



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA
RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE O MODELO DE PREVISÃO E A
PRODUÇÃO REAL NO RÁCIO DOS PRODUTOS DE ILMENITE NA PLANTA DE
SEPARAÇÃO MINERAL DA KENMARE**

Autora:

Anilda Alexandre Madeira

Supervisor:

Prof. Doutor António Cumbane, Eng.º

Maputo, Agosto de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA QUÍMICA
RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE O MODELO DE PREVISÃO E A
PRODUÇÃO REAL NO RÁCIO DOS PRODUTOS DE ILMENITE NA PLANTA DE
SEPARAÇÃO MINERAL DA KENMARE**

Autora:

Anilda Alexandre Madeira

Supervisor:

Prof. Doutor António Cumbane, Eng.º

Maputo, Agosto de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante **Anilda Alexandre Madeira** entregou no dia ____/
____/2025 as ____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a
referência: _____, intitulado: **Análise das discrepâncias entre o modelo de
previsão e a produção real no rácio dos produtos de ilmenite na planta de
separação mineral da Kenmare**

Maputo, ____ de _____ de 2025

O chefe de Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Anilda Alexandre Madeira, afirmo, em consciência e honra, que este trabalho é da minha exclusiva autoria, que não foi utilizado nenhum recurso ou ajuda externa não devidamente identificada, e que todas as fontes consultadas estão corretamente referenciadas. Asseguro ainda que o presente trabalho não foi anteriormente submetido, total ou parcialmente, a qualquer outro curso ou instituição, com o fim de obtenção de grau académico ou outro tipo de avaliação.

Maputo, ____de _____de 2025

A autora

(Anilda Alexandre Madeira)

Supervisor

(Prof. Doutor António Cumbane, Eng.º)

Chefe do departamento

(Prof. Doutor Clemêncio Nhantumbo, Eng.º)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de final de curso:

Ao Senhor, o meu Deus, que me fez conhecer os caminhos da vida e me enche de
Alegria em Sua presença.

Àquele que deu o Seu Único Filho para que todo aquele que nele crê, não pereça,
mas tenha a Vida eterna

Àquele que é a minha Salvação, no qual confio, e não teimo, porque Ele é a minha
Força e o meu cântico, e se tornou a minha Salvação.

Dedico este trabalho à Deus, o meu Deus, que me ama além de toda a
compreensão e entendimento humano.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu toda sorte de bênçãos para que pudesse iniciar e concluir esta jornada, com saúde, vida e alegria.

Agradeço à minha mãe, **Hortência Nhatsave** e ao meu pai, Alexandre Madeira, que têm cuidado de mim e providenciado tudo o que preciso e precisei para completar este percurso, e acima de tudo, pelo apoio, cuidado e amor incondicional que sempre tiveram por mim.

Agradeço à minha irmã, **Neide Madeira**, minha eterna irmãzinha, que mesmo sendo a mais nova, tem sido uma fonte de força e inspiração para mim. Às mais velhas, Melva e Anacleta, que sempre me ajudaram e apoiaram.

Ao meu supervisor, António Cumbane e a empresa Kenmare, pela oportunidade de realizar este trabalho numa indústria, como Engenheira Química, e aos meus mentores, António Matsinhe e Simon Blancher, pela mentoria e conhecimentos que me foram transmitidos.

De todos os que me acompanharam nesta jornada, o meu especial agradecimento vai para aquele que me acordava nas madrugadas e me incentiva a estudar, que me fazia acreditar que ainda era possível “salvar o semestre” mesmo quando as notas diziam o contrário. Para aquele que entre risos e lágrimas, noites mal dormidas e passeios memoráveis, se tornou mais que um colega e amigo. Agradeço a ti, **Yune Matsinhe** que fez deste percurso, uma jornada inesquecível e por ser o meu parceiro nos estudos, nos negócios e na vida.

À todos os meus colegas que vieram a se tornar amigos e família, pelo apoio e ajuda durante toda esta jornada, em particular à Loma Rangel com quem nos estreitos corredores da Kenmare e da faculdade, partilhei histórias, momentos e confidências, de quem tenho grande estima e admiração. Agradeço também a Cynthia, Naeem, Celestina, Rwamakaza e Alberto, que ajudaram a dar um significado diferente à faculdade.

Agradeço ao meu amigo Paulo Nicolau, que antes mesmo de admitir à faculdade, ele já acreditava que conseguiria.

A todos os que me apoiaram, ajudaram e acreditaram em mim, o meu muito obrigado.

Resumo

A Kenmare Resources, uma empresa de destaque no sector minério em Moçambique, tem como seus principais produtos a ilmenite, o rutilo e o zircão, extraídos à partir das areias minerais na província de Nampula. No entanto tem se verificado uma discrepância constante entre os valores projectados e os valores reais de produção de ilmenite (IP1, IP2 e IP3) no circuito da planta de separação de minerais (MSP). Este trabalho focou-se na identificação dos factores que contribuem para estas divergências, incluindo migrações internas de material entre os produtos, perdas nas correntes de rejeito da MSP e nas plantas de concentração a húmido (WCPs), e limitações do próprio modelo de previsão. Através da análise de amostras e da comparação com o *split* ideal, confirmou-se a existência de migrações internas significativas, perdas de ilmenite nos rejeitos (especialmente IP3 e problemas de eficiência nos *baghouses*), e a necessidade de revisão do modelo de previsão devido à variabilidade da amostragem. Conclui-se que as discrepâncias resultam de uma combinação de factores operacionais e de planeamento, sendo as migrações internas o factor mais influente. As recomendações incluem a revisão do modelo de previsão, a redução de perdas nos rejeitos e a investigação aprofundada das perdas nas WCPs.

Palavras-chave: Ilmenite, *Forecast*, Produção, Desvios, Minerais Pesados, Beneficiamento, MSP, Kenmare.

Abstract

Kenmare Resources, a leading mining company in Mozambique, produces ilmenite, rutile, and zircon as its main mineral outputs, extracted from heavy mineral sands in Nampula province. However, a consistent discrepancy has been observed between the projected and actual production values of ilmenite (IP1, IP2 and IP3) in the heavy mineral separation plant (MSP). This study focused on identifying factors contributing to these divergences, including internal material migrations between products, losses in MSP and wet concentrate plant (WCP) tailings streams, and limitations of the forecasting model itself. Through sample analysis and comparison with the ideal split, significant internal migrations were confirmed, along with ilmenite losses in tailings (especially IP3 and baghouse efficiency issues), and the need to revise the forecasting model due to sampling variability. It is concluded that discrepancies result from a combination of operational and planning factors, with internal migrations being the most influential. Recommendations include revising the forecasting model, reducing losses in tailings, and further investigating losses in WCPs.

Keywords: Ilmenite, Forecast, Production, Deviations, Heavy Minerals, Beneficiation, MSP, Kenmare

Índice

Lista de Siglas e Abreviaturas.....	x
Lista de Símbolos.....	xi
Lista de Figuras.....	xii
Lista de Tabelas.....	xiii
Capítulo I: Introdução	1
1.1. Contextualização do Estudo	1
1.2. Justificativa	2
1.3. Hipóteses da Pesquisa	3
1.4. Objectivos	3
1.4.1. Objectivo Geral.....	3
1.4.2. Objectivos Específicos	3
1.5. Metodologia	4
1.5.1. Limitações do estudo	5
Capítulo II: Revisão Bibliográfica.....	6
2. Minerais Pesados	6
2.1. Definição	6
2.2. Minerais pesados em Moçambique.....	7
2.3. Importância industrial dos minerais pesados.....	8
2.4. Ilmenite.....	9
2.4.1. Composição Química e Estrutura Cristalina.....	9
2.4.2. Propriedades Físicas e Químicas	10
2.4.3. Aplicações Industriais	11
2.4.4. Variações de Qualidade e Critérios de Classificação	13
i. Teor de Dióxido de Titânio (TiO ₂):	13
ii. Presença de Impurezas:	13
2.5. Beneficiamento de Minerais Pesados.....	14

2.5.1. Conceito e Objetivos do Beneficiamento	14
2.5.2. Principais Etapas do Processamento	16
2.5.2.1. Preparação (Desagregação, Peneiramento, Moagem).....	16
2.5.2.2. Concentração Gravítica	17
i. Princípios da Concentração Gravítica:	17
ii. Equipamentos de Concentração Gravítica:	17
2.5.2.3. Separação Eletrostática.....	18
i. Princípios da Separação Eletrostática:.....	18
ii. Equipamentos de Separação Eletrostática:.....	19
2.5.2.4. Separação Magnética	20
i. Princípios da Separação Magnética:	21
ii. Tipos de Separadores Magnéticos:.....	22
2.6. Modelo de Previsão de Produção (<i>Split Model/Forecast</i>)	25
2.6.1. Conceito de <i>Split</i> e Modelagem de Distribuição de Produto.....	25
2.6.2. Aplicações do Modelo de Previsão em Operações Minerai.....	26
2.6.3. Limitações e Fontes de Erro do Modelo de Previsão	27
Capítulo III: Parte Experimental	29
3.1. Área e Período de Realização	29
3.1.1. Planta de Separação de Minerais (MSP).....	29
3.2. Materiais e Equipamentos Utilizados	30
3.3 Recolha e Agrupamento Estratégico de Amostras	30
3.4. Etapas de Processamento Laboratorial.....	32
3.4.1. Descrição do procedimento laboratorial para amostras do Bag House e das WCP	33
a) Deslamagem (remoção de lama):	33
b) Separação magnética (<i>Drum Magnetic Separator</i>):.....	33
c) Separação electrostática (Carrara):	34

d) Separação magnética (IRMS):.....	35
e) Análise química (XRF):	36
Capítulo IV: Apresentação e Discussão dos Resultados.....	37
4.1. Teste das Hipóteses.....	37
4.1.1. Hipótese 1: Há migração interna dos produtos de ilmenite dentro do circuito	37
4.1.1.1. Análise das amostras compostas dos produtos IP1, IP2 e IP3/4	37
4.1.1.2. Comparação entre o <i>Split</i> Real e o <i>Split</i> sem Redistribuições Internas	40
4.1.2. Hipótese 2: Há perdas nas correntes do rejeito do MSP	41
4.1.2.1. Análise das amostras das correntes de rejeito	41
4.1.2.2. Comparação entre o <i>Split</i> Real e o <i>Split</i> sem perdas no MSP	42
4.1.3. Hipótese 3: As perdas ocorrem nas Plantas de Concentração à Húmido	43
4.1.4. Hipótese 4: As discrepâncias observadas advêm do próprio <i>forecast</i>	45
❖ Limitações do modelo de previsão.....	46
Capítulo V: Conclusões e Recomendações	48
5.1. Conclusões.....	48
5.2. Recomendações.....	49
Referências Bibliográficas	52
Apêndice.....	57
Anexos	67

Lista de Siglas e Abreviaturas

Conc: Concentrado

Cond: Conductor

DMR: *Dry Magnetic Rejects* (Rejeitos Magnéticos Secos)

DNM: *Dry Non Mag* (Produto não magnético seco)

DZC: *Dry Zircon Concentrate* (Concentrado de Zircão Seco)

Hi-Al: *High Aluminium* (Elevado Teor de Alumínio)

HMC: *Heavy Mineral Concentrate* (Concentrado de mineral pesado)

HIMS: *High Intensity Magnetic Separator* (Separador magnético de alta intensidade)

HTR: *High Tension Rollers* (Separador de Rolo de alta tensão)

IP1: *Ilmenite Product 1* (Produto de Ilmenite 1)

IP2: *Ilmenite Product 2* (Produto de Ilmenite 2)

IP3/4: *Ilmenite Product 3/4* (Produto de Ilmenite 3/4)

IRMS: *Induced Roll Magnetic Separator* (Separador Magnético de Rolo Induzido)

LIMS: *Low Intensity Magnetic Separator* (Separador Magnético de Baixa Intensidade)

Mag: Magnético

Mids: Fracção intermédia

MSC: Concentrado de Monazita

MSP: *Mineral Separation Plant* (Planta de Separação Mineral)

RED: *Rare Earth Drum* (Tambor de Terras Raras)

WCP: *Wet Concentrate Plant* (Planta de Concentração a Húmido)

WHIMS: *Wet high Intensity Magnetic Separator* (Separador Magnético Húmido de Alta Intensidade)

WNMR: *Wet Non-Magnetic Reject* (Rejeitos Não Magnético Húmidos)

WNMC: *Wet Non-Magnetic Concentrate* (Concentrado Não Magnético Húmido)

WZC: *Wet Zircon Concentrate* (Concentrado Húmido de Zircão)

XRF: *X-Ray Fluorescence* (Fluorescência de Raios-X)

Lista de Símbolos

A: Amperes

%: Percentagem

g/cm³: Gramas por centímetro cúbico

kV: kilovolt

rpm: Rotações por minuto

H1: Hipótese 1

H2: Hipótese 2

H3: Hipótese 3

H4: Hipótese 4

Lista de Fórmulas Químicas

FeTiO₃: Fórmula química de Ilmenite

TiO₂: Dióxido de Titânio

ZrSiO₄: Fórmula química de Zircão

ZrO₂: Óxido de zircónio

U + Th: Urânio e Tório

Lista de Figuras

Figura 1: Gráficos de Split de Ilmenite	2
Figura 2: Ilmenite	9
Figura 3: As principais etapas no processamento mineral (fonte: Rao (2011))	15
Figura 4: Princípio de funcionamento (a) e exemplo (b) de uma HTR (fonte: Wills (2016)).....	20
Figura 5: Princípio de funcionamento de um separador de placas (fonte: Wills (2016))	20
Figura 6: Ilustração da trajetória das partículas num separador magnético (fonte: Fuerstenau & Han (2010)).....	21
Figura 7: Princípio de funcionamento (a) e exemplo (b) de uma IRMS (fonte: Fuerstenau & Han (2010)).....	24
Figura 8: Princípio de funcionamento (a) e exemplo (b) de uma RED (fonte : Kenmare Moma Processing (2010))	25
Figura 9: Fluxograma do MSP	29
Figura 10: Divisor rotativo laboratorial.....	32
Figura 11: Fluxograma do processo laboratorial	32
Figura 12: Deslamagem manual das amostras da WCP (a) e Baghouse (b) e estufa utilizada c).....	33
Figura 13: Separador Magnético do tipo tambor laboratorial	34
Figura 14: Prato quente (a) e separador eletrostático - Carrara (b)	35
Figura 15: Balança (a) e IRMS (b) laboratorial.....	36
Figura 16: XRF portátil	36
Figura 17: Gráfico de análise das amostras compostas de IP1	38
Figura 18: Gráfico de análise das amostras compostas de IP2	39
Figura 19: Gráfico de análise das amostras compostas de IP3	39
Figura 20: Gráfico de análise das amostras compostas de IP4	40
Figura 21: Análise das amostras dos rejeitos do MSP (WNMR, DMR e Baghouse)	42
Figura 22: Ilustração da variabilidade da composição do minério dentro de um bloco	47

Lista de Tabelas

Tabela 1: Propriedades dos Minerais	6
Tabela 2: Composição química média de Ilmenite que ocorre em Moçambique.....	7
Tabela 3: Propriedades Físicas da Ilmenite.....	10
Tabela 4: Propriedades Químicas da Ilmenite	10
Tabela 5: Especificação da composição química da Ilmenite.....	10
Tabela 6: Classificação da qualidade de ilmenite produzido pela Kenmare	14
Tabela 7: Materiais e Equipamentos	30
Tabela 8: Agrupamento das amostras recolhidas.....	31
Tabela 9: Comparação entre o Split Real e o Split sem Redistribuições Internas	40
Tabela 10: Comparação entre o Split Real e o Split sem Perdas no MSP	43
Tabela 11: Análise das perdas que ocorrem nas Plantas de Concentração à Húmido	44
Tabela 12: Comparação entre o Split Real e o Split sem Perdas nas WCPs	44
Tabela 13: Comparação entre o forecast e produção em condições ideais	45

Capítulo I: Introdução

1.1. Contextualização do estudo

A indústria extractiva de minerais pesados exerce uma função fundamental na economia de Moçambique, contribuindo significativamente para as exportações e para a criação de postos de trabalho e geração de receitas fiscais. Entre as empresas de destaque no sector, encontra-se a Kenmare Moma Mining (Mauritius) Limited, operando na província de Nampula, onde realiza a extracção e processamento de areias minerais, com foco na produção de ilmenite, zircão e rutilo. A ilmenite, em particular, é um minério de titânio de grande importância industrial, utilizado na produção de dióxido de titânio (TiO_2), um pigmento amplamente empregado em diversas indústrias, e, em menor escala, de titânio metálico, essencial para aplicações de alta performance (Geology Science, 2023).

Na planta de separação mineral da Kenmare (MSP), uma das etapas críticas do processo produtivo é o tratamento do Concentrado de Mineral Pesado (HMC), proveniente das plantas de concentração primária. Este HMC é submetido inicialmente ao circuito de separação magnética húmido de alta intensidade (WHIMS), que tem como função separar a fracção magnética da não magnética. A fracção magnética, rica em ilmenite, é então encaminhada para os circuitos subsequentes, onde se pretende gerar três qualidades distintas de produto final: IP1, IP2 e IP3. A operação do circuito de ilmenite é guiada por um plano orçamental mensal, estabelecido com base em modelos metalúrgicos e previsões de produção (*forecast*), que definem volumes e rácios ideais (*split*) entre as três qualidades de produto. Contudo, tem-se observado uma recorrente e significativa discrepância entre os valores projetados e os efectivamente produzidos. Esta situação revela-se crítica para a empresa, pois compromete a fiabilidade das previsões, a capacidade de cumprimento de contratos comerciais e o planeamento interno, afetando a gestão de recursos, o controlo de qualidade e a tomada de decisões operacionais (Wills, 2016).

Estudos anteriores e desafios comuns na indústria de minerais pesados frequentemente apontam para a complexidade da optimização de processos e a gestão de balanços de massa em circuitos de beneficiamento (Fuerstenau & Han, 2010). A variabilidade intrínseca do minério, a eficiência dos equipamentos e a precisão dos modelos de previsão são factores críticos que podem levar a desvios

entre o esperado e o real. Diante deste cenário, torna-se imperativo realizar uma investigação sistemática e técnica que permita compreender com rigor onde e como estas discrepâncias ocorrem, contribuindo para o aperfeiçoamento do processo, a otimização da produção e o reforço da fiabilidade das previsões. Este estudo visa, portanto, analisar as causas subjacentes a essas divergências, propondo soluções que alinhem a produção real com as expectativas do *forecast*, e, assim, fortalecer a competitividade da Kenmare no mercado internacional de minerais pesados.

1.2. Justificativa

A previsão rigorosa e acertiva da produção de ilmenite, segmentada nas suas três principais qualidades (IP1, IP2 e IP3), é um elemento estratégico para o desempenho global da Kenmare. A capacidade de cumprir com exactidão os contratos firmados com os clientes dependem directamente da fiabilidade dos dados projectados, tanto em termos de volume como de qualidade dos produtos. O gráfico a seguir mostra as discrepâncias que se tem observado entre as metas mensais e os resultados obtidos para o produto de Ilmenite de qualidade IP3, porém o mesmo cenário tem se verificado para os outros produtos também (IP1, IP2).

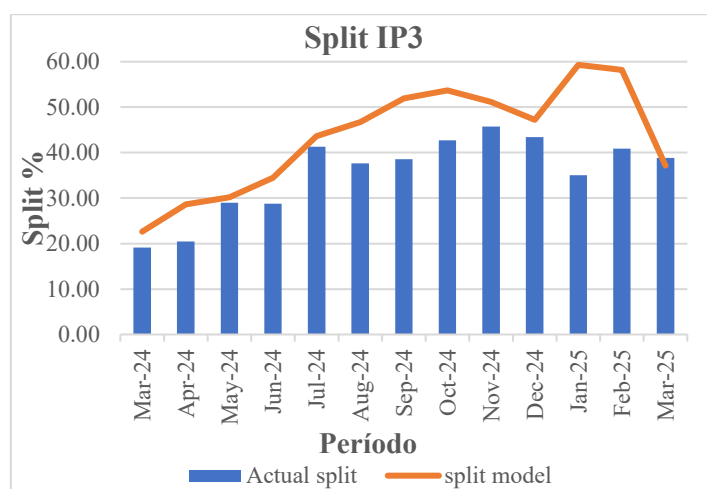


Figura 1: Gráficos de *Split* de Ilmenite

Estas discrepâncias têm implicações operacionais e comerciais. Do ponto de vista técnico, dificultam o controlo do processo e a optimização da eficiência dos equipamentos. Do ponto de vista económico, podem conduzir a penalizações contractuais, perda de confiança dos clientes e prejuízos financeiros. Acresce que, do ponto de vista estratégico, afectam a competitividade da empresa no mercado internacional de minerais pesados.

Desta feita, a realização deste estudo fundamenta-se na necessidade de compreender detalhadamente os fluxos internos do circuito de ilmenite, identificar possíveis pontos de perda ou redistribuição de material, e propor soluções técnicas que permitam alinhar os resultados reais com as previsões estabelecidas. A investigação reveste-se de grande relevância, não só para a Kenmare, mas também para o aperfeiçoamento contínuo das práticas de engenharia no sector mineiro nacional.

1.3. Hipóteses da pesquisa

- **H1:** As divergências entre os valores projectados e os valores efectivamente produzidos resultam de migração interna de material entre os diferentes produtos de ilmenite (IP1, IP2 e IP3), sem perdas reais no total produzido.
- **H2:** Existe perda efectiva de material ao longo do circuito da MSP, através das correntes de rejeito.
- **H3:** Parte do material com potencial para compor os produtos finais é perdido nas etapas iniciais do processo, nas plantas de concentração a húmido (WCP) especificamente durante a extracção e concentração do minério, antes da sua chegada ao MSP.
- **H4:** As discrepâncias observadas advêm do próprio *forecast*, podendo ser devido ao modelo utilizado, ou então, problemas com os dados ou amostras utilizadas para a determinação do mesmo.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

Avaliar o processo de produção de ilmenite da Kenmare, bem como o da elaboração do *forecast*, com vista a identificar os pontos de desvio ou perda que influenciam o *split* final entre os produtos de IP1, IP2 e IP3.

1.4.2. Objectivos específicos

1. Mapear o fluxo produtivo da ilmenite, identificando os principais pontos de redistribuição ou perda ao longo do circuito da MSP;

2. Identificar e caracterizar as amostras previamente colectadas nos pontos-chave do circuito, com vista à sua análise qualitativa e quantitativa;
3. Detectar possíveis desvios no encaminhamento do material que resultem em alterações não previstas na distribuição dos produtos finais;
4. Verificar a existência de ilmenite nas correntes de rejeito e avaliar a sua qualidade;
5. Testar a robustez do modelo de previsão e a sua adequação à realidade do que se produz no MSP
6. Apresentar propostas de melhoria fundamentadas nos resultados obtidos, orientadas para a redução das discrepâncias e o aumento da fiabilidade das projecções de produção.

1.5. Metodologia

Com vista a atingir os objectivos estabelecidos, este trabalho desenvolveu-se em quatro (4) etapas essenciais, a saber: (1) revisão bibliográfica; (2) exposição ao campo; (3) trabalho experimental e (4) elaboração do relatório final.

❖ Revisão bibliográfica

A primeira fase deste estudo, correspondente à revisão bibliográfica, consistiu na aplicação da metodologia de pesquisa descritiva, apoiada na análise de fontes credíveis como livros, artigos científicos, teses e relatórios. Estas referências forneceram subsídios essenciais para uma compreensão mais aprofundada dos conceitos e processos envolvidos na experiência a ser realizada. Paralelamente, recorreu-se à orientação de supervisores e à consulta junto dos colaboradores da empresa, complementando os dados obtidos nas fontes bibliográficas.

❖ Exposição ao campo e trabalho experimental

Na etapa de exposição ao campo, realizou-se um estágio de três (3) meses na mineradora Kenmare Resources plc, com o objectivo de acompanhar e compreender os processos industriais. Para avaliar as diferenças entre as previsões de produção (*forecast*) e os valores efectivamente registados para os produtos de ilmenite (IP1, IP2 e IP3/4) na planta de separação de minerais (MSP) da Kenmare, a metodologia

adotada contemplou as seguintes etapas: **(i) recolha e agrupamento de amostras, (ii) processamento laboratorial e (iii) análise e interpretação dos dados obtidos.**

❖ **Elaboração do relatório final**

A fase final consistiu na consolidação de todas as etapas do trabalho, integrando informações obtidas da literatura, a fundamentação da escolha do tema, os procedimentos experimentais realizados, a análise e discussão dos resultados, bem como a apresentação das conclusões. A redação do relatório foi realizada em conformidade com as normas vigentes e seguindo o regulamento em vigor na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane para a elaboração de relatórios de estágio.

1.5.1. Limitações do estudo

Uma das principais limitações encontradas durante a realização deste trabalho esteve relacionada com a utilização do espectrofotómetro portátil de Fluorescência de Raios-X (XRF). Embora este equipamento apresente a vantagem de ser de fácil manuseio e permitir análises rápidas, a sua eficiência é inferior quando comparada aos espectrofotómetros de bancada utilizados a nível industrial, que oferecem maior sensibilidade, resolução e precisão na quantificação dos elementos presentes nas amostras minerais.

Para ultrapassar esta limitação, foi adoptada uma estratégia de replicação das leituras: em cada amostra foram efectuadas três medições consecutivas, de forma a minimizar o efeito de eventuais variações instrumentais. Em seguida, foi calculada a média dos resultados obtidos, garantindo assim maior fiabilidade e representatividade dos dados.

O outro desafio enfrentado é pelo facto da alimentação no MSP sofrer alterações ao longo do dia, quer seja pelas proporções do material que é alimentado (HMC A, B e C) ou então pelo material reciclado (*spillage*), enquanto que o *forecast* é definido com base em apenas uma única alimentação para um determinado dia.

Apesar destas limitações, considera-se que a metodologia aplicada foi adequada para os objectivos do estágio, fornecendo resultados consistentes e suficientemente robustos para suportar as análises e reflexões apresentadas.

Capítulo II: Revisão Bibliográfica

2. Minerais Pesados

2.1. Definição

Os minerais pesados desempenham um papel central no desenvolvimento industrial, económico e tecnológico das nações, sendo a base de inúmeras cadeias produtivas, desde a construção civil até às indústrias de alta tecnologia. Em Moçambique, o sector mineiro representa um dos maiores pilares estratégicos com potencial para alavancar a economia nacional, sustentado por vastos recursos minerais ainda em fase de exploração e valorização (O Económico, 2024). Mineral pode ser definido como um material natural que apresenta uma estrutura interna bem determinada, composição química específica, bem como propriedades químicas e físicas características, formado como resultado de processos geológicos ou cósmicos. Quimicamente, um mineral é um conjunto de moléculas do mesmo composto químico ou, menos frequentemente, uma mistura de compostos (Drzymala, 2007).

Os minerais pesados são então definidos como os minerais cuja densidade está acima de 2.9 g/cm^3 , isto é, superior à do quartzo (2.65 g/cm^3) e à dos feldspatos (2.56 a 2.76 g/cm^3) (Lohmann, 2015).

As **propriedades físicas** dos minerais — como cor, brilho, dureza, tamanho, peso específico, condutividade eléctrica e magnetismo — e **propriedades químicas** — como composição e reactividade — são utilizadas como critérios para a sua identificação, classificação e aproveitamento económico. A tabela a seguir mostra alguns exemplos de minerais pesados e as suas propriedades físicas como peso específico, susceptibilidade magnética e condutividade eléctrica.

Tabela 1: Propriedades dos minerais

<i>Mineral</i>	<i>Peso Específico</i>	<i>Faixa de Tamanho</i>	<i>Propriedades Magnéticas</i>	<i>Condutividade Eléctrica</i>
Ilmenite	4.7	-250µm	Para-magnético	Condutor
Rutílio	4.2 – 4.3	-250µm	Não- magnético	Condutor
Leucoxene	3.6 – 4.3	-250µm	Para-magnético	Condutor
Zircão	4.7	-250µm	Não- magnético	Não-Condutor
Cianita	3.6 – 3.7	-250µm	Não- magnético	Não-Condutor
Monazita	4.9 – 5.5	-250µm	Para- magnético	Não-Condutor
Cromita	4.6	-250µm	Para- magnético	Condutor
Magnetite	5.2	-250µm	Ferro- magnético	Condutor
Sílica	2.7	-250µm	Não- magnético	Não-Condutor

2.2. Minerais pesados em Moçambique

Em Moçambique, os minerais pesados ocupam um lugar de destaque no sector mineiro, principalmente devido à presença de importantes depósitos costeiros ricos em ilmenite, rutilo, zircão, grafite e carvão mineral ao longo das províncias de Inhambane, Zambézia, Tete e Nampula (Integrity Magazine, 2022). Estes recursos representam uma importante reserva estratégica para o desenvolvimento industrial e exportações do país.

A exploração de areias pesadas em Moçambique é liderada por grandes projectos como o da Kenmare Resources PLC, uma empresa mineira irlandesa que se estabeleceu como um dos principais produtores globais de ilmenite (IPIM, 2020), que opera na mina de Moma, localizada na província de Nampula, considerada uma das maiores e mais importantes reservas de ilmenite do mundo, detendo actualmente cerca de 7% do mercado global de ilmenite (Diário Económico, 2025). Esta operação também produz zircão e rutilo, exportados maioritariamente para os mercados asiático e europeu, contribuindo significativamente para as exportações nacionais e para a geração de receitas fiscais (Kenmare Resources, n.d.).

De acordo com estudos geológicos, a composição química da ilmenite presente em Moçambique, bem como as regiões onde é mais abundante encontram-se na tabela 2 (Afonso & Marques, 1998)

Tabela 2: Composição química média de Ilmenite presente em Moçambique

Áreas	TiO ₂ (%)	FeO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)
Ponta de Ouro	49.67	35.96	13.05	0.22	0.042
Marracuene	51.16	27.62	17.99	1.04	0.033
Limpopo	47.6	31.99	18.75	-	0.054
Xai-Xai	47.13	32.71	17.55	0.41	0.061
Zavora	48.83	33.86	15.72	-	0.036
Marrongulo	49.7	27.97	20.12	0.93	0.037
Zalala	46.13	27.91	21.79	0.8	0.34
Pebane	52.76	22.15	20.27	0.21	0.12
Angoche	54.41	22.47	23.09	0.23	0.078
Congolone	55.36	16.34	25.71	0.18	0.072
Quinga	56.8	14.43	26.06	0.17	0.12
Moebesa	53.75	20.14	23.86	0.26	0.42
Moma/Topuito	50.06	-	43.4	0.22	0.208

-Não determinado; Fonte: Adaptado de Afonso & Marques (1998)

A operação da Kenmare em Moçambique tem sido marcada por investimentos contínuos em modernização e expansão para aumentar a produção de ilmenite. Em 2022, a empresa anunciou um aumento de 25% na produção de ilmenite e titânio no terceiro trimestre, evidenciando os esforços para otimizar as suas operações (Diário Económico, 2022).

2.3. Importância industrial dos minerais pesados

Os minerais pesados desempenham um papel fundamental em várias cadeias produtivas da indústria moderna, sendo matérias-primas estratégicas em sectores como o metalúrgico, cerâmico, químico, electrónico e energético. De acordo com Klein & Dutrow (2012), alguns minerais pesados como a ilmenite, rutilo e zircão são altamente valorizados pela sua composição rica em elementos metálicos como o titânio e zircónio, que lhes conferem propriedades físico-químicas únicas e aplicações industriais diversificadas.

A ilmenite (FeTiO_3) e o rutilo (TiO_2), por exemplo, são as principais fontes de titânio, um metal com uma vasta gama de aplicações industriais. O titânio é reconhecido pela sua elevada resistência à corrosão e alta relação resistência-peso e biocompatibilidade, tornando-o indispensável em indústrias como a aeronáutica (para fabrico de turbinas de aviões supersónicos), médica (em próteses dentárias e implantes cirúrgicos), e também na produção de pigmentos (dióxido de titânio, TiO_2), que é amplamente utilizado em tintas, plásticos e cosméticos (CETEM, 2005).

Já o zircão (ZrSiO_4) é valorizado pela sua elevada resistência térmica e química, sendo amplamente usado na fundição de metais, fabricação de cerâmicas refractárias, vidros especiais e na indústria nuclear. Segundo Deer, Howie, & Zussman (2013), a purificação do zircão permite a obtenção do óxido de zircónio (ZrO_2), que é empregado na fabricação de próteses dentárias, cerâmicas técnicas e revestimentos de turbinas.

Além disso, os minerais pesados possuem elevada densidade económica: mesmo quantidades relativamente pequenas, quando extraídas podem gerar receitas consideráveis, com impactos significativos na balança comercial, no emprego local e no desenvolvimento infra-estrutural em regiões remotas onde estas operações se localizam (CETEM, 2005).

A engenharia química assume um papel essencial no processamento de minerais pesados, abrangendo desde as etapas de cominuição (britagem e moagem) e concentração (flotação, separação gravítica) até à extracção e purificação dos elementos de valor, garantindo a eficiência e sustentabilidade dos processos (Luz, Sampaio, & França, 2010).

2.4. Ilmenite

2.4.1. Composição química e estrutura cristalina

A ilmenite é um mineral de óxido de ferro e titânio, cuja fórmula química idealizada é FeTiO_3 . Esta composição teórica corresponde a aproximadamente 36.8% de ferro (Fe), 31.6% de titânio (Ti) e 31.6% de oxigénio (O) em peso (Rodbari, Lucena, Jamshidi, Nascimento, & David A. Landinez). Na sua forma natural e estável tem cor predominante preta e brilho opaco, conforme se pode observar na figura abaixo:



Figura 2: Ilmenite (fonte: autora)

Em termos de estrutura cristalina, a ilmenite cristaliza no sistema hexagonal (trigonal), pertencendo à classe cristalográfica $\bar{3}$ (R-3). A sua estrutura é caracterizada por uma rede de octaedros de FeO_6 e TiO_6 que partilham arestas e vértices, formando camadas empilhadas. Esta arrumação confere à ilmenite uma estrutura compacta e densa. O hábito cristalino da ilmenite é tipicamente tabular, com planos basais bem desenvolvidos e pequenas truncaduras romboédricas. Pode também ocorrer em massas compactas, em grãos disseminados ou como areia, especialmente em depósitos de plácer - concentração natural de minerais valiosos, que foram transportados e depositados por processos naturais, como água, vento ou gravidade, de sua rocha natural para um novo local (USP, 2015).

2.4.2. Propriedades físicas e químicas

Tabela 3: Propriedades físicas da Ilmenite

Propriedades Físicas	Descrição
Cor	preta-ferro a preta
Brilho	Metálico/opaco
Traço	preto a vermelho-acastanhado
Dureza	5.0 a 6.0 Mohs
Densidade	4.5 a 5.0 g/cm ³
Susceptibilidade Magnética	Fracamente magnético
Condutividade eléctrica	Alta
Clivagem	Ausente
Fratura	Conchoidal
Hábito	Tubular

Fonte: adaptado de Rodbari, Lucena, Jamshidi, Nascimento, & David A. Landinez e USP (2015).

Tabela 4: Propriedades químicas da ilmenite

Propriedades Químicas	Descrição
Estabilidade	Relativamente estável
Solubilidade	Solúvel em H ₂ SO ₄ e HCl
Composição	Variável

Fonte: adaptado de Rodbari, Lucena, Jamshidi, Nascimento, & David A. Landinez e USP (2015).

A composição química da ilmenite é variável, podendo o seu teor de titânio variar entre 50% e 58%, e o ferro na forma de óxido, apresentando uma concentração que oscila entre 30% e 48%, segundo o que se pode observar na Tabela 5 (Angpacmin).

Tabela 5: Especificação da composição química da Ilmenite

Composto/Elemento Químico	Teor (%)
TiO ₂	50-58
Fe ₂ O ₃	30-48
Cr ₂ O ₃	0.05-0.60

Al ₂ O ₃	0.5-1.5
SiO ₂	0.5-1.0
ZrO ₂	0.05-0.5
V ₂ O ₃	0.1-0.25
P ₂ O ₅	0.02-0.2
MnO	1.3-1.8
CaO	0.01-0.1
MgO	0.3-0.5
U	5-20 ppm
Th	50-250 ppm

Fonte: Angpacmin

2.4.3. Aplicações industriais

A ilmenite é o minério de titânio mais importante e amplamente utilizado, servindo como matéria-prima fundamental para uma grande variedade de aplicações industriais. A sua relevância econômica advém principalmente da capacidade de produzir dióxido de titânio (TiO₂) e, em menor escala, titânio metálico (Geology Science, 2023).

❖ Produção de dióxido de titânio (TiO₂):

O dióxido de titânio é o principal produto derivado da ilmenite, sendo um pigmento branco de alta opacidade, brilho e não toxicidade, o que o torna um dos pigmentos mais utilizados globalmente (Coherent Market Insights, 2014). A produção de TiO₂ a partir da ilmenite é realizada principalmente por dois processos:

i. Processo de sulfato:

Este método envolve a digestão da ilmenite com ácido sulfúrico concentrado, seguida de hidrólise para precipitar o dióxido de titânio hidratado. O produto é então calcinado para obter o TiO₂ na forma de anatásio ou rutilo. O anatásio é preferido para indústrias de papel, cerâmica e tintas de impressão (CETEM, 2005).

ii. Processo de cloreto:

Considerado mais moderno e ambientalmente mais limpo, este processo envolve a cloração da ilmenite a altas temperaturas para produzir tetracloreto de titânio (TiCl₄),

que é subsequentemente oxidado para formar TiO_2 . Este processo tende a produzir TiO_2 na forma de rutilo, que possui maior poder de cobertura e durabilidade (Spherical Insights, 2012). O TiO_2 é amplamente empregado em:

- **Tintas e revestimentos:** Confere brancura, opacidade e durabilidade a tintas, vernizes e esmaltes.
- **Plásticos:** Utilizado como pigmento e agente de opacificação em diversos produtos plásticos.
- **Papel:** Melhora a brancura, opacidade e brilho do papel (Fortune Business Insights, 2016)
- **Cosméticos e protetores solares:** Devido às suas propriedades de bloqueio ultra-violeta e não toxicidade, é amplamente utilizado na formulação de protetores solares e outros produtos cosméticos (UNIFAL-MG, 2023)
- **Fibras têxteis e borracha:** Usado como pigmento e para melhorar a resistência de materiais.

❖ **Produção de titânio metálico:**

Embora grande parte da ilmenite seja destinada à produção de TiO_2 , uma porção considerável é processada para obter titânio metálico. O titânio é um metal leve, com demasiada resistência mecânica, boa resistência à corrosão e biocompatibilidade, o que o torna apropriado para aplicações de alta performance (CETEM, 2005). O processo mais utilizado para a produção de titânio metálico a partir da ilmenite é o processo Kroll, que envolve a cloração da ilmenite para produzir TiCl_4 , seguido pela redução do TiCl_4 com magnésio ou sódio em atmosfera inerte (WIPO, 2023). As principais aplicações do titânio metálico incluem:

- **Indústria aeroespacial:** Componentes de aeronaves, motores a jacto e naves espaciais, devido à sua alta relação resistência-peso.
- **Indústria química:** Equipamentos resistentes à corrosão, como permutadores de calor, válvulas e tubagens, especialmente em ambientes agressivos.
- **Indústria automóvel e naval:** Componentes de elevada performance e resistência à corrosão.

O ferro obtido a partir da ilmenite não apresenta viabilidade económica para exploração industrial directa, no entanto, este elemento pode ser utilizado em diversos tipos de compostos, como cimento na forma de óxido, bem como na produção do aço a partir de material fundido (Martins & Pereira, 2010).

2.4.4. Variações de qualidade e critérios de classificação

A qualidade da ilmenite, enquanto matéria-prima industrial, é um factor crítico que influencia directamente a sua aplicabilidade e valor de mercado. A classificação da ilmenite para fins comerciais baseia-se em diversos critérios que reflectem a sua pureza e adequação aos processos de produção de dióxido de titânio (TiO_2) e titânio metálico. Os principais parâmetros que determinam a qualidade da ilmenite incluem o teor de TiO_2 e a presença de impurezas (USGS, 2017).

i. Teor de dióxido de titânio (TiO_2):

O teor de TiO_2 é o critério mais fundamental para a avaliação da qualidade da ilmenite. Concentrados de ilmenite de alta qualidade possuem um teor elevado de TiO_2 , geralmente variando entre 46% e 57% (Angpacmin). Um maior teor de TiO_2 significa uma maior eficiência nos processos de extracção e uma menor quantidade de resíduos a serem gerados. Ilmenites com baixo teor de TiO_2 podem ser consideradas de menor qualidade e exigem processos de beneficiamento mais intensivos para se tornarem economicamente viáveis (USGS, 2017).

ii. Presença de impurezas:

A presença de elementos indesejáveis na ilmenite pode afectar negativamente a eficiência dos processos de produção de TiO_2 e a qualidade do produto final. As impurezas mais comuns incluem:

- **Óxidos de Ferro:** Embora a ilmenite seja um óxido de ferro e titânio, o excesso de ferro, especialmente na forma férrica, pode ser problemático. O ferro é um contaminante que precisa ser removido durante o processamento, o que aumenta os custos operacionais (ScienceDirect, 2018).
- **Crómio (Cr):** O crómio é uma impureza particularmente indesejável na produção de pigmentos de TiO_2 , pois pode conferir uma tonalidade amarelada ao produto final. Concentrados com baixo teor de crómio são, portanto, mais valorizados.

- **Magnésio (Mg) e Manganês (Mn):** Embora possam estar presentes na estrutura da ilmenite como substituições isomórficas, teores elevados de magnésio (como MgO, 0.20% a 0.99%) e manganês (como MnO) podem ser considerados impurezas dependendo do processo de tratamento subsequente (Angpacmin).
- **Alumínio (Al) e Silício (Si):** Estes elementos, geralmente presentes como óxidos (Al_2O_3 e SiO_2), podem formar fases minerais separadas que necessitam de remoção, aumentando a complexidade do beneficiamento.
- **Fósforo (P):** O fósforo (como P_2O_5 , 0.012% a 0.050%) também é uma impureza que pode ser problemática em certas aplicações (Angpacmin)
- **Monazita:** A monazita, sendo a principal fonte de tório, é considerada um contaminante devido a sua radioactividade e pelo seu poder de alterar a qualidade do produto final, alterando as suas propriedades físicas, e devido as dificuldades para separa-lo da ilmenite.

Técnicas de beneficiamento mineral, como a separação magnética, gravítica e electrostática, são empregues para reduzir o teor de impurezas e aumentar a concentração de TiO_2 no produto final de ilmenite.

A Kenmare classifica os seus produtos de ilmenite com base os seus teores de titânio e contaminantes admissíveis em:

Tabela 6: Classificação da qualidade de ilmenite produzido pela Kenmare

Produto	TiO ₂ (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	U+Th (ppm)
IP1	>52.5	<0.100	<1.00	<125
IP2	>50.0	<0.100	<1.00	<100
IP3	>57.0	<0.600	<1.20	<240
IP4	>57.0	<0.600	<1.20	<240

Fonte: Kenmare (2016)

2.5. Beneficiamento de minerais pesados

2.5.1. Conceito e objetivos do beneficiamento

O beneficiamento de minérios ou de minerais, também conhecido como tratamento de minérios, consiste num conjunto de operações e processos aplicados aos bens minerais extraídos da jazida, com o objectivo de separar os minerais de valor

económico (minerais úteis) da ganga (minerais sem valor económico ou impurezas), de modo a obter um produto concentrado que seja adequado para as etapas subsequentes de processamento metalúrgico ou químico, ou para a sua utilização directa (Luz & Lins, 2010).

O processamento mineral segue as etapas apresentadas na figura 3, a seguir:

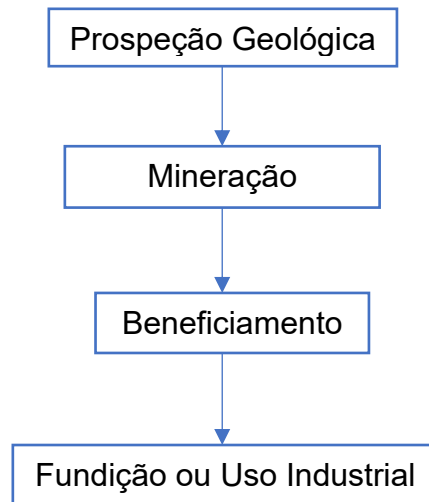


Figura 3: As principais etapas no processamento mineral (fonte: Rao (2011))

Os principais objectivos do beneficiamento de minerais pesados podem ser sumarizados como:

- **Concentração:** Aumentar a proporção dos minerais de interesse no produto final, eliminando a ganga. Este é o objectivo central, pois a maioria dos minérios brutos possui um teor muito baixo do mineral útil, tornando inviável o seu processamento directo (Jorge Teofilo, 2017).
- **Redução de volume e custo de transporte:** Ao concentrar o mineral útil, o volume e a massa do material a ser transportado para as unidades de processamento subsequentes são significativamente reduzidos, o que acarreta uma diminuição considerável nos custos de transporte (Rao, 2011).
- **Melhoria da qualidade:** Obter um concentrado com especificações de qualidade adequadas para o mercado ou para os processos metalúrgicos/químicos subsequentes. Isto pode envolver a remoção de impurezas que seriam prejudiciais ao processo ou ao produto final (Jorge Teofilo, 2017).

- **Adequação para processos subsequentes:** Preparar o mineral de forma a que a sua morfologia e composição permitam uma alta eficiência nas etapas de extracção metalúrgica ou química, como por exemplo a produção de dióxido de titânio a partir da ilmenite (Jorge Teofilo, 2017).

De um modo geral, o beneficiamento de minerais pesados é uma etapa essencial na cadeia de valor da mineração, visando transformar um minério bruto de baixo valor num concentrado de alto valor, de forma económica e eficiente.

2.5.2. Principais etapas do processamento mineral

O beneficiamento de minerais pesados envolve uma sequência de etapas interligadas, concebidas para libertar os minerais de valor da ganga e concentrá-los. Estas etapas podem ser genericamente divididas em preparação, concentração e, por vezes, etapas de purificação final. O processamento de areias pesadas, em particular, utiliza métodos gravíticos, magnéticos e electrostáticos para extrair os minerais de interesse económico (JXSC Machine, 2019).

2.5.2.1. Preparação (desagregação, peneiramento e moagem)

A etapa de preparação é crucial para otimizar as etapas subsequentes de concentração. O seu principal objectivo é libertar os minerais de valor da matriz rochosa ou sedimentar e adequar a granulometria do material para os processos de separação. Esta fase é também conhecida como cominuição e classificação (Luz & Lins, 2010).

- ❖ **Desagregação:** Em depósitos de areias pesadas, a desagregação é frequentemente a primeira operação. Consiste em quebrar os aglomerados de areia e argila para libertar os grãos minerais individuais. Este processo pode ser feito com base em meios mecânicos, como lavadores de tambor (*trommels*) ou por jactos de água de alta pressão, que desagregam o material sem causar fragmentação excessiva dos grãos minerais (Carvetal Blendagem, 2014)
- ❖ **Peneiramento (classificação granulométrica):** Após a desagregação, o material é submetido a peneiramento. Esta operação visa separar as partículas por tamanho, removendo materiais grosseiros (como cascalho e rochas maiores) e finos (como argilas e lamas) que podem interferir nas etapas de concentração. O peneiramento é realizado utilizando peneiras vibratórias ou

trommels, que separam o material em diferentes fracções granulométricas (Seduc CE, 2015).

- ❖ **Moagem:** A moagem é a etapa de fragmentação fina, aplicada quando os minerais de valor estão finamente disseminados na matriz rochosa e não são libertados por britagem ou desagregação. O objectivo da moagem é reduzir o tamanho das partículas para um ponto onde os minerais úteis estejam completamente libertos da ganga, sem, contudo, moer excessivamente o material, o que poderia gerar lamas e dificultar a concentração (Cristal Jr, 2020).

2.5.2.2. Concentração gravítica

A concentração gravítica é um dos métodos mais utilizados no beneficiamento de minerais pesados, apesar de ser muito antigo. Baseia-se na diferença de densidade específica entre os minerais de valor e a ganga. Partículas com diferenças nas suas densidades, tamanhos e formas são separadas umas das outras pela acção combinada da gravidade, da resistência do meio (água ou ar) e das forças de inércia (Lins, 2010).

i. Princípios da concentração gravítica:

O princípio fundamental da concentração gravítica reside na capacidade de as partículas se moverem a diferentes velocidades num fluido, dependendo da sua densidade, tamanho e forma. De um modo geral, as partículas mais densas e maiores tendem a assentar mais rapidamente do que partículas menos densas e menores. Este fenómeno é explorado em diversos equipamentos que criam condições para que esta separação ocorra de forma eficiente (UFG, 2012). Os métodos gravíticos são particularmente eficazes para minerais pesados, como ilmenite, rutilo, zircão e monazita, que possuem densidades significativamente superiores às dos minerais de ganga comuns, como quartzo e feldspato (Carvetal Blendagem, 2014).

ii. Equipamentos de concentração gravítica:

Diversos equipamentos são utilizados para a concentração gravítica, cada um explorando os princípios de diferentes formas:

- **Espiraís:** Consistem em calhas helicoidais onde uma polpa de minério e água flui por gravidade. A força centrífuga e a resistência da água fazem com que

as partículas mais densas se concentrem na parte interna da espiral, enquanto as mais leves são arrastadas para a parte externa (Lins, 2010).

- **Mesas vibratórias:** São superfícies inclinadas que vibram e possuem *riffles* (barreiras) que ajudam a separar as partículas por densidade. As partículas mais densas ficam retidas nos *riffles*, enquanto as mais leves são arrastadas pela água (Deer, Howie, & Zussman, 2013).
- **Cones e ciclones hidráulicos:** Utilizam a força centrífuga para separar as partículas por densidade e tamanho. A polpa é introduzida tangencialmente, criando um vórtice que separa as partículas mais densas para a periferia e as mais leves para o centro (JXSC Machine, 2019).

A concentração gravítica é frequentemente a primeira etapa de concentração em depósitos de areias pesadas, produzindo um concentrado que será subsequentemente submetido a outras etapas de separação para purificação. Na Kenmare, a areia que é extraída por meio das dragas e das pás escavadeiras (plantas secas) passa para as plantas de concentração húmidas onde é submetida a etapas de concentração gravítica em espirais e ciclones para a remoção da lama e obtenção do mineral concentrado pesado (HMC).

2.5.2.3. Separação eletrostática

A separação eletrostática é uma técnica de beneficiamento mineral que se baseia nas diferenças de condutividade eléctrica entre os minerais. É particularmente eficaz para a separação de minerais pesados, como o rutilo (condutor) do zircão (não condutor), e para a remoção de impurezas não condutoras (monazita) de concentrados de minerais condutores (Ilmenite), permitindo a obtenção de concentrados puros de ambos os minerais (INB (2014); JXSC Machin (2019)), conforme pode ser visto no anexo 1, as propriedades condutoras de cada um dos minerais, estas que são determinantes para estabelecer todas as etapas de processamento numa planta de separação de minerais como o MSP.

i. Princípios da separação eletrostática:

O processo envolve a electrização das partículas minerais, que podem adquirir cargas eléctricas por contacto com uma superfície carregada (triboelectrica) ou por indução num campo eléctrico. Quando as partículas carregadas são expostas a um campo eléctrico intenso, as partículas conductoras perdem rapidamente a sua carga para

uma superfície aterrada e são repelidas, enquanto as partículas não condutoras retêm a sua carga e são atraídas ou retidas pela superfície carregada (OreKinetics, 2021). Os principais factores que influenciam a eficiência da separação eletrostática incluem:

- **Conductividade eléctrica:** A diferença na conductividade eléctrica entre os minerais a serem separados é o factor mais crítico. Minerais como o rutilo, ilmenite e magnetita são condutores, enquanto o zircão, monazita e quartzo são não condutores (Wills, 2016).
- **Granulometria e humidade:** A separação electrostática é mais eficaz para partículas finas e secas, geralmente na faixa de 50 a 250 µm. A presença de humidade pode afectar negativamente a eficiência do processo, pois a água é condutora e pode dissipar as cargas das partículas. O material a ser processado deve estar completamente seco para garantir uma separação eficiente (CETEM, 2005).

ii. Equipamentos de separação electrostática:

Os equipamentos de separação electrostática mais comuns são os separadores de rolo de alta tensão e os separadores de placa. Ambos utilizam um campo eléctrico para separar as partículas com base nas suas propriedades de condução:

❖ Separadores de rolo de alta tensão (HTR)

Consistem num rolo metálico aterrado que gira a uma velocidade controlada. As partículas são alimentadas sobre o rolo e entram em contacto com um eléctrodo de alta tensão. As partículas condutoras perdem a sua carga para o rolo e são projectadas para fora por força centrífuga, enquanto as não condutoras permanecem carregadas e são retidas no rolo por atracção electrostática, caindo em trajectórias diferentes (JXSC Machine, 2019). Exemplos de separadores de rolo de alta tensão são a Carrara e a Corona Stat.

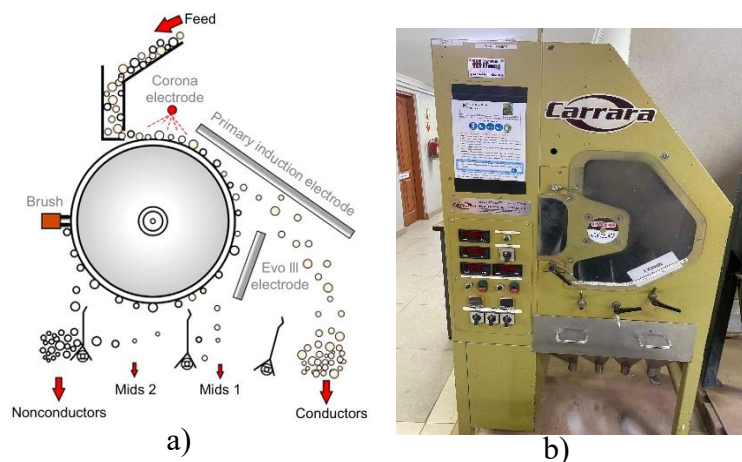


Figura 4: Princípio de funcionamento (a) e exemplo (b) de uma HTR (fonte: Wills (2016))

❖ Separadores de placa

Utilizam placas carregadas estaticamente para atrair ou repelir as partículas com base na sua carga e condutividade. São menos comuns para minerais pesados do que os separadores de rolo de alta tensão. A combinação estratégica destes equipamentos em circuitos de beneficiamento permite a obtenção de concentrados de minerais pesados de alta pureza, essenciais para as diversas aplicações industriais (Wills, 2016).

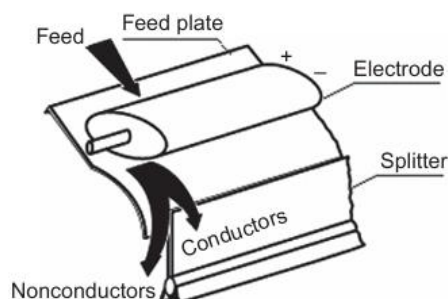


Figura 5: Princípio de funcionamento de um separador de placas (fonte: Wills (2016))

2.5.2.4. Separação magnética

Os separadores magnéticos são utilizados para concentrar minerais valiosos que sejam magnéticos, para eliminar impurezas magnéticas, ou para separar misturas de minerais magnéticos e não magnéticos (Wills, 2016).

De acordo com Fuerstenau & Han (2010), todos os minerais podem ser classificados de acordo com as suas propriedades magnéticas, a saber:

- **Minerais paramagnéticos**, aqueles que são atraídos ao longo das linhas da força magnética para pontos de maior intensidade de campo.
- **Minerais diamagnéticos**, os que são repelidos ao longo das linhas da força magnética para pontos de baixa intensidade de campo magnético.
- **Minerais ferromagnéticos**, são uma categoria especial dos minerais paramagnéticos, possuem uma alta susceptibilidade para forças magnéticas e retêm algum magnetismo depois de removidos do campo magnético.

No anexo 1 podem ser vistas as classificações de alguns dos minerais de acordo com a sua resposta magnética, e é com base nessa resposta que usam-se equipamentos de baixa e/ou alta intensidade para recuperar materiais altamente magnéticos, como a magnetite, remover contaminantes não magnéticos do mineral de interesse (ilmenite), e também para separar o concentrado de minerais pesados em minerais magnéticos (ilmenite) e não magnético (Rutilo, Zircão e Quartzo), para posteriores etapas de purificação no MSP.

i. Princípios da separação magnética:

Durante a separação magnética, o material é alimentado num campo magnético gerado por ímanes. Os minerais magnéticos são desviados ou retidos pelo campo, enquanto os minerais não magnéticos seguem um trajecto diferente, permitindo a sua separação, conforme pode ser visto na figura 6. A eficiência da separação depende da intensidade do campo magnético, da granulometria das partículas e da sua susceptibilidade magnética específica (JXSC Machine, 2019).

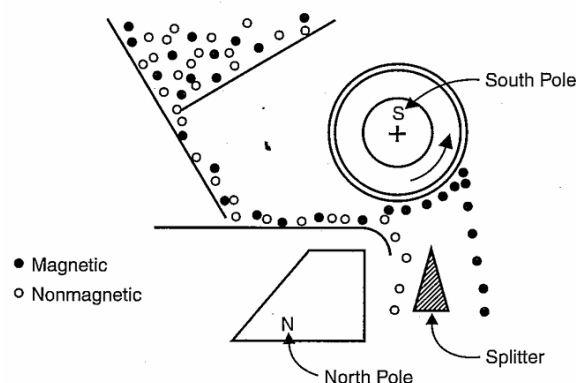


Figura 6: Ilustração da trajetória das partículas num separador magnético (fonte: Fuerstenau & Han (2010))

ii. Tipos de separadores magnéticos:

Os separadores magnéticos possuem vários métodos de classificação de acordo com diferentes características e padrões, conforme se pode ver na classificação abaixo, de acordo com (Great Magtech electric, 2015).

De acordo com a **força do campo magnético**, eles podem ser divididos em:

- **Separador magnético de campo magnético fraco:** usado para separar minérios fortemente magnéticos.
- **Separador magnético de campo magnético forte:** usado para separar minérios fracamente magnéticos.

De acordo com o **meio de separação**, podem ser divididos em:

- **Separador magnético seco:** separação no ar, usado principalmente para separar minérios grandes e fortemente magnéticos, de granulometria grossa e minérios fracamente magnéticos de granulometria fina.
- **Separador magnético húmido:** separação com água ou líquido magnético usado principalmente para separar minérios de granulometria fina.

De acordo com o **tipo de íman** usado, podem ser divididos em:

- **Separador magnético de íman permanente:** utilizam materiais magnéticos permanentes para gerar o campo magnético, e produzem um campo magnético invariável
- **Separador magnético electromagnético:** utilizam corrente eléctrica para gerar o campo magnético, podendo ser a intensidade do campo magnético controlada com base na intensidade da corrente eléctrica.

❖ Separadores magnéticos de baixa intensidade (LIMS):

Os separadores magnéticos de baixa intensidade possuem densidades de fluxo magnético de até 2000 gauss. Estes separadores são principalmente utilizados para remover materiais ferromagnéticos, como o ferro, de modo a proteger as operações a jusante, tais como correias transportadoras, ou para remover materiais ferromagnéticos de forma a melhorar o desempenho de separadores permanentes ou electromagnéticos usados na separação de materiais fracamente magnéticos. Os separadores de baixa intensidade podem tratar polpas húmidas ou sólidos secos (Fuerstenau & Han, 2010).

❖ **Separadores magnéticos de alta intensidade (HIMS):**

Separar partículas paramagnéticas ou fracamente magnéticas requer uma densidade de fluxo magnético mais elevada. Essa maior densidade é obtida através do desenho de circuitos eletromagnéticos capazes de gerar uma força magnética acima de 2 teslas. Por exemplo, numa planta de processamento de areia de sílica, estes separadores são utilizados para remover partículas portadoras de ferro fracamente magnéticas (Fuerstenau & Han, 2010).

a) Separador magnético de rolo induzido (IRMS)

O separador magnético de rolo induzido é capaz de gerar um campo magnético de 18000-20000 Gauss. São amplamente utilizados para remover traços de impurezas de substâncias paramagnéticas de matérias-primas como quartzo, feldspato e calcite. O equipamento contém rolos laminados compostos por discos magnéticos e não magnéticos alternados. Uma densidade de fluxo magnético da ordem de 2 teslas é atingida, e gradientes magnéticos muito elevados são gerados nos pontos onde o fluxo converge nas bordas afiadas das laminações magnéticas.

Um fino fluxo de material granular é alimentado no topo do primeiro rolo. As partículas magnéticas são atraídas para o rolo e desviadas da sua trajetória natural (figura 7), permanecendo fixas no rolo até que sejam removidas por uma escova de fibras localizada atrás do rolo. As partículas não magnéticas não se fixam no rolo já que elas não são afectadas pelo campo magnético, e são lançadas pela força de gravidade para a fracção dos não magnéticos.

A seletividade é obtida através da variação da velocidade do rolo e da intensidade do fluxo magnético. Para atingir alta selectividade, o material a ser tratado deve ter distribuição granulométrica estreita.

Um separador magnético de rolo induzido industrial pode conter vários rolos e pode tratar até 10 toneladas por hora (tph) de material, enquanto que o laboratorial possui apenas um rolo.

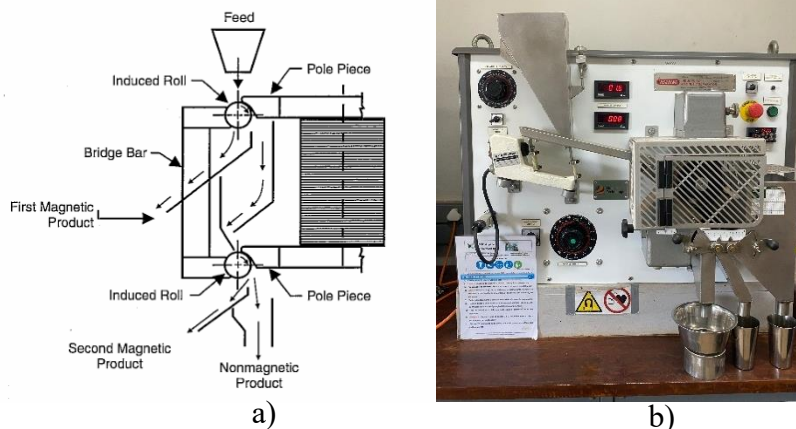


Figura 7: Princípio de funcionamento (a) e exemplo (b) de uma IRMS (fonte: Fuerstenau & Han (2010))

b) Separador magnético de terras raras do tipo tambor (RED)

Os separadores magnéticos do tipo tambor consistem em um tambor rotativo cilíndrico oco, feito de aço inoxidável com um ímã permanente montado numa posição fixa (ajustável) dentro do tambor, cobrindo uma área de aproximadamente um terço da circunferência do tambor (Kenmare Moma Processing, 2010). Nos separadores RED, o ímã permanente usado é feito para gerar uma intensidade (até 9000 gauss) e um profundo campo magnético perpendicular à superfície do tambor (figura 8a). Uma vez que as partículas se encontram na superfície do tambor, eles experimentam uma densidade de fluxo uniforme que minimiza o desvio de partículas fixadas para os meios. As partículas fracamente magnéticas, fixas sobre o tambor são transportadas para a região sem campo magnético e são recolhidas como material magnético (Wills, 2016). A força centrífuga do tambor rotativo, lança essas partículas que não são influenciadas pelo campo magnético para o colector de não magnéticos.

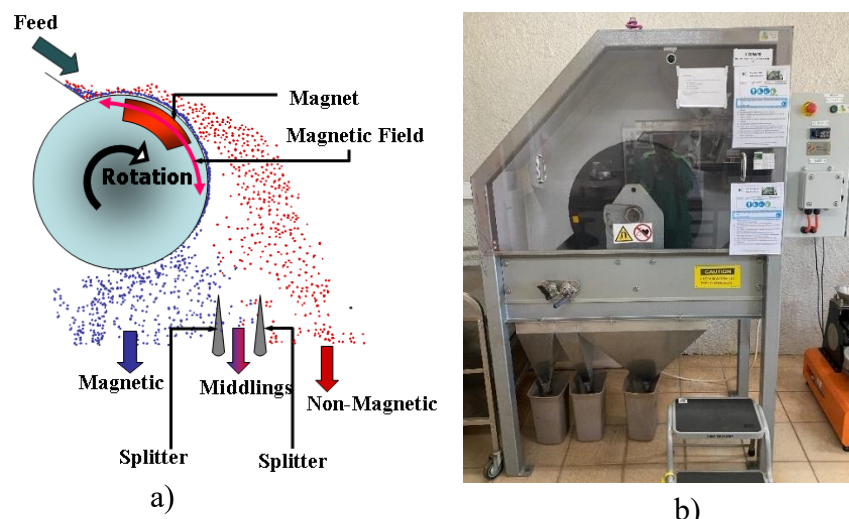


Figura 8: Princípio de funcionamento (a) e exemplo (b) de uma RED (fonte : Kenmare Moma Processing (2010))

Um separador RED de escala industrial tem normalmente três tambores, enquanto que o laboratorial possui normalmente um, conforme é ilustrado na figura 8b. Em geral, o tambor superior é de um íman de baixa intensidade (até 2000 gauss) para a remoção de partículas ferromagnéticas, e a fracção não magnética é posteriormente tratada nas REDs. O maior propósito do íman de baixa intensidade é o de proteger os dois REDs de baixo, assim como aumentar a sua capacidade. Alguns separadores têm um sistema de refrigeração de ar interno integrado para proteger os ímanes do superaquecimento quando a alimentação é pré-aquecida, tal como nas plantas de processamento de sílica e areias da praia (Fuerstenau & Han, 2010).

2.6. Modelo de Previsão de Produção (*Split Model/Forecast*)

2.6.1. Conceito de *split* e modelagem de distribuição de produto

No contexto do beneficiamento mineral, o termo *split* refere-se à forma como o material que entra numa unidade de processamento é dividido ou distribuído entre os seus produtos de saída. Cada unidade de operação, seja um classificador, um concentrador ou um separador, tem a função de separar o material de alimentação em duas ou mais correntes de produto, como concentrado, rejeito ou produtos intermédios. O *split* quantifica a proporção de cada componente que é direcionada para cada uma dessas correntes de saída (Wills, 2016).

A modelagem de distribuição de produto (*forecast*) é a abordagem matemática utilizada para descrever e prever este comportamento de *split* dentro de uma unidade

de processamento ou de um circuito completo. Estes modelos são ferramentas essenciais na engenharia de processamento mineral, pois permitem simular o desempenho de plantas existentes, otimizar condições operacionais e projetar novas instalações. O objetivo principal é prever a quantidade e a qualidade dos produtos finais com base nas características da alimentação e nos parâmetros operacionais do equipamento (Mining and Blasting, 2009).

Os modelos de distribuição de produto (*forecast*) são geralmente baseados em dados empíricos obtidos de operações de planta ou de ensaios laboratoriais. Eles podem variar em complexidade, desde modelos empíricos simples que relacionam a recuperação a um único parâmetro, até modelos mais sofisticados baseados em balanços de massa e energia, ou mesmo modelos baseados em inteligência artificial. A sua formulação matemática permite que os engenheiros prevejam o comportamento de um sistema de beneficiamento sob diferentes condições operacionais, sem a necessidade de realizar ensaios físicos dispendiosos e demorados (Drzymala, 2007)

Em essência, o conceito de *split* e a modelagem de distribuição de produto fornecem uma estrutura quantitativa para entender e prever como os minerais e as partículas se movem através de um circuito de beneficiamento, sendo a base para o planeamento e controlo eficazes da produção mineral.

2.6.2. Aplicações do modelo de previsão em operações minerais

Os modelos de previsão de produção (*forecast*), ou *split models*, são ferramentas versáteis e indispensáveis em diversas fases e aspectos das operações minerais, desde o planeamento inicial até à optimização contínua da planta. A sua aplicação permite uma compreensão mais profunda do comportamento do minério e dos equipamentos, levando a decisões mais informadas e eficientes (Mining and Blasting, 2009)

Segundo Gupta & Yan (2015), as principais aplicações destes modelos em operações minerais incluem:

- **Projecto e dimensionamento de plantas:** No estágio de projecto de uma nova planta de beneficiamento, os modelos de *split* são cruciais para o dimensionamento correcto dos equipamentos e para a configuração do circuito. Ao simular diferentes cenários e configurações, os engenheiros podem prever o desempenho da planta antes da sua construção, minimizando

riscos e custos. Permitem testar a viabilidade de diferentes fluxogramas e identificar a combinação ideal de equipamentos para atingir as metas de produção e recuperação.

- **Optimização de processos existentes:** Em plantas já em operação, os modelos de *split* são utilizados para identificar gargalos, otimizar parâmetros operacionais e melhorar a eficiência global. Ao comparar o desempenho real da planta com as previsões do modelo, é possível diagnosticar problemas, ajustar variáveis como taxas de alimentação, velocidades de rotação ou intensidade de campos magnéticos, e assim maximizar a recuperação e a qualidade do produto. A simulação permite testar o impacto de mudanças operacionais sem interromper a produção real.
- **Previsão precisa da produção:** Os modelos permitem prever com maior precisão a quantidade e a qualidade dos concentrados que serão produzidos a partir de um determinado minério de alimentação. Esta previsão é fundamental para o planeamento de vendas, gestão de inventário e para o cumprimento de contratos com clientes. Ao antecipar a produção, as empresas podem otimizar a sua cadeia de suprimentos e evitar surpresas que possam afectar a rentabilidade.

2.6.3. Limitações e fontes de erro do Modelo de Previsão

Embora os modelos de previsão de produção (*forecast*) sejam ferramentas poderosas para a simulação e optimização de processos minerais, é fundamental reconhecer as suas limitações e as potenciais fontes de erro que podem afectar a precisão das suas previsões. A compreensão destas limitações permite uma aplicação mais realista e eficaz dos modelos (Mining and Blasting, 2009).

As principais limitações e fontes de erro incluem:

- **Simplificação da realidade:** Os modelos são, por natureza, simplificações da realidade complexa de uma planta de beneficiamento. Eles não conseguem capturar todas as interações e fenómenos que ocorrem num processo real. Por exemplo, muitos modelos simplificam a mineralogia, considerando apenas um número limitado de minerais ou agrupando-os em categorias, o que pode não reflectir a complexidade total do minério (Fuerstenau & Han, 2010).

- **Qualidade dos dados de entrada:** A precisão das previsões do modelo é directamente dependente da qualidade e representatividade dos dados de entrada. Erros na amostragem, na análise laboratorial (por exemplo, teor, granulometria, composição mineralógica) ou na medição em linha podem propagar-se através do modelo e levar a previsões imprecisas. A variabilidade natural do minério também é uma fonte de incerteza que os modelos precisam de gerir (Gupta & Yan, 2015).
- **Comportamento não-ideal dos equipamentos:** Os modelos de *split* assumem um comportamento ideal ou médio dos equipamentos. No entanto, na realidade, o desempenho dos equipamentos pode ser afectado por uma série de factores operacionais, como desgaste, manutenção inadequada, flutuações de energia ou erros operacionais, que podem não ser totalmente capturados pelo modelo (Gupta & Yan, 2015).

A interpretação incorrecta dos resultados ou a aplicação do modelo fora do seu domínio de validade pode levar a decisões erradas. Superar estas limitações e minimizar as fontes de erro exige uma combinação de dados de alta qualidade, modelos robustos, calibração e validação rigorosas, e um conhecimento aprofundado do processo e do minério.

Capítulo III: Parte Experimental

3.1. Área e período de realização

O presente estudo foi realizado no laboratório da planta de separação de minerais da Kenmare Resources, localizada no norte de Moçambique, na província de Nampula, no distrito de Moma, num período de três (3) meses, compreendido entre os dias 06 de Março e 05 de Junho.

A Kenmare Resources conta com 3 plantas de concentração mineral a húmido (WCP A, B e C) que são responsáveis pelo tratamento do mineral que é extraído pelas dragas, concentrando até a obtenção do concentrado de mineral pesado (HMC), que é transportado até a planta de separação de minerais (MSP) onde se obtém os diferentes minerais de interesse.

3.1.1. Planta de Separação de Minerais (MSP)

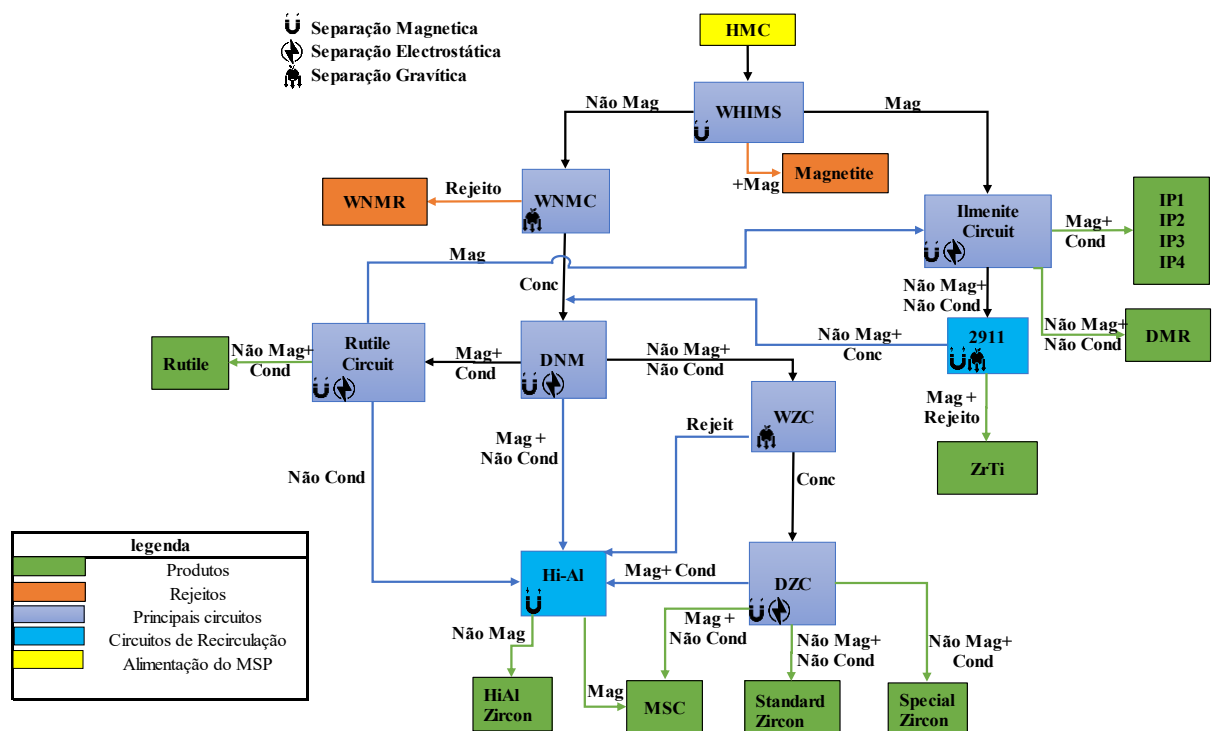


Figura 9: Fluxograma do MSP

A planta de separação de minerais (MSP) recebe o HMC vindo das diferentes plantas de concentração, no WHIMS, onde equipamentos de separação magnética são responsáveis por separar o material em magnético e não magnético. O material magnético é direccionado aos circuitos de Ilmenite A e B. Os circuitos de Ilmenite possuem equipamentos de separação electrostática que são responsáveis por limpar

os contaminantes presentes no material magnético e equipamentos de separação magnética que para além de removerem o material não magnético que passou para a corrente dos magnéticos no WHIMS, eles são responsáveis por fraccionar o material nas diferentes qualidades de ilmenite, sendo o IP2 o mais magnético, o IP3/4 o menos magnético e o IP1 o intermediário entre os dois.

3.2. Materiais e equipamentos utilizados

A tabela a seguir mostra os materiais e equipamentos utilizados durante a experiência.

Tabela 7: Materiais e Equipamentos

Materiais	Equipamentos
Crivo de 45 um	Prato quente
Luvras	Separador Magnético do tipo Tambor
Máscara	Separador Magnético - IRMS
Bandejas	Separador Electrostático - Carrara
Copos metálicos	XRF
Óculos de protecção	Divisor rotativo
Protectores auditivos	Estufa
Sacos de Amostragem	Balança

3.3 Recolha e agrupamento estratégico de amostras

A realização deste trabalho iniciou com o mapeamento do fluxo produtivo da Kenmare e identificação dos pontos de possíveis perdas de ilmenite, conforme pode ser visto no Apêndice A, e entre os dias 26 de janeiro e 18 de fevereiro de 2025, foram recolhidas **170 amostras** ao longo do MSP. Estas amostras abrangem diferentes tipologias de produto (IP1, IP2, IP3/4), bem como outras correntes de processo (*Baghouse*, Rejeitos das WCPs, WNMR e DMR). De forma a garantir a

representatividade e otimizar o tempo de análise laboratorial, as amostras foram agrupadas com base nos seguintes critérios:

- Tipo de produto ou corrente;
- Circuito de produção (A ou B);
- Intervalo de utilização da planta (>77%);
- Período de recolha das amostras (Janeiro à Fevereiro).

Este agrupamento permitiu a consolidação das amostras em **27 amostras compostas**, consideradas representativas da variabilidade do processo no período em análise.

Tabela 8: Agrupamento das amostras recolhidas

		Amostras de Ilemenite							
		IP1		IP2		IP3		IP4	
	Circuito	A	B	A	B	A	B	A	B
Período	Janeiro	1	1	1	1	1	1	1	1
	Fevereiro	1	1	1	1	1	1	1	1

		Amostras das outras correntes					
		WNMR	DMR	Bag House	Tails WCP-A	Tails WCP-B	Tails WCP-C
Período	Janeiro	1	1	1	1	1	0
	Fevereiro	1	1	1	1	1	1

Para cada conjunto de amostras obtidas de cada mês, tipo e circuito, as amostras foram misturadas e por meio de um divisor rotativo, foi retirada a amostra representativa correspondente a cada amostra, de aproximadamente 1200g



Figura 10: Divisor rotativo laboratorial

3.4. Etapas de processamento laboratorial

O processamento laboratorial teve como principal finalidade identificar redistribuições não planeadas entre os produtos, avaliar perdas de material valioso ao longo do circuito e verificar o grau de adequação das frações obtidas às especificações de cada tipo de ilmenite.

O processo de análise de cada amostra foi definido de acordo com o tipo de amostra, escolhendo as etapas adequadas para cada tipo. O processo seguiu-se de acordo com o fluxograma abaixo:

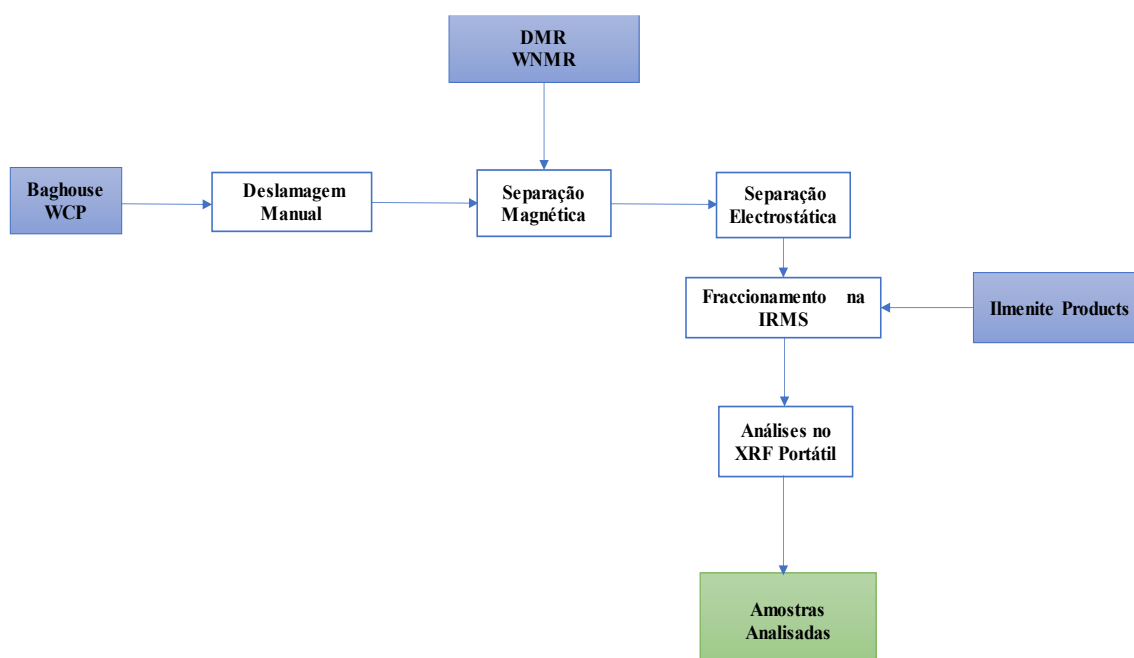


Figura 11: Fluxograma do processo laboratorial

3.4.1. Descrição do procedimento laboratorial para amostras do *Baghouse* e das WCP

a) Deslamagem (remoção de lama):

As amostras do *Baghouse* e das WCPs, por apresentarem características diferenciadas (alto teor de partículas finas - lama), foram submetidas primeiro a um processo de deslamagem realizado manualmente com recurso a um crivo de 45 μm , visando eliminar a lama existente no material, e de seguida foram levadas à estufa para secagem, de modo a quantificar o material de interesse e a preparar as amostras para as etapas subsequentes.

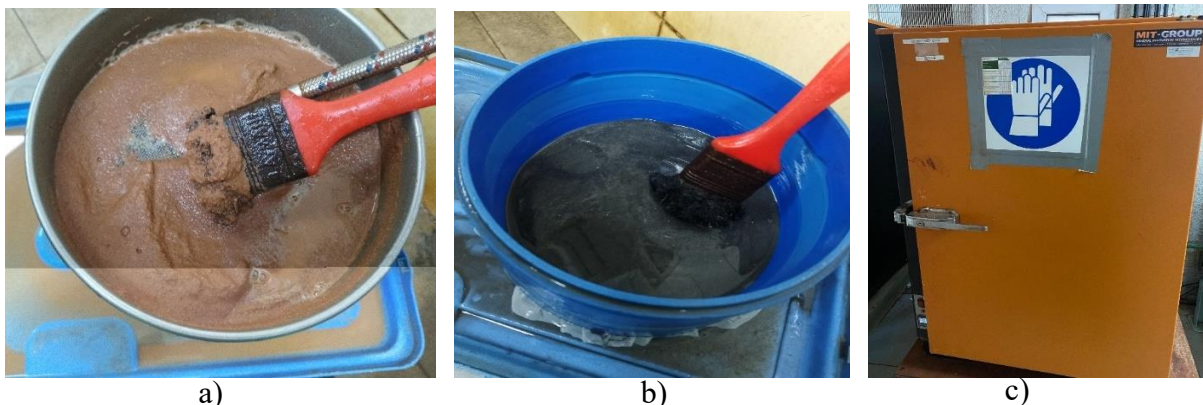


Figura 12: Deslamagem manual das amostras da WCP (a) e *Baghouse* (b) e estufa utilizada c)

b) Separação magnética (*Drum Magnetic Separator*):

Para a recuperação do material magnético presente na amostra, separou-se o material em fracções magnéticas e não magnéticas, com base na sua susceptibilidade magnética usando um separador magnético do tipo tambor, usando os seguintes parâmetros óptimos do equipamento previamente estabelecidos:

- Velocidade do rolo de separação: 30 rpm
- Posição do Splitter: 12
- Vibração da alimentação: 30%



Figura 13: Separador Magnético do tipo tambor laboratorial

A fracção do não magnético foi recirculada duas (2) vezes com vista a recuperar o máximo de ilmenite presente na amostra. A fracção magnética, que é o produto de interesse, foi levada para o estágio seguinte de separação, enquanto que a fracção não magnética foi descartada como rejeito.

c) Separação electrostática (Carrara):

O material magnético obtido na separação magnética, foi submetido a um processo de separação electrostática, com o objectivo de remover os contaminantes presentes na amostra (maioritariamente monazita) e a sílica que ficou retida na fracção magnética, devida a não 100% de eficiência dos equipamentos. Porém, devido as suas propriedades condutoras (a sílica e os contaminantes são não condutores) eles foram separados da ilmenite, reportando para a fracção dos não condutores enquanto que o produto de interesse (ilmenite) é recuperado na fracção condutora.

O material antes de ser submetido ao separador electrostático (Carrara), foi aquecido até uma temperatura de 120°C num prato quente e submetido ao equipamento com os seguintes parâmetros:

- Rolo de separação: 180 rpm
- Rolo de alimentação: 15 rpm
- Temperatura do rolo de separação: 120°C
- Tensão: 27 kV



a)



b)

Figura 14: Prato quente (a) e separador eletrostático - Carrara (b)

As fracções do *mids* obtidas nesse separador (*mids* 1 e *mids* 2) foram misturadas e recirculadas duas (2) vezes, garantido um aquecimento prévio até a temperatura determinada antes de se introduzir o material no equipamento com vista a recuperar o máximo de ilmenite presente na amostra.

O material condutor obtido é o material de interesse, e foi levado ao estágio seguinte de separação, enquanto que a fracção não condutora foi descartada como rejeito.

d) Separação magnética (IRMS):

O material condutor foi fraccionado num separador magnético de rolo induzido, variando-se a intensidade do campo magnético à partir do campo elétrico de 0.5 A até 2.2 A, em incrementos de 0.1 A. As massas obtidas em cada fracção magnética foram registadas, enquanto que a fracção não magnética foi recirculada em cada incremento de intensidade que se efectuava, com o objectivo de ver a resposta magnética do material para cada incremento de amperagem, possibilitando assim a determinação da qualidade do produto de ilmenite presente em cada amostra. Este procedimento foi efectuado para a amostra do material condutor proveniente da separação electrostática, assim como para as amostras dos produtos de ilmenite.



a)



b)

Figura 15: Balança (a) e IRMS (b) laboratorial

O equipamento foi configurado com os seguintes parâmetros:

- Velocidade do Rolo de Separação: 150 rpm
- Velocidade do Rolo de Alimentação: 100 rpm
- Selector do campo magnético: 9A

e) Análise química (XRF):

As fracções resultantes do fracionamento na IRMS foram submetidas à análises químicas usando um XRF portátil, permitindo quantificar os teores de TiO_2 e outros componentes químicos, de modo a identificar o tipo de produto contido em cada amostra.



Figura 16: XRF portátil

O espectrofotómetro portátil de Fluorescência de Raios-X (XRF) é um equipamento analítico não destrutivo, utilizado para identificar e quantificar os elementos químicos presentes numa amostra, de forma rápida e precisa, tanto em laboratório como em campo. A técnica baseia-se na excitação dos átomos da amostra por um feixe de raios-X primário, resultando na emissão de raios-X característicos de cada elemento, os quais são então detectados e analisados para determinar a composição da amostra (Hartman & Mutmanský, 2002).

Capítulo IV: Apresentação e Discussão dos Resultados

4.1. Teste das Hipóteses

4.1.1. Hipótese 1: Há migração interna dos produtos de ilmenite dentro do circuito

A primeira hipótese deste estudo pressupõe que há uma redistribuição interna dos produtos de ilmenite (IP1, IP2 e IP3/4) ao longo dos circuitos de ilmenite do MSP, resultando em migrações que comprometem a separação e definição das qualidades finais.

Para testar esta hipótese, foram analisadas as amostras recolhidas nos pontos de saída de cada produto final de ilmenite nos dois circuitos de ilmenite (Ilmenite A e B). A análise qualitativa e quantitativa destas amostras revelou a presença de material de outras qualidades em cada uma das correntes, nomeadamente:

- Presença de IP2 e IP3 no fluxo de IP1;
- Presença de IP3 no fluxo destinado ao IP2;
- Ausência de IP1 e IP2 nos fluxos de IP3 e IP4.

Estes resultados confirmam a existência de migração interna de produtos dentro do circuito. Tal fenómeno sugere que o processo de separação não está a ser completamente eficaz dentro dos circuitos de ilmenite, permitindo a mistura de qualidades e, conseqüentemente, a alteração das proporções finais de cada produto.

4.1.1.1. Análise das amostras compostas dos produtos IP1, IP2 e IP3/4

Os gráficos que se seguem ilustram a composição interna de cada produto final, com base na identificação química elementar realizada.

a) Amostras dos produtos IP1

O produto classificado como IP1 contém, além do próprio IP1, uma proporção significativa de IP3 e IP2, especialmente este último, o que indica graves problemas de separação no primeiro estágio de separação magnética de onde se obtém as fracções que irão compor o IP2, e as que serão responsáveis pelos produtos de IP1 e IP3, sugerindo que os equipamentos neste estágio têm operado com uma eficiência baixa, conforme pode ser observado no gráfico a seguir:

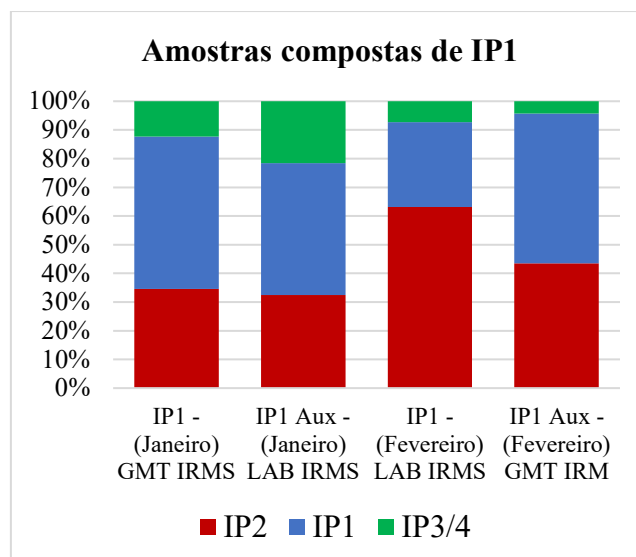


Figura 17: Gráfico de análise das amostras compostas de IP1

Pelo facto do IP1 ser um produto intermediário, obtido à partir da corrente não-magnética no estágio de obtenção do IP2 (este que corresponde a corrente magnética) e da corrente magnética no estágio de obtenção de IP3/4 (este que corresponde a corrente não-magnética), era esperado que se encontrassem pequenas proporções dos outros produtos (IP2 e IP3/4) nesta corrente, devido a não 100% de eficiência de separação dos equipamentos utilizados na planta, contudo, não se previa que estas proporções pudessem estar em níveis elevados, principalmente o IP2, o que revela um possível grave problema de eficiência de separação nos equipamentos do estágio do IP2.

b) Amostras dos produtos IP2

O IP2 também apresenta contaminação com IP3, ainda que em menor grau. Este material (IP3) quando presente em pequenas quantidades pode ser útil para elevar os teores de TiO_2 no IP2, quando assim se pretende, no entanto, o mesmo pode elevar os teores de contaminantes, acabando por comprometer a qualidade final do IP2. No gráfico a seguir (figura 18) é possível verificar como os produtos de IP2 têm sido afectados pelo material IP3.

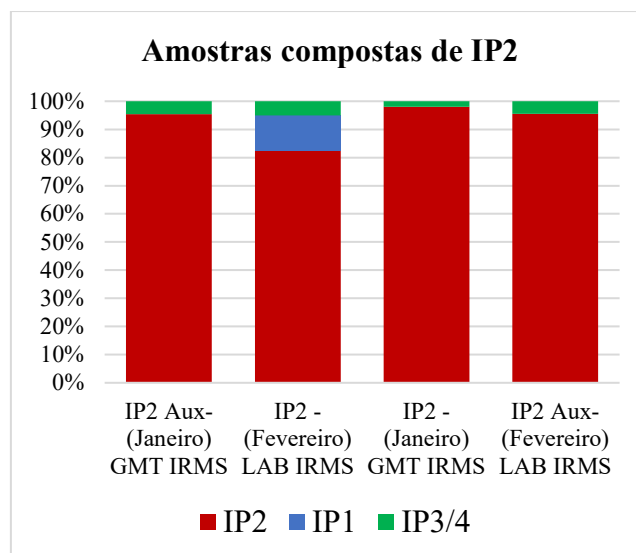


Figura 18: Gráfico de análise das amostras compostas de IP2

c) Amostras dos produtos IP3/4

O IP3/4, por sua vez, apresenta-se mais puro, sem a presença de nenhum outro produto, conforme ilustram as figuras 19 e 20, o que é bom, pois assim é possível ter-se o produto desejado com maior qualidade.

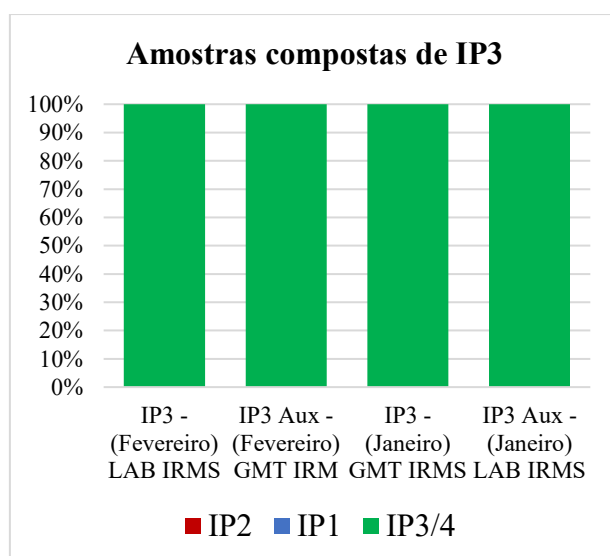


Figura 19: Gráfico de análise das amostras compostas de IP3

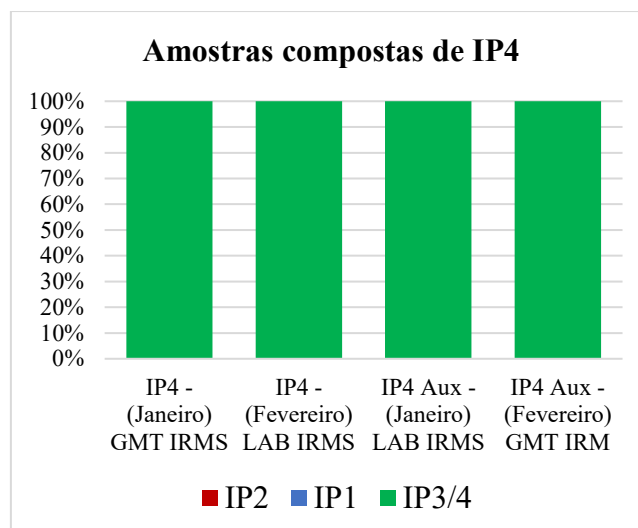


Figura 20: Gráfico de análise das amostras compostas de IP4

Estes dados sustentam a hipótese de migração interna, uma vez que materiais de diferentes qualidades estão a ser misturados ao longo do circuito. Tal contaminação compromete a pureza dos produtos e altera o seu enquadramento dentro das especificações técnicas e comerciais.

Este comportamento pode estar associado a falhas no controlo dos pontos de separação, ou ainda a limitações nos equipamentos de classificação.

4.1.1.2. Comparação entre o *Split* real e o *Split* sem redistribuições internas

A tabela 9 reforça a evidência da migração, ilustrando que, quando desconsideradas as redistribuições internas, a proporção de IP1 reduz significativamente, ao passo que IP2 e IP3 aumentam. Isso sugere que o IP1 está a ser inflacionado por material proveniente de outros produtos, especialmente IP2 e IP3.

Tabela 9: Comparação entre o *Split* Real e o *Split* sem redistribuições internas

Janeiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	<i>Split</i> sem desvios internos
IP1	11	30.88%	15.52%
IP2	29	34.14%	43.50%
IP3	59	34.99%	40.99%
Fevereiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	<i>Split</i> sem desvios internos
IP1	18	28.14%	13.15%
IP2	24	31.02%	42.91%
IP3	58	40.85%	43.95%

No entanto, mesmo ao eliminar as redistribuições internas, os valores de *Split* obtidos ainda não coincidem com os valores teóricos esperados (*Forecast*). Tal discrepância evidencia que as migrações internas não são o único factor responsável pelas diferenças entre os valores reais e os previstos, justificando assim a continuidade da análise das hipóteses subsequentes, como a existência de perdas ao longo do processo e desvios no encaminhamento do material.

4.1.2. Hipótese 2: Há perdas nas correntes do rejeito do MSP

A segunda hipótese deste estudo considera que parte do material valioso, nomeadamente a ilmenite, poderá estar a ser descartado juntamente com as correntes de rejeito do MSP, resultando em perdas não contabilizadas que afectam o balanço de massa e a eficiência do processo.

Para testar esta hipótese, foram analisadas amostras recolhidas nas principais correntes de rejeito: DMR (*Dry Magnetic Rejects*), WNMR (*Wet Non-Magnetic Rejects*) e o sistema de exaustão *Baghouse*, nos meses de janeiro e fevereiro.

A análise química elementar destas amostras revelou o seguinte:

- Presença significativa de IP3 nas correntes do DMR e WNMR, nos dois meses analisados;
- No *Baghouse*, observou-se uma quantidade expressiva de IP3, acompanhada por traços de IP2;
- Não foi detectada a presença de IP1 em nenhuma das correntes de rejeito analisadas.

Estes resultados indicam que uma fracção do IP3 — e em menor grau, do IP2 — está a ser desviada para as correntes de rejeito, o que configura uma perda de produto que compromete a recuperação global de ilmenite e contribui para a discrepância entre os valores de produção previstos e os reais.

4.1.2.1. Análise das amostras das correntes de rejeito

A análise das correntes de rejeito ilustrou de forma clara que a ilmenite, em especial o IP3, está presente em quantidades significativas nas correntes de rejeito, conforme pode ser visto na figura 21. No caso do *baghouse*, a mistura inclui ainda pequenas frações de IP2. A ausência de IP1 e IP2 nas correntes de rejeito sugere que o circuito

é mais eficiente na recuperação dos materiais mais magnéticos, mas menos no tratamento das fracções de menor susceptibilidade magnética, que acabam por ser descartadas.

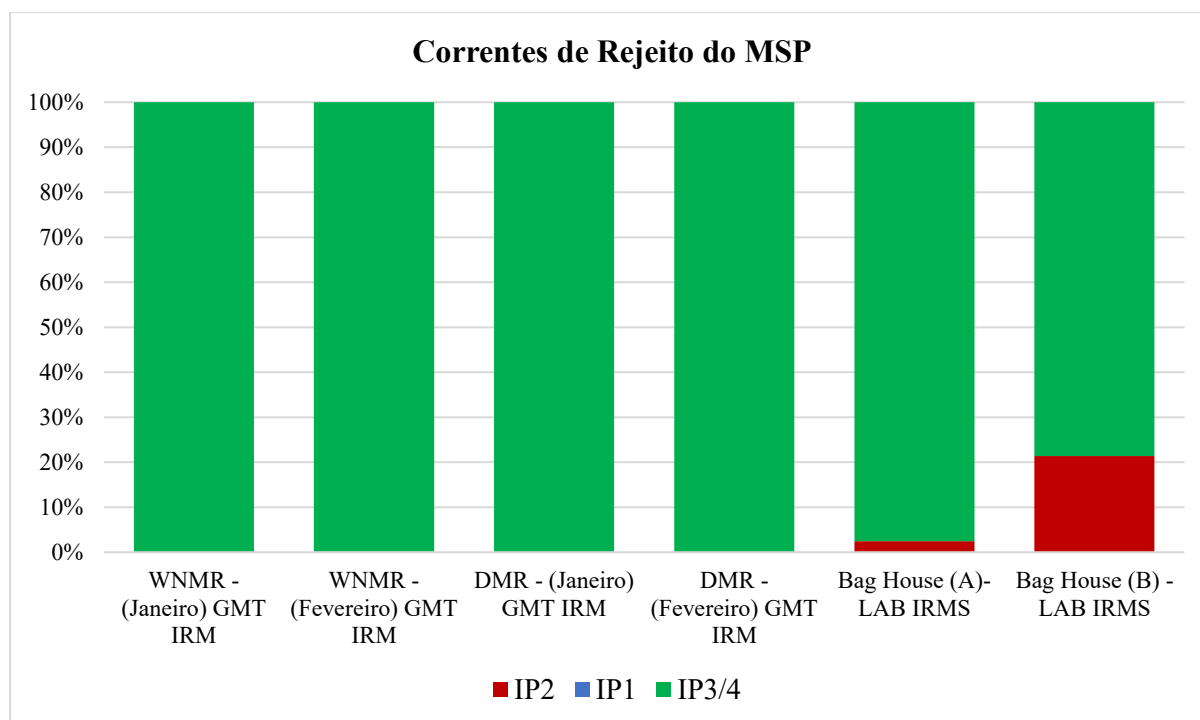


Figura 21: Análise das amostras dos rejeitos do MSP (WNMR, DMR e *Baghouse*)

Ainda nestas análises, observou-se um problema em relação a eficiência dos *baghouse*, pois as análises revelaram uma presença de até 80% de mineral pesado nos *baghouse*, sendo que o mesmo devia conter maioritariamente material de granulometria abaixo de 45 micrómetros, sendo este considerado pó/poeira, mas pela granulometria do material encontrado após a lavagem do material vindo do *baghouse* (acima de 45 micrómetro) observa-se um grande problema de eficiência dos *baghouse*, mostrando que tem muito material sendo descartado nos *baghouse*.

4.1.2.2. Comparação entre o *Split* Real e o *Split* sem perdas no MSP

A análise dos dados obtidos com o processamento das amostras revela que, ao se eliminar as perdas nas correntes do MSP, há um aumento no *split* dos produtos de IP3, o que é coerente com os resultados laboratoriais que apontaram a sua presença nos rejeitos, conforme pode ser observado na tabela 10.

Tabela 10: Comparação entre o *Split* Real e o *Split* sem Perdas no MSP

Janeiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	<i>Split</i> sem perdas no MSP
IP1	11	30.88%	30.21%
IP2	29	34.14%	33.40%
IP3	59	34.99%	36.39%
Fevereiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	<i>Split</i> sem perdas no MSP
IP1	18	28.14%	26.76%
IP2	24	31.02%	29.49%
IP3	58	40.85%	43.75%

É possível observar que em Fevereiro, o *split* do IP3 aumentaria de 40,85% para 43,75% se essas perdas fossem evitadas. Tal discrepância evidencia que uma fração significativa do IP3 está a ser desviada para descarte, o que contribui directamente para a redução do rendimento global.

Estes dados confirmam a validade da segunda hipótese, reforçando a necessidade de intervenções operacionais para melhorar a recuperação nas zonas de rejeito e garantir que os produtos valiosos sejam devidamente encaminhados para os seus fluxos finais.

4.1.3. Hipótese 3: As perdas ocorrem nas Plantas de Concentração à Húmido

Esta hipótese visa avaliar se há perdas de ilmenite nas Plantas de Concentração à Húmido (WCPs), antes mesmo da alimentação do material ao circuito do MSP. A investigação focou-se nas plantas WCP-A, WCP-B e WCP-C, por onde o material passa inicialmente, e que são responsáveis por grande parte da separação gravítica preliminar.

Para testar esta hipótese, as amostras recolhidas nas plantas de concentração à húmido foram submetidas à uma separação magnética num separador magnético do tipo tambor. Devido à reduzida quantidade de material disponível em algumas destas amostras, não foi possível realizar o fracionamento completo em IP1, IP2 e IP3. Em alternativa, as amostras foram directamente analisadas por fluorescência de raios X (XRF), com o objetivo de obter o teor médio de TiO_2 , o qual serve como indicador indireto da presença e qualidade da ilmenite.

Os resultados encontram-se sumarizados na Tabela 11.

Tabela 11: Análise das perdas que ocorrem nas Plantas de Concentração à Húmido

	WCP-A		WCP-B		WCP-C
	Janeiro	Fevereiro	Janeiro	Fevereiro	Fevereiro
TiO ₂ (%)	49.5	51.4	57.4	54.8	49.1

A análise dos teores revela variações significativas entre as plantas. As amostras da WCP-B apresentaram os teores de TiO₂ mais elevados (até 57,4% em Janeiro), sugerindo uma predominância de IP3. Já a WCP-A, em janeiro e a WCP-C, apresentara o teor mais baixo (49,1%), próximo ao valor característico do IP2.

Embora estes resultados não permitam uma quantificação direta das perdas, constituem uma evidência preliminar de que as WCPs podem estar a contribuir para as discrepâncias observadas entre os valores reais e projectados de produção, conforme o observado na tabela abaixo:

Tabela 12: Comparação entre o *Split* Real e o *Split* sem Perdas nas WCPs

Janeiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	Split sem perdas nas WCPs
IP1	11	30.88%	26.04%
IP2	29	34.14%	38.04%
IP3	59	34.99%	35.91%
Fevereiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	Split sem perdas nas WCPs
IP1	18	28.14%	34.65%
IP2	24	31.02%	25.50%
IP3	58	40.85%	39.85%

A análise da tabela revela que, ao considerar a eliminação teórica das perdas nas WCPs:

- O *split* de **IP1** aumenta de forma significativa em fevereiro, o que sugere que este produto pode estar a ser perdido no início do processo, embora não tenha sido detectado nas correntes finais de rejeito;

- O *split* de **IP2** aumenta em janeiro, mas diminui acentuadamente em fevereiro, o que pode estar associado a variações operacionais ou alimentações diferentes entre as plantas;
- O **IP3** mostra um aumento modesto para o mês de janeiro, e uma alteração pouco significativa no mês de fevereiro, sugerindo perdas menos significativas, mas ainda presentes.

Estes resultados reforçam a possibilidade de que as WCPs sejam um ponto crítico de perdas não contabilizadas de ilmenite, especialmente para os produtos IP1 e IP2.

4.1.4. Hipótese 4: As discrepâncias observadas advêm do próprio *forecast*

Após a análise individual das principais fontes de divergência entre a produção real e a produção prevista — nomeadamente, migração interna de produtos, perdas nas correntes de rejeito da MSP, e perdas nas Plantas de Concentração à Húmido (WCPs) — procedeu-se à determinação do *split* ideal. Este *split* representa a distribuição dos produtos finais que seria atingida caso não existissem quaisquer perdas ou redistribuições internas no circuito.

Este exercício visa testar a robustez do *forecast/split model* face à realidade do processo e avaliar se, mesmo em condições operacionais ideais, o circuito seria capaz de produzir os três tipos de ilmenite (IP1, IP2 e IP3) nas proporções previstas. Estes resultados são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 13: Comparação entre o *forecast* e produção em condições ideais

Janeiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	<i>Split</i> Ideal
IP1	11	30.88%	12.85%
IP2	29	34.14%	45.10%
IP3	59	34.99%	42.05%
Fevereiro			
	<i>Forecast</i>	<i>Split</i> Actual	<i>Split</i> Ideal
IP1	18	28.14%	21.41%
IP2	24	31.02%	33.84%
IP3	58	40.85%	44.75%

A comparação dos valores mostra que, mesmo quando se eliminam todas as fontes de perda e migração ao longo do circuito:

- O *split* ideal continua a divergir do modelo de previsão, sobretudo para os produtos IP2 e IP3;
- Em janeiro, o IP2 regista uma diferença significativa: 45,10% no *split* ideal contra 29% no modelo — uma discrepância de mais de 16 pontos percentuais, assim como o IP3, mesmo tendo apresentado uma melhoria em relação ao modelo (42,05% no ideal contra 59% no modelo), continua a apresentar discrepâncias que levantam dúvidas sobre a consistência da previsão;
- O IP1 apresenta um comportamento mais próximo do previsto, mas ainda assim com diferenças consideráveis (por exemplo, 12,85% no ideal versus 11% no modelo em janeiro).

Essa análise evidencia que as discrepâncias entre o previsto e o real não se devem apenas a perdas e migrações internas, mas também a possíveis limitações intrínsecas ao modelo de previsão.

❖ Limitações do modelo de previsão

A precisão das previsões do modelo é directamente dependente da qualidade e representatividade dos dados de entrada. Erros na amostragem, assim como a variabilidade natural do minério também são uma fonte de incerteza que os modelos precisam de gerir.

Na Kenmare, as amostras recolhidas para a determinação do *forecast* são tiradas a partir de perfurações que são feitas dentro de um bloco que se pretende explorar.

Um bloco é uma unidade espacial geográfica, geralmente delimitada em mapas cartográficos, onde são autorizadas operações de pesquisa de mineral e/ou extracção (Hartman & Mutmanský, 2002).

Essas amostras até podem corresponder à representatividade do bloco, mas o problema é que a draga não minera todo o bloco de uma vez só.

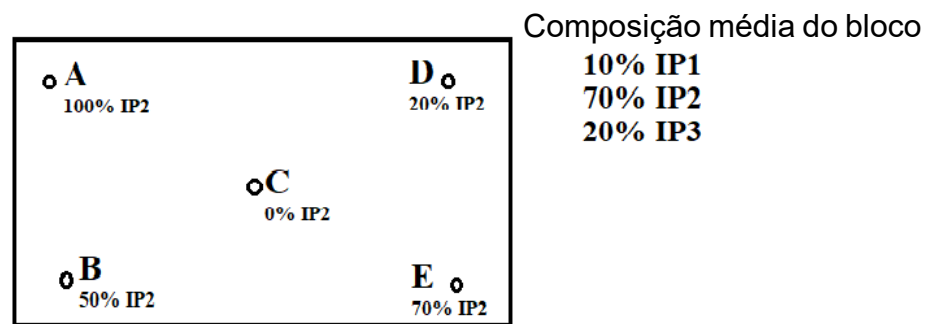


Figura 22: Ilustração da variabilidade da composição do minério dentro de um bloco

Segundo a ilustração do bloco acima, a qualidade global do que se espera produzir na mineração desse bloco seria 10% IP1, 70% IP2 e 20% IP3, mas o facto é que quando a draga estiver por exemplo no ponto A, o produto que será produzido não será com a qualidade esperada, será apenas IP2, sendo que o *forecast* foi determinado tendo em consideração a qualidade geral do bloco. Então o problema com o *forecast* pode não ser pelo modelo usado, este pode até estar certo, mas sim o facto de que na determinação deste, não se leva em consideração a variabilidade do bloco, e trata-se a amostra recolhida como se em qualquer ponto do bloco a draga fosse minerar mineral com aquela mesma qualidade.

Capítulo V: Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

O presente estudo teve como objectivo central avaliar o destino dos produtos de ilmenite no circuito do MSP, identificando os factores que contribuem para as discrepâncias entre a produção prevista (*Forecast*) e a produção real das qualidades IP1, IP2 e IP3.

O mapeamento do circuito e a análise de amostras-chave revelaram a existência de redistribuições internas entre os produtos finais, indicando que parte do material está a ser encaminhado para destinos distintos dos inicialmente projectados, afectando negativamente a pureza do produto e o equilíbrio entre as fracções.

Adicionalmente, a análise das correntes de rejeito (DMR, WNMR e *Baghouse*) demonstrou a presença de produtos de qualidade, principalmente IP3, em quantidades significativas, indicando perdas ao longo do processo, especialmente nas etapas finais da MSP e nas plantas de concentração a húmido (WCPs).

Ainda na análise das correntes de rejeito, foi detectado um grave problema em relação à eficiência dos *Baghouse*, pois uma grande quantidade de material valioso está a ser recolhida pelos exaustores, sendo que estes deviam apenas recolher as poeiras de dentro do circuito.

Finalmente, os cálculos do *split* ideal, eliminando tanto perdas de material como redistribuições internas, mostraram que o circuito não atinge os valores previstos no modelo, mesmo em condições óptimas, evidenciando um problema com a própria determinação do *Forecast*, devido ao processo de amostragem que se usa para a determinação do mesmo.

Conclui-se, assim, que as discrepâncias entre o previsto e o realizado são resultado de uma combinação de factores operacionais (migrações internas e perdas), estruturais (eficiência dos equipamentos) e de planeamento (limitações do modelo de previsão). Dentre estes, as migrações internas que se verificam dentro dos circuitos de ilmenite exercem a maior influência sobre essas diferenças.

5.2. Recomendações

Com base nos resultados e conclusões deste estudo, as seguintes recomendações são propostas para mitigar as discrepâncias entre a produção prevista e a real, e para otimizar o processo de beneficiamento de ilmenite na Kenmare:

❖ **Revisão e actualização do modelo de previsão de *split***

Considerando que o *split* ideal, mesmo na ausência de perdas e redistribuições internas, não atinge os valores previstos no modelo, recomenda-se uma revisão técnica aprofundada do modelo de previsão. Esta revisão deve basear-se em dados mais actuais e representativos da qualidade real da alimentação, incorporando a variabilidade das características minerais ao longo do tempo, com especial atenção ao teor de TiO_2 e à distribuição granulométrica. Para tal, sugere-se:

- **Simulação Computacional:** Desenvolver ou adaptar um modelo de simulação computacional que utilize os resultados de análises de XRF de amostras geológicas. Este modelo deve ser capaz de prever a qualidade do produto com base na variabilidade do bloco de minério, permitindo a atribuição da eficiência real dos equipamentos da planta para gerar resultados mais fiéis às expectativas de produção. Isso envolveria a colaboração entre as equipes de geologia, planeamento de mina e processamento.

❖ **Estudo aprofundado dos circuitos de produção de Ilmenite**

Dado que a presença de IP3 em outros produtos não eleva os teores dos mesmos acima das especificações, e que a migração de IP3 para as correntes de IP1 e IP2 pode ser intencional para atingir o teor desejado, sugere-se a condução de um estudo detalhado para investigar a natureza dessas migrações. Este estudo deve determinar se as migrações são propositadas (ajustes operacionais para conformidade do produto) ou se decorrem da ineficiência do circuito. A metodologia pode incluir:

- **Balanços de Massa Detalhados:** Realizar balanços de massa rigorosos em diferentes pontos-chave do circuito de ilmenite, com coleta e análise de amostras em tempo real, para quantificar precisamente os fluxos de material e as proporções de cada qualidade de ilmenite.

- **Testes em Planta:** Conduzir testes em escala de planta, variando parâmetros operacionais (ex: velocidade de alimentação, intensidade de campo magnético nos separadores) para observar o impacto na migração de produtos e otimizar as condições de separação.

❖ **Redução de perdas nas correntes de rejeito**

As correntes de rejeito (WNMR, DMR e *Baghouse*) apresentaram teores significativos de TiO_2 , especialmente de IP3, indicando perdas de material valioso. É essencial implementar ações para recuperar este material actualmente descartado. Recomenda-se:

- **Optimização da Eficiência das Espirais:** Avaliar e melhorar a eficiência das espirais no circuito húmido dos não magnéticos para maximizar a recuperação de ilmenite que é perdida nos rejeitos deste circuito. Isso pode envolver ajustes na densidade da polpa, no ângulo das espirais ou na substituição de equipamentos, se necessário.
- **Quantificação e Melhoria da Eficiência dos *Baghouse*:** Recomenda-se a quantificação das perdas de material nos *baghouse* e a implementação de medidas para otimizar a sua eficiência. Isso pode incluir a revisão dos sistemas de filtragem, a manutenção preventiva dos equipamentos e a implementação de sistemas de recuperação de finos, visando a recuperação de material valioso que está a ser descartado como poeira.

❖ **Investigação das perdas nas plantas de concentração a húmido (WCPs)**

A presença de teores de TiO_2 compatíveis com produtos finais nas amostras recolhidas nas WCPs indica perdas relevantes ainda nas etapas iniciais do processo. Devido à pequena quantidade de amostra disponível para o estudo actual, recomenda-se a recolha de amostras em maior volume e a realização de estudos mais aprofundados para quantificar e caracterizar essas perdas. Este estudo deve focar-se em:

- **Balanços de Massa nas WCPs:** Realizar balanços de massa detalhados nas WCPs para identificar os pontos exactos de perda e quantificar o material valioso que está a ser descartado.

- **Análise Mineralógica:** Conduzir análises mineralógicas detalhadas dos rejeitos das WCPs para identificar a forma como a ilmenite está a ser perdida (ex: grãos finos, associada a outros minerais) e desenvolver estratégias de recuperação adequadas

Referências Bibliográficas

Afonso, R., & Marques, J. (1998). *Recursos Minerais da República de Moçambique* (2nd ed.). Maputo.

Angpacmin. (s.d.). *Ilmenite*. Obtido de Retirado de <https://angpacmin.com/products/ilmenite/>

AUSIMM The Minerals Institute. (2012). *Cost Estimation Handbook* (2nd ed.).

Carvetal Blendagem. (2014). *Etapas do beneficiamento de minério*. Obtido em 19 de June de 2025, de <https://carvetal.com.br/etapas-beneficiamento-minerio>

CETEM. (2005). *Minerais de Titânio*. Obtido em 14 de June de 2025, de Centro de Tecnologia Mineral: <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/publicacoes/livros/rmi/37-TITANIO.pdf>

Coherent Market Insights. (2014). *The Role of Ilmenite in Titanium Production and Its Industrial Applications*. Obtido de <https://www.coherentmarketinsights.com/blog/the-role-of-ilmenite-in-titanium-production-and-its-industrial-applications-1045>

Cristal Jr. (18 de November de 2020). *Tratamento de minérios: Descubra como funciona*. Obtido em 23 de June de 2025, de <https://cristaljr.com/tratamento-de-minerio>

Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2013). *Rock Forming Minerals* (3rd ed.).

Diário Económico. (16 de October de 2022). *Kenmare Anuncia Aumento de Produção de Ilmenite e Titânio*. Obtido em 14 de June de 2025, de <https://www.diarioeconomico.co.mz/2022/10/16/oilgas/extractivas/kenmare-anuncia-aumento-de-producao-de-ilmenite-e-titanio-em-25-no-terceiro-trimestre/>

Diário Económico. (10 de March de 2025). *Kenmare: Ex-CEO Disputa Mina de Moma Com Proposta Acima de 600 Milhões de Dólares*. Obtido em 13 de June de 2025, de

<https://www.diarioeconomico.co.mz/2025/03/10/oilgas/extractivas/kenmare-ex-ceo-disputa-mina-de-moma-com-proposta>

Drzymala, J. (2007). *Mineral Processing - Foundations of theory and practice* (1st ed.). Wroclaw University of Technology. Obtido de www.ig.pwr.wroc.pl/minproc

Fortune Business Insights. (2016). *Tamanho do mercado de ilmenitas*. Obtido em 16 de June de 2025, de <https://www.fortunebusinessinsights.com/pt/ilmenite-market-111016>

Fuerstenau, M. C., & Han, K. N. (2010). *Principles of Mineral Processing*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

Geology Science. (23 de April de 2023). *Ilmenita | Físico - Propriedades Ópticas e Variedades*. Obtido em 18 de June de 2025, de <https://pt.geologyscience.com/minerais/ilmenita/>

Great Magtech electric. (2015). *Permanent magnets supporting automotive technology*. Obtido em 7 de July de 2025, de <https://share.google/UCvqcuRmzLbIDCY4B>

Gupta, A., & Yan, D. (2015). *Mineral Processing Design and Operation* (2nd ed.).

Hartman, H. L., & Mutmanský, J. M. (2002). *Introductory Mining Engineering*. (J. W. Sons, Ed.)

INB. (2014). *Como é feito o beneficiamento secundário dos minerais*. Obtido em 25 de June de 2025, de <https://www.inb.gov.br/Contato/Perguntas-Frequentes/Pergunta/Conteudo/como-efeito-o-beneficiamento-secundario-dos-minerais-pesados?Origem=1144>

Integrity Magazine. (2022). *A Exploração de Minerais Pesados em Moçambique e a Importância Tecnológica Deste*. Obtido de Integrity Magazine.

IPIM. (4 de March de 2020). *Kenmare Resources produz concentrado de minerais pesados em Moçambique*. Obtido em 14 de June de 2025, de IPIM: <https://www.ipim.gov.mo/pt-pt/portuguese-speaking-countries-news-pt-pt/2020-03-04-kenmare-resources-produces-heavy-mineral-concentrate-in-mozambique/>

- ISCOR Heavy Minerals. (2022). *Mineral Separation Plant Training Manual*.
- Jorge Teófilo. (10 de May de 2017). *Beneficiamento de Minérios*. Obtido em 20 de June de 2025, de <https://jorgeteofilos.files.wordpress.com/2017/01/tm-cap-02.pdf>
- JXSC Machine. (2019). *Beneficiamento de minerais pesados de areia de praia*. Obtido em 21 de June de 2025, de <https://www.jxscmachine.com/pt/solucoes/beneficiacao-de-minerais-pesados-de-areia-de-praia>
- Kenmare. (4 de September de 2016). *Ilmenite A e B*. Obtido em 21 de June de 2025, de <https://share.google/7mawlbzcS7n3MKMiZ>
- Kenmare Moma Processing. (2010). *Training module on the operation of a Drum Magnet Separator*.
- Kenmare Resources. (s.d.). *Home*. Obtido em 14 de June de 2025, de <https://www.kenmareresources.com/>
- Klein, C., & Dutrow, B. (2012). *Manual de Ciências dos Minerais* (23th ed.). (Bookman, Ed.)
- Lins, F. A. (2010). *Concentração Gravítica*. Obtido de <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/735/1/CCL00290010.pdf>
- Lohmann, F. (2015). *Estudos dos Minerais Pesados das Areias Holocênicas do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, RS*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Luz, J. A., & Lins, F. A. (2010). *Introdução ao Tratamento de Minérios* (5th ed.). CETEM.
- Luz, A. B., Sampaio, J. A., & França, S. C. (2010). *Tratamento de Minérios*. (CETEM/MCT, Ed.)
- Martins, J. G., & Pereira, A. M. (2010). *Materiais de construção (metais)*.
- Mining and Blasting. (2009). *Modeling and Simulation of Mineral Processing Systems*.
- O Económico. (2024). *Kenmare regista lucro líquido de 20,9 milhões de dolares em 2024 e reforça compromisso com Moçambique*. Obtido em 7 de Junho de 2025,

de O Económico: <https://www.oeconomico.com/kenmare-registra-lucro-liquido-de-209-milhoes-de-dolares-em-2024-e-reforca-compromisso-com-Moçambique/>

OreKinetics. (2021). *CoronaStat Operation Manual*.

Rao, D. S. (2011). *Mineral Beneficiation - A Concise Basic Course*.

Rodbari, R. J., Lucena, L. C., Jamshidi, A., Nascimento, L., & David A. Landinez, E. P. (s.d.). *Caracterização da ilmenita por difração de raios-x e microscopia eletrônica de varredura*.

ScienceDirect. (2018). *Ilmenite - an overview*. Obtido em 15 de June de 2025, de <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/ilmenite>

Seduc CE. (2015). *Cominuição e Classificação*. Obtido em 23 de June de 2025, de https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2012/06/mineracao_cominuicao_e_classificacao.pdf

Spherical Insights. (2012). *Tamanho global do mercado de dióxido de titânio*,. Obtido em 17 de June de 2025, de <https://www.sphericalinsights.com/pt/reports/titanium-dioxide-market>

UFG. (2 de December de 2012). *Concentração física de minerais*. Obtido em 23 de June de 2025, de https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/596/o/cfm_03.pdf

UNIFAL-MG. (March de 2023). *Particle size distribution on ilmenite concentrate, produced*. Obtido em 23 de June de 2025, de <https://www.unifal-mg.edu.br/ceem/wp-content/uploads/sites/195/2023/03/Adriano-Santos-Delgado-4.pdf>

USGS. (2017). *Titanium*. Obtido em 23 de June de 2025, de <https://pubs.usgs.gov/pp/1802/t/pp1802t.pdf>

USP. (2015). *Ilmenita - Materiais Didáticos*. Obtido em 19 de March de 2025, de <https://didatico.igc.usp.br/minerais/oxidos-hidroxidos/ilmenita/>

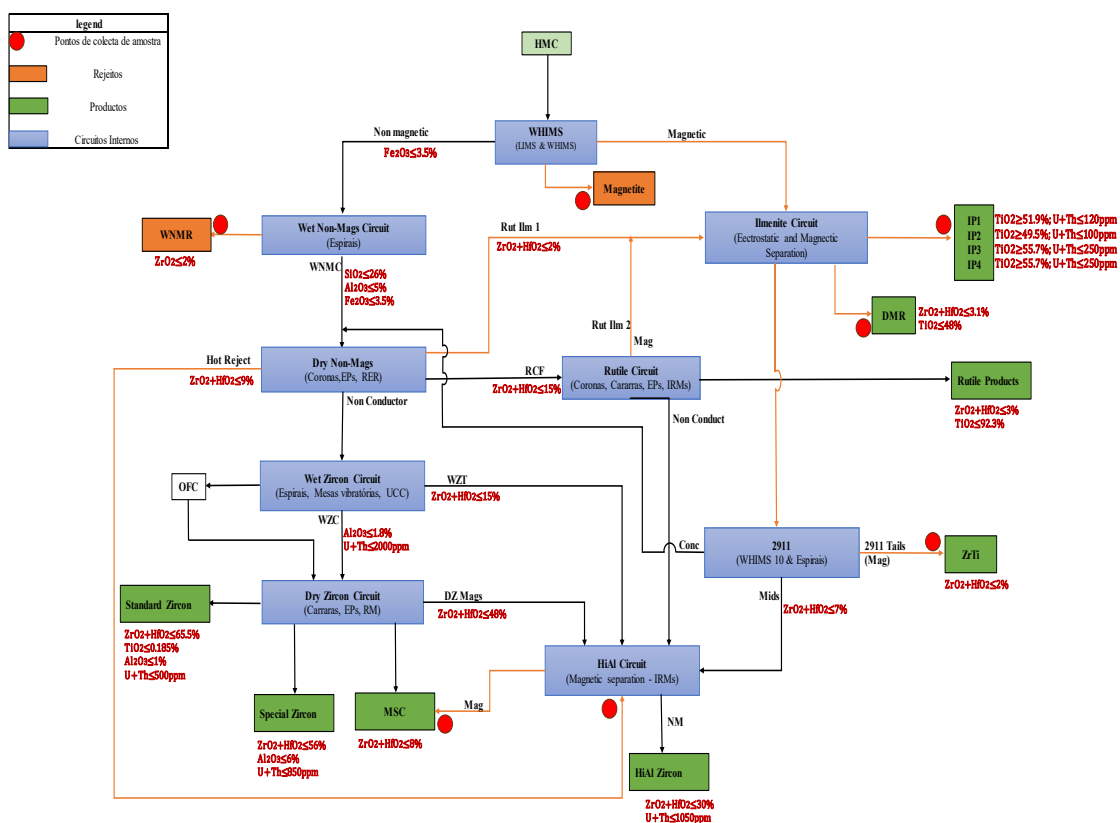
Wills, B. A. (2016). *Mineral Processing Technology* (8th ed.).

WIPO. (23 de February de 2023). *Production of titanium and titanium dioxide from ilmenite*. Obtido em 23 de June de 2025, de

<https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-1077-23-en-patent-landscape-report-ilmenite.pdf>

Apêndice

Apêndice A. Identificação dos pontos de recolha de amostra



Apêndice B. Dados para a construção dos gráficos

Tabelas com os dados para as amostras de IP1

IP1 - (January) GMT IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	71.4	6.0	49.63	45	0.54	0.371	0.39	0.27	0.02			0.119	0.06	0.028	0.018	221	141	
	0.6	96.3	8.0	49.57	48.9	0.51	0.154	0.41	0.26	0.03	0.2		0.056	0.05	0.027		212	149	
	0.7	119	9.9	50.18	48.72	0.53	0.161	0.4	0.29	0.03	0.2		0.066	0.03	0.025		196	117	
	0.8	126.3	10.5	50.69	48.55	0.53	0.149	0.41	0.28	0.03	0.3		0.071	0.04	0.025	0.016	185	117	
	0.9	140.8	11.7	50.25	48.27	0.47	0.158	0.61	0.22	0.02	0.3		0.053	0.04	0.025		223	150	
	1.0	130.6	10.9	52.1	47.82	0.54	0.163	0.4	0.25	0.03	0.2		0.053	0.06	0.027	0.01	198	137	
	1.1	92.2	7.7	51.69	46.96	0.55	0.254	0.41	0.24	0.004	0.4		0.048	0.05	0.024		244	135	
	1.2	97.1	8.1	52.26	46.76	0.53	0.161	0.43	0.25	0.03	0.2		0.048	0.06	0.027	0.014	270	136	
Calculated	1198.3	100		51.9	47.1	5.71	0.22	0.42	0.26	0.03	0.23	0.00	0.11	0.05	0.03	0.01	247	153	0

Target		Ilmenite in THM		#NAME?														
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]
49.2	IP2	34.6%	50.10	48.07	15.65	0.192	0.40	0.28	0.03	0.20	0.00	0.07	0.04	0.03	0.01	200.69	129	0
51.9	IP1	53.1%	52.11	47.25	0.52	0.177	0.45	0.24	0.02	0.23	0.00	0.06	0.05	0.03	0.01	238.91	138	0
55.7	IP3/4	12.4%	55.79	43.96	0.33	0.411	0.26	0.28	0.03	0.35	0.00	0.10	0.04	0.03	0.01	389	180	0

IP1 - (February) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	13.7	1	48.51	46.97	0.57	0.284	0.42	0.28	0.04	0.1		0.394	0.05	0.031		250	157	
	0.6	21.3	2	48.24	46.26	0.51	0.258	0.43	0.29	0.02	0.4		0.055	0.05	0.028		330	141	
	0.7	37.3	3	48.55	46.62	0.53	0.15	0.38	0.3	0.02	0.4		0.07	0.04	0.027		260	126	
	0.8	54.7	5	48.43	46.23	0.53	0.135	0.4	0.27	0.03	0.2		0.087	0.04	0.027		252	129	
	0.9	102.2	9	48.98	46.1	0.53	0.141	0.38	0.26	0.02	0.3		0.095	0.06	0.027		254	122	
	1.0	115.1	10	48.57	45.97	0.51	0.214	0.35	0.29	0.03	0.3		0.104	0.08	0.028		245	128	
	1.1	120.7	10	49.35	45.78	0.53	0.177	0.4	0.28	0.03	0.3		0.104	0.03	0.028		250	129	
	1.2	136.9	11	50.29	45.1	0.32	0.206	0.271	0.25		0.3		0.051	0.03	0.029		263	145	
Calculated	1199.1	100		50.0	45.4	0.46	0.21	0.35	0.28	0.03	0.28	0.00	0.16	0.05	0.03	0.00	278	136	0

Ilmenite in THM		#NAME?																
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%	
IP2	63.1%	49.68	45.63	0.45	0.184	0.34	0.27	0.02	0.30	0.00	0.09	0.04	0.03	0.00	257.05	130	0	
IP1	29.6%	53.12	43.90	0.32	0.253	0.22	0.29	0.03	0.19	0.00	0.08	0.04	0.03	0.00	324.06	144	0	
IP3/4	7.2%	56.04	41.29	0.32	0.462	0.25	0.31	0.04	0.32	0.00	0.07	0.03	0.03	0.00	427	192	0	

IP1 Aux - (January) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	8	0.66	47.77	49.36	0.5	0.181	0.318	0.23		0.7		0.092	0.08	0.033	0.026	173	135	
	0.6	15.6	1.29	48.36	48.59	0.5	0.162	0.283	0.24		0.5		0.149	0.06	0.034	0.023	191	132	
	0.7	31.9	2.65	48.71	47.28	0.54	0.155	0.29	0.23		0.9		0.147	0.03	0.034	0.019	205	135	
	0.8	50.7	4.20	48.56	47.75	0.53	0.17	0.279	0.24	0.02	0.5		0.085	0.07	0.027	0.025	205	120	
	0.9	71.4	5.92	48.89	48.06	0.54	0.166	0.299	0.25	0.03			0.05	0.08	0.028	0.025	210	135	
	1.0	83.3	6.91	49.94	47.59	0.54	0.18	0.279	0.23	0.02			0.63	0.06	0.029	0.026	224	141	
	1.1	126.9	10.52	50.08	47.79	0.51	0.164	0.276	0.29	0.02			0.087	0.06	0.029	0.026	219	135	
	1.2	141	11.69	50.47	46.51	0.53	0.158	0.285	0.28	0.03	0.6		0.056	0.07	0.028	0.022	232	131	
Calculated	1206.0	100		52.04	45.67	0.44	0.26	0.26	0.27	0.02	0.23	0.00	0.33	0.06	0.03	0.02	292.88	199.77	0.00

Ilmenite in THM	#NAME?																	
	split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%	
IP2	32.4%	49.40	47.81	0.53	0.168	0.28	0.26	0.02	0.17	0.00	0.20	0.06	0.03	0.02	213.36	134	0	
IP1	46.0%	52.08	45.91	0.44	0.206	0.23	0.28	0.02	0.36	0.00	0.07	0.05	0.03	0.01	276.40	144	0	
IP3/4	21.6%	55.72	43.10	0.32	0.449	0.18	0.29	0.03	0.01	0.00	0.09	0.04	0.03	0.01	418	182	0	

IP1 Aux - (February) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	12.7	1.04	49.31	49.46	0.58	0.217	0.322	0.27	0.03	1.8		0.102	0.05	0.027	0.02	159	139	
	0.6	29.6	2.41	49.06	50.62	0.52	0.138	0.314	0.27	0.03			0.092	0.06	0.028	0.025	155	144	
	0.7	39.9	3.25	48.98	50.66	0.5	0.175	0.317	0.25	0.04			0.087	0.06	0.029	0.017	158	144	
	0.8	75	6.12	49.52	51.01	0.54	0.141	0.301	0.24	0.03			0.067	0.03	0.027	0.025	152	133	
	0.9	100.7	8.21	49.81	49.48	0.5	0.164	0.311	0.23	0.03			0.23	0.06	0.029	0.023	182	119	
	1.0	132.6	10.82	51.27	48.56	0.51	0.151	0.317	0.25	0.03	0.9		0.073	0.06	0.027		184	135	
	1.1	142.8	11.65	50.33	47.75	0.55	0.151	0.312	0.27	0.02	0.8		0.067	0.05	0.027	0.019	171	133	
	1.2	150.2	12.25	50.32	47.16	0.55	0.184	0.33	0.24	0.02	0.8		0.343	0.06	0.029		209	125	
	1.3	148.1	12.08	51.97	47.21	0.51	0.238	0.278	0.28	0.01			0.232	0.07	0.03	0.017	218	136	
	1.4	128.8	10.51	52.16	46.81	0.54	0.244	0.306	0.25	0.03			0.07	0.07	0.028	0.025	207	131	
	1.5	112.1	9.14	52.74	45.89	0.53	0.233	0.3	0.26	0.02	0.7		0.155	0.05	0.031	0.024	230	151	
	1.6	63.9	5.21	53.36	44.96	0.32	0.242	0.187	0.28	0.02			0.077	0.03	0.032	0.025	285	170	
	1.7	37.7	3.08	54.4	43.08	0.33	0.482	0.195	0.28	0.03	0.4		0.231	0.04	0.032	0.02	313	159	
	1.8	20.9	1.70	55.18	42.61	0.32	0.331	0.186	0.29	0.02			0.098	0.03	0.031	0.021	300	187	
	1.9	12.5	1.02	56.38	41.86	0.32	0.402	0.182	0.32	0.02			0.128	0.04	0.031	0.02	393	193	
	2.0	7.6	0.62	57.56	41.03	0.32	0.7	0.198	0.3	0.02			0.162	0.05	0.031	0.017	455	254	
	2.1	4.3	0.35	57.25	40.28	0.32	0.728	0.195	0.29	0.02			0.114	0.05	0.035	0.021	500	305	
	2.2	2.2	0.18	58.18	49.42	0.35	1.682	0.21	0.33	0.05	0.3		0.174	0.06	0.033		533	281	
	2.5NM	4.4	0.36	54.36	28.47	0.33	1.7	1.227	0.3		0.4		10.39	0.22	0.059		810	254	
Calculated		1226.0	100	51.4	47.4	0.5	0.2	0.3	0.3	0.0	0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	211.4	139.9	0.0

Ilmenite in THM																			
	split %	#NAME?																	
		TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U		
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%		
IP2	43.5%	50.16	49.15	0.52	0.155	0.31	0.25	0.03	0.48	0.00	0.10	0.05	0.03	0.02	171.49	132	0		
IP1	52.3%	52.04	46.42	0.50	0.240	0.29	0.26	0.02	0.33	0.00	0.20	0.06	0.03	0.02	228.05	140	0		
IP3/4	4.2%	56.05	41.09	0.32	0.608	0.28	0.30	0.02	0.05	0.00	0.99	0.05	0.03	0.02	415	218	0		

Tabelas com os dados para as amostras de IP2

IP2 - (January) GMT IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	45.6	4	49.41	50.91	0.54	0.145	0.309	0.29	0.03	0.5		0.092	0.06	0.026	0.033	182	152	
	0.6	66.8	5	49.2	49.64	0.53	0.164	0.306	0.25	0.02	0.5		0.147	0.09	0.028	0.014	173	126	
	0.7	86.1	7	48.88	48.88	0.54	0.161	0.295	0.27	0.01	0.6		0.096	0.03	0.028	0.02	169	142	
	0.8	106.3	9	49.05	49.47	0.52	0.169	0.329	0.26	0.02			0.057	0.03	0.027	0.018	170	143	
	0.9	147.8	12	49.48	48.94	0.52	0.148	0.283	0.29	0.03			0.22	0.06	0.028	0.014	170	133	
	1.0	145.5	12	48.8	48.17	0.53	0.177	0.301	0.23	0.02	0.7		0.063	0.04	0.028	0.01	175	122	
	1.1	154.5	13	48.22	47.99	0.55	0.172	0.357	0.26	0.02			0.06	0.04	0.027	0.021	198	133	
	1.2	135.2	11	48.85	47.66	0.53	0.173	0.317	0.27	0.01			0.08	0.04	0.028	0.024	197	140	
	1.3	108.3	9	48.74	46.49	0.54	0.226	0.321	0.27	0.02	0.9		0.076	0.06	0.027		195	132	
	1.4	91.8	8	49.2	46.44	0.53	0.236	0.308	0.27	0.03	0.5		0.058	0.03	0.031	0.018	233	154	
	1.5	52.2	4	49.8	46.17	0.49	0.185	0.301	0.3	0.03			0.063	0.05	0.029	0.02	288	157	
	1.6	34	3	51.3	44.76	0.34	0.541	0.182	0.28	0.01			0.072	0.03	0.03	0.023	344	199	
	1.7	18.6	2	54.27	44.46	0.36	0.352	0.193	0.28	0.02	0.4		0.097	0.02	0.031	0.034	343	189	
	1.8	12.3	1	55.05	42.5	0.32	0.562	0.173	0.31	0.03			0.14	0.05	0.032	0.018	417	195	
	1.9	6.5	1	56.28	42.47	0.33	0.383	0.187	0.29	0.02			0.069	0.03	0.03	0.017	420	209	
	2.0	3.1	0	56.78	40.37	0.33	1.423	0.184	0.32	0.06	0.5		0.236	0.06	0.033	0.021	641	386	
	2.1	1.2	0	57.4	39.06	0.35	1.808	0.186	0.3	0.05	0.5		0.353	0.05	0.033	0.022	583	387	
	2.2	0.9	0	57.97	40.03	0.35	1.514	0.187	0.3	0.04	0.3		0.328	0.05	0.035	0.018	581	421	
	2.5NM	2.1	0	46.18	17.83	0.26	1.26	2.097	0.18				24.68	0.44		2.097	1160	6220	
Calculated		1218.8	100	49.2	47.8	0.5	0.2	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	204.6	152.1	0.0

Ilmenite in THM																			
	split %	#NAME?																	
		TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U		
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%		
IP2	98.0%	49.11	48.01	0.52	0.191	0.31	0.27	0.02	0.30	0.00	0.09	0.05	0.03	0.02	197.79	140	0		
IP1	0.0%																		
IP3/4	2.0%	55.83	41.95	0.33	0.723	0.18	0.31	0.03	0.10	0.00	0.15	0.05	0.03	0.02	461	242	0		

				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
IP2 - (February) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	69.6	6	48.42	46.04	0.75	0.151	0.57	0.18	0.02	0.3		0.106	0.1	0.024		124	109	
	0.6	82	7	48.36	46.88	0.75	0.199	0.63	0.16	0.02	0.3		0.047	0.04	0.024		179	108	
	0.7	77.6	6	49.08	45.74	0.45	0.164	0.391	0.15	0.03	0.2		0.068	0.04	0.026		213	99	
	0.8	105.5	8	48.84	45.59	0.74	0.214	0.65	0.17	0.03	0.4		0.038	0.05	0.026		187	97	
	0.9	109.6	9	49.27	45.91	0.42	0.162	0.358	0.2	0.05	0.2		0.088		0.026	0.026	186	102	
	1.0	115	9	49.79	45.84	0.71	0.167	0.69	0.16	0.03	0.2		0.071	0.04	0.027		203	116	
	1.1	132.7	11	48.91	45.86	0.74	0.183	0.66	0.16	0.03	0.3		0.046	0.03	0.026		194	102	
	1.2	123.9	10	49.26	45.94	0.44	0.17	0.383	0.16	0.02	0.3		0.051	0.03	0.027		210	0.0108	
	1.3	110.3	9	49.85	45.43	0.43	0.207	0.358	0.19	0.03	0.2		0.048	0.02	0.025	0.021	249	0.0122	
	1.4	92.9	7	50	44.46	0.45	0.182	0.361	0.13	0.02	0.2		0.047	0.03	0.028		260	127	
	1.5	68.4	5	52.37	44.31	0.45	0.221	0.373	0.18	0.03	0.3		0.055	0.02	0.025	0.021	273	0.0127	
	1.6	51.4	4	52.45	44.46	0.45	182	0.361	0.165	0.02	0.2		0.047	0.03	0.028		260	127	
	1.7	36.7	3	53.96	41.52	0.43	0.053	0.332	0.17	0.03	0.4	1.632	0.152	0.03	0.03		320	142	
	1.8	25	2	55.63	40.17	0.44	0.296	0.363	0.2	0.05	0.3	1.549	0.115	0.04	0.03		338	153	
1.9	16.5	1.32	56.49	40.12	0.46	0.207	0.385	0.22	0.03	0.2	1.63	0.062	0.04	0.033	0.02	407	160		
2.0	10.4	0.84	57.56	38.34	0.45	0.672	0.377	0.22	0.04	0.3	1.55	0.216	0.09	0.031	0.015	466	249		
2.1	6.2	0.50	58.04	38.01	0.48	0.896	0.391	0.23	0.04	0.2	1.515	0.167	0.08	0.03	0.021	512	0.026		
2.2	3.9	0.31	57.5	36.73	0.52	1.715	0.447	0.21		0.3	1.465	0.349	0.27	0.036	0.02	754	0.0766		
2.5NM	7.7	1	54.56	20.21	0.74	1.47	10.11	0.11		0.3	0.63	13.61	1.01	0.099		0.097	0.486		
Calculated	1245.3	100		49.8	45.3	0.57	5.58	0.52	0.17	0.03	0.26	0.08	0.11	0.04	0.03	0.01	214	87	0

IP2 Aux- (January) GMT IRMS	Amps (A)	Mass (g)	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	94.8	8	48.94	48.73	0.88	0.161	0.79	0.18	0.03	0.3		0.056	0.02	0.024		202	108	
	0.6	109	9	48.21	47.65	0.82	0.205	0.74	0.19	0.04	0.2		0.236	0.08	0.024	0.026	189	113	
	0.7	110.9	9	48.36	48.01	0.75	0.169	0.72	0.15	0.03			0.101	0.06	0.025	0.022	198	112	
	0.8	108.7	9	48.03	47.53	0.82	0.163	0.78	0.16	0.03	0.2		0.175	0.07	0.025		178	102	
	0.9	138.7	11	49.05	47.81	0.8	0.157	0.71	0.15	0.04	0.1		0.046	0.05	0.027	0.024	178	113	
	1.0	120	10	48.37	48	0.82	0.155	0.8	0.19	0.03	0.2		0.049	0.03	0.026	0.024	162	110	
	1.1	120.1	10	49.1	47.03	0.75	0.162	0.71	0.14	0.03	0.2		0.052	0.04	0.03		166	111	
	1.2	110.1	9	49.13	47.06	0.74	0.16	0.67	0.16		0.2		0.166	0.04	0.026	0.027	166	95	
	1.3	95.3	8	49.66	46.66	0.74	0.186	0.75	0.14	0.02	0.4		0.051	0.04	0.029		187	109	
	1.4	69.6	6	50.23	45.98	0.47	0.186	0.504	0.19		0.3		0.062	0.05	0.032	0.03	210	118	
	1.5	47	4	52.21	45.55	0.46	0.215	0.408	0.16	0.03			0.051	0.03	0.028	0.028	224	115	
	1.6	34.6	3	52.8	44.33	0.48	0.206	0.424	0.13		0.3		0.069	0.02	0.034	0.03	242	113	
	1.7	23.3	2	55.36	42.16	0.45	0.01	0.453	0.15	0.02	0.3		0.052	0.02	0.028		275	121	
	1.8	13.7	1	55.3	44.19	0.44	0.019	0.408	0.16		0.2		0.063	0.03	0.033		230	111	
	1.9	9.00	0.74	56.28	39.99	0.48	0.324	0.404	0.17		0.4		0.162	0.05	0.035		390	166	
	2.0	4.8	0.39	57.23	39.46	0.47	0.387	0.413	0.19			1.623	0.101	0.08	0.035		440	223	
	2.1	2.9	0.24	57.43	38.72	0.5	0.928	0.459	0.19			1.677	0.125	0.1	0.039	0.033	490	272	
	2.2	1.5	0.12	57.35	37.81	0.51	1.854	0.461	0.15		0.3	1.42	0.184		0.041		680	575	
	2.5NM	2.7	0	52.7	19.53	0.66	1.07	10.11	0.09			0.59	17.13	1.09	0.109		970	4610	
Calculated		1216.7	100	49.5	46.9	0.73	0.18	0.72	0.16	0.02	0.19	0.02	0.15	0.05	0.03	0.02	195	126	0

Ilmenite in THM																			
		#NAME?																	
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U	
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%	
IP2	95.5%		49.10	47.33	0.75	0.172	0.70	0.16	0.03	0.19	0.00	0.10	0.05	0.03	0.02	185.31	109	0	
IP1	0.0%																		
IP3/4	4.5%		55.82	41.78	0.46	0.195	0.43	0.16	0.01	0.25	0.27	0.08	0.04	0.03	0.00	319	155	0	

				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U		
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2 Aux- (February) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	0.5	37.1	3	47.25	48.94	0.53	0.024	0.42	0.29		0.4	0.206	0.171	0.09	0.027	0.023	159	137
	0.6	36.5	3	48.09	47.67	0.57	0.004	0.43	0.27	0.03	0.5	0.237	0.049	0.06	0.027		201	167			
	0.7	79.2	7	47.93	47.79	0.56	0.007	0.42	0.32	0.03	0.2	0.229	0.053	0.07	0.031		175	164			
	0.8	92	8	47.79	47.63	0.56	0.061	0.44	0.3		0.2	0.231	0.098	0.07	0.029	0.029	163	140			
	0.9	104.2	9	47.6	47.38	0.56	0.049	0.41	0.29		0.3	0.221	0.108	0.05	0.028		170	120			
	1.0	138.5	12	48.06	46.96	0.52	0.005	0.45	0.28		0.3	0.239	0.066	0.03	0.027		170	148			
	1.1	144.3	12	47.19	46.53	0.54	0.014	0.41	0.26	0.02	0.4	0.247	0.05	0.04	0.026		177	149			
	1.2	149.6	12	48.06	45.81	0.34	0.023	0.255	0.29	0.02	0.2	0.243	0.062	0.03	0.03		229	152			
	1.3	113.3	9	48.25	45.88	0.34	0.046	0.272	0.29	0.02		0.265	0.072	0.03	0.031	0.018	210	158			
	1.4	101.4	8	48.77	44.13	0.33	0.09	0.238	0.31	0.02	0.3	0.26	0.054	0.05	0.034		250	170			
	1.5	64.5	5	51.55	43.98	0.34	0.351	0.247	0.32		0.3	0.235	0.129	0.02	0.033	0.032	270	163			
	1.6	47.2	4	52.62	43.58	0.34	0.065	0.261	0.3	0.02	0.4	0.25	0.063	0.03	0.032	0.019	352	200			
	1.7	35.3	3	53.92	42.69	0.34	0.174	0.265	0.34	0.04		0.261	0.071	0.04	0.031	0.022	330	206			
	1.8	21.6	2	55.16	41.29	0.33	0.199	0.259	0.29		0.5	0.257	0.111	0.05	0.034		380	206			
	1.9	13.9	1.16	56.39	40.41	0.33	0.849	0.257	0.32	0.03	0.3	0.251	0.169	0.03	0.035		430	236			
	2.0	8.4	0.70	57.07	39.69	0.34	1.264	0.255	0.32	0.06	0.3	0.237	0.222	0.05	0.035		500	340			
	2.1	5.7	0.47	57.64	39.42	0.35	1.556	0.294	0.34	0.04	0.4	0.231	0.0295	0.06	0.034		470	337			
	2.2	3.8	0.32		58	38.63	0.34	1.769	0.285	0.03		0.5	0.208	0.248	0.05	0.038	0.015	500	665		
	2.5NM	6	0	56.35	23.9	0.95	1.017	12.8	0.22	0.21	0.5	0.136	7.245	0.21	0.037	0.042	540	1294			
Calculated		1202.5	100	48.6	46.4	0.48	0.07	0.41	0.29	0.01	0.28	0.24	0.10	0.05	0.03	0.01	207	160	0		

Ilmenite in THM																			
		#NAME?																	
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U	
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%	
IP2	95.5%		48.50	46.19	0.45	0.057	0.35	0.29	0.01	0.26	0.24	0.07	0.04	0.03	0.01	208.18	155	0	
IP1	0.0%																		
IP3/4	4.5%		56.25	40.42	0.33	0.792	0.26	0.29	0.02	0.41	0.25	0.14	0.05	0.03	0.00	430	282	0	

Tabelas com os dados para as amostras de IP3

				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U		
IP3 - (January) GMT IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%		
	0.5	35.2	3	54.3	48.42	0.85	0.187	0.93	0.2	0.03	0.3	0.197	0.066	0.05	0.024		136	119			
	0.6	44.5	4	54.19	48.87	0.87	0.005	0.87	0.18		0.3	0.209	0.137	0.05	0.023		153	114			
	0.7	64.4	5	54.33	49.09	0.82	0.003	0.81	0.19		0.2	0.203	0.066	0.05	0.022		126	99			
	0.8	78.2	6	54.15	47.64	0.93	0.007	0.89	0.19			0.237	0.112	0.06	0.026		148	109			
	0.9	93.9	8	54.8	47.67	0.87	0.052	0.88	0.16		0.3	0.219	0.054	0.07	0.024		155	125			
	1.0	111.6	9	55.75	47.21	0.91		0.92	0.15	0.03	0.2	0.25	0.041	0.04	0.023		166	137			
	1.1	114.2	9	55.14	46.64	0.86		0.93	0.16	0.03	0.2	0.29	0.044	0.06	0.025		160	125			
	1.2	106.5	9	55.76	46.62	0.87		0.9	0.16	0.02	0.3	0.261	0.046	0.04	0.029		167	127			
	1.3	104.6	9	55.65	46.27	0.84		0.84	0.19	0.02	0.2	0.256	0.052	0.03	0.029		167	117			
	1.4	97.6	8	56.01	46.17	0.87		0.84	0.2	0.02	0.2	0.259	0.048	0.05	0.027		205	119			
	1.5	100.5	8	56.53	45.38	0.51	0.021	0.469	0.19	0.02		0.265	0.123	0.03	0.029		229	126			
	1.6	77.2	6	56.81	44.05	0.53	0.009	0.531	0.19	0.02	0.2	0.26	0.064	0.04	0.028		269	146			
	1.7	56.7	5	57.23	42.75	0.51	0.033	0.505	0.2	0.03	0.2	0.256	0.068	0.04	0.029		327	177			
	1.8	41.1	3	57.85	42.03	0.52	0.056	0.483	0.2	0.03	0.2	0.282	0.058	0.04	0.031		330	172			
1.9	27.6	2.29	57.73	40.53	0.55	0.459	0.475	0.2	0.03	0.2	0.254	0.116	0.02	0.032		409	178				
2.0	16.4	1.36	58.13	38.72	0.53	0.699	0.518	0.2	0.05	0.3	0.235	0.229	0.09	0.032		543	275				
2.1	9.1	0.76	58.94	37.79	0.56	1.888	0.49	0.23	0.04	0.3	0.228	0.261		0.035		766	641				
2.2	6.1	0.51	58.89	36.21	0.61	2.67	0.53	0.19	0.06	0.4	0.198	0.515	0.6	0.048		1206	1607				
2.5NM	18.1	2	61.53	14.08	0.74	1.11	12.43	0.16	0.15	0.1	0.067	14.72	0.96	0.085		840	429				
Calculated				1203.5	100	55.3	46.9	0.83	0.04	0.87	0.18	0.02	0.20	0.24	0.12	0.05	0.03	0.00	178	127	0

IP3 - (February) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	5	0	52	48.33	0.83	0.304	0.69	0.18	0.03	0.4		0.129	0.07	0.026		188	135	
	0.6	12.2	1	52.85	47.04	0.85	0.155	0.76	0.21	0.02	0.3		0.075	0.03	0.025	0.022	219	142	
	0.7	22.8	2	54.27	47.05	0.77	0.146	0.65	0.2	0.03	0.4		0.134	0.07	0.025		199	130	
	0.8	39.1	3	53.84	47.06	0.82	0.157	0.65	0.16		0.4		0.061	0.06	0.025	0.023	165	123	
	0.9	43.4	4	54.11	47.08	0.81	0.161	0.7	0.15	0.02	0.4		0.037	0.05	0.027		171	129	
	1.0	63.8	5	53.79	46.1	0.81	0.17	0.79	0.16	0.03	0.3		0.039	0.03	0.029		187	124	
	1.1	106	9	54.28	45.77	0.5	0.162	0.45	0.15	0.02	0.6		0.038	0.04	0.03	0.021	201	128	
	1.2	110.3	9	54.82	45.89	0.048	0.173	0.434	0.18	0.02	0.4		0.05	0.02	0.028	0.019	206	138	
	1.3	114.3	9	55.53	45.61	0.49	0.168	0.413	0.17	0.02	0.3		0.064	0.03	0.028		196	125	
	1.4	115.7	10	55.32	45.11	0.51	0.178	0.458	0.15	0.03	0.3		0.049	0.03	0.029		213	134	
	1.5	109.1	9	56.53	44.73	0.47	0.208	0.427	0.16	0.02	0.4		0.053	0.04	0.029		226	116	
	1.6	104.6	9	56.48	43.94	0.5	0.197	0.413	0.18	0.01	0.3		0.054	0.03	0.032	0.016	263	150	
	1.7	91.1	8	56.88	43.26	0.46	0.228	0.417	0.18		0.3		0.071	0.06	0.033	0.007	277	160	
	1.8	74.3	6	57.64	42.1	0.48	0.22	0.478	0.18	0.04	0.5		0.147	0.06	0.032		308	159	
	1.9	61.2	5.07	57.52	41.69	0.47	0.354	0.429	0.2	0.02	0.4		0.068	0.04	0.03	0.015	360	156	
	2.0	44.1	3.65	57.69	40.23	0.47	0.407	0.387	0.2	0.02	0.5		0.189	0.04	0.03		383	152	
	2.1	29.4	2.43	58.52	39.64	0.51	0.622	0.403	0.2	0.03	0.3		0.063	0.04	0.032	0.025	410	181	
	2.2	19.3	1.60	59.05	38.51	0.53	1.319	0.458	0.19	0.05	0.4		0.085	0.11	0.032		598	326	
	2.5NM	42.4	4	65.38	25.25	0.69	1.23	10.08	0.16	0.1	0.4		10.17	0.27	0.044		690	204	
Calculated		1208.1	100	54.5	46.1	0.64	0.18	0.62	0.17	0.02	0.38	0.00	0.10	0.04	0.03	0.01	204	132	0

Ilmenite in THM																			
#NAME?																			
split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U	125		
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%			
IP2	0.0%																		
IP1	0.0%																		
IP3/4	100.0%	55.79	44.47	0.50	0.232	0.48	0.17	0.02	0.38	0.00	0.07	0.04	0.03	0.01	247	141	0		

IP3 Aux - (January) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	6.2	1	53.02	47.44	0.89	0.215	0.9	0.16	0.03			0.48	0.17	0.028	0.19	170	134	
	0.6	9.7	1	53.16	47.28	0.88	0.198	0.85	0.15	0.03			0.06	0.07	0.028	0.02	162	125	
	0.7	17.5	1	53.6	46.9	0.94	0.147	0.91	0.26	0.03	0.4		0.037	0.05	0.027	0.025	168	128	
	0.8	24.7	2	54.01	46.52	0.87	0.161	0.85	0.13	0.02	0.5		0.163	0.08	0.028		157	113	
	0.9	53.1	4	54.74	46.92	0.84	0.19	0.82	0.16	0.03	0.4		0.042	0.04	0.029		143	111	
	1.0	66.6	6	54.79	46.53	0.85	0.185	0.84	0.15		0.3		0.053	0.07	0.032	0.019	143	129	
	1.1	93.1	8	55	45.94	0.94	0.177	0.95	0.15		0.2		0.04	0.06	0.03	0.017	165	135	
	1.2	113.1	9	55.37	46.07	0.94	0.168	0.93	0.13	0.02	0.2		0.066	0.09	0.031		182	126	
	1.3	142.7	12	55.26	46.11	0.55	0.178	0.527	0.15	0.02	0.4		0.047	0.03	0.031		208	114	
	1.4	140.1	12	56.5	45.67	0.86	0.269	0.83	0.19	0.03	0.3		0.128	0.06	0.024	0.01	206	129	
	1.5	130.5	11	55.32	45.56	0.53	0.225	0.52	0.18	0.02			0.046	0.04	0.029	0.022	230	136	
	1.6	110.4	9	56.95	43.38	0.57	0.204	0.6	0.18	0.02	0.3		0.058	0.06	0.031		289	166	
	1.7	81.7	7	57.25	42.87	0.54	0.213	0.548	0.2	0.03	0.5		0.062	0.06	0.029	0.022	313	149	
	1.8	73.2	6	57.29	41.73	0.55	0.522	0.549	0.18	0.03	0.3		0.152	0.07	0.028		335	147	
	1.9	50.6	4.20	57.89	41.11	0.53	0.479	0.488	0.21	0.03	0.3		0.087	0.05	0.03	0.02	382	154	
	2.0	33.4	2.77	57.82	39.57	0.54	0.973	0.512	0.19	0.06	0.3		0.073	0.05	0.03	0.027	433	232	
	2.1	21.4	1.78	57.93	38.45	0.59	1.459	0.571	0.2		0.2		0.152	0.09	0.032	0.017	521	293	
	2.2	13.7	1.14	57.8	37.72	0.66	1.3	0.547	0.2	0.07	0.4		0.124	0.09	0.03	0.038	550	340	
	2.5NM	23.2	2	55.23	14.49	0.71	1.74	10.64	0.13	0.13	0.5		18.69	0.3	0.049		630	2550	
Calculated		1204.9	100	54.8	46.1	0.82	0.21	0.84	0.17	0.02	0.28	0.00	0.15	0.07	0.03	0.02	185	135	0

Ilmenite in THM																			
#NAME?																			
split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U	104		
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%			
IP2	0.0%																		
IP1	0.0%																		
IP3/4	100.0%	55.96	44.69	0.70	0.291	0.69	0.17	0.02	0.28	0.00	0.08	0.06	0.03	0.01	242	142	0		

				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
IP3 Aux - (February) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	7.7	1	53.42	46.55	0.86	0.159	0.78	0.16	0.02	0.4		0.05	0.07	0.026		198	185	
	0.6	16.9	1	54.56	46.57	0.85	0.162	0.72	0.16	0.01	0.3		0.059	0.07	0.025		190	138	
	0.7	31.7	3	54.26	46.55	0.84	0.164	0.78	0.2	0.03	0.5		0.064	0.05	0.025		181	130	
	0.8	48.9	4	54.71	45.94	0.88	0.153	0.79	0.17	0.03	0.4		0.047	0.08	0.026	0.035	174	125	
	0.9	81.5	7	54.85	46.2	0.79	0.166	0.73	0.14		0.4		0.104	0.04	0.026	0.014	172	121	
	1.0	97.2	8	54.94	46.06	0.53	0.177	0.483	0.17	0.03	0.4		0.05	0.04	0.027		207	131	
	1.1	102.2	8	55.37	45.56	0.5	0.192	0.505	0.18	0.04	0.5		0.042	0.05	0.027	0.028	213	135	
	1.2	125.9	10	55.94	45.58	0.49	0.173	0.426	0.17		0.4		0.048	0.04	0.026	0.022	210	124	
	1.3	135.2	11	56.09	45.6	0.49	0.168	0.449	0.2	0.02	0.5		0.051	0.03	0.027		229	118	
	1.4	132.5	11	56.11	45.43	0.49	0.201	0.455	0.19	0.02	0.4		0.042	0.02	0.02		242	135	
	1.5	115.9	9	56.86	44.78	0.5	0.175	0.432	0.16		0.2		0.056	0.05	0.029	0.03	255	152	
	1.6	106.3	9	57.36	43.73	0.5	0.293	0.438	0.18	0.03	0.5		0.051	0.02	0.027		276	137	
	1.7	74	6	57.3	42.48	0.5	0.217	0.421	0.18	0.02	0.4		0.051	0.06	0.03	0.019	309	158	
	1.8	57.6	5	58.03	41.36	0.51	0.289	0.439	0.2	0.03	0.4		0.111	0.05	0.032		354	165	
	1.9	37.8	3.07	58.1	40.68	0.49	0.36	0.433	0.21	0.02	0.3		0.089	0.04	0.029		400	161	
2.0	22.6	1.84	58.24	39.33	0.49	0.924	0.403	0.2	0.02	0.4		0.113	0.06	0.03		469	223		
2.1	14.6	1.19	58.48	39.01	0.5	1.227	0.449	0.23		0.3		0.08	0.06	0.032	0.018	537	272		
2.2	7.4	0.60	57.05	37.44	0.58	1.584	0.497	0.2	0.03	0.4		0.237	0.14	0.034	0.016	683	472		
2.5NM	14.4	1	55.07	18.23	0.76	1.4	11.72	0.12	0.13			14.51	0.66	0.07	0.03	800	4000		
Calculated	1230.3	100	55.3	542.5	0.66	0.19	0.63	0.17	0.02	0.41	0.00	0.11	0.05	0.03	0.01	214	148	0	

Tabelas com os dados para as amostras de IP4

IP4 - (January) GMT IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			
	0.5	10.9	1	55.22	47.84	1.24	0.528	1.03	0.16	0	0.3	1.99	0.0832	0.15	0.024	0.006		380	
	0.6	24.5	2	55.86	45.73	1.26	0.072	1.31	0.13			2.41	0.1349	0.18	0.025	0.011		234	
	0.7	32.9	3	56.36	45.79	0.53	0.025	0.54	0.15	0.01	0.2	1.189	0.086	0.04	0.026	0.011		0.0206	
	0.8	49.4	4	56.87	43.9	0.504	0.065	0.457	0.15	0.013	0.4	1.341	0.17	0.045	0.026	0.018		205	
	0.9	78.2	6	56.92	43.3	0.521	0.04	0.48	0.16		0.3	1.299	0.114	0.04	0.027			214	
	1.0	95.8	8	57.29	42.2	0.51	0.099	0.407	0.17	0.03	0.5	1.243	0.1447	0.06	0.026			220	
	1.1	111.1	9	57.41	41.23	0.49	0.032	0.479	0.14	0.03	0.5	1.466	0.0332	0.04	0.026	0.016		250	
	1.2	118.3	10	57.42	40.9	0.504	0.081	0.428	0.17	0.03	0.3	1.51	0.0284	0.03	0.026	0.006		253	
	1.3	121.2	10	57.3	41.63	0.518	0.016	0.425	0.17	0.03		1.511	0.0367	0.036	0.026	0.02		262	
	1.4	128.3	11	57.71	39.86	0.53	0.136	0.673	0.19	0.03		1.703	0.0793	0.045	0.025	0.009		270	
	1.5	108	9	57.9	39.11	0.523	0.062	0.455	0.17	0.02	0.8	1.567	0.1253	0.048	0.028			266	
	1.6	91	8	57.9	39.11	0.548	0.274	0.461	0.17	0.02		1.378	0.0396	0.045	0.027	0.017		292	
	1.7	75.2	6	58.01	38.6	0.562	0.0877	0.452	0.19	0.026	0.6	1.477	0.044	0.042	0.027	0.008		291	
	1.8	56.2	5	57.96	38.3	0.53	0.26	0.504	0.19	0.02	0.3	1.463	0.1126	0.048	0.027	0.011		303	
	1.9	38.9	3.21	58.32	38.08	0.57	0.272	0.488	0.19	0.03		1.558	0.0439	0.06	0.029	0.019		327	
	2.0	26.9	2.22	58.2	38.16	0.548	0.528	0.475	0.18	0.03		1.541	0.0525	0.03	0.028	0.008		292	
	2.1	16.7	1.38	58.51	37.27	0.56	0.565	0.477	0.2			1.59	0.092	0.045	0.027	0.009		307	
	2.2	9.1	0.75	58.74	37.55	0.62	0.514	0.543	0.17	0.03	0.5	1.739	0.0845	0.05	0.028	0.011		301	
	2.5NM	18.2	2	56.71	35.76	0.77	1.293	1.18	0.18			1.63	0.265	0.11	0.028	0.014		387	
Calculated		1210.8	100	57.0	42.7	0.62	0.11	0.58	0.16	0.02	0.28	1.51	0.09	0.06	0.03	0.01	0	227	0

Ilmenite in THM		#NAME?															
	split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2	0.0%																
IP1	0.0%																
IP3/4	100.0%	57.49	40.70	0.55	0.142	0.51	0.17	0.02	0.28	1.50	0.08	0.05	0.03	0.01	0	257	0

IP4 - (February) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			
	0.5	4.6	0.38	52.76	43.86	0.7	0.232	0.557	0.13		0.3	1.167	0.1557	0.06	0.03	0.022		193	#REF!
	0.6	6	0.50	53.65	43.75	0.541	0.125	0.403	0.13			1.227	0.0668	0.04	0.029	0.019		212	#REF!
	0.7	14.3	1.18	54.05	42.82	0.53	0.008	0.393	0.6		0.6	1.274	0.0504	0.05	0.031			210	#REF!
	0.8	18.1	1.50	54.4	42.81	0.47	0.088	0.347	0.14		0.4	1.223	0.469	0.04	0.03			210	#REF!
	0.9	35.9	2.97	55.46	41.96	0.51	0.106	0.396	0.13			1.349	0.0306	0.03	0.032			210	#REF!
	1.0	56.2	4.65	56.54	40.86	0.51	0.012	0.395	0.16			1.406	0.0339	0.03	0.029			244	#REF!
	1.1	61.9	5.12	56.79	39.96	0.53	0.057	0.402	0.15	0.02	0.5	1.429	0.0322	0.06	0.027			245	#REF!
	1.2	73.8	6.11	56.76	40.55	0.48	0.158	0.339	0.17			1.383	0.0462	0.04	0.031	0.019		209	#REF!
	1.3	95.6	7.91	56.98	39.5	0.48	0.232	0.351	0.17		0.8	1.284	0.0374	0.06	0.029	0.015		217	#REF!
	1.4	124.6	10.31	57.38	39.11	0.51		0.383	0.16	0.02	0.7	1.575	0.0299	0.04	0.027			249	#REF!
	1.5	122.8	10.16	57.91	39.2	0.48	0.246	0.401	0.16			1.398	0.0763	0.05	0.029	0.034		230	#REF!
	1.6	133.3	11.03	58.23	38.93	0.49	0.296	0.356	0.19			1.367	0.0307	0.07	0.028			237	#REF!
	1.7	115.1	9.52	57.97	38.4	0.49	0.395	0.36	0.18		0.7	1.414	0.0326	0.03	0.03	0.019		266	#REF!
	1.8	102.2	8.46	58	38.43	0.52	0.163	0.401	0.16		0.9	1.501	0.0278	0.03	0.027			242	#REF!
	1.9	79.4	6.57	58.01	38.22	1.629	0.371	0.421	0.18		0.5	1.629	0.0327	0.04	0.028			240	#REF!
	2.0	60.5	5.01	58.49	37.57	0.58	0.69	0.431	0.18		0.4	1.441	0.0466	0.05	0.029	0.025		254	#REF!
	2.1	38.3	3.17	58.32	37.35	0.61	0.713	0.497	0.17		0.6	1.455	0.143	0.08	0.029			262	#REF!
	2.2	23	1.90	58.69	37.35	0.61	0.713	0.497	0.17		0.6	1.455	0.143	0.08	0.029			262	#REF!
	2.5NM	43	3.56	57.72	30.67	0.91	1.005	5.17	0.21	0.27		1.116	2.692	0.12	0.028			860	#REF!
Calculated		1208.6	100	55.8	41.2	0.53	0.13	0.41	0.20	0.00	0.30	1.34	0.10	0.04	0.03	0.01	0	224	

Ilmenite in THM		#NAME?																
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]
IP2	0.0%																	
IP1	0.0%																	
IP3/4	100.0%	57.46	39.22	0.59	0.251	0.39	0.17	0.00	0.42	1.43	0.05	0.05	0.03	0.01	0	239	#REF!	

				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]
IP4 Aux - (January) LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)																
	0.5	0.7	0	51.8	37.5	1.52	0.42	1.67			6	1.12	0.05	0.2					
	0.6	1.6	0	56.91	40.46	0.46	0.088	0.326	0.13			1.317	0.184	0.04	0.033	0.024		190	
	0.7	4.9	0	57.24	40.14	0.44	0.297	0.308	0.14			1.313	0.047	3	0.031			256	
	0.8	8.1	1	57.24	40.14	0.44	0.297	0.308	0.14			1.313	0.047	3	0.031			256	
	0.9	17.4	1	57.07	39.91	0.45	0.14	0.351	0.16			1.323	0.0362	0.03	0.032			245	
	1.0	28.4	2	57.41	39.91	0.5	0.091	0.327	0.13			1.511	0.0265	0.02	0.033	0.022		251	
	1.1	46.5	4	57.2	39.07	0.44	0.376	0.325	0.15		0.8	1.453	0.039	0.04	0.032	0.018		248	
	1.2	53.5	4	57.32	39.41	0.43	0.236	0.35	0.15		0.6	1.325	0.0664	0.03	0.031	0.024		220	
	1.3	87.6	7	57.41	38.72	0.43	0.152	0.318	0.16		1.3	1.428	0.0304	0.04	0.031			251	
	1.4	113.8	9	58.06	38.68	0.45	0.205	0.316	0.14		0.6	1.344	0.1087	0.04	0.029			223	
	1.5	138	12	58.18	39.06	0.45	0.215	0.44	0.18			1.331	0.0419	0.03	0.032	0.017		279	
	1.6	166.1	14	57.77	38.76	0.5	0.303	0.454	0.15			1.502	0.0359	0.03	0.031			265	
	1.7	136.7	11	58.23	38.12	0.49	0.336	0.462	0.14		0.6	1.47	0.0324	0.04	0.029	0.014		263	
	1.8	117.5	10	58.36	38	0.46	0.302	0.454	0.16		0.7	1.421	0.044	0.04	0.03	0.021		272	
	1.9	95.3	7.95	58.48	38.21	0.49	0.527	0.486	0.17			1.456	0.0613	0.04	0.03	0.019		275	
	2.0	73.3	6.12	58.4	37.98	0.54	0.861	0.523	0.15			1.413	0.039	0.03	0.029			370	
2.1	46.2	3.85	58.27	37.45	0.5	0.68	0.459	0.16		0.8	1.563	0.0443		0.03			273		
2.2	28.4	2.37	57.4	37.04	0.55	1.337	0.513	0.19		1.3	1.47	0.0945	0.07	0.029	0.021		309		
2.5NM	34.6	3	56.61	36.66	0.82	2.128	1.18	0.14		0.5	1.432	0.264	0.16	0.032			630		
Calculated	1198.6	100	57.1	39.4	0.52	0.24	0.42	0.14	0.00	0.64	1.36	0.06	0.65	0.03	0.01	0	231		

IP4 Aux - (February) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	2.2	0	52.58	44.19	0.53	0.414	0.521	0.15				1.347	0.167	0.06	0.027			220
	0.6	3.7	0	54.68	42.03	0.52	0.086	0.4	0.14	0.04	0.5		1.341	0.0609	0.05	0.026	0.016		230
	0.7	5.8	0	55.21	42.1	0.5	0.053	0.445	0.14	0.03			1.383	0.0686	0.02	0.027			240
	0.8	14.6	1	55.51	41.29	0.47	0.155	0.469	0.17		0.5		1.292	0.0639	0.04	0.029			223
	0.9	22.7	2	55.74	41.42	0.5	0.089	0.437	0.16	0.02			1.469	0.0557	0.04	0.027	0.014		242
	1.0	32.8	3	56.49	40.83	0.46	0.099	0.421	0.14	0.02			1.367	0.038	0.05	0.028	0.016		275
	1.1	49.7	4	56.53	40.55	0.48	0.116	0.431	0.17				1.473	0.137	0.04	0.03	0.018		230
	1.2	77.4	6	57.08	40.11	0.51	0.061	0.469	0.16				1.452	0.053	0.05	0.03			260
	1.3	96.5	8	56.95	40.22	0.49	0.203	0.457	0.17				1.363	0.0404	0.05	0.031			246
	1.4	118.3	10	56.86	38.79	0.48	0.457	0.396	0.14	0.02	1.4		1.314	0.0549	0.04	0.029			243
	1.5	149.9	12	56.84	39.03	0.48	0.34	0.433	0.15	0.02	1.1		1.506	0.0313	0.06	0.027			254
	1.6	140.3	12	57.16	39.26	0.51	0.341	0.493	0.19	0.03	0.4		1.514	0.03	0.04	0.027			258
	1.7	129.1	11	57.43	38.86	0.5	0.206	0.455	0.16	0.02	0.7		1.52	0.0287	0.03	0.027			273
	1.8	113.9	9	57.7	38.61	0.54	0.179	0.524	0.17		0.5		1.676	0.0405	0.04	0.028			272
	1.9	96.2	7.90	57.96	38.68	0.53	0.685	0.45	0.21	0.04			1.328	0.0391	0.03	0.029			272
	2.0	64.2	5.27	57.96	38.32	0.51	0.787	0.488	0.18	0.01			1.607	0.0373	0.05	0.028			266
	2.1	41.1	3.38	58.49	38.04	0.55	0.654	0.495	0.17	0.02			1.427	0.0385	0.04	0.028	0.026		307
	2.2	25.7	2.11	57.85	38.51	0.62	0.484	0.59	0.19	0.03			1.594	0.0307	0.03	0.026	0.019		296
	2.5NM	33.5	3	57.64	36.54	0.78	1.173	1.42	0.19	0.05			1.498	0.515	0.11	0.027			462
Calculated		1217.6	100	56.0	40.9	0.49	0.18	0.45	0.16	0.01	0.26	1.40	0.07	0.04	0.03	0.01	0	245	0

Ilmenite in THM				#NAME?															
split %				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2	0.0%																		
IP1	0.0%																		
IP3/4	100.0%	57.21	39.18	0.51	0.356	0.49	0.17	0.02	0.45	1.47	0.06	0.04	0.03	0.00	0	266	0		

Tabelas com os dados para as amostras do WNMR

WNMR - (January) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	1.4	1	52.4	48.73	0.88	0.161	0.79	0.18	0.03	0.3		0.056	0.02	0.024		202	108	
	0.6	2.1	1	53.29	47.65	0.82	0.205	0.74	0.19	0.04	0.2		0.236	0.08	0.024	0.026	189	113	
	0.7	3.3	1	55.18	48.01	0.75	0.169	0.72	0.15	0.03			0.101	0.06	0.025	0.022	198	112	
	0.8	5.4	2	55.36	47.53	0.82	0.163	0.78	0.16	0.03	0.2		0.175	0.07	0.025		178	102	
	0.9	8.6	3	55.59	47.81	0.8	0.157	0.71	0.15	0.04	0.1		0.046	0.05	0.027	0.024	178	113	
	1.0	8.7	3	56.71	48	0.82	0.155	0.8	0.19	0.03	0.2		0.049	0.03	0.026	0.024	162	110	
	1.1	12	4	57.01	47.03	0.75	0.162	0.71	0.14	0.03	0.2		0.052	0.04	0.03		166	111	
	1.2	17.1	6	56.53	47.06	0.74	0.16	0.67	0.16		0.2		0.166	0.04	0.026	0.027	166	95	
	1.3	17.4	6	57.41	46.66	0.74	0.186	0.75	0.14	0.02	0.4		0.051	0.04	0.029		187	109	
	1.4	18.2	7	57.81	45.98	0.47	0.186	0.504	0.19		0.3		0.062	0.05	0.032	0.03	210	118	
	1.5	23.3	8	58.38	45.55	0.46	0.215	0.408	0.16	0.03			0.051	0.03	0.028	0.028	224	115	
	1.6	25.7	9	58.54	44.33	0.48	0.206	0.424	0.13		0.3		0.069	0.02	0.034	0.03	242	113	
	1.7	19.7	7	58.23	44.18	0.35	0.372	0.266	0.28	0.03	0.3		0.104	0.02	0.02		410	171	
	1.8	21.8	8	58.34	41.9	0.33	0.41	0.249	0.28	0.02	0.4		0.068	0.03	0.027	0.019	300	174	
	1.9	18	6.47	58.24	41.21	0.33	0.561	0.245	0.29	0.03	0.3		0.071	0.05	0.031	0.018	550	209	
	2.0	15.8	5.68	57.52	40.35	0.33	0.903	0.295	0.34	0.03	0.3		0.137	0.06	0.031	0.018	600	292	
	2.1	13.1	4.71	57.67	39.94	0.35	0.907	0.251	0.32	0.05	0.4		0.134	0.05	0.03		570	280	
	2.2	9.7	3.49	58.43	39.32	0.35	1.534	0.268	0.31	0.03	0.2		0.19	0.04	0.035		780	512	
	2.5NM	37	13	52.37	25.52	0.32	2.01	2.25	0.28	0.18	0.5		12.54	0.33	0.078		1140	4030	
Calculated		278.3	100	56.1	47.0	0.72	0.20	0.68	0.17	0.03	0.20	0.00	0.14	0.05	0.03	0.02	202	127	0

Ilmenite in THM				#NAME?															
split %				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2	0.0%																		
IP1	0.0%																		
IP3/4	100.0%	57.62	44.34	0.51	0.389	0.46	0.21	0.02	0.26	0.00	0.09	0.04	0.03	0.02	322	166	0		

WNMR - (February) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	0	0	46.17	37.5	1.52	0.42	1.67				6	1.12	0.05	0.2				
	0.6	0.5	0	51.46	40.46	0.46	0.088	0.326	0.13				1.317	0.184	0.04	0.033	0.024		190
	0.7	1.5	0	54.54	40.14	0.44	0.297	0.308	0.14				1.313	0.047	3	0.031			256
	0.8	2.1	1	55.74	40.14	0.44	0.297	0.308	0.14				1.313	0.047	3	0.031			256
	0.9	4.6	1	56.71	39.91	0.45	0.14	0.351	0.16				1.323	0.0362	0.03	0.032			245
	1.0	6.9	2	57.93	39.91	0.5	0.091	0.327	0.13				1.511	0.0265	0.02	0.033	0.022		251
	1.1	12.7	3	58.73	39.07	0.44	0.376	0.325	0.15		0.8	1.453	0.039	0.04	0.032	0.018			248
	1.2	16.3	4	58.44	39.41	0.43	0.236	0.35	0.15		0.6	1.325	0.0664	0.03	0.031	0.024			220
	1.3	22.6	6	58.8	38.72	0.43	0.152	0.318	0.16		1.3	1.428	0.0304	0.04	0.031				251
	1.4	28.9	8	59.09	38.68	0.45	0.205	0.316	0.14		0.6	1.344	0.1087	0.04	0.029				223
	1.5	31.9	8	58.46	39.06	0.45	0.215	0.44	0.18			1.331	0.0419	0.03	0.032	0.017			279
	1.6	34.3	9	59.24	38.76	0.5	0.303	0.454	0.15			1.502	0.0359	0.03	0.031				265
	1.7	35.3	9	59.37	38.12	0.49	0.336	0.462	0.14		0.6	1.47	0.0324	0.04	0.029	0.014			263
	1.8	34.2	9	59.4	38	0.46	0.302	0.454	0.16		0.7	1.421	0.044	0.04	0.03	0.021			272
	1.9	28.1	7.39	58.53	38.21	0.49	0.527	0.486	0.17			1.456	0.0613	0.04	0.03	0.019			275
	2.0	25.2	6.63	59.65	37.98	0.54	0.861	0.523	0.15			1.413	0.039	0.03	0.029				370

Tabelas com os dados para as amostras do DMR

DMR - (January) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	16	1	53.64	48.73	0.88	0.161	0.79	0.18	0.03	0.3		0.056	0.02	0.024		202	108	
	0.6	23.2	2	54.15	47.65	0.82	0.205	0.74	0.19	0.04	0.2		0.236	0.08	0.024	0.026	189	113	
	0.7	42.2	3	54.03	48.01	0.75	0.169	0.72	0.15	0.03			0.101	0.06	0.025	0.022	198	112	
	0.8	55.8	5	55	47.53	0.82	0.163	0.78	0.16	0.03	0.2		0.175	0.07	0.025		178	102	
	0.9	74	6	55.56	47.81	0.8	0.157	0.71	0.15	0.04	0.1		0.046	0.05	0.027	0.024	178	113	
	1.0	96.8	8	55.39	48	0.82	0.155	0.8	0.19	0.03	0.2		0.049	0.03	0.026	0.024	162	110	
	1.1	98.3	8	56.42	47.03	0.75	0.162	0.71	0.14	0.03	0.2		0.052	0.04	0.03		166	111	
	1.2	121.7	10	56.83	47.06	0.74	0.16	0.67	0.16		0.2		0.166	0.04	0.026	0.027	166	95	
	1.3	106.6	9	56.78	46.66	0.74	0.186	0.75	0.14	0.02	0.4		0.051	0.04	0.029		187	109	
	1.4	127.2	10	56.44	45.98	0.47	0.186	0.504	0.19		0.3		0.062	0.05	0.032	0.03	210	118	
	1.5	107	9	56.72	45.55	0.46	0.215	0.408	0.16	0.03			0.051	0.03	0.028	0.028	224	115	
	1.6	95.5	8	57.22	44.33	0.48	0.206	0.424	0.13		0.3		0.069	0.02	0.034	0.03	242	113	
	1.7	69.7	6	57.73	42.16	0.45	0.01	0.453	0.15	0.02	0.3		0.052	0.02	0.028		275	121	
	1.8	53.9	4	57.74	44.19	0.44	0.019	0.408	0.16		0.2		0.063	0.03	0.033		230	111	
	1.9	44.4	3.62	57.54	39.99	0.48	0.324	0.404	0.17		0.4		0.162	0.05	0.035		390	166	
	2.0	29.1	2.37	57.94	39.46	0.47	0.387	0.413	0.19			1.623	0.101	0.08	0.035		440	223	
	2.1	19.9	1.62	58.17	38.72	0.5	0.928	0.459	0.19			1.677	0.125	0.1	0.039	0.033	490	272	
	2.2	14.1	1.15	57.34	37.81	0.51	1.854	0.461	0.15		0.3	1.42	0.184		0.041		680	575	
	2.5NM	30.9	3	62.69	19.53	0.66	1.07	10.11	0.09			0.59	17.13	1.09	0.109		970	4610	
Calculated	1226.3	100		55.7	46.9	0.73	0.18	0.72	0.16	0.02	0.19	0.02	0.15	0.05	0.03	0.02	195	126	0

Ilmenite in THM		#NAME?																
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2	0.0%																	
IP1	0.0%																	
IP3/4	100.0%	56.47	45.65	0.63	0.204	0.60	0.16	0.02	0.21	0.08	0.08	0.04	0.03	0.02	223	124	0	

DMR - (February) GMT IRM	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	4.4	0	53.19	48.73	0.88	0.161	0.79	0.18	0.03	0.3		0.056	0.02	0.024		202	108	
	0.6	8.7	1	52.73	47.65	0.82	0.205	0.74	0.19	0.04	0.2		0.236	0.08	0.024	0.026	189	113	
	0.7	17.6	1	54.26	48.01	0.75	0.169	0.72	0.15	0.03			0.101	0.06	0.025	0.022	198	112	
	0.8	23.3	2	54.81	47.53	0.82	0.163	0.78	0.16	0.03	0.2		0.175	0.07	0.025		178	102	
	0.9	42	3	54.7	47.81	0.8	0.157	0.71	0.15	0.04	0.1		0.046	0.05	0.027	0.024	178	113	
	1.0	64.5	5	55.37	48	0.82	0.155	0.8	0.19	0.03	0.2		0.049	0.03	0.026	0.024	162	110	
	1.1	76.8	6	56.16	47.03	0.75	0.162	0.71	0.14	0.03	0.2		0.052	0.04	0.03		166	111	
	1.2	97.1	8	56.58	47.06	0.74	0.16	0.67	0.16		0.2		0.166	0.04	0.026	0.027	166	95	
	1.3	109.8	9	56.43	46.66	0.74	0.186	0.75	0.14	0.02	0.4		0.051	0.04	0.029		187	109	
	1.4	127.3	10	56.46	45.98	0.47	0.186	0.504	0.19		0.3		0.062	0.05	0.032	0.03	210	118	
	1.5	136.7	11	57.18	45.55	0.46	0.215	0.408	0.16	0.03			0.051	0.03	0.028	0.028	224	115	
	1.6	124.1	10	57.23	44.33	0.48	0.206	0.424	0.13		0.3		0.069	0.02	0.034	0.03	242	113	
	1.7	117.8	9	57.57	42.16	0.45	0.01	0.453	0.15	0.02	0.3		0.052	0.02	0.028		275	121	
	1.8	90.5	7	57.67	44.19	0.44	0.019	0.408	0.16		0.2		0.063	0.03	0.033		230	111	
	1.9	67.00	5.35	57.77	39.99	0.48	0.324	0.404	0.17		0.4		0.162	0.05	0.035		390	166	
	2.0	45.9	3.66	57.83	39.46	0.47	0.387	0.413	0.19			1.623	0.101	0.08	0.035		440	223	
	2.1	31.6	2.52	58.14	38.72	0.5	0.928	0.459	0.19			1.677	0.125	0.1	0.039	0.033	490	272	
	2.2	28.5	2.28	58.19	37.81	0.51	1.854	0.461	0.15		0.3	1.42	0.184		0.041		680	575	
	2.5NM	38.8	3	60.49	19.53	0.66	1.07	10.11	0.09			0.59	17.13	1.09	0.109		970	4610	
Calculated	1252.4	100		55.4	46.9	0.73	0.18	0.72	0.16	0.02	0.19	0.02	0.15	0.05	0.03	0.02	195	126	0

Ilmenite in THM		#NAME?															
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2	0.0%																
IP1	0.0%																
IP3/4	100.0%	56.79	44.77	0.58	0.229	0.54	0.16	0.01	0.22	0.14	0.08	0.04	0.03	0.01	247	134	0

Tabelas com os dados para as amostras do WHIMS Non-Mag

WHIMS NMag - (January) LAB IRMS				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
	Amps (A)	Mass	Yield (%)	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	4.1	0	46.57	47.84	1.24	0.528	1.03	0.16	0	0.3	1.99	0.0832	0.15	0.024	0.006			380
	0.6	5.4	0	48.72	45.73	1.26	0.072	1.31	0.13			2.41	0.1349	0.18	0.025	0.011			234
	0.7	6.3	1	51.34	45.79	0.53	0.025	0.54	0.15	0.01	0.2	1.189	0.086	0.04	0.026	0.011			0.0206
	0.8	9.8	1	52.9	43.9	0.504	0.065	0.457	0.15	0.013	0.4	1.341	0.17	0.045	0.026	0.018			205
	0.9	19	2	53.75	43.3	0.521	0.04	0.48	0.16		0.3	1.299	0.114	0.04	0.027				214
	1.0	26.5	2	54.61	42.2	0.51	0.099	0.407	0.17	0.03	0.5	1.243	0.1447	0.06	0.026				220
	1.1	36.1	3	55.47	41.23	0.49	0.032	0.479	0.14	0.03	0.5	1.466	0.0332	0.04	0.026	0.016			250
	1.2	55.6	5	56	40.9	0.504	0.081	0.428	0.17	0.03	0.3	1.51	0.0284	0.03	0.026	0.006			253
	1.3	72.9	6	55.56	41.63	0.518	0.016	0.425	0.17	0.03		1.511	0.0367	0.036	0.026	0.02			262
	1.4	75.2	6	56.68	39.86	0.53	0.136	0.673	0.19	0.03		1.703	0.0793	0.045	0.025	0.009			270
	1.5	92.9	8	57.07	39.11	0.523	0.062	0.455	0.17	0.02	0.8	1.567	0.1253	0.048	0.028				266
	1.6	109.2	9	57.82	39.11	0.548	0.274	0.461	0.17	0.02		1.378	0.0396	0.045	0.027	0.017			292
	1.7	111	9	57.86	38.6	0.562	0.0877	0.452	0.19	0.026	0.6	1.477	0.044	0.042	0.027	0.008			291
	1.8	105.5	9	58.18	38.3	0.53	0.26	0.504	0.19	0.02	0.3	1.463	0.1126	0.048	0.027	0.011			303
	1.9	96	7.92	58.62	38.08	0.57	0.272	0.488	0.19	0.03		1.558	0.0439	0.06	0.029	0.019			327
	2.0	85.8	7.08	58.39	38.16	0.548	0.528	0.475	0.18	0.03		1.541	0.0525	0.03	0.028	0.008			292
	2.1	77.6	6.40	59.13	37.27	0.56	0.565	0.477	0.2			1.59	0.092	0.045	0.027	0.009			307
	2.2	71.3	5.88	58.19	37.55	0.62	0.514	0.543	0.17	0.03	0.5	1.739	0.0845	0.05	0.028	0.011			301
2.5NM	151.7	13	58.73	35.76	0.77	1.293	1.18	0.18			1.63	0.265	0.11	0.028	0.014			387	
Calculated	1211.9	100	53.8	42.7	0.62	0.11	0.58	0.16	0.02	0.28	1.51	0.09	0.06	0.03	0.01	0	227	0	

WHIMS NMag - (February) GMT IRI	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	0.9	0	56.9	39.5	0.578	0.544	0.509	0.16			0.2	1.272	0.2122	0.05	0.026	0.015		233
	0.6	1.7	1	57.6	38.89	0.572	0.168	0.54	0.2	0.03	0.4	1.291	0.1394	0.069	0.028	0.016			248
	0.7	2.3	1	57.71	38.58	0.57	0.124	0.557	0.19		0.5	1.42	0.2487	0.08	0.028	0.009			232
	0.8	5.3	2	57.29	39.33	0.549	0.436	0.5	0.19			1.256	0.298	0.084	0.027	0.013			228
	0.9	5.8	2	57.9	38.4	0.541	0.18	0.4459	0.18		0.8	1.374	0.106	0.063	0.027				235
	1.0	7.9	2	58.62	38.12	0.517	0.376	0.447	0.18	0.02		1.43	0.1537	0.071	0.029	0.016			226
	1.1	12.6	4	59.29	37.25	0.546	0.254	0.475	0.19		0.2	1.52	0.1731	0.059	0.026	0.017			245
	1.2	15.5	5	58.8	37.91	0.527	0.38	0.439	0.18	0.02		1.575	0.05	0.049	0.028	0.17			255
	1.3	16.3	5	58.77	37.44	0.572	0.467	0.542	0.2		0.3	1.555	0.0443	0.056	0.029				274
	1.4	19.9	6	58.86	38.79	0.48	0.457	0.396	0.14	0.02	1.4	1.314	0.0549	0.04	0.029				243
	1.5	28.4	8	59.44	39.03	0.48	0.34	0.433	0.15	0.02	1.1	1.506	0.0313	0.06	0.027				254
	1.6	30.5	9	59.65	39.26	0.51	0.341	0.493	0.19	0.03	0.4	1.514	0.03	0.04	0.027				258
	1.7	30.8	9	60.05	38.86	0.5	0.206	0.455	0.16	0.02	0.7	1.52	0.0287	0.03	0.027				273
	1.8	31.1	9	59.5	38.61	0.54	0.179	0.524	0.17		0.5	1.676	0.0405	0.04	0.028				272
	1.9	31.2	9.18	59.8	38.68	0.53	0.685	0.45	0.21	0.04		1.328	0.0391	0.03	0.029				272
	2.0	24.7	7.27	59.71	38.32	0.51	0.787	0.488	0.18	0.01		1.607	0.0373	0.05	0.028				266
	2.1	19.5	5.74	60.21	38.04	0.55	0.654	0.495	0.17	0.02		1.427	0.0385	0.04	0.028	0.026			307
	2.2	16.2	4.77	61.02	38.51	0.62	0.484	0.59	0.19	0.03		1.594	0.0307	0.03	0.026	0.019			296
	2.5NM	39.2	12	63.99	36.54	0.78	1.173	1.42	0.19	0.05		1.498	0.515	0.11	0.027				462
Calculated		339.8	100	58.4	38.5	0.54	0.33	0.49	0.18	0.01	0.39	1.42	0.14	0.06	0.03	0.02	0	244	0

Ilmenite in THM		#NAME?																
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
IP2	0.0%																	
IP1	0.0%																	
IP3/4	100.0%	60.01	38.31	0.56	0.508	0.59	0.18	0.02	0.36	1.50	0.11	0.05	0.03	0.01	0	288	0	

Tabelas com os dados para as amostras do Baghouse

Bag House (A)- LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
	0.5	5.3	0	41.12	49.46	0.58	0.217	0.322	0.27	0.03	1.8		0.102	0.05	0.027	0.02	159	139	
	0.6	8.5	1	49	50.62	0.52	0.138	0.314	0.27	0.03			0.092	0.06	0.028	0.025	155	144	
	0.7	16.3	1	51.89	50.66	0.5	0.175	0.317	0.25	0.04			0.087	0.06	0.029	0.017	158	144	
	0.8	25.9	2	52.77	51.01	0.54	0.141	0.301	0.24	0.03			0.067	0.03	0.027	0.025	152	133	
	0.9	37	3	53.31	49.48	0.5	0.164	0.311	0.23	0.03			0.23	0.06	0.029	0.023	182	119	
	1.0	40.2	3	52.92	48.56	0.51	0.151	0.317	0.25	0.03	0.9		0.073	0.06	0.027		184	135	
	1.1	73.7	6	54.47	47.75	0.55	0.151	0.312	0.27	0.02	0.8		0.067	0.05	0.027	0.019	171	133	
	1.2	79	7	54.77	47.16	0.55	0.184	0.33	0.24	0.02	0.8		0.343	0.06	0.029		209	125	
	1.3	96.6	8	55.12	47.21	0.51	0.238	0.278	0.28	0.01			0.232	0.07	0.03	0.017	218	136	
	1.4	113.2	9	55.94	46.81	0.54	0.244	0.306	0.25	0.03			0.07	0.07	0.028	0.025	207	131	
	1.5	110	9	56.47	45.89	0.53	0.233	0.3	0.26	0.02	0.7		0.155	0.05	0.031	0.024	230	151	
	1.6	114.9	9	57.4	44.96	0.32	0.242	0.187	0.28	0.02			0.077	0.03	0.032	0.025	285	170	
	1.7	98.7	8	57.78	43.08	0.33	0.482	0.195	0.28	0.03	0.4		0.231	0.04	0.032	0.02	313	159	
	1.8	87.2	7	57.5	42.61	0.32	0.331	0.186	0.29	0.02			0.098	0.03	0.031	0.021	300	187	
	1.9	71	5.86	58.09	41.86	0.32	0.402	0.182	0.32	0.02			0.128	0.04	0.031	0.02	393	193	
	2.0	61.5	5.08	58.37	41.03	0.32	0.7	0.198	0.3	0.02			0.162	0.05	0.031	0.017	455	254	
	2.1	44.5	3.68	58.29	40.28	0.32	0.728	0.195	0.29	0.02			0.114	0.05	0.035	0.021	500	305	
	2.2	31.3	2.59	58.55	49.42	0.35	1.682	0.21	0.33	0.05	0.3		0.174	0.06	0.033		533	281	
	2.5NM	96	8	66.05	28.47	0.33	1.7	1.227	0.3		0.4		10.39	0.22	0.059		810	254	
Calculated		1210.8	100	53.0	48.4	0.51	0.20	0.30	0.26	0.03	0.37	0.00	0.17	0.06	0.03	0.02	195	139	0

Ilmenite in THM		#NAME?																
		split %	TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]
IP2	2.5%	49.18	50.44	0.52	0.172	0.32	0.26	0.04	0.32	0.00	0.09	0.06	0.03	0.02	157.33	143	0	
IP1	0.0%																	
IP3/4	97.5%	57.14	44.01	0.43	0.459	0.33	0.28	0.02	0.27	0.00	0.98	0.06	0.03	0.02	321	174	0	

				TiO2	Fe2O3	Al2O3	Cr2O3	SiO2	V2O5	CaO	MgO	MnO	ZrO2	P2O5	CeO2	SnO2	PbO	Th	Th+U
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[ppm]	[ppm]	%
Bag House (B) - LAB IRMS	Amps (A)	Mass	Yield (%)																
	0.5	18.5	2	46.8	49.36	0.5	0.181	0.318	0.23		0.7		0.092	0.08	0.033	0.026	173	135	
	0.6	27.1	2	48.05	48.59	0.5	0.162	0.283	0.24		0.5		0.149	0.06	0.034	0.023	191	132	
	0.7	34.8	3	48.84	47.28	0.54	0.155	0.29	0.23		0.9		0.147	0.03	0.034	0.019	205	135	
	0.8	34	3	48.94	47.75	0.53	0.17	0.279	0.24	0.02	0.5		0.085	0.07	0.027	0.025	205	120	
	0.9	72.2	6	51.9	48.06	0.54	0.166	0.299	0.25	0.03			0.05	0.08	0.028	0.025	210	135	
	1.0	70.6	6	50.47	47.59	0.54	0.18	0.279	0.23	0.02			0.63	0.06	0.029	0.026	224	141	
	1.1	80.6	7	52.43	47.79	0.51	0.164	0.276	0.29	0.02			0.087	0.06	0.029	0.026	219	135	
	1.2	101.7	8	53.62	46.51	0.53	0.158	0.285	0.28	0.03	0.6		0.056	0.07	0.028	0.022	232	131	
	1.3	108.7	9	54.32	45.96	0.54	0.214	0.271	0.27	0.02	0.8		0.065	0.06	0.027		251	143	
	1.4	97.7	8	55.56	45.87	0.35	0.228	0.19	0.27	0.02			0.066	0.03	0.029	0.021	302	147	
	1.5	111.1	9	56.71	45.18	0.33	0.226	0.182	0.29	0.02			0.097	0.05	0.028	0.01	327	158	
	1.6	90.6	8	56.9	44.81	0.32	0.291	0.171	0.3	0.03			0.066	0.04	0.032	0.017	363	149	
	1.7	86.6	7	57.78	43.55	0.31	0.31	0.175	0.26	0.02			0.077	0.05	0.032		381	181	
	1.8	73.1	6	57.92	42.58	0.33	0.356	0.169	0.3	0.03			0.068	0.03	0.031		432	181	
	1.9	51.8	4.31	58.43	41.33	0.34	0.674	0.178	0.28	0.04			0.118	0.04	0.032	0.01	454	181	
2.0	40.9	3.40	58.65	41.19	0.33	0.874	0.186	0.3	0.02			0.081	0.02	0.032	0.013	522	228		
2.1	28.8	2.40	58.85	40.55	0.35	1.064	0.194	0.29	0.04			0.303	0.04	0.034	0.016	552	224		
2.2	19.2	1.60	59.45	39.14	0.35	1.075	0.209	0.3		0.6		0.311	0.05	0.036	0.027	671	429		
2.5NM	54.3	5	60.91	18.31	0.31	1.4	2.71	0.2		0.7		23.69	0.31	0.085	0.04	1005	5850		
Calculated		1202.3	100	51.8	47.0	0.49	0.20	0.27	0.26	0.02	0.34	0.00	0.22	0.06	0.03	0.02	242	158	0

Anexos

Susceptibilidade magnética e propriedades electrostáticas (AUSIMM The Minerals Institute, 2012)

Mineral	Magnetic susceptibility (Dimensionless SI units $\times 10^{-6}$)	Field strength (Gauss, G)	Electrostatic response –
Arsenopyrite	3000	–	Conductor
Biotites	1500 - 2900	10 000 - 18 000	Non-conductor
Cassiterite	1100	–	Conductor
Celestite	-16 - 18	–	Non-conductor
Chalcopyrite	23 - 400	–	Conductor
Chromite	3000 - 120 000	10 000 - 16 000	Conductor
Fayalite	5500	11 000 - 15 000	–
Franklinite	450 000	3000 - 5000	Conductor
Galena	-33	–	Conductor
Garnets	2700	12 000 - 19 000	Non-conductor
Goethite	1100 - 12 000	15 000 - 18 000	Non-conductor
Halite	-10 - 16	–	Non-conductor
Hematite	500 - 40 000	13 000 - 18 000	Conductor
Illite clay	410	–	–
Ilmenite	2200 - 3 800 000	8000 - 16 000	Conductor
Iron	3 900 000	–	Conductor
Jacobsite	25 000	–	–
Lepidocrocite	1700 - 2900	–	–
Limonite	2800 - 3100	16 000 - 20 000	Non-conductor
Maghemite	2 000 000 - 2 500 000	3000 - 5000	–
Magnetite	1 000 000 - 5 700 000	1000	Conductor
Montmorillonite clay	330 - 350	–	–
Olivines	1600	11 000 - 15 000	Non-conductor
Pyrite	35 - 5000	–	Conductor
Pyrrhotite Fe_7S_8	3 200 000	1000 - 4000	Conductor
Pyrrhotite Fe_9S_{10}	170 000	1000 - 4000	Conductor
Pyrrhotite $\text{Fe}_{10}\text{S}_{11}$	1700	–	Conductor
Pyrrhotite Fe_8S_{12}	1200	–	Conductor
Pyrrhotites $\text{Fe}_{(3-x)}\text{S}$	460 - 1 400 000	–	Conductor
Quartz	-13 - 17	–	Non-conductor
Serpentine	3 - 75 000	4000 - 18 000	Non-conductor
Siderite	1300 - 11 000	10 000 - 18 000	Non-conductor
Sphalerite	-31 - 750	–	Conductor
Titanomaghemite	2 800 000	–	–
Titanomagnetite	130 000 - 620 000	1000 - 3000	Conductor
Troilite	610 - 1700	–	–
Ulvospinel	4800	–	–