



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

TEMA:

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS SOBRE O RIO REVUÉ  
PELA MINERAÇÃO ARTESANAL**

**Autor:**

Jacinto, Edite Muera Sebastião

**Supervisor:**

Mestre Noor Jehan Gulamussen

**Co-supervisor:**

Mestre Sérgio Chibute

Maputo, Outubro de 2025



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**TEMA:**

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS SOBRE O RIO REVUÉ  
PELA MINERAÇÃO ARTESANAL**

**Autor:**

Jacinto, Edite Muera Sebastião

**Supervisor:**

Mestre Noor Jehan Gulamussen

**Co-supervisor:**

Mestre Sérgio Chibute

Maputo, Outubro de 2025



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUIMICA**

**TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA**

Declaro que o estudante \_\_\_\_\_  
Entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/20\_\_ as \_\_\_\_ cópias do relatório do seu Trabalho de  
Licenciatura com a referencia: \_\_\_\_\_ Intitulado: **Avaliação dos Impactos  
Ambientais causados sobre o Rio Revué pela Mineração Artesanal.**

Maputo, aos \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2025

A Chefe da Secretaria

\_\_\_\_\_

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Eu, Edite Muera Sebastião Jacinto, declaro por minha honra que o trabalho apresentado em seguida foi realizado com base nos conhecimentos adquiridos ao longo do curso e nos documentos e referências citadas no mesmo.

Maputo, Outubro de 2025

A autora

---

(Edite Muera Sebastião Jacinto)

## **DEDICATÓRIA**

Pelo carinho, afecto, dedicação, cuidado que me deram durante toda a minha existência, e por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade durante todo o meu percurso académico dedico esta monografia aos meus pais, Joaquim Sebastião Jacinto e Cristina Rodrigues Jacinto, com muita gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus todo poderoso, pela vida, por me guiar e por me direccionar, ao longo do curso;

À minha supervisora Mestre, Noor Jehan Gulamussen pela oportunidade e confiança, pelos ensinamentos, pela paciência, pela compreensão e pelo acompanhamento na realização do trabalho;

Ao meu co-supervisor Mestre, Sérgio Chibute pelo apoio, pelo acompanhamento e por partilhar perspectivas interessantes e independentes, que contribuíram no desenvolvimento do trabalho, o meu reconhecimento;

À minha família, por acreditar em mim, pelo apoio incondicional, pelo cuidado e pela constante motivação;

Aos meus colegas de curso, com quem convivi ao longo deste percurso académico, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer, não só como pessoa, mas também como formando.

À todos os docentes e funcionários do Departamento de Engenharia Química, quero deixar exposto o meu reconhecimento e gratidão.

À todos que participaram e contribuíram, directa ou indirectamente, para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A água é um bem precioso, indispensável para a vida humana e para a sustentabilidade do ambiente. Mesmo ciente, o Homem continua a usá-la de forma descontrolada, alterando a sua qualidade e prejudicando a si próprio, bem como, os outros seres vivos que dela dependem. O nosso país, embora esteja ainda em via de desenvolvimento, tem contribuído consideravelmente na poluição das águas por meio da mineração artesanal, pois os mecanismos para o seu tratamento são escassos. Face a essa situação, o presente trabalho propõe a avaliação dos impactos gerados pela mineração artesanal no rio Revuè, necessária de modo a fornecer uma visão clara em termos da significância dos metais e impactos, bem como, propor soluções para melhor gestão das áreas em mineração artesanal.

O presente trabalho tem como objectivos, identificar as principais áreas da actividade mineira artesanal ao longo do rio Revuè, validar o método de Fluorescência de Raio X e o de ICP-OES, avaliar a concentração dos metais pesados nos sedimentos, avaliar as propriedades físico-químicas da água e propôr medidas de mitigação do impacto ambiental resultante da mineração artesanal.

A metodologia usada baseou-se no procedimento experimental, que consistiu no levantamento e tratamento amostral, realizada em 12 pontos, ao longo do rio Revuè, partindo da nascente do rio até à barragem de Chicamba e no rio Vanduzi (ponto de referência), analisadas através de dois métodos, à Fluorescência de raio X e a ICP-OES e validadas através de materiais de referência (SARM 4, 46 e 52 e BCSS-1) e por fim a consequente avaliação dos metais e dos impactos ambientais. Os resultados mostram que o método XRF em detrimento do ICP-OES, é válido para determinação de metais pesados em sedimentos do rio Revuè. A mineração artesanal tem pouca influência no pH na área estudada, visto que tanto a montante (pH= 6.89) e a jusante (pH=8.45) do rio, o pH está muito próximo da neutralidade e a CE (33 – 92  $\mu$ S/cm) é elevada pela actividade mineira ao longo do rio Revuè. Feita a avaliação, observou-se que a consciencialização dos garimpeiros, bem como da comunidade é fundamental para a manutenção do meio ambiente e da sub-bacia do Revuè.

**Palavras-chave:** Rio Revu ; Metal pesado; Sedimento de rio; Material de referência; Impacto ambiental.

## **ABSTRACT**

Water is a precious resource, essential for human life and environmental sustainability. Even being aware of this, humans continue to use it uncontrollably, altering its quality and harming themselves as well as other living beings that depend on it. Our country, although still developing, has contributed considerably to water pollution through artisanal mining, as the mechanisms for its treatment are scarce. Given this situation, the present work proposes an assessment of the impacts generated by artisanal mining in the Revuè River, necessary in order to provide a clear view regarding the significance of the metals and their impacts, as well as to propose solutions for better management of artisanal mining areas.

The objectives of this study are to identify the main areas of artisanal mining activity along the Revuè River, validate the X-Ray Fluorescence and ICP-OES methods, and evaluate the concentration of heavy metals to assess the concentration of heavy metals in sediments, evaluate the physicochemical properties of the water, and propose measures to mitigate the environmental impact resulting from artisanal mining. The methodology used was based on the experimental procedure, which consisted of sample collection and treatment, carried out at 12 points along the Revuè River, from the river's source to the Chicamba dam, and on the Vanduzi River (reference point), analyzed through two methods, X-ray Fluorescence and ICP-OES, and validated using reference materials (SARM 4, 46 and 52 and BCSS-1), and finally the consequent assessment of metals and environmental impacts. The results show that the XRF method, compared to ICP-OES, is valid for determining heavy metals in sediments of the Revuè River. Artisanal mining has little influence on the pH in the studied area, as both upstream (pH = 6.89) and downstream (pH = 8.45) of the river, the pH is very close to neutrality, and the EC (33–92  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) It is elevated by mining activity along the Revuè River. After the assessment, it was observed that raising awareness among the miners, as well as the community, is crucial for the preservation of the environment and the Revuè sub-basin.

**Keywords:** Revuè River; Heavy metal; River sediment; Reference material

## LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS, SIMBOLOS E SIGLAS

<b>Al</b>	- Alumínio
<b>ARA</b>	- Administração Regional de Águas
<b>BCSS- 1</b>	- Canada Marine Sediment Reference Material
<b>CCT</b>	- Concentrações médias dos metais pesados na Crosta Terrestre
<b>Cd</b>	- Cádmio
<b>Cr</b>	- Crómio
<b>Cu</b>	- Cobre
<b>EPA</b>	-Environmental Protection Agency
<b>Fe</b>	- Ferro
<b>ICP-OES</b>	- Espectrofotometria Óptica de Emissão Atómica com Plasma Indutivamente Acoplado
<b>IRE</b>	- Índice de Risco Ecológico
<b>MAPE</b>	- Mineração Artesanal e de Pequena Escala
<b>MCA</b>	- Analisador multicanal de amplitude
<b>MGE</b>	- Mineração de Grande Escala
<b>Mn</b>	- Manganês
<b>Mm</b>	- Milímetro
<b>Ni</b>	- Níquel
<b>Pb</b>	- Chumbo
<b>SARM</b>	- South African Reference Materials
<b>SDD</b>	- Detector Derivado de Silício
<b>Rh</b>	- Ródio
<b>XRF</b>	- Fluorescência de Raios-X
<b>Zn</b>	- Zinco

## LISTA DE EQUAÇÕES

<a href="#">Equação 1: Factor de enriquecimento</a> .....	14
<a href="#">Equação 2: Índice de geo-acumulação</a> .....	15
<a href="#">Equação 3: Factor de contaminação</a> .....	15
<a href="#">Equação 4: Factor de Risco Ecológico</a> .....	16
<a href="#">Equação 5: Risco Ecológico</a> .....	16

## LISTA DE FIGURAS

<a href="#">Figura 1.Moinho (ballmill) em Mimosa</a> .....	7
<a href="#">Figura 2: a) Mecanismo de bateia pelo uso de bacias; b)Lavagem usando tapete;Fonte: Geoide Consultoria Lda (2010)</a> .....	8
<a href="#">Figura 3: a) Amálgama; b)Processo de vaporização e ouro esponjoso;</a> .....	9
<a href="#">Figura 4: Esquema de equipamento de ICP-OES</a> .....	13
<a href="#">Figura 5: Localização da área em estudo</a> .....	19
<a href="#">Figura 6: Tipos de Solos</a> .....	20
<a href="#">Figura 7: Hidrografia</a> .....	21
<a href="#">Figura 8: Localização dos pontos de amostragem</a> .....	22
<a href="#">Figura 9: Materiais de referência</a> .....	24
<a href="#">Figura 10:Espectrômetro de Raios X, de marca OLYMPUS DELTS XRF Professional Analyzer- Rh TUBE, equipado com tubo de Ródio (Rh), detector derivado de Silício(SSD) e um analisador multicanal de amplitude(MCA), conectado a um computador portátil</a> .....	25

## LISTA DE TABELAS

<a href="#"><u>Tabela 1: Classes do Factor de Enriquecimento (FE)</u></a> .....	14
<a href="#"><u>Tabela 2: Classes do Índice de geo-acumulação (<math>I_{geo}</math>)</u></a> .....	15
<a href="#"><u>Tabela 3: Classificação do Factor de Enriquecimento, Índice de geo-acumulação e Índice de Risco Ecológico Potencial</u></a> .....	16
<a href="#"><u>Tabela 4: Resultados obtidos para a Validação do Método de Fluorescência de raio X (XRF)</u></a> .....	27
<a href="#"><u>Tabela 5: Comparação dos resultados com a legislação internacional (EPA 2018 e Canadian Freshwater Sediment Guideline)</u></a> .....	30
<a href="#"><u>Tabela 6: Factor de Enriquecimento usando CCT</u></a> .....	32
<a href="#"><u>Tabela 7: Factor de Enriquecimento usando ponto 10 como Background</u></a> .....	33
<a href="#"><u>Tabela 8: Índices de geo-acumulação calculado usando CCT</u></a> .....	34
<a href="#"><u>Tabela 9: Índice de geo-acumulação calculado usando concentração do ponto 10</u></a> .....	35
<a href="#"><u>Tabela 10: Índice de Risco Ecológico Potencial</u></a> .....	36
<a href="#"><u>Tabela 11: Critérios de Avaliação dos Impactos identificados na área de influência do estudo</u></a> .....	39
<a href="#"><u>Tabela 12: Identificação e medidas de mitigação dos impactos da mineração artesanal no rio Revué</u></a> .....	41

### • INTRODUÇÃO

Já na era pré-colonial a exploração de ouro se praticava na zona central de Moçambique. A partir do século 10, o ouro começou a ser exportado para o Médio

Oriente, a Índia e até à China. Durante a época colonial, as actividades mineiras eram de natureza industrial, proporcionando emprego à população local. Durante a guerra, grande parte da população refugiou-se em zonas seguras e a produção mineira formal foi interrompida. Com a instauração da paz, a população regressou e surgiu uma exploração mineira artesanal e desordenada .

A mineração artesanal, vulgarmente conhecida como garimpo, constituiu uma actividade de extracção de minérios, realizada com tecnologia rudimentar e sem equipamentos de sondagem, requerendo, por isso, o investimento de pouco capital. A mineração artesanal é, normalmente, realizada na informalidade, na maioria dos casos sem licença de exploração, num processo por vezes itinerante e realizado por grupos independentes.

A água é um bem precioso, indispensável para a vida humana e para a sustentabilidade do ambiente. Mesmo ciente das inúmeras funcionalidades da água e que os recursos de água doce não são inesgotáveis, o Homem continua a usá-la de forma descontrolada, alterando a sua qualidade e prejudicando a si próprio bem como os outros seres vivos que dela dependem.

Milhares de rios são poluídos por todo mundo todos os dias, o que representa um problema ambiental bastante grave. Moçambique, mesmo sendo um país ainda em vias de desenvolvimento, tem contribuído consideravelmente na poluição das águas, sendo que, os mecanismos para o seu tratamento são escassos.

De acordo com Kopezinski (2000) *apud* Eickhoff (2011) o impacto ambiental, positivo e/ou negativo causado pela actividade extrativa dependerá exclusivamente da acção antrópica. A actividade humana é que determinará o tipo, a magnitude e as consequências da alteração ambiental no meio a ser minerado.

De acordo com Nhaca (2012), *apud* Consul, Mandevane & Tankar (2012), a Província de Manica possui o maior número de garimpeiros ao nível nacional estimado em 12.000 operadores mineiros, que exploram, processam ouro, pedras preciosas e semi-preciosas, tantalite e outros recursos naturais, quer de forma sazonal ou permanente. Estes operadores estão categorizados de Mineradores Artesanais de

Pequena Escala (MAPE) e envolvem todas as faixas etárias e sexos concretamente, velhos, homens, mulheres e crianças.

- **Objectivos**

- **Objectivo geral**

- Identificar os impactos ambientais gerados pela mineração artesanal no rio Revué.

- **Objectivos específicos**

- Indicar as principais áreas da actividade mineira (garimpo) ao longo do rio Revué;
- Validar o método de Fluorescência de Raio X (XRF) e o de Espectrofotometria Óptica de Emissão Atómica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES),
- Avaliar a concentração dos metais pesados nos sedimentos;
- Avaliar as propriedades físico-químicas da água e a concentração do mercúrio no ar nos diferentes pontos de amostragem;
- Propor medidas de mitigação do impacto ambiental resultante da mineração artesanal;

- **Formulação do Problema**

As actividades de mineração tem causado impactos ambientais de grande relevância, comprometendo o funcionamento dos ecossistemas. A qualidade da água, do ar, solo, da fauna e flora é totalmente modificada com a presença de poluentes provenientes da mineração. A exploração de minérios não planeada compromete muito mais o ambiente.

Actualmente, a exploração de ouro na Província de Manica é feita nos Distritos de Sussundenga, Manica e Barué e Macossa, envolvendo na maioria dos casos cidadãos nativos, pessoas vindas de outros pontos do país e alguns estrangeiros que tiram o maior proveito deste negócio.

As actividades de mineração são essenciais para o desenvolvimento económico do mundo actual, pois os minérios extraídos da natureza são utilizados ou como matéria-prima ou como parte do processo industrial de muitos dos produtos utilizados pelo homem.

No entanto, existindo uma relação de dependência, esta gera um conflito para a sociedade, que tem de arcar com os reflexos gerados pela degradação dessas áreas de exploração mineral e seus entornos. No caso específico da extração de pedras preciosas, a própria natureza da lavra implica em alterações do meio ambiente. .

- **Justificativa**

A execução deste trabalho visa alargar uma base de princípios que possam, durante a exploração, criar mecanismos de equilíbrio com o meio ambiente numa perspectiva de contribuir para o uso sustentável dos recursos hídricos neste rio com múltiplas aplicações por parte da população local.

Os resultados do estudo servirão também como um ponto de partida a possibilidade de minimizar a poluição das águas pelas actividades de mineração artesanal de Ouro na província de Manica (Rio Revué), além disso, visa reduzir o nível de doenças, garantir a boa prática de produção agrícola e proteger os ecossistemas aquáticos .

- **Hipóteses**

O presente trabalho tem como hipóteses o seguinte:

- **H1:** O ambiente a volta da mineração ao longo do rio revue não sofre impactos negativos desta actividade
- **H2:** O ambiente a volta da mineração ao longo do rio revue sofre impactos negativos desta actividade.

- **Metodologia**

Para a realização do presente trabalho foi elaborado um plano de actividades que consistia na divisão de etapas a serem seguidas de acordo com o período pré-estabelecido. As etapas foram dadas da seguinte forma:

### **Etapa I: Revisão Bibliográfica**

Consistiu na análise de livros, estudos científicos, dissertações, entre outros com vista a obter a informação científica/fundamentos necessários para o estudo.

### **Etapa II: Trabalho laboratorial**

- **Colecta de amostras:** Nesta fase fez-se a colecta das amostras de sedimento e da água do rio Revué para avaliar a concentração dos metais pesados, de seguida a medição da concentração do mercúrio no ar e a medição das propriedades físico-químicas *in situ* para cada ponto de amostragem.
- **Tratamento de amostras:** nesta fase fez-se o tratamento das amostras de sedimentos que consistiu na secagem para remover a humidade destes, crivagem e moagem para facilitar o processo de solubilização.
- **Análise Laboratorial:** nesta fase aplicaram-se as técnicas de Fluorescência de raio X (XRF) e Espectrofotometria Óptica de Emissão Atómica Com Plasma Indutivamente Acoplado(ICP-OES) para a medição das concentrações dos metais pesados nos materiais de referência e sedimentos. As medições nos materiais de referência foram feitas com vista a validar as técnicas e as medições nos sedimentos foram feitas com vista a identificar os metais pesados contidos nestes e suas concentrações.

### **Etapa III: Análise e Discussão de Resultados**

Consistiu na realização de cálculos usando planilhas em Excel e comparação dos resultados com regulamentos.

#### **Etapa IV: Relatório Final**

Consistiu na elaboração deste documento que sintetiza e analisa todas informações colhidas durante a pesquisa bibliográfica, trabalho de campo e os resultados obtidos no laboratório.

- **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

- **Definições e Conceitos**

**Ecossistema** é um complexo dinâmico de comunidades vegetais, animais e de microorganismos e o ser ambiente não vivo, que interagem como uma unidade funcional. (Lei. nº 20/97, de 01 de Outubro).

**Poluição** é a deposição no ambiente de substâncias ou resíduos, independentemente da sua forma, bem como a emissão de luz, som e outras formas de energia de tal modo e em quantidade tal que o afecta negativamente. (Lei. nº 20/97, de 01 de Outubro).

**Impacto Ambiental** é qualquer mudança no ambiente, para o melhor ou para o pior, especialmente com efeitos no ar, na terra, na água e na saúde das pessoas, resultante de actividades humanas. (Lei. nº 20/97, de 01 de Outubro).

**Padrões de Qualidade Ambiental** são níveis admissíveis de concentração de poluentes prescritos por lei para os componentes ambientais com vista a adequá-los a um determinado fim. (Lei. nº 20/97, de 01 de Outubro).

**Medidas de Mitigação** é um conjunto de acções que visam minimizar ou evitar, os efeitos negativos de uma actividade sobre o ambiente biofísico e sócio-económico (Decreto 54/2015 de 31 de Dezembro).

**Mina** é o lugar ou a obra por onde se realiza a exploração ou extracção mineira, incluindo as infra-estruturas e dispositivos terrestres, superficiais e subterrâneos, aéreos, fluviais e manutenção da exploração mineira, abrangendo também os espaços relacionados com a armazenagem de produtos minérios, como escombreliras, desperdícios e resíduos (Lei nº 20/2014, de 18 de Agosto).

**Actividade mineira** é a operação que consiste no desenvolvimento, de forma conjunta ou isolada, de acções de prospecção, pesquisa, desenvolvimento, extracção, processamento e comercialização dos produtos minérios (Lei nº 20/2014, de 18 de

Agosto).

**Material de Referência** é um material ou substância suficientemente homogénea e estável em relação a uma ou mais propriedades específicas, que é bem estabelecido para o seu uso em processos de medição (calibração, avaliação de um método de medição) (ICOTEC 2014).

- **Actividade mineira em Moçambique**

Segundo Cardno (2017) a actividade mineira em Moçambique é dividida em dois grandes sectores, o sector da Mineração de Grande Escala (MGE) e o sector da Mineração Artesanal e de Pequena Escala (MAPE). O sector de MAPE por sua vez é dividido em dois sub-sectoros, o da mineração artesanal com maior número de participantes e o sector da mineração de pequena escala.

O Decreto 31/2015 de 31 de Dezembro estabelece que:

- Operações mineiras artesanais são aquelas que utilizam equipamentos de natureza simples e com volume de extração e escala reduzida de operações mineiras e;
- Operações mineiras de pequena escala em caso de exploração de metais preciosos são aquelas que não excedem uma produção anual bruta de 250 kg, não tenha trabalhos subterrâneos de mais de 20m de profundidade ou galerias com mais de 50 m de comprimento e empreguem mais de 15 trabalhadores nas frentes de produção.

- **Mineração artesanal em Manica**

A mineração artesanal é uma actividade tradicional em Moçambique que remonta ao Império Mwenemotapa (século XIV) e a província de Manica era o centro desta actividade. No Império de Mwenemotapa o ouro simbolizava poder, era usado para o lobolo e para trocas comerciais. O comércio com os árabes aumentou a produção de ouro em Manica. Com a chegada dos Portugueses a actividade foi proibida por um

longo período (durante o período colonial e pós-Independência), foi apenas no final da década de 1980 que as autoridades aceitaram a sua retoma .

A crise económica e consequentemente o declive das actividades económicas (agricultura) afectaram as comunidades e contribuíram para o crescimento das actividades de MAPE. No final da década de 1990, aproximadamente 60 mil pessoas estavam directamente envolvidas na MAPE .

Existem dois tipos de mineiros artesanais em Manica, informais e associados (aqueles com Certificado Mineiro ou Senha Mineira).

- **Principais áreas de mineração artesanal**

As principais áreas de mineração artesanal na Sub-bacia do Revué são: Mina Munhene, Chua, Damp, Old Wednesday, Nhamachato, Mutsinda, Messambúzi, Chazuca, Inhamucuarara, Burundi, Mandjacata, Chinhagore, Tsetera, Mucudo e Boa Esperança. Os mineradores artesanais na sua maioria encontram-se nas margens dos rios Révue, Chua e Messambúzi.

- **Processo de extração de ouro**

- **Extração da rocha contendo o minério**

Consiste na escamação e remoção da rocha contendo o minério. O ouro em Manica encontra-se em uma rocha sedimentar ou depósito aluvial por tanto para a sua extração são usados instrumentos como pás, picaretas, enxadas, sacos e cordas, motobombas, barras de ferro, bacias e bateias de lavagem, caixas de sluices, escopros, marretas e martelos (Geoide Consultoria Lda, 2010). Neste processo é comum a combinação de instrumentos tradicionais e rudimentares.

- **Processamento do ouro**

De acordo com a Geoide Consultoria Lda (2010), após a extração da rocha seguem-se os seguintes procedimentos para o processamento do ouro:

- **Moagens:** Consiste na redução do tamanho do minério para um tamanho

milimétrico. Para tal, os mineradores usam martelos, pilões metálicos e garrafas de gás com esferas metálicas (*ballmill*).



Foto 3: Ilustração de um moinho (*ballmill*) em Mimosa onde uma inquiridora testa o processo do funcionamento do moinho.

*Figura 1. Moinho (ballmill) em Mimosa*

Fonte: Geoide Consultoria Lda (2010)

- **Lavagem e/ou bateias:** este processo usa o princípio de densidade gravitacional. Nos *sluices* o minério misturado com água é lançado sobre uma superfície rugosa inclinada. Durante o escoamento, os minerais de maior densidade são captados e retidos na superfície rugosa. O bateamento é um processo em que os mineradores põem o minério numa bacia e pelo processo de decantação os minerais de maior densidade depositam-se no fundo da bacia e os de menor densidade são escoados conforme ilustra a figura 2. Este processo abrange os minérios de ouro primário assim como aluvionares.



Foto 4: Ilustração do mecanismo de bateia pelo uso de bacias (Munhena)



Foto 4: Ilustração do mecanismo de bateia pelo uso de bacias (Munhena)



Foto 5: Ilustração de outra forma de lavagem usando de tapetes (Associação de Munhena)



Foto 5: Ilustração de outra forma de lavagem usando de tapetes (Associação de Munhena)

*Figura 2: a) Mecanismo de bateia pelo uso de bacias; b) Lavagem usando tapete; Fonte: Geoide*

- **Amalgamação:** É o processo em que o minério é misturado com o mercúrio, e geralmente ocorre durante a lavagem para separar o ouro doutros minerais. O mercúrio se liga ao ouro e a alguns outros metais para formar uma amálgama sólida que é aproximadamente metade mercúrio e metade ouro. O mercúrio forma uma amálgama mais pobre com prata e, portanto, os minérios ricos em prata geralmente consomem muito mercúrio.
- **Vaporização do mercúrio:** neste processo a amálgama é queimada com vista a vaporizar o mercúrio obtendo-se o “*ouro esponjoso*”. os mineradores fazem a queima do amálgama a céu aberto e sem instrumentos de protecção. Dependendo da temperatura do processo de vaporização, algum mercúrio pode permanecer no ouro esponja e será emitido posteriormente, quando o ouro for fundido em temperaturas mais altas. vi



Figura 3: a) Amálgama; b) Processo de vaporização e ouro esponjoso;

Fonte: O'Neill & Telmer (2017)

- **Sorteamento manual:** a colecta do ouro é feita depois do bateamento nas bacias e depois da queima da amálgama, e este processo é manual.
- **Impactos da mineração artesanal**

Segundo Borba et al (2004) apud Eickhoff (2011), a exploração artesanal de ouro,

utiliza métodos que influenciam negativamente a preservação dos recursos naturais, uma vez que:

- Remove toda a cobertura vegetal das jazidas e revolve todo o solo, tornando-o, na maioria das vezes improdutivo;
  - Causa o assoreamento dos rios, aumenta a turbidez e altera o pH da água tornando-a ácida;
  - Contamina a água superficial e subterrânea por substâncias tóxicas, tais como Mercúrio, cádmio, arsênico, chumbo, ferro e entre outros;
  - Provoca a extinção de animais de pequena espécie nas zonas de mineração;
  - Altera a circulação da água superficial e subterrânea.
- **Sedimentos em ambientes aquáticos**

Os sedimentos são componentes fundamentais do ambiente fluvial, a quantidade e a qualidade destes pode afectar positiva ou negativamente os ecossistemas aquáticos. Estes providenciam nutrientes para os organismos vivos, actuam como depósito e fonte em potencial de contaminantes de origem antrópica devido às suas características físicas e químicas podendo também contaminar as águas subterrâneas quando dispostos sobre o solo *apud* BELKIN & SPARCK (1993)).

As variações na estrutura e tamanho do grão dos sedimentos providenciam habitats importantes para diferentes comunidades aquáticas. A variação de habitats sedimentares a diferentes escalas espaciais é importante para manter a biodiversidade, providenciando condições adequadas para desova, abrigo, fonte de alimento.

Muitos dos contaminantes que entram num corpo de água superficial, ficam retidos nos sedimentos que se depositam no fundo, porém os metais pesados se acumulam principalmente nos sedimentos superficiais dos rios. No entanto podem encontrar-se concentrações relativamente elevadas a uma profundidade de 15 cm e tem uma relação estreita com o tamanho das partículas que constituem o sedimento (limo, argila e areia) e com as quantidades de matéria orgânica sedimentária. .

A contaminação do sedimento não permanece imobilizada no fundo. Alguns processos físicos no ambiente, como chuvas médias e fortes, por exemplo, podem causar a ressuspensão do material sedimentado, disponibilizando a contaminação para a coluna de água .

Esses factores apontam para a necessidade de considerar a dinâmica sedimentária dos rios ao avaliar a contaminação destes pois ela determina em grande medida a distribuição de contaminantes e sua disponibilidade na coluna de água ao longo do tempo .

- **Transporte de sedimentos**

O transporte num rio ocorre em suspensão e no leito (por rolamento, deslizamento e saltos). (Cervantes-Córdoba et al., 2016). Cerca de 80% do sedimento é transportado em época chuvosa ou durante forte precipitação e 99% dos sedimentos num curso de água corresponde aos sedimentos em suspensão .

O transporte de sedimento é feito em função do material, características físicas da partícula (tamanho, peso e forma) e das condições de fluxo (tipo de escoamento, velocidade da corrente, forma do canal, temperatura da água e declividade do leito) .

- **Metais pesados**

Para Malavolta (1994) apud Lima (2013), metais pesados são elementos químicos com número atómico superior a 20, que possui características próprias como a aparência brilhante, são condutores de electricidade e participam em reacções químicas.

- **Impacto Ambiental**

De acordo com Arine (2000), a ocorrência de metais tóxicos em ambientes aquáticos, principalmente, o Alumínio (Al), Cádmió (Cd), Crómio (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Arsénio (As) têm causado muita preocupação quanto à sua influência sobre estes ecossistemas. São altamente tóxicos

mesmo em pequenas quantidades, porém apenas concentrações acima daquelas consideradas "naturais" representam riscos à biota (IUPAC, 1988).

Segundo Piveli (2006) um dos principais problemas é a bioacumulação, estes metais tendem a acumular-se em plantas e animais aquáticos, penetrando nesses organismos através da superfície do corpo e de estruturas respiratórias, e também pela ingestão que fazem, de material particulado e água, criando uma condição de toxicidade. A toxicidade manifesta-se como distúrbios na função metabólica, implicando em possíveis mudanças na distribuição e na abundância de populações. A concentração dos metais pesados aumenta com a subida de nível na cadeia trófica, o que faz com que os organismos que se alimentam em alto nível assim como o Homem, sejam mais propensos a problemas de saúde .

- **Métodos de análise de sedimentos**

- **Fluorescência de Raio-X**

A análise por fluorescência de raios-X (XRF) pode ter fins qualitativos ou quantitativos e se baseia na medição das intensidades dos raios-X característicos emitidos pelos elementos que constituem a amostra, quando excitada por partículas como elétrons, prótons ou íons produzidos em aceleradores de partículas ou ondas eletromagnéticas, além do processo mais utilizado que é através de tubos de raios-X .

Esta pode ser usada para determinar a composição química de uma ampla variedade de amostras, incluindo sólidos, líquidos, pastas e pós soltos e vem sendo usada ultimamente na análise de amostras ambientais .

A análise por XRF passa por três processos, nomeadamente:

- Incidência dos raios X na amostra e a excitação dos elementos que constituem a amostra;
- Produção dos raios x característicos pelos elementos presentes na amostra; e
- Detecção dos raios X característicos e obtenção dos espectros de XRF.

A detecção dos raios X característicos pode ser feita através da dispersão por comprimento de onda (WDXRF- *Wave Length Dispersive X-Ray Fluorescence*) ou por dispersão de energia (EDXRF- *Energy Dispersive X-Ray Fluorescence*) .

- **Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente**

O método de Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) é uma técnica de emissão espectrofotométrica que se baseia na medição da radiação electromagnética emitida pelo retorno de um electrão de um estado de energia superior (excitado) para um estado de energia fundamental, sendo o comprimento de onda desta radiação característico para cada elemento. A energia é transferida para o átomo através de mecanismos de colisão com outra partícula

resultando na excitação do mesmo. A energia é emitida na forma de luz com um determinado comprimento de onda, ou mais especificamente na forma de um fóton com determinada frequência .

No plasma as amostras são transportadas em forma de aerossol e sofrem uma sequência de processos físico-químicos, tais como dessolvatação, vaporização, dissociação e atomização. A luz emitida no processo de passagem dos elétrons do estado excitado ao estado fundamental é filtrada e separada por região do espectro (difratada por redes de difração). Cada região do espectro está associada a uma transição eletrônica e as intensidades luminosas são medidas, sendo o seu valor proporcional à concentração do(s) elemento(s) em estudo

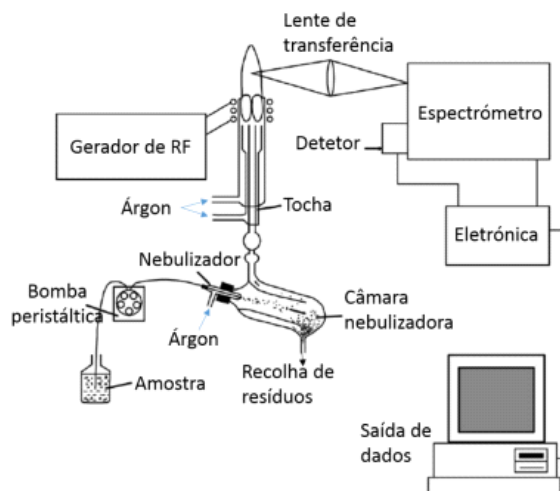


Figura 4: Esquema de equipamento de ICP-OES

Fonte: Cazes (2005)

- **Critérios de qualidade usados na análise de sedimentos**

Tradicionalmente, o grau de contaminação dos sedimentos e o risco ecológico é determinado avaliando as concentrações químicas em massa de compostos individuais e comparando-os com os valores de fundo ou de referência . Para fazer essa comparação são usados critérios de qualidade tais como o Factor de Enriquecimento (FE), o Índice de geo-acumulação ( $I_{geo}$ ), o Risco ecológico potencial (RI), entre outros.

- **Factor de Enriquecimento (FE)**

O factor de enriquecimento é usado para estimar o enriquecimento e o grau de contaminação antropogénica dos sedimentos por metais pesados. Este é calculado usando a seguinte Equação:

**Equação 1:** Factor de enriquecimento

**Onde:**

- $(C_i/C_{Fe})_{\text{Sedimento}}$  é a razão entre a concentração de um determinado metal 'i' ( $C_i$ ) para a concentração de Fe ( $C_{Fe}$ ) na amostra de sedimento;
- $(C_i/C_{Fe})_{\text{Fundo}}$  é a razão da concentração de fundo de um determinado metal 'i' ( $C_i$ ) para a concentração de fundo de Fe ( $C_{Fe}$ ), que é usado principalmente para diminuir a influência do tamanho de grão de partícula na medição da contaminação do metal pesado.

Nesta fórmula o Fe foi usado como metal normalizador, que consiste no metal pesado encontrado em teores naturais no solo, porém segundo Moro, Cadoná & Nachtigall, (2019), também podem ser usados o Mn ou Al para o mesmo fim.

O Factor de enriquecimento é classificado segundo a tabela 1.

**Tabela 1:** Classes do Factor de Enriquecimento (FE)

<b>FE Class<sup>a</sup></b>	<b>Qualidade de sedimentos</b>
FE<1	Sem enriquecimento
1≤FE<3	Baixo enriquecimento
3≤FE<5	Enriquecimento Moderado
5≤FE<10	Enriquecimento moderadamente severo
10≤FE<25	Enriquecimento muito severo
FE≥ 25	Enriquecimento extremamente severo

**Fonte:** Xu, Chen, & Zheng (2018).

- **Índice de geo-acumulação**

Este foi desenvolvido por Muller (1979) e é usado para determinar a contaminação causada pelos metais pesados nos sedimentos porém também pode ser usado para solos. Segundo este tem sido amplamente utilizado para avaliar o grau de contaminação por metais pesados em ambientes terrestres e aquáticos e expresso como:

### **Equação 2: Índice de geo-acumulação**

#### **Onde:**

- $C_i$  é a concentração do metal pesado medido “i”;
- $B_i$  é a concentração geoquímica de fundo do metal “i”.
- O fator 1,5 corresponde à possível variação da contribuição da crosta terrestre para os sedimentos, principalmente pelo intemperismo ou erosão nos rios.

**Tabela 2:** Classes do Índice de geo-acumulação ( $I_{geo}$ )

$I_{geo}$ Class <sup>b</sup>	Qualidade do Sedimento
<0	Não poluído
0–1	Não poluído a moderadamente poluído
1–2	Moderadamente poluído
2–3	Moderadamente a altamente poluído
3–4	Altamente poluído
4–5	Altamente a extremamente poluído
>5	Extremamente poluído

**Fonte:** Xu, Chen, & Zheng (2018).

- **Índice de Risco ecológico potencial (IRE)**

Este foi proposto por Hakanson e é usado para a avaliação da contaminação de sedimentos e solos. É um indicador simples que reflete o impacto dos metais no ambiente ecológico.

O cálculo do fator de contaminação e do fator de risco ecológico ( $IR$ ) de cada metal pesado é o primeiro passo para a determinação do IRE. A seguir estão as equações

para medir  $e$  e  $f$ , respectivamente:

### **Equação 3:** Factor de contaminação

### **Equação 4:** Factor de Risco Ecológico

#### **Onde:**

- $C_i$  é a concentração de metal pesado “i” na amostra de sedimento;
- $e$  e  $f$  são os valores de fundo e o fator de resposta tóxica no sedimento respectivamente.
- Stribac, Grubin, & Vasic (2017), propõem os seguintes factores de resposta tóxica ( $f$ ) para os seguintes metais pesados: As=10, Cd=30, Cr=2, Cu=5, Hg=40, Ni=5, Pb=5 e Zn=1.

O IRE é estabelecido pela soma dos  $f_i$  de cada metal pesado, conforme a equação.

### **Equação 5:** Risco Ecológico

O FE,  $e$  e o IRE são classificados segundo a tabela 3.

**Tabela 3:** Classificação do Factor de Enriquecimento, Índice de geo-acumulação e Índice de Risco Ecológico Potencial.

<b>Risco Potencial</b>	<b>Classificação IRE</b>	<b>Risco Ecológico (RE)</b>
Baixo	$IRE < 1$	Baixo
Moderado	$150 \leq IRE < 300$	Moderado
Considerável	$300 \leq IRE < 600$	Considerado

Alto	$IRE \geq 600$	Muito alto
Muito alto		

---

**Fonte:** Xu, Chen, & Zheng (2018).

- **Crêterios de Qualidade de Sedimentos (SQC)**

Os cr terios de sedimentos (ou seja, diretrizes) foram desenvolvidos para lidar com muitas preocupa es ambientais e em resposta a programas regulatórios . Estes constituem parâmetros de qualidade dos sedimentos usados para avaliar situa es em que os sedimentos podem ser prejudiciais aos organismos aquáticos . São baseados em programas de pesquisa de campo que demonstraram associa es entre produtos químicos e efeitos biológicos, estabelecendo rela es de causa e efeito em organismos específicos . Vários SQC's foram publicados, estes diferem na maneira como determinam os efeitos de limiar (*threshold effects*), mas muitos são semelhantes. O efeito de limiar pode ser determinado com base na faixa de efeitos, nível de efeito, limite de efeitos aparentes e na concentra o de nível de triagem. Essas abordagens geralmente definem dois níveis de limiar, um abaixo do qual os efeitos raramente ocorrem por exemplo, o nível de efeito mais baixo (LEL), nível de efeito de limiar (TEL), e um acima do qual os efeitos são prováveis de ocorrer por exemplo, o nível de efeito grave (SEL), nível de efeitos prováveis (PEL).

O regulamento canadense define dois limites e três faixas de qualidade de sedimentos para a prote o da vida aquática. O TEL (concentra o abaixo da qual raramente são esperados efeitos biológicos adversos) e PEL (concentra o acima da qual frequentemente são esperados efeitos biológicos adversos) e a faixa entre o TEL e o PEL representa uma possível ocorrência de efeito adverso   comunidade biológica.

- **Enquadramento legal**

O processo de minera o a nível do País   gerido pelo Decreto n  26/2004 de 20 de Agosto, artigo este que aprova o Regulamento Ambiental para a Actividade Mineira.

Segundo a Lei de Minas (artigo 43), o uso da terra para as opera es mineiras tem prioridade sobre todos os outros usos da terra, sempre que as vantagens econ micas e sociais sejam superiores. Para o efeito, o Estado deve ponderar e comparar as

vantagens de cada um dos possíveis usos. Em caso de um novo investimento ou projecto, o Regulamento Ambiental para as Actividades Mineiras (artigo 28) reconhece as comunidades locais como parceiros ao lado do governo central, provincial e o proponente desse investimento ou projecto.

As comunidades são encorajadas a estabelecer acordos sobre métodos e procedimentos para a gestão dos aspectos ambientais, biofísicos, sócio-económicos e culturais durante a vigência do projecto e após o seu término. Pessoas que residam nas áreas de mineração, ou que sejam negativamente afectadas pela operação têm direito a serem indemnizadas.

Além das concessões e licenças para explorações industriais, a lei prevê certificados e senhas mineiras para a exploração artesanal ou de pequena escala. Tal como os industriais, estes operadores têm também a obrigação de tomar medidas de protecção, de gestão e de restauração ambiental.

- **Lei do Ambiente (Lei nº 20 de 1 de Outubro de 1997)**

No artigo 9, a Lei preconiza a proibição da poluição em todas vertentes, partindo das causas, disposição e/ou o descarte e/ou lançamento de quaisquer substância tóxica e poluentes no solo e subsolo, na água ou na atmosfera, bem como a importação de resíduos para o território nacional, salvo em casos de cobertos por legislação específica.

- **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

- **Localização geográfica**

A área de estudo encontra-se na interceção entre o Distrito de Manica e a Bacia do Revué ao longo do rio revué e do rio Vandúzi, limitada a Norte pela Bacia do Púnguè, a Sul pelo distrito de Sussundenga, a Este pelo Distrito de Gondola e a Oeste pela República do Zimbabwe conforme ilustra a figura 5. O Rio Revué é o principal afluente da barragem de Chicamba. A barragem destina-se a produção de energia e ao abastecimento de água da cidade de Chimoio. A água liberada pela barragem é posteriormente usada para a produção de energia no açude de Mavúzi e a jusante é usada para a irrigação.

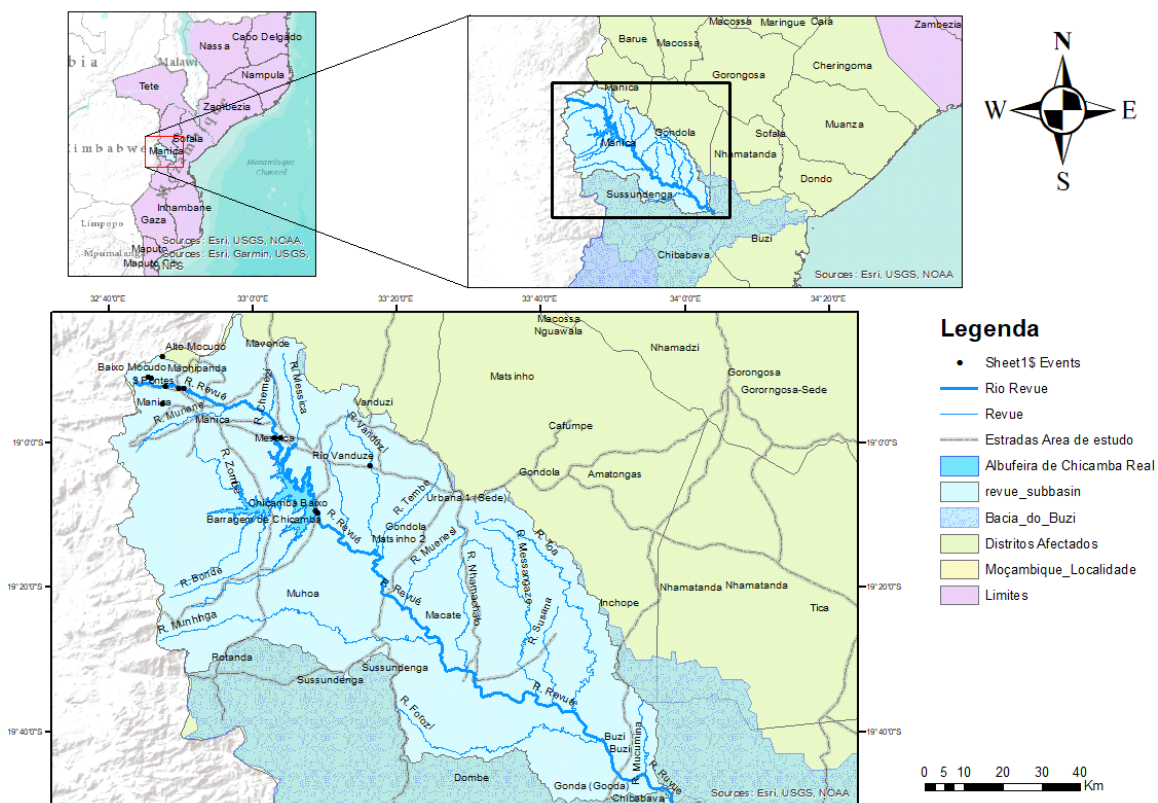
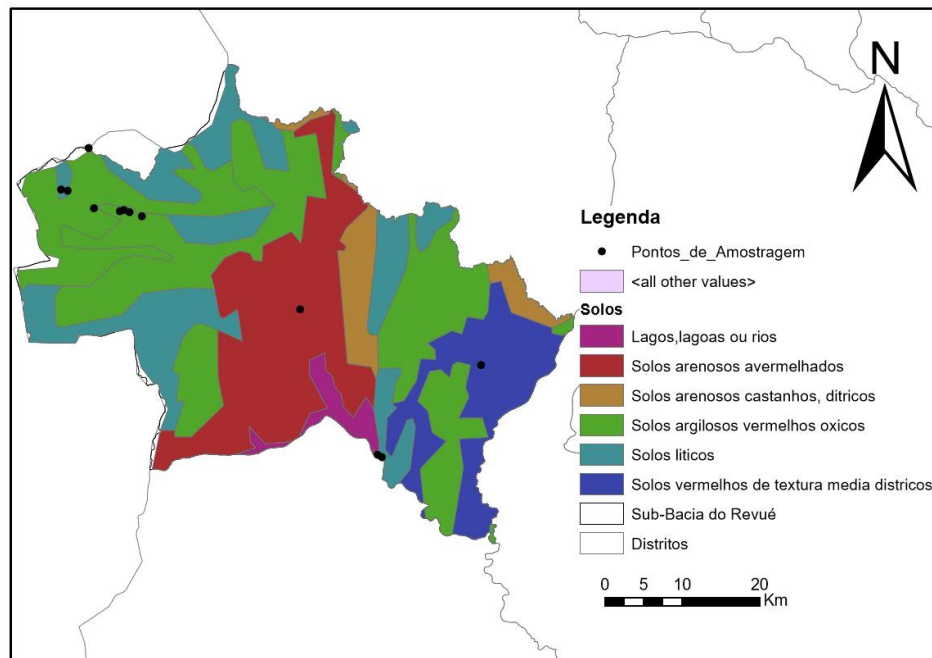


Figura 5: Localização da área em estudo

Fonte: Autora

- **Relevo e solo**

Segundo MAEFP (2005), em relação ao relevo e solo, a área de estudo é caracterizada pela predominância de cadeias montanhosas numa faixa fronteiriça com o Zimbábue, denominada “Cratão de Zimbábue”. Com cumes das montanhas a atingirem 1500-2000 metros. Esta formação compreende especialmente basaltos, riólitos e lavas alcalinas.



*Figura 6: Tipos de Solos*

**Fonte:** Autora

Como ilustra na figura 6, os pontos de amostragem encontram-se em locais com solos argilosos vermelhos, solos líticos, solos arenosos avermelhados e solos vermelhos de textura media districos.

- **Clima e Hidrográfia**

A sub-bacia do Revuê, faz parte da bacia do Búzi, a sua rede hidrográfica compreende um rio principal (Revuê) e vários afluentes e uma albufeira (Albufeira de Chicamba) conforme ilustra a figura 7. Pelas características topográficas a área não permite o







previamente tratados e testados para não ter vestígios de Mercúrio, e as amostras de sedimentos foram colectadas em recipientes plásticos de PVC.

As amostras de sedimentos foram colhidas as margens do rio com o auxílio de uma pá de plástico em quantidades suficientes para que todas as análises fossem executadas.

Todas as amostras colhidas foram conservadas em um colman eléctrico que mantinha a temperatura abaixo dos 5°C, de seguida as amostras foram transportadas para o departamento de Bioquímica da Faculdade de Medicina.

No momento de colecta das amostras foram analisados “*in situ*” os seguintes parâmetros: pH usando um pH metro; condutividade eléctrica usando um condutímetro; o potencial redox, temperatura usando um termómetro e os níveis de Hg no ar usando o analisador de Hg (RA-915M).

#### **4.1. Tratamento das amostras**

Na faculdade de Medicina, as amostras de sedimentos foram colocadas em recipientes de plásticos abertos (tigelas) e postas a secar á temperatura ambiente. Depois de uma semana, as amostras de sedimentos encontravam-se completamente secas e foram colocadas em sacos plásticos devidamente etiquetados.

Depois de secas, as amostras de sedimentos foram passadas por um crivo de 2 mm e outro de 180 µm. A parte da amostra com uma granulometria de 180 µm foi armazenada em sacolas plásticas para análises de Hg e a parte da amostra com uma granulometria de 2 mm foi levada ao moinho onde foi reduzida a pó de forma a facilitar a solubilização para análises por ICP.

- **Métodos de Análise**

As análises de metais pesados foram feitas no Departamento de Física-Química da UEM. Para tal foram aplicados dois métodos: Fluorescência de raio X (*X-Ray Fluorecence*) e a Espectrofotometria Óptica De Emissão Atómica Com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES).

- **Validação dos métodos**

Previamente a aplicação dos métodos fez-se a validação dos mesmos usando Materiais de Referência (MR). O uso de Materiais de Referência Certificados (MRCs) e de Materiais de Referência (MRs) constitui uma forma de avaliar a exactidão de um método analítico. O MRC e o MR devem ser usados de forma idêntica às amostras, devem apresentar uma matriz semelhante a estas e ser adequados para o método em causa.

Neste trabalho usaram-se quatro materiais de referência certificados de sedimentos onde SARM 4, 46 e 52 são sul africanos e BCSS-1 é de Canada.

- SARM 4 NIM-N Norite: Este tipo de rocha é uma norita que consiste em ortopiroxênio, plagioclásio, magnetita, ilmenita e clinopiroxênio e pequenas quantidades de quartzo e produtos de alteração. É um material de referência de silicato útil para rochas intermediárias, mas também é usado para a análise de amostras de exploração geoquímica.
- SARM 46 *Stream sediment*: vem de um riacho perto de Argent em Gauteng, República da África do Sul. Este material é um sedimento de corrente de granulação fina e consiste nos seguintes minerais (em ordem decrescente de abundância): Siderita, Quartzo e Clorita, respectivamente.
- SARM 52 *Stream sediment*: é um sedimento de corrente fino e consiste nos seguintes minerais (em ordem decrescente de abundância): quartzo, goethita, clorita, hematita, caulinita e illita.
- BCSS 1: é um sedimento de corrente marinha do *National Research Council of Canada*.



Fonte: Autora

Para a Fluorescência de raio X (XRF) usaram-se o SARM 4, SARM 46, SARM 52 e BCSS1 e para o ICP-OES usaram-se seis réplicas três para SARM 46 e SARM52 respectivamente.

- **Procedimentos XRF**

Para obtenção das concentrações dos metais pesados e os espectros de fluorescência de raio X usou-se o Espectrômetro de Raios X de marca **OLYMPUS DELTA XRF Professional Analyzer – Rh Tube**, equipado com tubo de ródio (Rh), Detector Derivado de Silício (DDS) e um Analisador Multicanal de Amplitude (MCA). Posicionou-se o espectrômetro sobre cada amostra e fez-se a leitura das concentrações num computador.



*Figura 10: Espectrômetro de Raios X, de marca OLYMPUS DELTS XRF Professional Analyzer-Rh TUBE, equipado com tubo de Ródio (Rh), detector derivado de Silício (SSD) e um analisador multicanal de amplitude (MCA), conectado a um computador portátil.*

**Fonte:** Malate (2018)

- **Procedimentos ICP-OES**

Foram analisados metais pesados em amostras de sedimentos solubilizadas. Todas as amostras foram filtradas antes das análises. Não foi possível realizar 3 leituras por amostra a analisar devido à elevada quantidade das amostras e ao custo das análises.

### **Solubilização das amostras de sedimentos**

Para a solubilização das amostras de sedimentos, seguiu-se o procedimento:

- Pesou-se 500 mg da amostra em um copo de teflon, humedeceu-se com algumas gotas de água destilada.
- Adicionou-se 5 mL de  $\text{HNO}_3$  e aqueceu-se suavemente por 30 minutos.
- Depois de arrefecido, adicionou-se 2 mL de  $\text{HClO}_4$ , 5 mL de  $\text{HNO}_3$  e 5 mL de HF.
- Aqueceu-se a mistura até à secura.
- Repetiu-se os passos 2, 3 e 4 por três vezes.

Depois da mistura ter arrefecido, adicionou-se 1 mL de  $\text{HNO}_3$  para dissolver os sais e adicionou-se água destilada e fez-se o volume de 50 mL em um balão volumétrico de vidro.

- **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

- **Validação dos Métodos de Análise de Sedimentos**

- **Método XRF**

Para a validação do método XRF, fizeram-se as análises usando os quatro materiais de referência selecionados SARM 4, SARM 46, SARM 52 e BCSS-1. Obtiveram-se as concentrações de cada elemento em cada material de referência. Calculou-se o erro relativo e considerou-se que o método apresenta bons resultados quando o erro relativo é menor ou igual a 20%. Vede tabela 4.

De acordo com os intervalos estabelecidos pela MINTEK (2015), observou-se que o método apresenta bons resultados para um número significativo de elementos, que passam a ser citados a seguir:

- SARM4 : Ca, Mn, Sr, Fe, Cr, Y e Ni;
- SARM46: Ti, Pb, Cu, Cr, Zr e Zn;
- SARM 52: Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Sr, Nb, Ti e Rb;
- BCSS-1 : S, Cr, V, Pb, As, Ni e Fe;

Tendo em conta os resultados da validação, o grau de toxicidade dos metais pesados para a saúde pública e o meio ambiente, para os elementos obtidos na análise dos sedimentos decidiu-se que neste trabalho serão avaliados os seguintes metais pesados: Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Mn, Fe e As.

- **Método ICP-OES**

Para a validação do método ICP-OES, fizeram-se as análises usando dois materiais de referência, o SARM 46 e o SARM 52. Obtiveram-se as concentrações de cada elemento em cada material de referência. Calculou-se o erro relativo e considerou-se que o método apresenta bons resultados quando o erro relativo é menor ou igual a 20%. Conforme o apresentado no Apêndice 1.

Tendo em conta os resultados da validação apresentados no apêndice 1, pode-se afirmar que o método ICP-OES não é válido para o presente estudo, visto que detectou poucos elementos e apresenta resultados fora do limite (outliers- valores do erro relativo maior que 20%) estabelecido pela MINTEK (2015).

**Tabela 4:** Resultados obtidos para a Validação do Método de Fluorescência de raio X (XRF)

Elemento	MATERIAL DE REFERÊNCIA													
	SARM 4				SARM 46				SARM 52					
	PPM	MR(%)	+/-	Erro Relativo(%)	PPM	MR(%)	+/-	Erro Relativo(%)	PPM	MR(%)	+/-	Erro Relativo(%)	PPM	MR(%)
Fe	5.09%	6.273	0.03	18.82	>10%	19.7	--	--	>10%	13.79		27.48	2.30%	
Pb					1.38%	1.3	2.01	6.15	1015	0.12	11	15	19.9	0.0
S					9313	0.17*	560	447.8	1425	0.02*	331	612.5	3277	0.0
Mn	1136	0.109	14	4.22	8345	0.574	85	45.4	1992	0.163	24	22.21	245	0.0
Zn					6172	0.59	56	4.6	205	0.0264	5	22.35	81	0.0
Ca	7.95%	8.22	0.06	3.29	4006	0.94	121	57.38					3603	0.0
Ti	829	0.1199	22	30.86	3504	0.46	58	2.67	7899	0.779	87	1.39	3302	0.0
P					1619	0.044	224	--	1102	0.0393	170	--		0.0
K	1246	0.208	55	40.09	1462	0.291	80	49.76	1016	0.208	62	51.15	1.11%	0.0
Sb					1253	-	34	--	51	--	13	--		0.0
Nb									10.2	0.0011	1.2	7.27	10.8	0.0
As					761	-	32	--					9.0	0.0
Cu					534	0.0566	13	5.65	179	0.0219	6	18.26	11	0.0
Cr	33	0.003*	5	10	447	0.0559	13	20.04	1187	0.13	18	8.69	118	0.0
Ni	121	0.012	7	0.833	176	0.0125	12	40.8	212	0.0182	9	16.48	54	0.0
Au					114	-	11	--						0.0
V	80	0.022	4	63.64	100	0.0225	8	55.56	240	0.0346	9	30.64	88	0.0
Bi					84	-	13	--	28	--	6	--		0.0
Zr	13	0.0023*	2	43,4869	83	0.0101	5	17.82	327	0.025	7	30.8	284	0.0
Ag					52	-	8	--						0.0
Cd					47	-	10	--						0.0
Y	5.7	0.0007*	0.9	18.57	39	0.002	7	95	14.9	0.0020	2.0	25.5	16.8	0.0
Sr	259	0.026	6	0.385	32	0.0025	3	28	20.5	0.0025	1.4	18	96	0.0
Rb	3.4	--	0.8	--	25	0.002*	2	25	20.5	0.0020	1.1	2.5	86.4	0.0

- Avaliação da concentração dos metais pesados nos sedimentos do Rio Revuè**

A avaliação da concentração dos metais pesados nos sedimentos do rio Revuè foi feita

através da determinação da concentração dos metais Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Mn, Fe e As, pelo método de análise XRF pelo facto deste ter apresentado bons resultados num número significativo de elementos determinados com base nos materiais de referência citados na subsecção 5.1.1. De seguida foi feita a comparação das concentrações determinadas com as estabelecidas pela legislação internacional e por último foi realizada a análise da qualidade de sedimentos usando índices quantitativos com vista a determinar o real grau contaminação.

- **Distribuição dos metais pesados nos sedimentos do rio Revué**

Os metais pesados ao longo dos sedimentos do rio Revué não se distribuem de forma regular. Verifica-se que dos metais em estudo, o Fe apresenta maiores concentrações e o As menores concentrações, havendo pontos nos quais não foi detectado. As concentrações mais baixas são verificadas no ponto 1 para todos elementos com excepção do Pb que apresenta uma concentração de 14,5 sendo a concentração mais baixa de 14,3 observada no ponto 2. As concentrações mais altas são observadas em diferentes pontos para diferentes metais.

**Gráfico 1:** Variação da concentração Mn, Cr e Ni nos sedimentos ao longo do rio Revué.

**Gráfico 2:** Variação da concentração de Zn, Cu, Pb e As nos sedimentos ao longo do rio Révue.

**Gráfico 3:** Variação da concentração do Fe nos sedimentos ao longo do rio Révue.

- **Comparação da concentração dos metais pesados nos sedimentos com a legislação internacional**

**Tabela 5:** Comparação dos resultados com a legislação internacional (EPA 2018 e *Canadian Freshwater Sediment Guideline*).

Pontos de amostragem	Concentração de Metais Pesados							
	Fe	Mn	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	As
1	20500	134	63*	29*	21,2	10	14,5	-
2	80000	1358	252#	163#	73	37*	14,3	-
3	77200	1462	316#	215#	68	24	20,3	-
4	97900	2341	519#	373#	64	65*		21,8*
5	83400	1713	243#	144#	66	65*	40*	8,6*
6	97000	1438	218#	142#	82	83*	42*	11,1*
7	100000	1048	268#	194#	64	70*	23	13,6*
8	75000	3963	193#	92#	44	54*	21	13,9*
9	90900	1539	1870#	61#	73	173*		26*
10	44300	3634	167#	61#	30	32	14,9	8,1*
10*	30700	683	112#	35*	39	39*	19,8	-
11	99500	2037	227#	151#	73	76*	42*	9,5*
12	33300	500	303#	150#	42	35	19,5	6,7
<b>EPA 2018</b> parâmetros dos sedimentos de água doce mg/kg	20000	460	43,4	22,7	121	31,6	35,8	9.8
<b>TEL</b>	–	–	37,3	18	123	35,7	35	7.2
<b>PEL</b>	–	–	90	36	315	197	91,3	41.6

**Legenda:** TEL e PEL são os mesmos que os da *Canadian Freshwater Sediment Guideline* (CCME, 2001a) apresentados por CETESB (2001), e The Japanese Society of Limnology (2002). **Amarelo**- concentrações abaixo dos valores de EPA 2018; **Verde**- concentrações próximas aos valores de EPA 2018. **Negrito**- Inferior a TEL; (\*) entre TEL e PEL; (#) superior a PEL

- **Comparação com EPA 2018**

As concentrações dos metais pesados na tabela acima encontram-se

significativamente acima das concentrações estabelecidas pelo EPA 2018 com exceção das concentrações do Zn que em todos os pontos de amostragem estão abaixo do limite estabelecido por este regulamento. O Pb não foi detectada a sua presença em 2 pontos e em 8 dos 12 pontos, apresenta concentrações abaixo do estabelecido. O As encontra-se dentro dos limites em três pontos sendo que não foi detectado nos três primeiros pontos e na maioria dos restantes pontos apresenta valores próximos ao limite da EPA 2018. O Cu encontra-se dentro dos limites em apenas dois pontos, o 1 e o 3 respectivamente e o Mn apenas no ponto 1. O Mn, Cr, Ni e Cu em alguns pontos apresentam concentrações que embora acima do limite estabelecido encontram-se ligeiramente próximos a este.

Tendo em conta este regulamento, o Zn e o Pb não estão a contaminar os sedimentos da área de estudo porém os sedimentos da área de estudo estão contaminados por Mn, Cr, Ni, Cu e As, constituindo um risco para o ecossistema aquático assim como para a saúde pública.

- **Comparação com TEL e PEL da Canadian Freshwater Sediment Guideline (CCME, 2001a)**

A CCME não apresenta valores de TEL e PEL para Fe e Mn. O Zn é o único cujas concentrações em todos os pontos são inferiores a TEL portanto quanto ao Zn não esperam-se efeitos adversos a biota na área de estudo. As concentrações de Cu, Pb e As em 4, 8 e 3 pontos respectivamente estão abaixo do TEL e nos restantes pontos estão entre TEL e PEL. Deste modo quanto ao Pb não são esperados efeitos adversos a biota na maioria dos pontos com exceção de dois pontos onde se espera que o efeito a biota ocorra ocasionalmente, porém quanto a qualidade a contaminação por Pb nesses pontos é classificada como boa. Quanto ao Cu e o As na maioria dos pontos é provável que ocorram efeitos adversos a biota ocasionalmente. O Cr e o Ni apresentam concentrações acima do PEL em quase todos os pontos com exceção do ponto 1 cujas concentrações encontram-se entre TEL e PEL.

Segundo sedimentos com um ou mais elementos cujas concentrações encontram-se acima do PEL devem ser considerados de alta prioridade para a realização do monitoramento com vista a melhorar a qualidade destes e restaura-los até ao nível

desejado. Estes constituem um perigo significativo e imediato para os organismos expostos a eles. Recomenda-se a realização de estudos biológicos nos lugares em que se encontram com vista a avaliar a natureza e a extensão do efeito a ser manifestado como resultado da contaminação dos sedimentos.

Observa-se que os valores de EPA e da CCME concordam indicando que o Zn e Pb não constituem um factor de risco e que os outros metais em estudo constituem factor de risco. Concordam também que embora o Cu constitua um factor de risco não é tão preocupante quanto o Mn, Cr e Ni.

- **Análise da qualidade de sedimentos usando índices quantitativos**

Para calcular os índices quantitativos é necessário ter valores de fundo. Moçambique não dispõe de dados de fundo da era pré-industrial, nem valores de fundo específicos do rio Revué, sendo assim, usou-se neste trabalho como dados de fundo as concentrações médias dos metais pesados na crosta terrestre (CCT) e as concentrações de metais pesados no ponto 10\*(referência - Rio Vanduzi).

- **Factor de Enriquecimento**

Para o cálculo do factor de enriquecimento (FE) o Fe foi usado como metal normalizador.

**Tabela 6:** Factor de Enriquecimento usando CCT.

Pontos de Amostragem	FE usando valores médios da Crosta terrestre						
	Mn	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	As
1	0,39	1,73	1,06	0,83	0,50	3,19	--
2	1,01	1,77	1,53	0,73	0,47	0,81	--
3	1,12	2,30	2,09	0,71	0,32	1,18	--
4	1,42	2,98	2,86	0,53	0,68	0,00	6,96
5	1,22	1,64	1,30	0,64	0,80	2,16	3,23
6	0,88	1,27	1,10	0,68	0,88	1,95	3,58
7	0,62	1,51	1,46	0,51	0,72	1,04	4,25
8	3,13	1,45	0,92	0,47	0,74	1,26	5,80
9	1,00	11,58	0,50	0,65	1,95	0,00	8,95
10	4,86	2,12	1,03	0,54	0,74	1,51	5,72

10*	1,32	2,05	0,86	1,02	1,30	2,90	--
11	1,21	1,28	1,14	0,59	0,78	1,90	2,99
12	0,89	5,12	3,38	1,01	1,08	2,64	6,29

**Legenda:** Sem cor- Nenhum enriquecimento; Amarelo- Baixo enriquecimento; Verde- Enriquecimento moderado; Laranja- Enriquecimento moderadamente severo e Vermelho- Enriquecimento muito severo.

**Tabela 7:** Factor de Enriquecimento usando ponto 10 como Background

Pontos de Amostragem	Factor de enriquecimento usando o ponto 10 como background					
	Mn	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb
1	0,29	0,34	1,24	0,81	0,38	1,10
2	0,76	0,35	1,79	0,72	0,36	0,28
3	0,85	0,45	2,44	0,69	0,24	0,41
4	1,07	0,58	3,34	0,51	0,52	0,00
5	0,92	0,32	1,51	0,62	0,61	0,74
6	0,67	0,25	1,28	0,67	0,67	0,67
7	0,47	0,29	1,70	0,50	0,55	0,36
8	2,38	0,28	1,08	0,46	0,57	0,43
9	0,76	2,26	0,59	0,63	1,50	0,00
10	3,69	0,41	1,21	0,53	0,57	0,52
11	0,92	0,25	1,33	0,58	0,60	0,65
12	0,67	1,00	--	0,99	0,83	0,91

**Legenda:** Sem cor- Nenhum enriquecimento; Amarelo- Baixo enriquecimento; Verde- Enriquecimento moderado, C.Laranja- Enriquecimento moderadamente severo e Vermelho- Enriquecimento muito severo.

Os valores do FE obtidos usando CCT são maiores em relação aos valores do FE

obtidos usando as concentrações do ponto 10. Esta diferença era esperada pois as CCT não são específicas do rio Revué. Não foi possível calcular o FE para o As usando as concentrações do ponto 10 porque o As não foi detectado neste ponto.

Verifica-se no caso dos FE obtidos usando CCT que na maior parte dos pontos teve um baixo enriquecimento. O As é o metal pesado com maior nível de enriquecimento onde este varia de baixo enriquecimento para enriquecimento moderadamente severo. O Cr é o elemento com maior FE o que implica que no ponto 9 ocorreu um enriquecimento muito severo do Cr.

Tendo em conta os FE obtidos usando as concentrações do ponto 10 na maioria dos pontos não houve enriquecimento da concentração dos metais pesados, em alguns pontos houve um baixo enriquecimento e em apenas dois pontos houve um enriquecimento moderado.

De acordo com estes dados pode-se dizer que a actividade humana não contribuiu para um aumento extremo da concentração dos metais pesados como o Mn, Cr, Ni, Zn e Pb na Sub-Bacia do rio Revué, entretanto a actividade humana começa a contribuir para um aumento significativo da concentração do As na área em estudo.

- **Índice de geo-acumulação**

As classes de poluição dos sedimentos de fundo ao longo do rio Revué foram determinadas em função do cálculo do índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ) em cada ponto de amostragem, considerando o CCT para a série de metais estudados. A Tabela 8 apresenta o relacionamento entre  $I_{geo}$  e as classes de poluição para os metais pesados Mn, Cr, Ni, Zn, Cu, Pb e As, extraídos dos sedimentos de fundo ao longo do rio Revué.

**Tabela 8:** Índices de geo-acumulação calculado usando CCT

Pontos de Amostragem	Índice de Geo acumulação usando CCT						
	Mn	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb	As
1	-3,41	-1,25	-2,37	-2,31	-3,04	-0,37	--
2	-0,07	0,75	0,12	-0,52	-1,16	-0,39	--

3	0,04	1,07	0,52	-0,63	-1,78	0,11	--
4	0,72	1,79	1,31	-0,71	-0,34	--	3,01
5	0,27	0,70	-0,06	-0,67	-0,34	1,09	1,67
6	0,01	0,54	-0,08	-0,36	0,01	1,16	2,04
7	-0,44	0,84	0,37	-0,71	-0,24	0,29	2,33
8	1,48	0,36	-0,71	-1,25	-0,61	0,16	2,36
9	0,11	3,64	-1,30	-0,52	1,07	--	3,27
10	1,35	0,15	-1,30	-1,81	-1,37	-0,33	1,58
10*	-1,06	-0,42	-2,10	-1,43	-1,08	0,08	--
11	0,52	0,60	0,01	-0,52	-0,12	1,16	1,81
12	-1,51	1,01	0,00	-1,32	-1,24	0,06	1,31

**Legenda:** Sem cor(<0)- não poluído; Amarelo(0–1)- não poluído a moderadamente poluído; Verde (1–2)- moderadamente poluído; Castanho(2-3)- Moderadamente a altamente poluído; Vermelho(3-4)- Altamente poluído; Preto(4-5)- Altamente a extremamente poluído; (>5)- Extremamente poluído.

**Tabela 9:** Índice de geo-acumulação calculado usando concentração do ponto 10

Pontos de Amostragem	Índice de Geo acumulação usando concentrações do ponto 10					
	Mn	Cr	Ni	Zn	Cu	Pb
1	-2,93	-1,42	-0,86	-1,46	-2,55	-1,03
2	0,41	0,58	1,63	0,32	-0,66	-1,05
3	0,51	0,91	2,03	0,22	-1,29	-0,55
4	1,19	1,63		0,13	0,15	--
5	0,74	0,53	1,46	0,17	0,15	0,43
6	0,49	0,38	1,44	0,49	0,50	0,50
7	0,03	0,67	1,89	0,13	0,26	-0,37
8	1,95	0,20	0,81	-0,41	-0,12	-0,50
9	0,59	3,48	0,22	0,32	1,56	--
10	1,83	-0,01	0,22	-0,96	-0,87	-1,00
11	0,99	0,43	1,52	0,32	0,38	0,50

12	-1,03	0,85	1,51	-0,48	-0,74	-0,61
----	-------	------	------	-------	-------	-------

**Legenda:** Sem cor(<0)- não poluído; Amarelo(0-1)- não poluído a moderadamente poluído; Verde (1-2)- moderadamente poluído; Castanho(2-3)- Moderadamente a altamente poluído; Vermelho(3-4)- Altamente poluído; Preto(4-5)- Altamente a extremamente poluído; (>5)- Extremamente poluído.

Os maiores valores de índice de geo-acumulação ( $I_{geo}$ ) são encontrados nos dados obtidos usando as concentrações do ponto 10. O Cr é o elemento com maior  $I_{geo}$  no ponto 9 em ambos casos, o que indica que neste ponto os sedimentos encontram-se altamente poluídos pelo Cr. Nos dados obtidos usando CCT o grau de contaminação dos sedimentos varia de não poluído a moderadamente poluído com exceção do ponto 9. Enquanto que nos dados obtidos usando as concentrações do ponto 10 em três pontos, o 3,4 (Ni) e 9 (Cr) respectivamente o grau de contaminação varia de moderadamente a altamente poluído.

Os resultados de  $I_{geo}$  obtidos usando CTT e o ponto 10, revelam poluição moderada para a maioria dos metais pesados ao longo do rio Revué, com maior preocupação para o Cr e Ni a partir das contaminações derivadas dos efluentes da mineração.

- **Índice de Risco Ecológico potencial (IRE)**

A identificação e classificação das ameaças em relação à severidade e o mapeamento da frequência de ocorrência da contaminação (de sedimentos) do rio Revué podem ser obtidas através dos resultados apresentados na tabela 10.

**Tabela 10:** Índice de Risco Ecológico Potencial

Pontos de Amostragem	IRE usando valores da crosta					IRE usando valores do ponto 10*				
	Cr	Ni	Cu	Pb	As	Cr	Ni	Cu	Pb	As
1	1,26	1,93	0,91	5,80	0,00	1,13	4,14	2,72	1,28	7,32
2	5,04	10,87	3,36	5,72	0,00	4,50	23,29	9,36	4,74	7,22
3	6,32	14,33	2,18	8,12	0,00	5,64	30,71	8,72	3,08	10,25
4	10,38	24,87	5,91	0,00	121,11	9,27	53,29	8,21	8,33	0,00
5	4,86	9,60	5,91	16,00	47,78	4,34	20,57	8,46	8,33	20,20
6	4,36	9,47	7,55	16,80	61,67	3,89	20,29	10,51	10,64	21,21

7	5,36	12,93	6,36	9,20	75,56	4,79	27,71	8,21	8,97	11,62
8	3,86	6,13	4,91	8,40	77,22	3,45	13,14	5,64	6,92	10,61
9	37,40	4,07	15,73	0,00	144,44	33,39	8,71	9,36	22,18	0,00
10	3,34	4,07	2,91	5,96	45,00	2,98	8,71	3,85	4,10	7,53
10*	2,24	2,33	3,55	7,92	0,00					
11	4,54	10,07	6,91	16,80	52,78	4,05	21,57	9,36	9,74	21,21
12	6,06	10,00	3,18	7,80	37,22	5,41	21,43	5,38	4,49	9,85
<b>IRE</b>	<b>95,02</b>	<b>120,67</b>	<b>69,36</b>	<b>108,52</b>	<b>662,78</b>	<b>84,84</b>	<b>258,57</b>	<b>94,77</b>	<b>97,82</b>	<b>137,02</b>

Tendo em conta os dados da tabela 10, o risco Ecológico dos metais pesados em análise é baixo para todos os metais em ambos casos, com excepção do As para CCT no qual este varia de moderado à considerável e Ni no ponto 4 para dados obtidos usando concentrações do ponto 10 com um risco potencial moderado. O As é o elemento com maior risco ecológico de acordo com os dados da CCT.

- **Propriedades físico-químicas determinadas "in situ"**

Ao analisar os parâmetros físico-químicos obtiveram-se os resultados apresentados nos gráficos abaixo (gráfico ).

- **Potencial Redox**

Feita a análise verificou-se através do gráfico 4, que o valor do potencial redox variou bruscamente do ponto 1 para o ponto 2 e este apresenta o maior valor de potencial redox (788), o que indica que este é o ponto com maior quantidade de oxigénio dissolvido, consequentemente com menor quantidade de sólidos suspenso, menos turvo e o mais saudável do rio. O ponto 4 é o ponto com menor potencial redox (82) consequentemente o ponto mais turvo, e menos saudável do rio, o valor do potencial redox reduz consideravelmente do ponto 2 a 4 o que pode indicar que neste intervalo há grande actividade mineira/ revolvimento de massas de terra.

**Gráfico 4:** Variação do potencial redox ao longo do rio Revué (da montante a jusante).

- **Conductividade Eléctrica (CE)**

De acordo com o gráfico 5, observou-se que o ponto 8 apresenta maior valor de Conductividade eléctrica (CE) de 92  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , seguido dos pontos 5 e 7. Nesses pontos há maior concentração de iões dissolvidos. A CE ao longo do rio é baixa quando comparada com o limite máximo admissível pelo Diploma Ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro (50-2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

**Gráfico 5:** Variação da CE ao longo do rio Revue (da Montante a Jusante)

- **pH**

Observando o gráfico 6, nota-se que os valores de pH variam de 6,89 a montante do rio Révue a 7,79 a jusante do rio Révue, sendo que 6,89 e 8,45 são os valores mínimo e máximo respetivamente. Considerando os resultados obtidos, a água da área em estudo é alcalina o que indica a concentração de sais na água. Os valores de pH encontram-se dentro dos limites admissíveis (6,5-8,5) para o consumo humano de acordo com o Diploma Ministerial nº 180/2004 de 15 de Setembro.

**Gráfico 6:** Variação do pH e temperatura ao longo do rio Revué (da Montante a Jusante)

Analisando a temperatura, pode-se observar também no gráfico 6, que os valores variam de 16°C à 23°C, da montante a jusante do rio Révue, o que indica que a temperatura da água da área em estudo é baixa, o que quer dizer que, esta tem maior capacidade de dissolver oxigénio.

- **Mércurio no ar**

As concentrações de Hg no ar variam de 0 a 5  $\text{ng}/\text{m}^3$ . Comparando as concentrações de Hg no ar com o valor padronizado pela WHO pode-se verificar que as concentrações nos 12 pontos de amostragem estão muito abaixo do valor considerado padrão (25  $\text{ng}/\text{m}^3$ ), sendo assim pode-se chegar a conclusão de que o ar nos locais de amostragem não está poluído pelo Hg.

- **Medidas de redução e mitigação do impacto ambiental resultante da mineração artesanal**
- **Critérios de avaliação dos impactos**

Os critérios de avaliação dos impactos na área de influência do estudo basearam-se nos parâmetros de classificação de impactos ambientais estabelecidos pela Directiva Geral para Elaboração de Estudos do Impacto Ambiental (Diploma Ministerial n° 129/2006, de 19 de Julho), recorrendo à Check-list (listagem de Impactos). A metodologia de listagem tem a vantagem comparativa de reunir os mais prováveis impactos de um projecto susceptível de causar interferências no ambiente. Esses critérios são apresentados na tabela a seguir.

**Tabela 11:** Critérios de Avaliação dos Impactos identificados na área de influência do estudo.

Macro Critérios	Micro Critério	Descrição do Critério
<b>Probabilidade (P)</b> É o ao grau de possibilidade de ocorrência.	<b>Improvável</b>	A possibilidade de ocorrência se verificar é baixa quer seja pelo desenvolvimento das actividades quer pela natureza das mesmas (1).
	<b>Provável</b>	Existe a possibilidade distinta do impacto ocorrer (2).
	<b>Altamente provável</b>	Quando é quase certo que ocorra (3).
	<b>Definitiva</b>	Quando há certeza que o impacto ocorrerá independentemente das medidas preventivas (4)
<b>Extensão (E):</b> É o comportamento espacial da actividade que poderá possuir impactos.	Limites da região da área a implementar o projecto (Localizada)	(2)
	Área envolvente	(4)
	Região (regional)	(6)
	Nível nacional	(8)
<b>Duração (D):</b> É o tempo de vida do	De curto prazo	(0 – 5 anos) - (1)
	De medio prazo	(5 – 15 anos) - (2)
	De longo prazo	Impacto cessa quando termina o tempo de vida

impacto.		da actividade a que se refere - (3)
	Permanente	Impacto prolonga-se mesmo depois de terminar a actividade e mesmo após a aplicação de medidas de mitigação - (4)
<b>Intensidade (I):</b> É o parâmetro que permite avaliar a magnitude os impactos que infringem normas e regulamentos, atingem populações e processos sociais e afectam o funcionamento dos processos ambientais	Baixa	Caso o impacto ocorra para que o funcionamento dos processos naturais, culturais e sociais não sejam afectados - (2)
	Média	Caso o impacto altere o funcionamento dos processos naturais, sociais ou culturais - (4)
	Alta	Quando o funcionamento dos processos naturais, culturais ou sociais sejam temporárias ou permanentemente interrompido - (6)
<b>Grau de significância (S):</b> Este parâmetro determina o significado do impacto, passa a ser determinável através da síntese dos Aspectos anteriores (extensão, duração, intensidade, probabilidade)	Baixo	Se o impacto não deve influenciar nas decisões- (2)
	Médio	Se deve influenciar nas decisões (a não ser que seja mitigável) - (4)
	Alto	<b>Se deve influenciar nas decisões qualquer que seja o grau de mitigação - (6)</b>
<p><b>S = P + E + D + I</b></p> <p><b>Maior que 12 é considerado significativo;</b></p> <p><b>De 6 à 11 é médio; e</b></p> <p><b>Quando menor ou igual a 5 baixo.</b></p>		

**Tabela 12:** Identificação e medidas de mitigação dos impactos da mineração artesanal no rio Revué.

Impactos	Probabilidade (P)	Extensão (E)	Duração (D)	Intensidade (I)	Significância (S=P+E+D+I)	Medidas
Desmatamento e remoção da camada vegetal, aumentando o risco de erosão do solo	Provável – 2	Localizada - 2	De longo prazo - 3	Média - 4	Média - 11	Controle da erosão através da cobertura vegetal e controle do escoamento para ajudar a reduzir a perda de solo

Assoreamento dos rios, aumento da turbidez e alteração do pH da água	Altamente provável – 3	Regional - 6	De longo prazo - 3	Média - 4	<b>Alta - 16</b>	Adoptar práticas de água, reutilização, consumo e sobre os recursos
Contaminação a água superficial e subterrânea por substâncias tóxicas, tais como Mercúrio, cádmio, arsênio, chumbo, ferro e entre outros	Altamente provável – 3	Regional - 6	De longo prazo - 3	Alta - 6	<b>Alta - 18</b>	Incentivar tanques para represas de permitem rios.
Extinção de animais de pequena espécie nas zonas de mineração	Provável – 2	Localizada - 2	Permanente – 4	Alta - 6	<b>Alta - 14</b>	Consciencial envolvidas, comunidades mineração a promover práticas responsáveis ambiental, te sustentável produtos químicos
Alteração da circulação hídrica da água superficial e subterrânea	Provável – 2	Regional - 6	De longo prazo - 3	Média - 4	<b>Alta - 15</b>	Utilizar tecnologia modo sistema supervisão e monitorar a reduzir os impactos

## • CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### • Conclusões

De um modo geral, pode-se considerar que os objectivos que sustentam o presente estudo foram alcançados. Da análise dos resultados obtidos conclui-se que:

- Na sub-bacia do Révue foram identificados 23 focos de actividade mineira, sendo 8 de mineração industrial e 15 de mineração artesanal;
- A comparação dos teores de Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Mn, Fe e As, obtidos experimentalmente com os valores nos materiais de referência não mostrou existência de diferenças significativas entre os dois valores para todos os elementos determinados, o que significa que o método XRF em detrimento do

método ICP-OES, é válido para determinação de metais pesados em sedimentos do rio Revuè;

- Os cálculos dos factor de enriquecimento (FE), o índice de geoacumulação ( $I_{geo}$ ) e os índice de risco ecológico (IRE) identificaram o grau e as classes de poluição presentes no rio Revuè, sendo verificada para o caso do As e Ni, uma poluição moderada/forte e para o Cr, uma poluição já considerada forte.
- Foi observado que a actividade desenvolvida pela mineração artesanal não influencia negativamente o valor do pH na área estudada, visto que tanto a montante (6.89) assim como a jusante (8.45) do rio Revuè, o pH está muito próximo da neutralidade;
- Observou-se que os valores de CE (33 – 92  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) são moderadamente elevados pela actividade mineira desenvolvida ao longo do rio Revuè.

- **Recomendações**

Para que a avaliação dos metais pesados em sedimentos sirva como uma ferramenta padronizada para a localização das fontes de contaminação dentro da unidade hidrológica em estudo, recomenda-se:

- Estabelecer valores de referência na linha de base da área em estudo, com o objectivo de diferenciar se as contribuições para a poluição são de origem natural ou antropogénica (mineração artesanal);
- Deve-se continuar a determinação dos metais analisados no presente estudo no periodo seco, visto que noutros estudos a concentração dos metais varia com as estações do ano;
- Determinar se os metais cádmio (Cd) e Cobalto (Co) que não foram abrangidos neste estudo mas que foram encontrados em várias literaturas do mesmo fórum;
- Actualização da legislação referente à limites para efluentes mineiros;

- A realização de um estudo integrado dos metais Pb, Cr, Cu, Zn, Ni, Mn, Fe e As, no ambiente e do seu comportamento no perfil água, sedimento e animais, com o objetivo de estabelecer um programa de mapeamento e monitoramento para obter mecanismos de acção junto aos órgãos ambientais, ARA-Centro e a administração distrital, para que se realize um controle da disposição destes elementos no ambiente bem como a prevenção de danos à saúde humana e a biodiversidade.

# APÊNDICES

MATERIAL DE REFERÊNCIA								
Elemento	SARM 46				SARM 52			
	PPM	MR(PPM)	+/-	Erro Relativo(%)	PPM	MR(PPM)	+/-	Erro Relativo(%)
Al	597.45	3.55	69.10	98.31704	0.00	4.96	0.00	100
Ba	4282.54	0.018	125.22	-2279.19	2445.29	0.041	22.81	-496.413
Co	613.17	0.0056	20.11	-994.945	809.31	0.0081	19.52	-899.144
Cr	2106.57	0.0559	46.46	-276.846	4640.32	0.13	38.30	-256.948
Cu	2552.40	0.0566	50.38	-350.954	2249.79	0.0219	35.50	-927.299
Fe	737.59	19.7	119.00	99.62559	0.00	13.79	0.00	100
K	16463.09	0.291	357.00	-465.742	35385.19	0.208	768.86	-1601.21
Mn	114.33	0.8827	18.90	98.7048	0.00	0.209	0.00	100
Na	0.00	0.208	0.00	100	0.00	0.074	0.00	100
Ni	1218.58	0.0125	41.60	-874.863	2029.87	0.0182	57.00	-1015.31
Pb	26727.96	1.3	659.97	-105.6	16764.53	0.12	226.34	-1297.04
Ti	62.84	0.36	16.00	98.25436	0.00	0.779	0.00	100
V	959.47	0.0225	21.31	-326.431	1827.54	0.0346	4.72	-428.19
Zn	16403.42	0.59	452.96	-178.024	8746.23	0.0264	269.77	-3212.97

### APÊNDICE 1: Resultados obtidos para a Validação do Método ICP-OES

**Legenda:** Cor Vermelha – Valores fora do intervalo estabelecido pela MINTEK (2015).

## APÊNDICE 2: Parâmetros de Qualidade Físico-Químicos determinados “*in situ*”

Pontos	Coordenadas	Hora (H:min)	Altitude (m)	Local	Potencial redox	CE ( $\mu$ s)	pH	T (°C)	Hg <sup>ar</sup>
1	S:18° 47' 54.2" E:32° 47' 26.9"	11:08	1691	Alto Mucudo (Nascente)	189	33	6,86	16	1
2	S:18° 50' 48.9" E:32° 45' 25.3"	13:20	-----	Baixo Mucudo	788	57	8,45	19	2
3	S:18° 50' 53.7" E:32° 45' 53.7"	14:00	928	Mucudo Centro	196	65	7,75	23	2
4	S:180 52' 07.1" E:320 47' 50.1"	15:07	757	Benjamim	82	183	7,95	23	1
5	S:18° 52' 19.6" E:32° 49' 44.5"	-----	722	3 pontes	183	82	7,52	22	2
6	S:18° 52'23.8" E:32° 50'27.4"	-----	709	Bananeiras	156	82	7,54	23	2
7	S:484845 E:791264,8 em UTM	17:30	-----	Fenda	-----	92	7,78	23	4
8	S:19° 09' 23" E:33° 08' 44.7"	10:15	560	Barragem de Chicamba	127	57	7,79	21	2
9	S:190 09' 33" E:330 09' 03.4"	11:15	561	Chicamba Baixo	125	62	7,83	22	5
10	S:19003'05.5" E:33016'21.8"	13:40	512	Rio Vanduze	125	55	7,48	23	0
11	S:18059'12.6" E:33003'01.6"	16:35	711	Munhena	186	72	7,65	23	2
12	S:18059'12.6" E:33003'01.6"	7:15	624	Entrada para Chicamba	144	56	7,25	21	2