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn, nas amostras de água do estuário do Espírito Santo, na época chuvosa ultrapassam os limites máximos estabelecidos pela EPA e/ou OMS.

Os níveis da poluição no estuário do Espírito Santo, em geral, são sazonais, ou seja, as variações da contaminação das águas estuarinas dependem da época. A poluição por Zn, Ag e Mn é maior na época seca do que na estação chuvosa, enquanto que a poluição por As, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb é maior na estação chuvosa em relação a época conforme atestam os estudos do Fernando (2022), para os mesmos pontos e mesmo estuário.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam claramente uma situação de contaminação por metais no estuário de Espírito Santo. Esta poluição apresenta um risco sério para a saúde humana, visto que pode afectar a qualidade da água e dos alimentos provenientes desse ecossistema. Além disso, representa ameaça significativa para o ecossistema aquático, causando danos à biodiversidade e aos processos ecológicos. As contaminações atribuídas a esse ambiente são provenientes de fontes difusas e pontuais, dentre esses destacam-se a navegação e o transporte marítimo, a mineração e as actividades agrícolas intensas que são desenvolvidas ao longo dos rios, assim como a descarga de efluentes industriais e resíduos urbanos, que são responsáveis pelo elevado índice de poluição.

Para proteger o ambiente em estudo e minimizar a contaminação, é importante controlar as fontes de poluição, implementar práticas de gestão sustentável da terra e da água e promover a conscientização sobre a importância da preservação desse ecossistema vital, que representa a base de sustento para a comunidade local.

## **8.2. RECOMENDAÇÕES**

Considerando as condições ambientais do estuário do Espírito Santo apresentadas neste trabalho recomenda-se:

- O monitoramento contínuo dos níveis de metais no estuário para identificar quaisquer tendências ao longo do tempo;
- Que as acções imediatas sejam tomadas para reduzir a exposição da comunidade local e da fauna aos riscos de contaminação por metais;
- A implementação de medidas de mitigação para reduzir os níveis de metais no estuário, como por exemplo, regulamentações mais rigorosas para as descargas industriais, tecnologias de tratamentos de efluentes mais eficazes e práticos de gestão ambiental;
- Envolver a comunidade local no processo de tomada de decisões e conscientização sobre os riscos associados à contaminação por metais para garantir a aceitação e a implementação bem-sucedida das medidas de mitigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, M. H., Sidi, J & Aris, A. Z. (2007). Heavy Metals ( Cd , Cu , Cr , Pb and Zn ) in *Meretrix meretrix* Roding , Water and Sediments from Estuaries in Sabah. *International Journal of Environmental & Science Education*. ISSN 1306-3065.
- APHA (1998). *Standard Methods for the examination of water and waste water*. 20<sup>th</sup> Edition. <http://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/apah.method.2320.1992.html>.
- Barbosa, R. P., Machado. C., Silva. D. A., & Galvinctio. J. (2011). *Aplicação do Índice de Proteção da Vida Aquática ( IVA ) ao Sistema estuarino da Baía de Vitória*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal Do Espírito Santo. Vitória.
- Bezerra, R. G. (2006). *Hidrodinâmica do estuário do rio choró ( cascavel / beberibe ) litoral leste do estado do ceará*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia. Universidade Federal de Ceará. Brasil.
- Blewett T.A & Leonard E.M. (2017). Mechanisms of nickel toxicity to fish and invertebrates in marine and estuarine waters. *Environmental Pollution*. 223, 311-322. DOI:[10.1016/j.ptvpol.2017.01.028](https://doi.org/10.1016/j.ptvpol.2017.01.028).
- Bene, M. (1998). *Relação entre macrobentos e avifauna no estuário de Maputo*. Trabalho de licenciatura. Faculdade de Ciências. Departamento de Ciências Biológicas. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
- Branco, P. T. D. S. (2011). *Gestão Integrada de zonas estuarinas em contexto transfronteiriço: O caso do estuário do Minho*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia. Universidade de Porto. Portugal.
- Cameron, W. M & Pritchard, D. W. (1963). *Estuaries*. In Hill, M. N (ed.), *The Sea*, New York. pp. 306–324.
- Cardoso, M. (2000). Características dos estuários. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 5. pp. 25–35.
- Çevik, F., Göksu, M., Derici, O & Findık, Ö. (2009). *An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses*. *Environ Monit Assess* 152:309–317. DOI 10.1007/s10661-008-0317-3.

- Chandra P & Kulshreshtha K. (2004). *Chromium accumulation and toxicity in aquatic vascular plants*. The Botanical Review. DOI:10.1663/0006-8101(2004)070%5B0313:CAATIA%5D2.0.CO;
- 22ª Sessão do Conselho de Ministros (2007). *Estratégia Nacional de Gestão de Recursos Hídricos*. República de Moçambique.
- Da Silva, A. B. (2000). Estuario - critério para classificação ambiental. *in Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. pp. 23-35.
- Da Silva, A. F. (2011). *Características Hidrográfica do Estuário da Beira, Moçambique*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil.
- Da Silva, J. B., Galvêncio, J. D., Carlos, A & Corrêa, D. B. (2011). Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM. *VIII Símposio Nacional de Geomorfologia*. Brasil. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i1.232689>
- Da silva, M. C. (2008). *Instrumentos de apoio à gestão de estuários*. Tese de Doutoramento. Faculdade de ciências e Tecnologias. Universidade de Lisboa. Portugal. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142008000200014>.
- De Carvalho. M. T. (2010). *Modelo de governação para os Planos de Ordenamento dos Estuários*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro. Portugal.
- Decreto no 495/73. Boletim da República. (2006, 06 de outubro). *Regulamento para a Prevenção da Poluição e Protecção do Ambiente Marinho e Costeiro*. n.º 48, I Série I. Maputo. Acedido em <https://archive.gazettes.africa/archive/mz/2006/mz-government-gazette-series-i-supplement-dated-2006-11-30-no-48.pdf>.
- Department of Environmental Affairs (2015). National estuarine management protocol. *Guidelines for the Development and Implementation of Estuarine Management Plans*. Cape Town.
- Dos Santos, A. B. (2018). *Resposta morfo-sedimentar do estuário do rio potengi aos impactos de dragagem*. Dissertação de mestrado. Universidade Federtal Do Rio Grande Natal.Brasil.
- Duarte, A. L. S., & Viera, J. M. P. (1997). *Caracterização dos Ambientes Estuarinos: mistura em estuario*. Revista Engenharia Cível. <https://hdl.handle.net/1822/2495>.

- EPA (Environmental Protection Agency) National Recommended Water Quality Criteria—Aquatic Life Criteria Table. [(acessado em 10 Dezembro 2021)]; 2020 Available online: <https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table>.
- Fernandes, L. D. F. (2001). *Transporte de poluentes em estuário*. Trabalho Final de Curso. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal.
- Fernando. C. C. (2022). *Análise da qualidade da água para a avaliação dos ambientes aquáticos dos estuários do espírito santo em Moçambique*. Trabalho Final do Curso. Departamento de Química. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
- Flegal, A.R., Rivera-Duarte, I., Sañudo-Wilhelmy, S.A. (1997). *Silver Contamination in Aquatic Environments*. In: Ware, G.W., Nigg, H.N., Bevenue, A. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 148. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2264-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2264-4_3).
- Freitas, I. G. De, Oliveira, E. B. De, & Marino, T. R. D. (2013). *Actividade mineradora e impactos ambientais em uma empresa cearense*. XVII Símposio Brasileiro da Geografia Física Aplicada. São Paulo.
- Gavhane, S.K.1., Sapkale, J.B., Susware, N.K & Sapkale S.J. (2021). Impact of Heavy Metals in Riverine and Estuarine Environment: A review. *Research Journal of Chemistry and Environment*.
- Gaze, F. N. (2005). *Tempo de Residencia na Baía Espírito Santo*. Trabalho Final de Curso. Departamento de Ecologia e Recursos Naturais. Univerisdade Federal de Espírito Santo.Brasil.
- Hou, X., Amais, R. S., Paulo, D. S., Jones, B. T & Norte, C. (2016). *Plasma Acoplado Indutivamente Espectrometria de Emissão Óptica*. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a51110.pub3>.
- INM. (2020). *Instituto Nacional de Meteorologia - Informação Climática*. Maputo.
- Jessica B., Emmanuel S., e Renald B. (2020). *Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

- Júnior, J & Pereira, R. (2021). Evolução da contaminação por metais pesados em sedimentos em área estuarina do rio capibaribe. *Revista de Geografia*. <http://orcid.org/0000-0002-7737-3206>
- Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P & Thiong'o, G. (2016). *Banana pith as a natural coagulant for polluted river water*. *Ecological Engineering*. pp. 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.001>.
- Kosiorek, M., Wyszowski M. (2019). *Effect of cobalt on the environment and living organisms*. A review. *Appl Ecol Environ Res* 17(5):11419–11449.
- Mahurpawar M. (2015). Effects of Heavy Metals On Human Health. *International Journal of Research – Granthaalayah*. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v3.i9SE.2015.3282>
- Malhadas, M. S., Ribeiro, J., Lda, H & Silva, A. (2012). Sistema integrado de simulação de cheias no Estuário do Espírito Santo (Baía de Maputo , Moçambique ). *2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica*. <https://www.researchgate.net/publication/345807073> .
- Manahan, S. (1999). *Industrial ecology: environmental chemistry and hazardous waste*. Boca Raton: CRC Press. <http://113.160.249.209:8080/xmlui/handle/123456789/7708>.
- Mocuba, J. (2014). *Oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio nas águas próximas à descarga de esgoto de Quelimane*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Marinhas e Costeiras. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo. <https://doi.org/10.13140/2.1.1504.9288>.
- Moreira, L. (2012). Caracterização da contaminação metálica e adequação da *Spartina alterniflora* como espécie bioindicador de contaminação no estuário da Lagoa dos Patos: base para a gestão ambiental do estuário. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. Brasil.
- Morford, J.L., Kalnejais, L.H., Helman, P., Yen, G., Reinard, M., 2008. *Geochemical cycling of silver in marine sediments along an offshore transect*. *Marine Chemistry*. pp. 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2008.02.008>.
- Neff J.M. (1997). Ecotoxicology of arsenic in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*. <https://www.researchgate.net/publication/229608565>.
- Neto, J. M., Caçador, I., Miguel, C., Lino, C. P. C., Ana, M. M. G., Lígia, P., Leonel, P., Jaime, R. & Sónia, S. (2022). *Estuáris*. (Pombalina.uc.pt (ed.)). Imprensa da



Universidade de Coimbra. [https://doi.org/https://doi.org/10.14195/978-989-26-1624-7\\_16](https://doi.org/https://doi.org/10.14195/978-989-26-1624-7_16).

- NOS. (2007). *Welcome to Estuaries*. NOAA's National Ocean Service. <http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/estuaries/welcome.html> (1 of 2)9/25/2007 11:52:16 AM.
- Paturej, E. (2008). *Estuaries – types , role and impact on human life*. Biology and Environmental Protection Pomeranian.
- Pinheiro, R. D. (2003). *Análise do comportamneto hidrodinamico e sedimentologico do estuario do rio Piranji*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. Pritchard, D. W. (1952) *Estuarine hydrography*. Adv. Geophys. **1**. pp. 243–280.
- Pritchard, D. W. (1952). *Estuarine hydrography*. Marine Sciences Research Center. Adv. Geophys. 1. pp. 243–280.
- Pritchard, D. W. (1955). *Estuarine circulation patterns*. Marine Sciences Research Center. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 81(717). pp. 1–11.
- Rahman Z. and Singh V.P. (2019). *The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg) and lead (Pb)) on the total environment: an overview*. Environmental Monitoring and Assessment, 191(7), 419.
- Sampaio, A. C. S. (2003). *Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do alto Paraguai*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Tecnologias Ambientais. Universidade Federal de Mato Grosso do Su. Campo Grande.
- Singh, N., Sahu, A & Kumar, D. (2007). *Arsenic in the Environment: Effects on Human Health and Possible Prevention*. *Journal of environmental biology / Academy of Environmental Biology*. India.
- Squire, S., Scelfo, G.M., Revenaugh, J., Flegal, A.R. (2002). *Decadal trends of silver and lead contamination in San Francisco Bay surface waters*. Environmental Science and Technology 36, 2379e2386.
- Su., P. (2012). *Sorption of Metal Ions to Wood, Pulp and Bark Materials*. Åbo Akademi University. Department of Chemical Engineering. Finland. [https://www.researchgate.net/publication/268258151\\_Sorption\\_of\\_Metal\\_Ions\\_to\\_Wood\\_Pulp\\_and\\_Bark\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/268258151_Sorption_of_Metal_Ions_to_Wood_Pulp_and_Bark_Materials)



- Tordo, S. F., Thrush, S. F., Townsend, M., Hewitt, J. E., Davies, K., Lohrer, A. M., Lundquist, C., & Cartner, K. (2014). *Machine Translated by Google Os muitos usos e valores dos ecossistemas estuarinos Machine Translated by Google.*
- Valle-Levinson, A. (2012). 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>.
- Webb, N. A., Shaw, J. R., Morgan, J., Hogstrand, C & Wood, C. M. (2001). Acute and chronic physiological effects of silver exposure in three marine teleosts. *Aquatic Toxicology*. 54(3–4), 161–178. [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(01\)00150-3](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(01)00150-3)
- Vicente, A. M. M. (2012). *Efeitos adversos de contaminantes estuarinos em células humanas : avaliação da genotoxicidade e desregulação endócrina Efeitos adversos de contaminantes estuarinos em células humanas : avaliação da genotoxicidade e desregulação endócrina.*
- Victoria, P & Boulton, A. (2021). *Assessment of Victoria ' s estuaries using the Index of Estuary Condition : Background and Methods.*
- WHO, (1996). Guidelines for drinking water quality. *Health Criteria and Other Supporting Information*. (pp. 940–949) and Addendum to Vol. 2. 1998 (pp. 281–283). World Health Organisation, Geneva.
- Williams. A. L. (2000). Multiple Oppositions: Case Studies of Variables in Phonological. *Intervention American Journal of Speech-Language Pathology*. DOI:10.1044/1058-0360.0904.289. ISSN:1058-0360.

# Anexos

**Anexo 1:** Dados das leituras de intensidades nas duas réplicas para cada ponto de amostragem.

**Tabela 1.** Dados brutos da determinação do Ag nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES.

Amostra	Réplica	Intensidade	Concentração	Concentração média	DP	%RSD	sxy
	1	943,9441	4,6385				
<b>MP1</b>	2	923,7256	4,4536	4,5460	0,1307	2,8753	211,6052
	1	1055,161	5,6553				
<b>MP2</b>	2	1043,705	5,5506	5,6030	0,0740	1,3218	211,6052
	1	856,2329	3,8365				
<b>MP3</b>	2	857,1181	3,8446	3,8406	0,0057	0,1490	211,6052
	1	1040,267	5,5156				
<b>MP4</b>	2	887,8841	4,1256	4,8225	0,9851	20,4284	211,6052
	1	997,4862	5,1280				
<b>MP5</b>	2	1035,746	5,4778	5,3029	0,2473	4,6644	211,6052
	1	1017,834	5,3141				
<b>MP6</b>	2	1058,673	5,6879	5,5008	0,2640	4,7998	211,6052
	1	976,7177	4,9381				
<b>MP7</b>	2	986,5179	5,0277	4,9829	0,0633	1,2715	211,6052
	1	1013,127	5,2710				
<b>MP8</b>	1	1093,624	6,0070	5,6390	0,5204	9,2289	211,6052
	1	933,4255	4,5423				
<b>MP9</b>	2	864,7681	3,9146	4,2284	0,4438	10,497	211,6052
	1	872,2126	3,9826				
<b>MP10</b>	2	874,3787	4,0024	3,9926	0,0140	0,3507	211,6052

**Tabela 2.** Dados brutos da determinação do As nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra		Intensidade	Concentração	Concentração média	DP	%RSD	sxy
	1	118,5945	91,3536				
<b>MP1</b>	2	118,9692	91,6908	91,5222	0,2383	0,2604	3,8444
	1	116,91	89,8380				
<b>MP2</b>	2	116,4489	89,4231	89,6306	0,2933	0,3273	
	1	112,6706	86,0235				
<b>MP3</b>	2	111,8917	85,3227	85,6731	0,4955	0,5784	
	1	112,2937	85,6844				
<b>MP4</b>	2	111,5947	85,0555	85,3699	0,4447	0,5209	
	1	109,918	83,5468				
<b>MP5</b>	2	110,6745	84,2275	83,8872	0,4813	0,5737	
	1	107,378	81,2614				
<b>MP6</b>	2	106,5606	80,5260	80,8937	0,5200	0,6428	
	1	108,2501	82,0461				
<b>MP7</b>	2	108,5386	82,3057	82,1759	0,1835	0,2233	
	1	107,4202	81,2994				
<b>MP8</b>	1	107,7028	81,5537	81,4265	0,1797	0,2208	
	1	108,9679	82,6920				
<b>MP9</b>	2	107,8873	81,7197	82,2058	0,6875	0,8363	
	1	108,767	82,5112				
<b>MP10</b>	2	108,1217	81,9306	82,2209	0,4105	0,4993	

**Tabela 3.** Dados brutos da determinação do Co nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra		Intensidade	Concentração	Média da concentração	DP	%RSD	sxy
	1	393,8793	3,1330				
<b>MP1</b>	2	390,5509	3,0910	3,1120	0,0297	0,9548	216,2180
	1	384,7109	3,0173				
<b>MP2</b>	2	385,5138	3,0274	3,0223	0,0072	0,2372	
	1	371,2009	2,8467				
<b>MP3</b>	2	373,5451	2,8763	2,8615	0,0209	0,7313	
	1	372,2203	2,8596				
<b>MP4</b>	2	374,9018	2,8934	2,8765	0,0239	0,8322	
	1	366,5640	2,7882				
<b>MP5</b>	2	367,7967	2,8037	2,7959	0,0110	0,3936	
	1	358,3637	2,6846				
<b>MP6</b>	2	354,2245	2,6324	2,6585	0,0370	1,3899	
	1	363,5573	2,7502				
<b>MP7</b>	2	364,7292	2,7650	2,7576	0,0105	0,3794	
	1	360,1438	2,7071				
<b>MP8</b>	1	361,1752	2,7201	2,7136	0,0092	0,3393	
	1	360,5748	2,7125				
<b>MP9</b>	2	356,6990	2,6636	2,6881	0,0346	1,2872	
	1	365,8053	2,7786				
<b>MP10</b>	2	367,3940	2,7986	2,7886	0,0142	0,5086	

**Tabela 4.** Dados brutos da determinação do Cr nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra	Réplica	Intensidade	Concentração	Média da concentração	DP	%RSD	sxy
	1	602,5157	5,3925				
<b>MP1</b>	2	604,5758	5,4187	5,4056	0,0185	0,3422	223,6838
	1	600,4897	5,3668				
<b>MP2</b>	2	586,8853	5,1941	5,2804	0,1221	2,3131	
	1	564,1854	4,9059				
<b>MP3</b>	2	565,0628	4,9170	4,9114	0,0079	0,1604	
	1	564,8053	4,9137				
<b>MP4</b>	2	567,9794	4,9540	4,9339	0,0285	0,5776	
	1	556,1351	4,8036				
<b>MP5</b>	2	558,4154	4,8326	4,8181	0,0205	0,4249	
	1	541,8706	4,6225				
<b>MP6</b>	2	534,4678	4,5285	4,5755	0,0665	1,4526	
	1	547,5496	4,6946				
<b>MP7</b>	2	547,6389	4,6958	4,6952	0,0008	0,0171	
	1	546,8345	4,6856				
<b>MP8</b>	1	548,9271	4,7121	4,6988	0,0188	0,3998	
	1	546,7063	4,6839				
<b>MP9</b>	2	541,0176	4,6117	4,6478	0,0511	1,0989	
	1	554,3218	4,7806				
<b>MP10</b>	2	554,2613	4,7799	4,7802	0,0005	0,0114	

**Tabela 5.** Dados brutos da determinação do Cu nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra		Intensidade	Concentração	Média da concentração	DP	%RSD	sxy
	1	282,8062	14,9392				
<b>MP1</b>	2	281,3040	14,8281	14,8836	0,0785	0,5276	54,9634
	1	275,2454	14,3802				
<b>MP2</b>	2	276,6601	14,4848	14,4325	0,0740	0,5124	
	1	266,0936	13,7036				
<b>MP3</b>	2	266,8901	13,7625	13,7330	0,0416	0,3032	
	1	266,3473	13,7223				
<b>MP4</b>	2	267,9144	13,8382	13,7803	0,0819	0,5945	
	1	262,9645	13,4722				
<b>MP5</b>	2	262,6745	13,4508	13,4615	0,0152	0,1126	
	1	253,2774	12,7561				
<b>MP6</b>	2	251,7359	12,6421	12,6991	0,0806	0,6346	
	1	259,9941	13,2526				
<b>MP7</b>	2	258,1948	13,1196	13,1861	0,0941	0,7133	
	1	254,5741	12,8519				
<b>MP8</b>	1	255,4036	12,9132	12,8826	0,0434	0,3366	
	1	258,0567	13,1094				
<b>MP9</b>	2	255,0141	12,8845	12,9969	0,1591	1,2238	
	1	257,6892	13,0822				
<b>MP10</b>	2	257,6421	13,0787	13,0805	0,0025	0,0188	

**Tabela 6.** Dados brutos da determinação do Fe nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra		Intensidade	Concentração	Média da concentração	DP	%RSD	sxy
	1	1085,1270	5,9948				
<b>MP1</b>	2	1098,6740	6,0877	6,0413	0,0657	1,0874	376,5052
	1	1094,0560	6,0561				
<b>MP2</b>	2	1071,1210	5,8988	5,9774	0,1112	1,8607	3645,2600
	1	936,2497	4,9738				
<b>MP3</b>	2	1052,6200	5,7719	5,3728	0,5643	10,5034	3645,2600
	1	941,9893	5,0132				
<b>MP4</b>	2	1040,4020	5,6881	5,3506	0,4772	8,9195	3645,2600
	1	872,6875	4,5379				
<b>MP5</b>	2	975,7154	5,2445	4,8912	0,4996	10,2149	3645,2600
	1	1851,2750	11,2492				
<b>MP6</b>	2	1811,0080	10,9730	11,1111	0,1953	1,7575	3645,2600
	1	912,7022	4,8123				
<b>MP7</b>	2	958,8409	5,1287	4,9705	0,2237	4,5015	3645,2600
	1	946,1147	5,0415				
<b>MP8</b>	1	998,5221	5,4009	5,2212	0,2541	4,8676	3645,2600
	1	887,5072	4,6395				
<b>MP9</b>	2	911,2448	4,8023	4,7209	0,1151	2,4384	3645,2600
	1	2476,2400	15,5353				
<b>MP10</b>	2	2086,8410	12,8647	14,2000	1,8884	13,2984	3645,2600



**Tabela 7.** Dados brutos da determinação do Mn nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

<b>Amostra</b>	<b>Réplica</b>	<b>Intensidade</b>	<b>Concentração</b>	<b>Média da concentração</b>	<b>DP</b>	<b>%RSD</b>	<b>sxy</b>
	1	1230,1820	1,9887				
<b>MP1</b>	2	1218,6870	1,9654	1,9770	0,0165	0,8337	1311,0290
	1	1230,5080	1,9893				
<b>MP2</b>	2	1251,6340	2,0322	2,0107	0,0303	1,5065	3645,2600
	1	1134,2730	1,7942				
<b>MP3</b>	2	1090,0990	1,7046	1,7494	0,0633	3,6205	3645,2600
	1	1226,9670	1,9821				
<b>MP4</b>	2	1150,0660	1,8262	1,9042	0,1103	5,7906	3645,2600
	1	1308,3010	2,1471				
<b>MP5</b>	2	1309,5770	2,1497	2,1484	0,0018	0,0852	3645,2600
	1	1436,3220	2,4067				
<b>MP6</b>	2	1465,6420	2,4661	2,4364	0,0420	1,7255	3645,2600
	1	1297,0310	2,1242				
<b>MP7</b>	2	1212,5250	1,9529	2,0385	0,1212	5,9438	3645,2600
	1	1185,4470	1,8980				
<b>MP8</b>	1	1180,4540	1,8878	1,8929	0,0072	0,3782	3645,2600
	1	1246,8140	2,0224				
<b>MP9</b>	2	1266,2030	2,0617	2,0421	0,0278	1,3614	3645,2600
	1	1678,9830	2,8987				
<b>MP10</b>	2	1768,9370	3,0811	2,9899	0,1290	4,3138	3645,2600

**Tabela 8.** Dados brutos da determinação do Pb nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra		Intensidade	Concentração	Média da concentração	DP	%RSD	sxy
	1	232,5957	29,3985				
<b>MP1</b>	2	232,1905	29,3285	29,3635	0,0495	0,1687	26,5111
	1	226,5278	28,3496				
<b>MP2</b>	2	226,9826	28,4282	28,3889	0,0556	0,1958	26,5111
	1	220,4480	27,2986				
<b>MP3</b>	2	219,2672	27,0945	27,1965	0,1443	0,5307	26,5111
	1	220,7860	27,3570				
<b>MP4</b>	2	221,6559	27,5074	27,4322	0,1063	0,3876	26,5111
	1	214,7442	26,3126				
<b>MP5</b>	2	215,7100	26,4796	26,3961	0,1181	0,4472	26,5111
	1	212,2081	25,8742				
<b>MP6</b>	2	209,0015	25,3199	25,5970	0,3920	1,5313	26,5111
	1	211,3860	25,7321				
<b>MP7</b>	2	211,4916	25,7503	25,7412	0,0129	0,0501	26,5111
	1	210,5414	25,5861				
<b>MP8</b>	1	210,5939	25,5952	25,5906	0,0064	0,0251	26,5111
	1	214,2801	26,2324				
<b>MP9</b>	2	210,3302	25,5496	25,8910	0,4828	1,8648	26,5111
	1	211,4062	25,7356				
<b>MP10</b>	2	212,1546	25,8650	25,8003	0,0915	0,3546	26,5111

**Tabela 9.** Dados brutos da determinação do Cu nas amostras dos estuários Espírito Santo ICP- OES

Amostra		Intensidade	Concentração	Média da concentração	DP	%RSD	sxy
	1	426,0886	9,3072				
<b>MP1</b>	2	422,0803	9,2185	9,2629	0,0627	0,6769	60,9140
	1	419,3423	9,1580				
<b>MP2</b>	2	413,7033	9,0332	9,0956	0,0882	0,9698	3645,2600
	1	382,3322	8,3392				
<b>MP3</b>	2	387,1355	8,4455	8,3924	0,0751	0,8953	3645,2600
	1	406,9650	8,8841				
<b>MP4</b>	2	400,9602	8,7513	8,8177	0,0939	1,0652	3645,2600
	1	413,0087	9,0178				
<b>MP5</b>	2	414,1593	9,0433	9,0306	0,0180	0,1993	3645,2600
	1	385,2262	8,4032				
<b>MP6</b>	2	385,1491	8,4015	8,4024	0,0012	0,0144	3645,2600
	1	401,7448	8,7687				
<b>MP7</b>	2	404,9400	8,8394	8,8040	0,0500	0,5677	3645,2600
	1	398,5355	8,6977				
<b>MP8</b>	1	397,2319	8,6688	8,6833	0,0204	0,2348	3645,2600
	1	418,7214	9,1442				
<b>MP9</b>	2	415,6962	9,0773	9,1108	0,0473	0,5194	3645,2600
	1	417,8397	9,1247				
<b>MP10</b>	2	418,6999	9,1437	9,1342	0,0135	0,1473	3645,2600

Anexo 2: Curvas analíticas obtidas por ICP-OES.

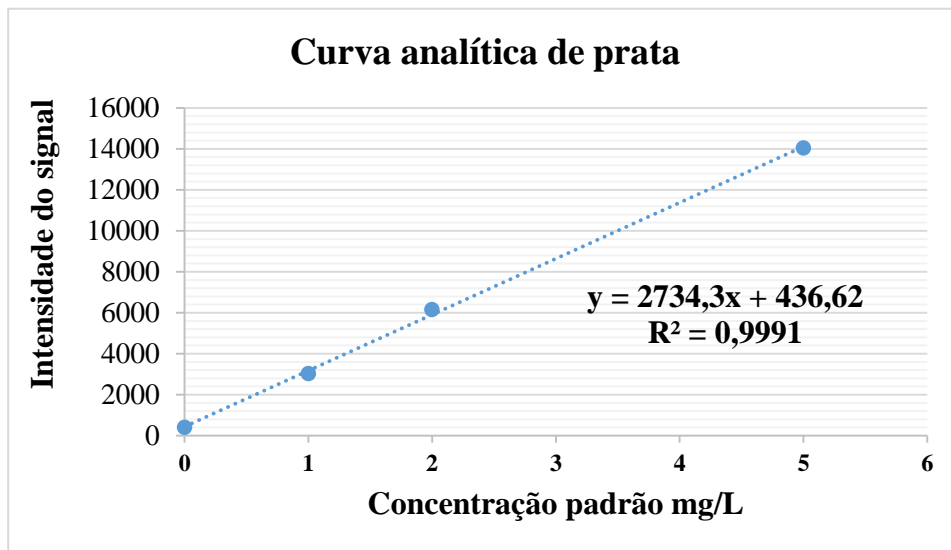


Figura 1. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação da Ag.

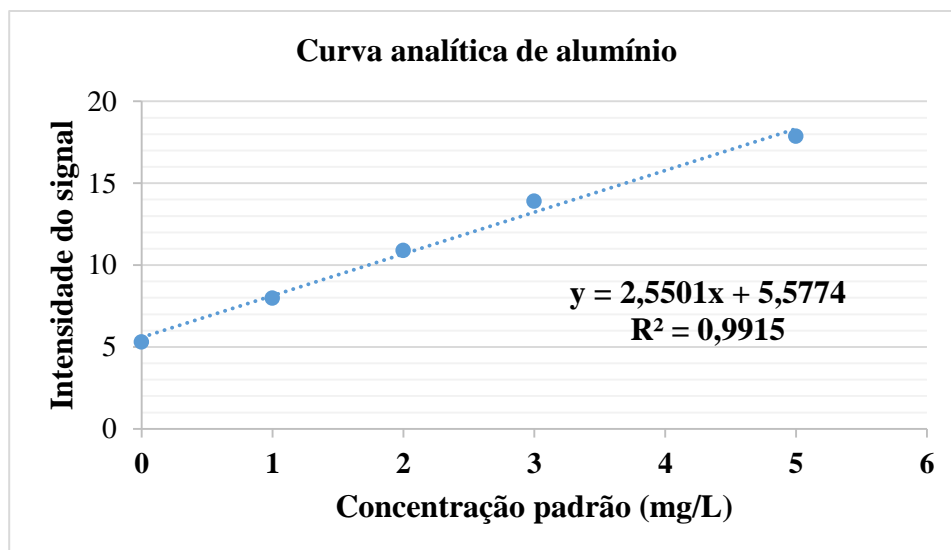


Figura 2. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação da Al.

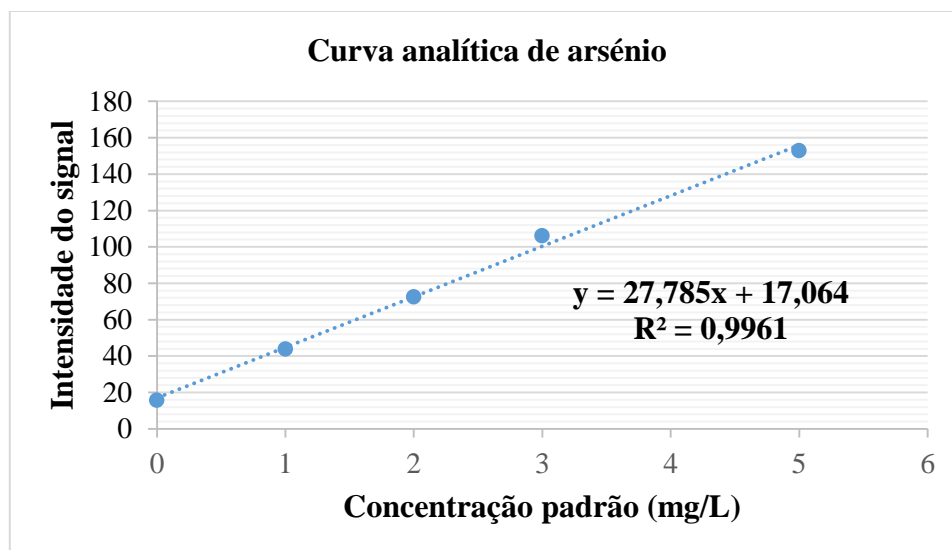


Figura 3. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do As.

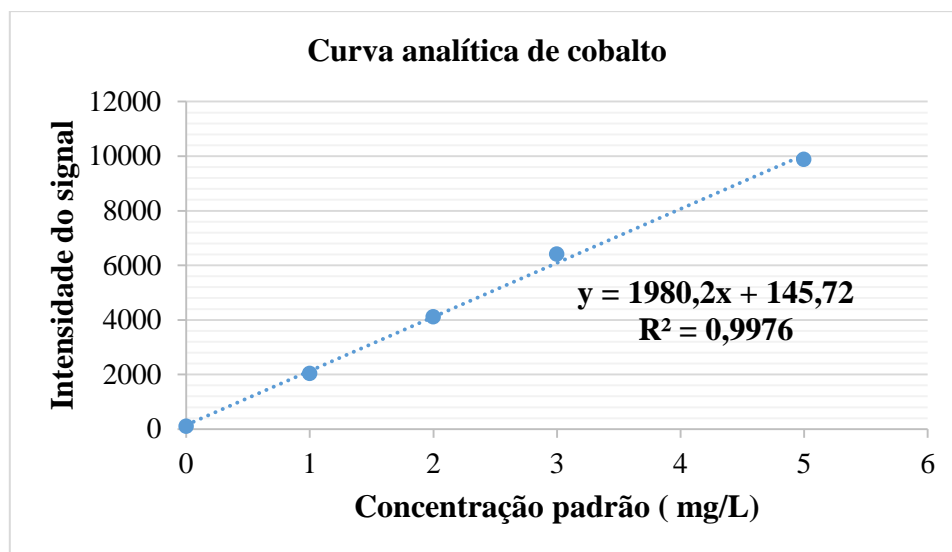


Figura 4. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Co.

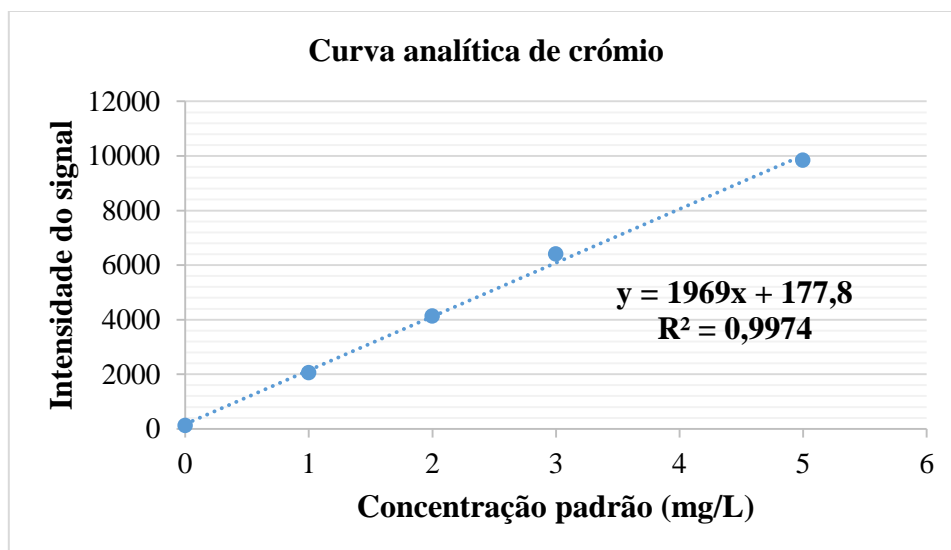


Figura 5. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Cr.

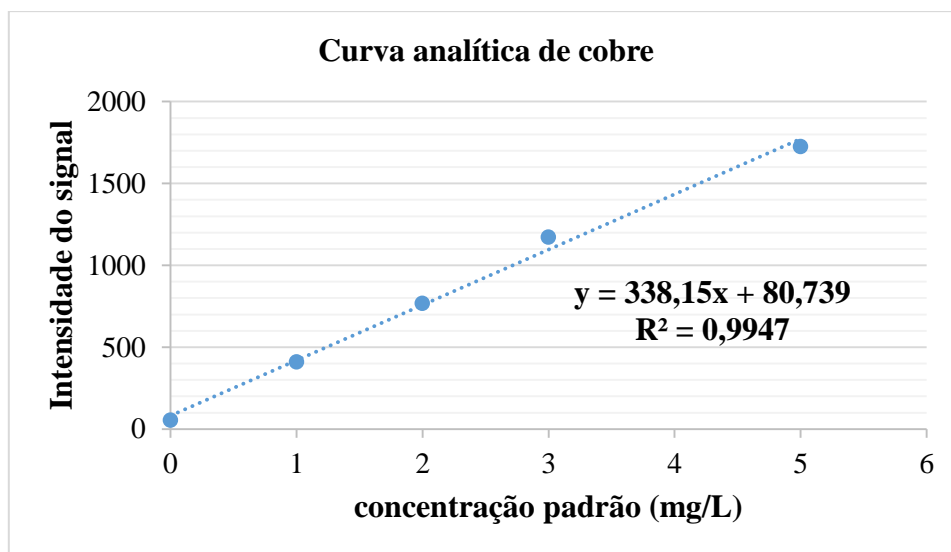


Figura 6. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Cu.

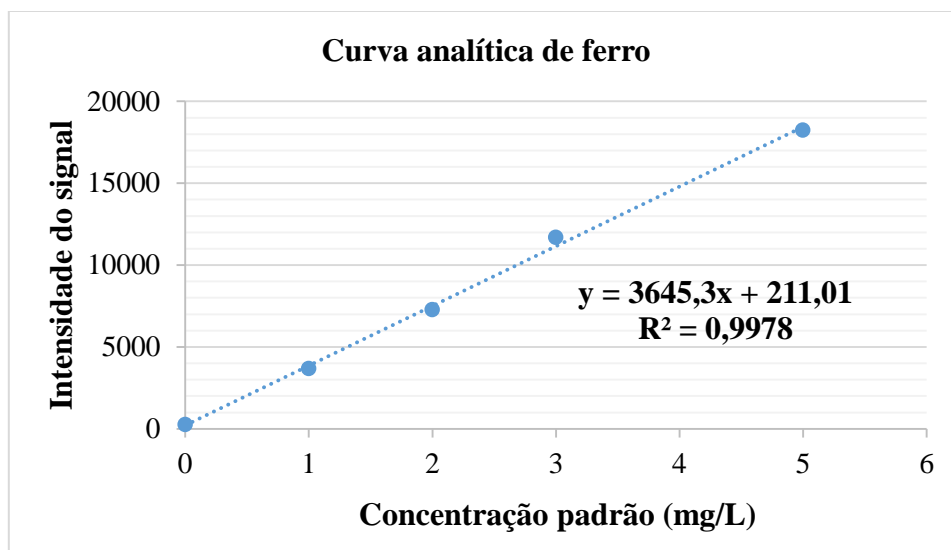


Figura 7. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Fe.

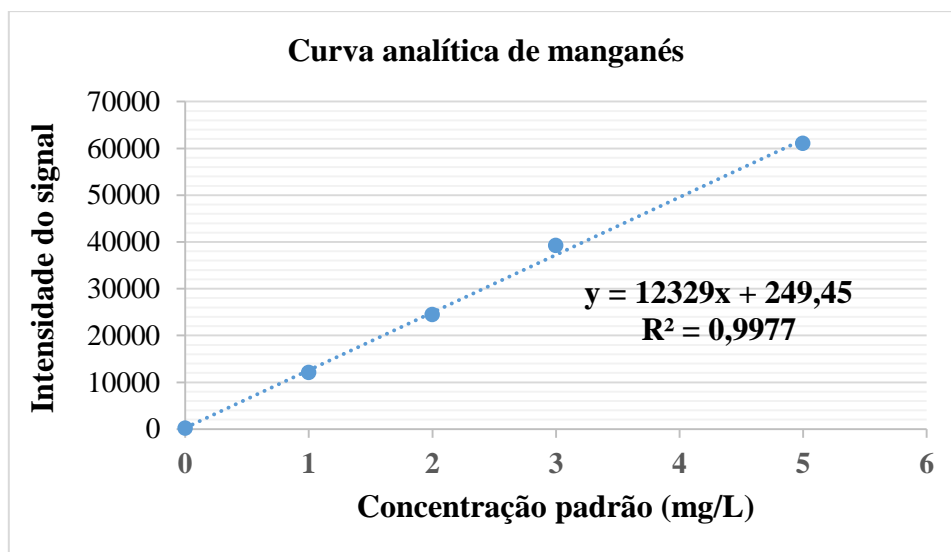


Figura 8. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Mn.

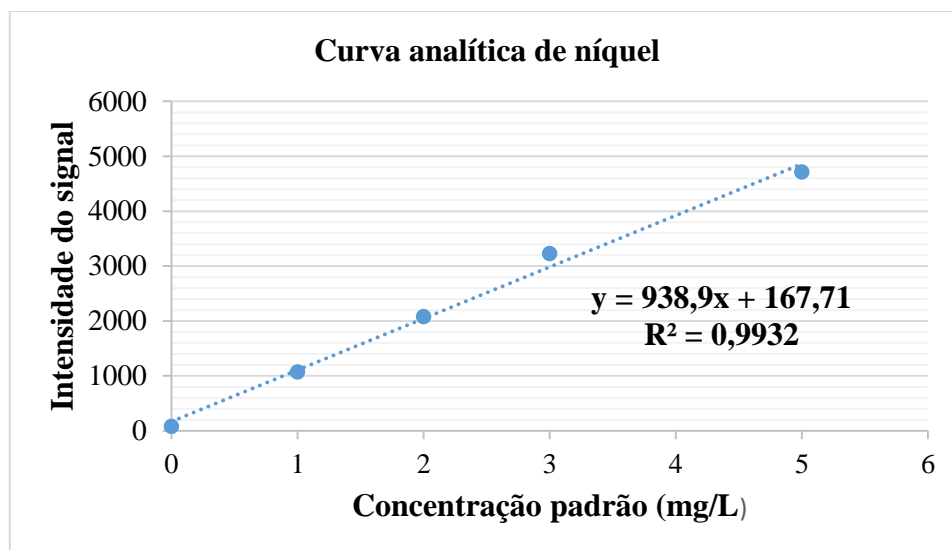


Figura 9. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Ni.

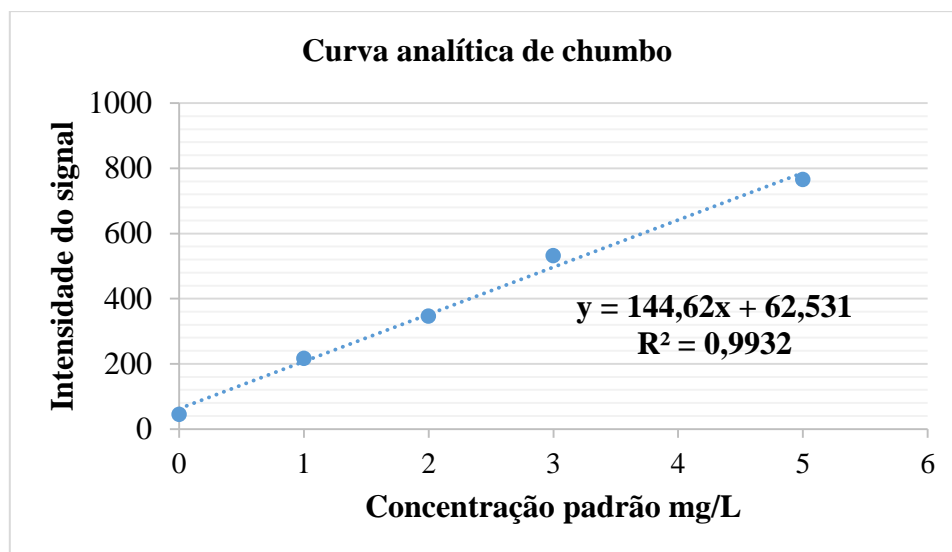
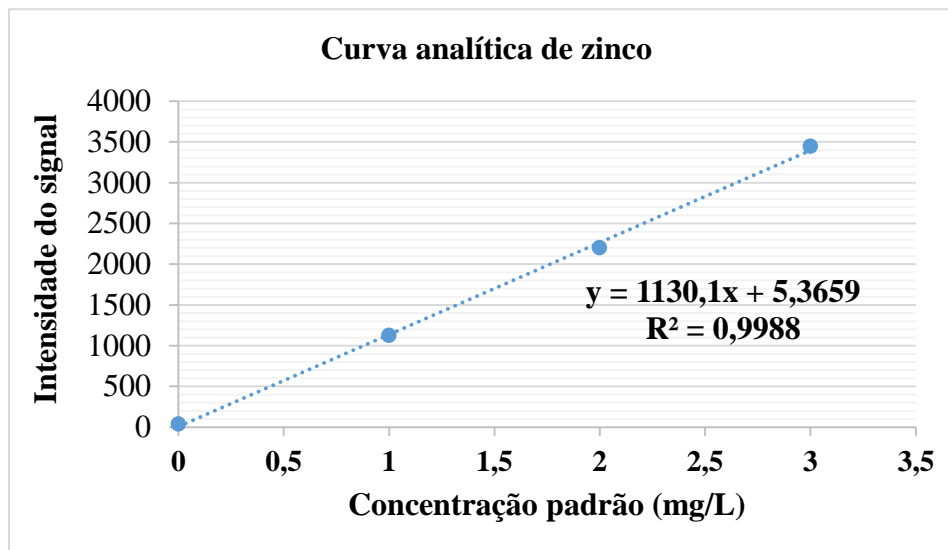


Figura 10. Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Pb.





**Figura 11.** Curva analítica obtida pelo método ICP- OES para determinação do Zn.