

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

FLAVIA DE LIMA FERNANDES

**Avaliação de método alternativo de estimativa da heterogeneidade intrínseca
de minérios**

São Paulo

2022

FLAVIA DE LIMA FERNANDES

**Avaliação de método alternativo de estimativa da heterogeneidade intrínseca
de minérios**

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Mineral

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Carolina
Chierigati

São Paulo
2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de agosto de 2022.

Assinatura do autor: Flávia de Lima Fernandes

Assinatura do orientador: Ana Chicuzati

Catálogo-na-publicação

Fernandes, Flavia de Lima

Avaliação de método alternativo de estimativa da heterogeneidade intrínseca de minérios / F. L. Fernandes -- versão corr. -- São Paulo, 2022.
151 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.AMOSTRAGEM DE MINERAIS 2.HETEROGENEIDADE (TESTES)
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

À minha família.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Chierigati, por todo o suporte durante os cursos de graduação e de mestrado e, mais do que isso, por ter se tornado alguém por quem tenho sentimento de grande estima, respeito e amizade.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Universidade de São Paulo, por todos os ensinamentos acadêmicos e pelo compartilhamento de sua vasta experiência, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Arthur Pinto Chaves, pela generosidade em compartilhar seu conhecimento teórico e prático ao longo das disciplinas de mestrado.

A todos os membros da banca examinadora, pelas valiosas contribuições no processo de revisão do conteúdo deste trabalho.

Às empresas de mineração, pelo fornecimento dos minérios utilizados, bem como pelo constante suporte e pela provisão dos dados, fatores essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido ao longo do programa de mestrado.

À minha mãe, Angela, cujo suporte foi fundamental durante a minha vida.

Ao meu amor, Bernardo, por me apoiar em todas as minhas escolhas e por ser um parceiro incondicional.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

Simone de Beauvoir

RESUMO

A amostragem é uma técnica amplamente utilizada na indústria mineral para estimar as características de um determinado lote de material particulado. A técnica de amostragem deve gerar amostras com características suficientemente próximas às do lote, isto é, devem ser representativas. Para assegurar a representatividade no processo de amostragem de um minério, determinar a massa mínima da amostra e otimizar protocolos de amostragem, é preciso conhecer os erros envolvidos na amostragem de cada tipo de minério. O Erro Fundamental de Amostragem (*Fundamental Sampling Error*, ou FSE) é gerado sempre que uma amostra é retirada de um lote de material particulado heterogêneo e é causado por uma característica intrínseca de todo depósito mineral: a heterogeneidade constitucional do minério. Métodos práticos foram desenvolvidos para calibrar as constantes de amostragem K e α da Fórmula de Gy, a qual permite o cálculo da massa mínima representativa de amostras, a estimativa do Erro Fundamental de Amostragem e a otimização de protocolos de amostragem. Este estudo tem como objetivo propor um método alternativo para estimar as constantes K e α , a partir de uma simplificação do método denominado *Segregation Free Analysis* (MINNITT *et al.*, 2011). Neste trabalho, o método simplificado foi realizado para dez tipos de minério, pertencentes a nove minas brasileiras: quatro tipos de minério de ouro, dois tipos de minério de ferro, minério polimetálico de cobre, chumbo e zinco, minério de cobre, minério de nióbio e bauxita. A avaliação do método proposto foi fundamentada na comparação entre os resultados obtidos pelo método simplificado e aqueles obtidos pelo teste de heterogeneidade padrão, desenvolvido originalmente por Pierre Gy e Francis Pitard (PITARD, 1993; 2019).

Palavras-chave: Amostragem. Heterogeneidade. Teste de heterogeneidade. *Segregation Free Analysis*.

ABSTRACT

Sampling is a technique widely used in the mining industry to estimate the characteristics of a given lot of particulate material. The sampling technique must generate samples with characteristics sufficiently close to the lot, that is, they must be representative. To ensure representativeness in the sampling process, to determine the minimum sample mass and to optimize sampling protocols, it is necessary to know the errors involved in sampling each type of ore. The Fundamental Sampling Error (FSE) is generated whenever a sample is taken from a lot of heterogeneous particulate material and is caused by an intrinsic characteristic of every mineral deposit: the constitutional heterogeneity of the ore. Practical methods have been developed to calibrate the sampling constants K and α of the Gy's formula, which allow the calculation of the minimum representative sample mass, the estimation of the Fundamental Sampling Error and the optimization of sampling protocols. This study aims to propose an alternative method to estimate the sampling constants K and α , based on a simplification of the Segregation Free Analysis method (MINNITT *et al.*, 2011). In this work, the simplified method was performed on ten ore types from nine Brazilian mines: four different gold ores, two different iron ores, polymetallic ore composed of copper, lead and zinc, copper ore, niobium ore and bauxite. The evaluation of the proposed method was based on the comparison between the results obtained by the simplified method and those obtained by the standard heterogeneity test developed by Pierre Gy and Pitard (PITARD, 1993; 2019).

Keywords: Sampling. Heterogeneity. Heterogeneity test. Segregation Free Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1: Diferença gráfica entre acurácia e precisão | 24 |
| Figura 2: Erro de delimitação do incremento IDE em um fluxo de material..... | 38 |
| Figura 3: Componentes do erro global de estimativa (OEE) | 39 |
| Figura 4: Divisor Jones para a divisão binária de amostras | 44 |
| Figura 5: Divisão binária aplicada a cada fração granulométrica | 45 |
| Figura 6: Foco na melhoria contínua dos processos..... | 46 |
| Figura 7: Técnica <i>chevron</i> de construção de pilhas alongadas..... | 49 |
| Figura 8: Divisor Jones..... | 50 |
| Figura 9: Uso correto e incorreto do divisor Jones | 51 |
| Figura 10: Exemplos de divisores rotativos de polpa | 52 |
| Figura 11: Exemplos de divisores rotativos de sólidos..... | 52 |
| Figura 12: Método de fracionamento por pá para N igual a 5 | 53 |
| Figura 13: Fração fina disposta sobre mesa com quadriculado 10 x 10 cm..... | 57 |
| Figura 14: Fração intermediária disposta sobre mesa com quadriculado 10 x 10 cm | 58 |
| Figura 15: Fração grossa disposta sobre mesa com quadriculado 20 x 20 cm..... | 59 |
| Figura 16: Detalhe fração grossa disposta sobre mesa com quadriculado 20 x 20 cm | 59 |
| Figura 17: Fração extra grossa disposta sobre mesa com quadriculado 30 x 30 cm | 60 |
| Figura 18: Detalhe fração extra grossa disposta sobre mesa quadriculado 30 x 30cm | 60 |
| Figura 19: Número de partículas relaciona-se à massa mínima para análise química | 61 |
| Figura 20: Esquema simplificado do teste de heterogeneidade..... | 62 |
| Figura 21: Divisor Jones usado na divisão do material particulado | 63 |
| Figura 22: Fração fina - primeira divisão binária | 65 |
| Figura 23: Fração fina - segunda divisão binária..... | 66 |
| Figura 24: Fração fina - terceira divisão binária | 66 |
| Figura 25: Fração intermediária - primeira divisão binária | 67 |
| Figura 26: Fração intermediária - segunda divisão binária..... | 67 |
| Figura 27: Fração intermediária - terceira divisão binária | 68 |

| | |
|--|----|
| Figura 28: Divisor Jones usado na divisão binária – fração grossa..... | 69 |
| Figura 29: Fração grossa - primeira divisão binária | 69 |
| Figura 30: Fração grossa - segunda divisão binária..... | 70 |
| Figura 31: Fração grossa - terceira divisão binária | 70 |
| Figura 32: Fração extra grossa – construção de pilha alongada para a divisão do material | 71 |
| Figura 33: Amostragem incremental x amostragem por divisão..... | 72 |
| Figura 34: Divisão da pilha alongada para a obtenção das 32 subamostras | 73 |
| Figura 35: Protocolo de amostragem padrão para os minérios de ouro..... | 76 |
| Figura 36: Protocolo de amostragem padrão para os demais minérios | 77 |
| Figura 37: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%) | 78 |
| Figura 38: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO ₂ (%) | 78 |
| Figura 39: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%) | 80 |
| Figura 40: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO ₂ (%) | 80 |
| Figura 41: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – SiO ₂ (%) | 82 |
| Figura 42: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Fe ₂ O ₃ (%)..... | 82 |
| Figura 43: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Al ₂ O ₃ (%)..... | 83 |
| Figura 44: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%) . | 84 |
| Figura 45: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%) . | 85 |
| Figura 46: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%) . | 85 |
| Figura 47: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%) | 87 |
| Figura 48: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb ₂ O ₅ (%) | 88 |
| Figura 49: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t) | 89 |
| Figura 50: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t) | 90 |
| Figura 51: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t) | 91 |
| Figura 52: TH - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t) | 92 |
| Figura 53: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%)..... | 93 |
| Figura 54: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO ₂ (%)..... | 93 |
| Figura 55: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%)..... | 95 |
| Figura 56: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO ₂ (%)..... | 95 |
| Figura 57: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – SiO ₂ (%) | 97 |
| Figura 58: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Fe ₂ O ₃ (%) | 97 |
| Figura 59: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Al ₂ O ₃ (%) | 98 |

| | |
|--|-----|
| Figura 60: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%) | 99 |
| Figura 61: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%) | 100 |
| Figura 62: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%) | 100 |
| Figura 63: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%) | 102 |
| Figura 64: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb ₂ O ₅ (%) | 103 |
| Figura 65: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t) | 104 |
| Figura 66: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t) | 105 |
| Figura 67: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t).... | 106 |
| Figura 68: SSFA - IHL vs. diâmetro nominal – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t).... | 107 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Frações de diâmetro nominal d_N para o teste da árvore | 43 |
| Tabela 2: Frações para o método <i>Segregation Free Analysis</i> (SFA) | 44 |
| Tabela 3: Exemplo de protocolo de amostragem e cálculo do desvio padrão do FSE | 46 |
| Tabela 4: Diretrizes de máxima variância e máximo desvio padrão relativo do FSE para as etapas de exploração, controle de teor e amostragem ambiental | 48 |
| Tabela 5: Tipos de minério das 9 minas brasileiras estudadas no presente trabalho | 54 |
| Tabela 6: Frações de peneiramento para o teste de heterogeneidade | 55 |
| Tabela 7: Número fragmentos por amostra e número total de amostras | 62 |
| Tabela 8: Frações de peneiramento para o SSFA | 64 |
| Tabela 9: Massas médias e número de subamostras de cada fração granulométrica | 74 |
| Tabela 10: Elementos, metais e minerais analisados para validação do método | 75 |
| Tabela 11: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%) | 79 |
| Tabela 12: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO ₂ (%)..... | 79 |
| Tabela 13: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%) | 81 |
| Tabela 14: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO ₂ (%) | 81 |
| Tabela 15: TH - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – SiO ₂ (%) | 83 |
| Tabela 16: TH - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Fe ₂ O ₃ (%)..... | 83 |
| Tabela 17: TH - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Al ₂ O ₃ (%)..... | 84 |
| Tabela 18: TH - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%) | 86 |
| Tabela 19: TH - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%) | 86 |
| Tabela 20: TH - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%) | 86 |
| Tabela 21: TH - Protocolo de amostragem – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%) ... | 87 |
| Tabela 22: TH - Protocolo de amostragem – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb ₂ O ₅ (%) | 88 |
| Tabela 23: TH - Protocolo de amostragem – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 24: TH - Protocolo de amostragem – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)..... | 90 |
| Tabela 25: TH - Protocolo de amostragem – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t) | 91 |
| Tabela 26: TH - Protocolo de amostragem – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t) | 92 |
| Tabela 27: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%) | 94 |
| Tabela 28: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO ₂ (%)..... | 94 |
| Tabela 29: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%) | 96 |
| Tabela 30: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO ₂ (%)..... | 96 |
| Tabela 31: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – SiO ₂ (%)..... | 98 |
| Tabela 32: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Fe ₂ O ₃ (%) | 98 |
| Tabela 33: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Al ₂ O ₃ (%) | 99 |
| Tabela 34: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%) | 101 |
| Tabela 35: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%) | 101 |
| Tabela 36: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%) | 101 |
| Tabela 37: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%) | 102 |
| Tabela 38: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb ₂ O ₅ (%)..... | 103 |
| Tabela 39: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t) | 104 |
| Tabela 40: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t) | 105 |
| Tabela 41: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t). | 106 |
| Tabela 42: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t). | 107 |
| Tabela 43: Comparação dos valores da constante K | 108 |
| Tabela 44: Comparação dos valores da constante α | 109 |
| Tabela 45: Comparação dos valores do desvio total relativo s_{FSE} | 110 |

LISTA DE SIGLAS

- TOS** do inglês, *Theory of Sampling* (Teoria da Amostragem)
- HT** do inglês, *Heterogeneity Test* (Teste de Heterogeneidade)
- QAQC** do inglês *Quality Assurance and Quality Control* (Garantia e Controle de Qualidade)

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--------------|--|
| d_{95} | Diâmetro da abertura de uma malha de peneira na qual passam, em massa, 95% do material |
| SE | Erro de amostragem (do inglês, <i>Sampling Error</i> ou <i>Selection Error</i>) |
| m_{se} | Média do erro de amostragem |
| s_{SE}^2 | Variância do erro de amostragem |
| r_{SE}^2 | Representatividade de um processo de amostragem |
| $r_{SE_0}^2$ | Valor padrão de representatividade aceitável |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 19 |
| 2 | OBJETIVOS | 21 |
| 3 | REVISÃO DA LITERATURA | 22 |
| 3.1 | CONCEITOS DE ESTATÍSTICA | 22 |
| 3.1.1 | Estatística descritiva e estatística indutiva | 22 |
| 3.1.2 | Erros aleatórios e erros sistemáticos | 23 |
| 3.1.3 | Conceito de precisão | 23 |
| 3.1.4 | Conceito de acurácia | 23 |
| 3.1.5 | Representatividade | 24 |
| 3.2 | TEORIA DE AMOSTRAGEM | 24 |
| 3.2.1 | Heterogeneidade | 25 |
| 3.2.1.1 | Heterogeneidade de constituição (CH_L)..... | 25 |
| 3.2.1.2 | Heterogeneidade de distribuição (DH_L) | 27 |
| 3.2.2 | Erros de amostragem | 27 |
| 3.2.2.1 | Fator constante de heterogeneidade constitucional (IH_L) .. | 27 |
| 3.2.2.2 | Erro fundamental de amostragem (FSE) | 35 |
| 3.2.2.3 | Erro de segregação e agrupamento (GSE) | 35 |
| 3.2.2.4 | Erro de flutuação de heterogeneidade (HFE) | 36 |
| 3.2.2.5 | Erro de ponderação do incremento (IWE) e erro de flutuação da qualidade (QFE)..... | 36 |
| 3.2.2.6 | Erro de materialização do incremento (IME)..... | 37 |
| 3.2.2.7 | Erro total de amostragem (TSE) | 38 |
| 3.2.2.8 | Erro analítico (AE) e erro global de estimativa (OEE)..... | 38 |
| 3.2.3 | Estratégias para a minimização dos erros de amostragem | 39 |
| 3.2.4 | Métodos experimentais para estimativa da variância do FSE 40 | |
| 3.2.4.1 | Teste de Heterogeneidade (TH) | 40 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.2.4.2 | Teste da árvore (<i>Sampling Tree Experiment</i> STE ou <i>Duplicate Sampling Analysis</i> DSA) | 42 |
| 3.2.4.3 | <i>Segregation Free Analysis</i> (SFA) | 43 |
| 3.3 | AMOSTRAGEM NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO..... | 45 |
| 3.3.1 | Protocolos de Amostragem | 46 |
| 3.3.2 | Otimização de protocolos de amostragem | 47 |
| 3.3.2.1 | Diretrizes recomendadas por Pitard para o processo de amostragem..... | 48 |
| 3.3.3 | Técnicas de redução de amostras..... | 49 |
| 3.3.3.1 | Pilha alongada..... | 49 |
| 3.3.3.2 | Divisor Jones | 50 |
| 3.3.3.3 | Divisor rotativo, setorial ou de polpa | 51 |
| 3.3.3.4 | Método de fracionamento por pá | 53 |
| 4 | METODOLOGIA..... | 54 |
| 4.1 | TESTE DE HETEROGENEIDADE (TH)..... | 55 |
| 4.1.1 | Teste de heterogeneidade: Itabirito 1 | 56 |
| 4.1.1.1 | Fração fina: -4,75+3,35 mm..... | 57 |
| 4.1.1.2 | Fração intermediária: -6,35+4,75 cm | 58 |
| 4.1.1.3 | Fração grossa: -12,7+6,35 cm | 58 |
| 4.1.1.4 | Fração extra grossa: -25,4+12,7 cm | 60 |
| 4.1.1.5 | Amostras geradas no Teste de Heterogeneidade | 61 |
| 4.2 | <i>SIMPLIFIED SEGREGATION FREE ANALYSIS</i> (SSFA)..... | 63 |
| 4.2.1 | SSFA: Itabirito 1 | 65 |
| 4.2.1.1 | Fração fina: -4,75+3,35 mm..... | 65 |
| 4.2.1.2 | Fração intermediária: -6,35+4,75 cm | 67 |
| 4.2.1.3 | Fração grossa: -12,7+6,35 cm | 68 |
| 4.2.1.4 | Fração extra grossa: -25,4+12,7 cm | 71 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | RESULTADOS | 75 |
| 5.1 | RESULTADOS DO TESTE DE HETEROGENEIDADE (TH) | 77 |
| 5.1.1 | Mina 1 - Itabirito 1 | 78 |
| 5.1.2 | Mina 1 - Itabirito 2..... | 80 |
| 5.1.3 | Mina 2 - Bauxita | 82 |
| 5.1.4 | Mina 3 - Minério Polimetálico | 84 |
| 5.1.5 | Mina 4 – Minério de Cobre | 87 |
| 5.1.6 | Mina 5 – Minério de Nióbio | 88 |
| 5.1.7 | Mina 6 – Ouro baixo teor | 89 |
| 5.1.8 | Mina 7 - Ouro baixo teor | 90 |
| 5.1.9 | Mina 8 - Ouro alto teor | 91 |
| 5.1.10 | Mina 9 – Ouro alto teor | 92 |
| 5.2 | RESULTADOS DO MÉTODO SIMPLIFICADO <i>SIMPLIFIED</i> <i>SEGREGATION FREE ANALYSIS</i> (SSFA) | 93 |
| 5.2.1 | Mina 1 - Itabirito 1 | 93 |
| 5.2.2 | Mina 1 - Itabirito 2..... | 95 |
| 5.2.3 | Mina 2 – Bauxita | 97 |
| 5.2.4 | Mina 3 – Minério Polimetálico | 99 |
| 5.2.5 | Mina 4 – Minério de Cobre | 102 |
| 5.2.6 | Mina 5 – Minério de Nióbio | 103 |
| 5.2.7 | Mina 6 – Ouro baixo teor | 104 |
| 5.2.8 | Mina 7 – Ouro baixo teor | 105 |
| 5.2.9 | Mina 8 – Ouro alto teor | 106 |
| 5.2.10 | Mina 9 - Ouro alto teor | 107 |
| 5.3 | COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS..... | 108 |
| 6 | DISCUSSÃO | 111 |
| 7 | CONCLUSÕES | 114 |

| | |
|---|------------|
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 116 |
| APÊNDICE A – DADOS EXPERIMENTAIS: TH | 119 |
| APÊNDICE B – DADOS EXPERIMENTAIS: SSFA | 135 |

1 INTRODUÇÃO

A amostragem é uma técnica utilizada para estimar as características de uma determinada população ou universo com base na retirada de amostras ou partes desse universo. Em empreendimentos mineiros, a amostragem deve ser aplicada em todas as suas fases: desde a Pesquisa Mineral para a estimativa de recursos minerais, na operação de lavra para o controle de teores até o beneficiamento de minérios no controle de processos e reconciliação. Além disso, um programa de garantia e controle de qualidade (*Quality Assurance-Quality Control*, ou QA-QC) adequado deve ser baseado nos princípios da Teoria da Amostragem de Pierre Gy (*Theory of Sampling*, ou TOS) e nas ferramentas da Geoestatística, e não, como é usual, apenas na Estatística clássica (BORTOLETO, 2019). Embora a importância da aplicação de técnicas corretas de amostragem seja conhecida, algumas mineradoras ainda sofrem impactos econômicos devido à inobservância das melhores práticas de amostragem¹.

Uma técnica correta de amostragem não introduz erros significativos nas amostras, as quais devem manter as características do lote populacional ou universo amostral em um nível aceitável e, como resultado, podem ser consideradas representativas. Diferenças entre as características da amostra e do lote são causadas pela heterogeneidade intrínseca existente em qualquer tipo de minério ou material natural. Visando assegurar a representatividade no processo de amostragem, a heterogeneidade intrínseca do minério deve ser estimada, a partir da qual é possível calcular massas mínimas de amostras representativas do lote. Visto que a estimativa direta da heterogeneidade intrínseca do lote (IHL), baseada na aplicação de fatores, pode ser difícil e não acurada, especialmente nos casos de jazidas muito heterogêneas e com teores muito baixos, alguns autores desenvolveram métodos práticos, chamados de “testes de heterogeneidade”, para se estimar o IHL indiretamente, de modo que as constantes K e α da conhecida Fórmula de Gy (GY, 1967) pudessem ser calibradas.

¹ A título de exemplo do custo de erros de amostragem em vendas de minério, durante o curso do contrato entre uma mina de estanho sul-americana e uma indústria de fundição europeia, uma amostragem manual extremamente enviesada custou à mineradora um total de U\$S 7 milhões ao longo de três anos (GY, 1998).

No entanto, a dificuldade de se executarem os métodos práticos propostos pode ser um entrave para determinar, de modo apropriado, a massa mínima representativa de amostras minerais. Nos últimos anos, foram criadas algumas simplificações do teste de heterogeneidade originalmente desenvolvido por Pierre Gy para a calibração das constantes K e α , entretanto, muito poucos estudos de avaliação e/ou validação dos métodos foram realizados no período.

O presente trabalho propõe um método alternativo de estimativa das constantes K e α da fórmula de Gy, baseado na simplificação de um método prático denominado “*Segregation Free Analysis*” e apresentado por Minnitt *et al.* (2011). A avaliação do método simplificado foi feita por meio de sua aplicação a dez tipos de minério, pertencentes a nove minas brasileiras, quais sejam: quatro tipos de minério de ouro, dois tipos de minério de ferro, minério polimetálico de cobre, chumbo e zinco, minério de cobre, minério de nióbio e bauxita. Os resultados obtidos pelo método simplificado são comparados com os resultados obtidos pelo teste de heterogeneidade original de Pierre Gy (PITARD, 1993; 2019) para cada tipo de minério.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é propor e avaliar um método alternativo de estimativa das constantes de amostragem K e α , a partir da simplificação de um método consagrado na indústria mineral, denominado *Segregation Free Analysis* e desenvolvido por Minnitt *et al.* (2011). O objetivo secundário é comparar o método de seleção de partículas individuais com o método de divisão de amostras para o cálculo das constantes de amostragem K e α .

A avaliação do método simplificado foi feita por meio de sua aplicação a 16 elementos químicos ou minerais, provenientes de dez tipos de minério, pertencentes a nove diferentes minas brasileiras.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CONCEITOS DE ESTATÍSTICA

Via de regra, a Ciência é apoiada na observação e tem como principal objetivo a inferência, podendo esta ser dedutiva, quando um argumento vai das premissas às conclusões, ou indutiva, quando se vai do caso específico para o geral. A Inferência Estatística é um tópico da metodologia da Ciência que se baseia na coleta, redução, análise e modelagem de dados. A partir deste processo, pode-se chegar a uma inferência para uma população da qual os dados (ou a amostra) foram retirados. A modelagem dos dados permite, portanto, fazer previsões, o que é muito importante para o apoio na tomada de decisões (MORETTIN; BUSSAB, 2017).

3.1.1 Estatística descritiva e estatística indutiva

A Ciência Estatística pode ser dividida em dois segmentos, a estatística descritiva e a estatística indutiva. A estatística descritiva objetiva a organização e descrição dos dados obtidos experimentalmente – essa descrição pode ser feita por meio de técnicas de descrição gráfica, como diagrama de barras e histogramas. Por sua vez, a estatística indutiva se preocupa com a análise e a interpretação dos dados descritos (COSTA NETO, 2002).

A estatística indutiva é orientada no sentido de tirar conclusões sobre as populações² partindo-se dos resultados observados em amostras³ extraídas dessas populações. No processo indutivo, a partir do conhecimento de uma parte, obtêm-se conclusões sobre o todo. Consequentemente, surgem erros no processo de indução que devem ser conhecidos.

² Em sentido amplo, a população ou universo – também chamada lote –, é um conjunto de elementos que possui pelo menos uma característica em comum (COSTA NETO, 2002).

³ As observações podem ser limitadas a uma parcela da população, a amostra, já que na maior parte das vezes não é possível ou conveniente o levantamento de dados de toda a população (COSTA NETO, 2002).

3.1.2 Erros aleatórios e erros sistemáticos

Os erros de amostragem são variáveis que possuem duas componentes: o componente aleatório, caracterizado somente pela variância, e o componente não aleatório, caracterizado somente pela média. Por conveniência ou extrapolação, é comum dizer que erros aleatórios têm média nula e variância diferente de zero e erros sistemáticos têm variância nula e média diferente de zero. A variância e a média são conceitos complementares, mesmo com propriedades bastante diferentes (PITARD, 1993; 2019).

Os erros de amostragem são também variáveis independentes entre si e, portanto, são cumulativos (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

3.1.3 Conceito de precisão

Segundo Chierigati e Pitard (2012), a precisão se refere à medida de variabilidade dos valores das amostras em torno de sua média, ou seja, à dispersão dos valores das amostras. A precisão é expressa como a variância do erro de amostragem s_{SE}^2 (SE, *Selection Error*, erro de seleção da amostra ou, simplesmente, erro de amostragem).

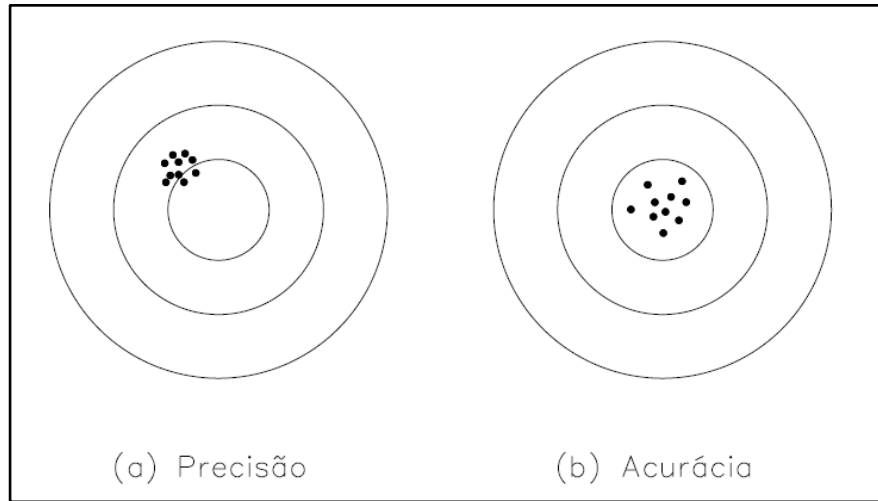
3.1.4 Conceito de acurácia

O termo acurácia se refere ao grau de proximidade de uma estimativa com o valor real do lote. Assim sendo, quando a média do erro de amostragem m_{se} se aproxima de zero, podemos dizer que o processo de amostragem é acurado.

Em relação à Amostragem, o seu viés é definido como a média do erro de amostragem, m_{SE} , e uma amostra é considerada acurada quando o valor absoluto do viés é menor que um certo padrão de acurácia, m_{SE_0} , o qual é considerado aceitável para um determinado objetivo (CHIEREGATI; PITARD, 2018).

A Figura 1 ilustra a diferença entre precisão e acurácia.

Figura 1: Diferença gráfica entre acurácia e precisão



Fonte: Chierigati e Pitard (2018).

3.1.5 Representatividade

De acordo com Pitard (1993), define-se o grau de representatividade r_{SE}^2 como a soma da média do erro de amostragem m_{SE} elevada ao quadrado com a variância do erro s_{SE}^2 , conforme a equação abaixo.

$$r_{SE}^2 = m_{SE}^2 + s_{SE}^2 \quad (3.1)$$

Um processo de amostragem pode ser considerado representativo quando o termo r_{SE}^2 é menor que um valor padrão de representatividade aceitável, $r_{SE_0}^2$, conforme equação a seguir.

$$r_{SE}^2 = m_{SE}^2 + s_{SE}^2 \leq r_{SE_0}^2 \quad (3.2)$$

Onde m_{SE}^2 é a média do erro de amostragem ao quadrado e s_{SE}^2 é a variância do erro de amostragem.

3.2 TEORIA DE AMOSTRAGEM

De acordo com Pitard (2019), a Teoria da Amostragem de Pierre Gy, conhecida como TOS (*Theory of Sampling*), é, por definição, uma ferramenta preventiva para encontrar maneiras de minimizar os efeitos negativos da heterogeneidade existentes nos compostos criticamente importantes em uma indústria. A TOS pode ser aplicada nos

mais diversos setores e processos industriais, como no desenvolvimento da exploração mineral, controle de teor mineral, controle de processos, balanço metalúrgico, monitoramento ambiental, avaliações de segurança alimentar, indústria farmacêutica, entre muitos outros domínios.

A amostragem é definida como uma sequência de operações, nas quais são retirados incrementos de um lote que se deseja amostrar, de modo que esta amostra seja representativa da população da qual foi extraída. O principal objetivo da amostragem é reduzir a massa do lote até a massa adequada a determinado propósito, sem alterar as demais características de interesse (teor, densidade, distribuição granulométrica, umidade, etc.) (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

De acordo com Chierigati e Pitard (2018), a Teoria da Amostragem de Pierre Gy é considerada a única teoria de amostragem geral, completa e compreensível.

3.2.1 Heterogeneidade

Homogeneidade é um conceito teórico e intangível, já que as partículas possuem diferenças em suas características e não são perfeitamente iguais em condições práticas. A homogeneidade pode ser entendida como a condição limite de heterogeneidade nula. Consequentemente, na prática e de maneira geral, existem somente populações que apresentam heterogeneidade (PITARD, 2019).

Para que se possa medir a heterogeneidade de um lote, é necessário diferenciar a heterogeneidade de constituição da heterogeneidade de distribuição (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

3.2.1.1 Heterogeneidade de constituição (CH_L)

Define-se heterogeneidade de constituição (CH_L) como o tipo de heterogeneidade que resulta das propriedades fundamentais dos fragmentos de um lote – como teor, forma, tamanho, mineralogia, etc. – quando observados um a um. Por definição, o valor zero de heterogeneidade de constituição seria um lote constituído por fragmentos idênticos em forma, tamanho, densidade, entre outras características. Assim, em certo grau de cominuição, a heterogeneidade de constituição relativa aos fragmentos de um lote é

uma propriedade intrínseca do lote e não varia, a não ser que seja realizada uma nova etapa de cominuição. Além disso, segundo Chierigati e Pitard (2012, p. 325), “misturas ou homogeneizações não têm influência na heterogeneidade de constituição”.

A heterogeneidade h_i de um fragmento de teor a_i em um lote L pode ser definida conforme a Equação (3.3).

$$h_i = \frac{(a_i - a_L)}{a_L} \cdot \frac{M_i}{\bar{M}_i} = N_F \cdot \frac{(a_i - a_L)}{a_L} \cdot \frac{M_i}{M_L} \quad (3.3)$$

Onde a_L é o teor do lote, M_i é a massa do fragmento i , N_F é o número de fragmentos do lote, e M_L é a massa do lote.

Sendo a variância das heterogeneidades contidas nos fragmentos de um lote $s^2(h_i)$, a heterogeneidade de constituição (CH_L) de um lote L é definida como a variância relativa e adimensional das heterogeneidades h_i contidas nos N_F fragmentos F_i pelos quais o lote L é constituído, conforme a Equação (3.4).

$$CH_L = s^2(h_i) = \frac{1}{N_F} \cdot \sum_i h_i^2 = N_F \cdot \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2}{a_L^2} \cdot \frac{M_i^2}{M_L^2} \quad (3.4)$$

Uma amostra S selecionada de um lote L é afetada especificamente por um erro relacionado à heterogeneidade de constituição do lote e tal erro é denominado “erro fundamental de amostragem” (*Fundamental Sampling Error, FSE*).

Em termos práticos, é impossível calcular o número de fragmentos N_F que compõem o lote L , visto que N_F é sempre um número muito grande em se tratando de materiais particulados. Assim sendo, é necessário suprimir a necessidade de calcular N_F para obter a heterogeneidade do lote.

Essa eliminação do número de fragmentos N_F da Equação (3.4) pode ser feita pela multiplicação do termo CH_L por M_L/N_F (essa razão é exatamente a massa média \bar{M}_i de um fragmento). Por fim, define-se a Heterogeneidade Intrínseca do Lote IH_L pela seguinte relação:

$$IH_L = \frac{CH_L M_L}{N_F} = CH_L \bar{M}_i = \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2}{a_L^2} \cdot \frac{M_i^2}{M_L} \quad (3.5)$$

3.2.1.2 Heterogeneidade de distribuição (DH_L)

A heterogeneidade de distribuição (DH_L) ocorre quando os fragmentos não são observados um a um individualmente, mas como grupos de fragmentos vizinhos. Conceitualmente, o lote terá uma distribuição homogênea quando todos os grupos apresentarem a mesma composição média e, caso contrário, a distribuição será heterogênea. A heterogeneidade de distribuição varia com três fatores:

- i. heterogeneidade de constituição,
- ii. distribuição espacial das partículas, e
- iii. forma do lote, sendo que a forma do lote é fortemente determinada pelas forças gravitacionais. A força gravitacional introduz uma grande anisotropia na heterogeneidade de distribuição de um lote (PITARD, 1993; 2019).

Quando uma amostra é retirada de um lote, ocorre um erro especificamente relacionado com a heterogeneidade de distribuição, o erro de segregação e agrupamento (GSE) (CHIEREGATI; PITARD, 2018).

3.2.2 Erros de amostragem

A homogeneidade é um conceito relativo e inatingível e, portanto, a heterogeneidade pode ser vista como única fonte de todos os erros de amostragem. Os erros de amostragem sempre ocorrerão, já que, na prática, a heterogeneidade é uma condição inerente a qualquer que seja o universo de partículas ou elementos observado. As partículas apresentam variações em suas características como diferentes tamanhos, cores, composições, formatos, densidade, porosidades, e muitas outras.

3.2.2.1 Fator constante de heterogeneidade constitucional (IH_L)

O erro fundamental de amostragem é o erro que nunca vale zero, mesmo em condições ideais de amostragem. Ainda que a amostragem de uma massa M_S a partir

de um lote de material particulado de massa M_L seja executada em condições probabilísticas, ou seja, a seleção dos fragmentos amostrados seja feita em condição de estrita aleatoriedade, o erro FSE será gerado no processo de amostragem. O FSE é, portanto, o menor erro existente em qualquer prática de amostragem. Essencialmente, o FSE depende da massa amostrada, do diâmetro das partículas e do material amostrado, além de ser resultante da heterogeneidade de constituição CH_L do material (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

Conforme foi visto no item 3.2.1.1, o cálculo da heterogeneidade constitucional CH_L (Equação (3.4)) envolve um expressivo número de fragmentos N_F . Essa dificuldade pode ser superada fazendo-se o cálculo do fator constante de heterogeneidade constitucional IH_L , ao custo de uma aproximação (PITARD, 2019).

A aproximação usada é baseada no fato de que frequentemente há uma forte correlação entre o conteúdo crítico de um fragmento e a sua densidade, enquanto a correlação entre o conteúdo crítico de um fragmento e seu tamanho geralmente não é tão relevante. Em outras palavras, se investigarmos o tamanho e a densidade de uma fração $L_{\alpha\beta}$ de um lote L , cada fragmento de $L_{\alpha\beta}$ é representado pelo fragmento médio $F_{\alpha\beta}$ caracterizado por: (i) seu volume v_α , conforme Equação (3.6), (ii) sua densidade ρ_β , (iii) sua massa $M_{F_{\alpha\beta}}$, conforme Equação (3.7), e (iv) seu teor $a_{\alpha\beta}$.

$$v_\alpha = f_\alpha \cdot d_\alpha^3 \quad (3.6)$$

Onde f_α é o fator forma, visto que as partículas não são necessariamente cúbicas.

$$M_{F_{\alpha\beta}} = v_\alpha \cdot \rho_\beta = f_\alpha \cdot d_\alpha^3 \cdot \rho_\beta \quad (3.7)$$

Como uma boa aproximação, pode-se escrever:

$$\sum_i (a_i - a_L)^2 \cdot M_i^2 = \sum_\alpha \sum_\beta N_{\alpha\beta} \cdot (a_{\alpha\beta} - a_L)^2 \cdot M_{F_{\alpha\beta}}^2 \quad (3.8)$$

E, como a massa do fragmento médio $M_{F_{\alpha\beta}}$ é justamente a relação:

$$M_{F_{\alpha\beta}} = \frac{M_{L_{\alpha\beta}}}{N_{\alpha\beta}} \quad (3.9)$$

Tem-se que:

$$\sum_i (a_i - a_L)^2 \cdot M_i^2 = \sum_\alpha \sum_\beta (a_{\alpha\beta} - a_L)^2 \cdot M_{F_{\alpha\beta}} \cdot M_{L_{\alpha\beta}} \quad (3.10)$$

Substituindo a Equação (3.7) na Equação (3.10):

$$\sum_i (a_i - a_L)^2 \cdot M_i^2 = \sum_\alpha v_\alpha \sum_\beta \rho_\beta (a_{\alpha\beta} - a_L)^2 \cdot M_{L_{\alpha\beta}} \quad (3.11)$$

Dependendo do caso, podem ser usadas as Equações (3.8), (3.10) ou (3.11) para calcular o fator constante de heterogeneidade constitucional IH_L :

$$IH_L = \sum_\alpha v_\alpha \sum_\beta \rho_\beta \frac{(a_{\alpha\beta} - a_L)^2}{a_L^2} \cdot \frac{M_{L_{\alpha\beta}}}{M_L} \quad (3.12)$$

Esta é uma fórmula de referência válida, visto que é completa e relativamente simples.

Segundo Pitard (2019), na prática, devido à segregação por tamanho, a variabilidade do volume é muito mais importante do que a variabilidade da densidade dos fragmentos, o que sugere uma simplificação ao considerar somente as frações mais grossas. Além disso, sendo v_α proporcional à terceira potência do diâmetro médio d_α dos fragmentos de uma fração, é natural que as frações mais grossas tenham maior influência no valor do IH_L , sendo assim:

$$(IH_L)_\alpha = \frac{v_\alpha}{a_L^2 M_L} \sum_\beta \rho_\beta (a_{\alpha\beta} - a_L)^2 \cdot M_{L_{\alpha\beta}} \quad (3.13)$$

$$IH_L \approx (IH_L)_{\alpha_{MAX}} = \frac{v_{\alpha_{MAX}}}{a_L^2 M_L} \sum_\beta \rho_\beta (a_{\alpha_{MAX}\beta} - a_L)^2 \cdot M_{L_{\alpha_{MAX}\beta}} \quad (3.14)$$

Contudo, é uma prática mais adequada e mais segura considerar várias das frações mais grossas consecutivas, respectivamente, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k, \dots, \alpha_n$, sendo a fração mais fina α_n . Assim sendo, deve-se ter:

$$d_{\alpha_1} > d_{\alpha_2} > \dots > d_{\alpha_k} \quad (3.15)$$

Então, calcula-se $(IH_L)_{\alpha 1}$, $(IH_L)_{\alpha 2}$, e assim sucessivamente. Como uma excelente aproximação pode-se escrever:

$$IH_L = (IH_L)_{\alpha 1} + (IH_L)_{\alpha 2} + \dots + (IH_L)_{\alpha k} \quad (3.16)$$

Em muitos casos práticos, observa-se que $(IH_L)_{\alpha 1}$ é uma estimativa razoável de IH_L . Não devemos confundir as respectivas contribuições de $(IH_L)_{\alpha 1}$, $(IH_L)_{\alpha 2}$, ..., $(IH_L)_{\alpha k}$ para o IH_L com o fator constante de heterogeneidade constitucional $IH_{L\alpha}$ de uma dada fração α , o qual é calculado pela Equação (3.17), como segue:

$$IH_{L\alpha} = \frac{v_\alpha}{a_\alpha M_\alpha} \sum_{\beta} \rho_\beta (a_{\alpha\beta} - a_\alpha)^2 M_{L\alpha\beta} \quad (3.17)$$

E podem ser consideradas as duas hipóteses, conforme explicado a seguir.

Primeira hipótese: a experiência mostra que o conteúdo crítico $a_{\alpha\beta}$ normalmente varia muito mais em função da densidade de uma fração do que em função do tamanho dessa fração e, portanto, todos os valores $a_{\alpha\beta}$ podem ser substituídos pelo conteúdo crítico médio a_β da fração densidade L_β .

Segunda hipótese: o estudo de muitos casos reais mostra que as proporções $M_{L\alpha\beta}/M_{L\beta}$ normalmente variam pouco em função da densidade de uma fração e, portanto, podemos assumir que todos os valores $M_{L\alpha\beta}/M_{L\beta}$ podem ser substituídos pela sua média $M_{L\alpha}/M_L$. Assim, pode-se tomar como verdadeira a Equação (3.18).

$$M_{L\alpha\beta} \approx \frac{M_{L\beta} M_{L\alpha}}{M_L} \quad (3.18)$$

Portanto, pela transposição dessas hipóteses na Equação (3.12) e separando os termos em α daqueles em β , obtém-se o IH_L na Equação (3.19).

$$IH_L = \sum_{\alpha} \frac{v_\alpha M_{L\alpha}}{M_L} \left(\sum_{\beta} \rho_\beta \frac{(a_\beta - a_L)^2}{a_L^2} \cdot \frac{M_{L\beta}}{M_L} \right) \quad (3.19)$$

Por conveniência, podemos chamar o primeiro fator entre parênteses de X e o segundo fator de Y :

$$IH_L = X.Y \quad (3.20)$$

Desta forma, é possível estimar o fator X , relativo ao tamanho das partículas da fração, e o fator Y , relativo à densidade das partículas da fração.

O fator X é composto pelos fatores: fator forma (f), fator granulometria (g) e diâmetro máximo (d , definido pelo d_{95} da fração, que é a abertura da malha de peneiramento pela qual passam 95% em massa do material). Já o fator Y é composto pelo fator mineralogia (c) e pelo fator liberação (l) (PITARD, 2019).

Para calcular o fator X , considera-se conhecido o volume v_α do fragmento médio do lote L_α , sendo este volume igual ao produto $f_\alpha \cdot d_\alpha^3$. O fator forma f_α requer o conhecimento do diâmetro médio d da fração, que pode ser chamado de d_α e deve ser calculado pela Equação (3.21).

$$d_\alpha = \sqrt[3]{\frac{d_{\alpha 1}^3 + d_{\alpha 2}^3}{2}} \quad (3.21)$$

E, desta forma, o fator forma é calculado da seguinte maneira:

$$f_\alpha = \frac{M}{p d_\alpha^3 \rho} \quad (3.22)$$

Onde M e p são, respectivamente, a massa e o número de fragmentos selecionados e ρ a densidade média dos fragmentos.

O fator f é relativamente constante nas frações de diferentes tamanhos e o fator X pode ser escrito como:

$$X = f \sum_{\alpha} \frac{d_\alpha^3 M_{L\alpha}}{M_L} \quad (3.23)$$

Por conveniência, escreve-se o fator X como se segue:

$$X = f \sum_{\alpha} \frac{d_\alpha^3 M_{L\alpha}}{M_L} = f g d^3 \quad (3.24)$$

Onde g é o fator granulometria.

Na estimativa do fator Y , que é evidenciado na Equação (3.25), algumas considerações devem ser feitas.

$$Y = \sum_{\beta} \rho_{\beta} \frac{(a_{\beta} - a_L)^2}{a_L^2} \cdot \frac{M_{L\beta}}{M_L} \quad (3.25)$$

Para o cálculo do fator Y , considera-se que Y é mínimo quando o material é homogêneo, ou seja, em um caso limite, quando o material é perfeitamente homogêneo, a_{β} é igual a a_L , logo, Y é igual a zero. Por outro lado, quando o material for composto por partículas completamente liberadas, por definição $Y_{max} = c$, que é o fator mineralogia.

Portanto, Y assume algum valor dentro do intervalo:

$$0 \leq Y \leq c \quad (3.26)$$

O fator de liberação l é um adimensional, sendo $0 \leq l \leq 1$. Quando o material é perfeitamente homogêneo e não há liberação, $l = 0$ e, quando o material é completamente liberado, $l = 1$. Escreve-se, então:

$$Y = cl \quad (3.27)$$

A partir da substituição dos fatores X e Y , o fator IH_L pode ser escrito conforme a Equação (3.28).

$$IH_L = X.Y = fgcl d^3 \quad (3.28)$$

3.2.2.1.1 Fator forma (f)

O fator forma f é um fator de correção que leva em consideração o fato de que nem todas as partículas são cubos perfeitos.

Deste modo, se todos os fragmentos da fração são cubos perfeitos, por definição f é igual a 1. Por sua vez, se todos os fragmentos são esferas perfeitas de raio igual a 0,5 (ou seja, de diâmetro igual a 1), volume das esferas seria igual a $\frac{4}{3}\pi r^3 = 0,523$ e, portanto, o valor do fator forma seria 0,523. O fator f é um adimensional.

Conforme Gy⁴ (1967, apud CHIEREGATI; PITARD, 2012, p. 335), os fatores forma têm os seguintes valores de acordo com a característica dos minerais:

- i. $f = 0,1$ para minerais laminares (mica, biotita, sheelita, entre outros);
- ii. $f = 0,2$ para materiais moles e submetidos a tensões mecânicas, como o caso das pepitas de ouro liberadas;
- iii. $f \approx 0,5$ para a maioria dos minerais: $f(\text{carvão}) = 0,446$; $f(\text{minério de ferro}) = 0,495$ a $0,514$; $f(\text{pirita}) = 0,470$ e $f(\text{cassiterita}) = 0,530$;
- iv. $f = 0,523$ para fragmentos esféricos;
- v. $1 < f < 10$ para minerais aciculares (turmalina, asbesto, serpentina).

3.2.2.1.2 Fator granulometria (g)

O fator granulometria g é um fator de correção que leva em consideração o fato de que as partículas de uma fração não têm o mesmo tamanho d . O fator g será igual a 1 quando o material for perfeitamente calibrado, mas, na prática, são encontrados os seguintes valores de g :

- i. $g = 0,25$ para materiais não calibrados (produto de uma etapa de britagem);
- ii. $g = 0,55$ para materiais calibrados (resultado de peneiramento entre duas malhas);
- iii. $g = 0,75$ para materiais naturalmente calibrados (por exemplo, grãos de cereais).

3.2.2.1.3 Fator mineralogia (c)

O fator mineralogia c pode ser calculado de acordo com a seguinte equação:

$$c = \rho_M \frac{(1 - a_L)^2}{a_L} + \rho_g (1 - a_L) \quad (3.29)$$

⁴ GY, P. **L'échantillonnage des minerais en vrac: Théorie générale. T. 1.** Société de l'industrie minière, 1967.

Onde a_L é o teor do lote, ρ_M é a densidade do minério de interesse e ρ_g é a densidade média do(s) mineral(is) de ganga.

O cálculo do fator mineralogia c pode ser simplificado para a maioria dos casos práticos:

$$c = \frac{\rho_M}{a_L} \quad \text{se } a_L < 10\% \quad (3.30)$$

$$c = \rho_g(1 - a_L) \quad \text{se } a_L > 90\% \quad (3.31)$$

3.2.2.1.4 Fator liberação (l)

O fator liberação l varia de zero, para materiais em que não ocorre liberação do mineral de interesse, a 1, quando o mineral de interesse está totalmente liberado. O fator liberação pode ser calculado conforme as equações que se seguem:

$$l = \frac{a_{M\acute{A}X} - a_L}{1 - a_L} \quad (3.32)$$

$$l = \left(\frac{d_l}{d}\right)^x \quad \text{se } d < d_l \text{ então } l = 1 \quad (3.33)$$

Onde $a_{M\acute{A}X}$ é o teor máximo dos maiores fragmentos, a_L é o teor médio do lote, d é o diâmetro máximo dos fragmentos, d_l é o diâmetro de liberação e x é um fator que pode ser estimado por um mineralogista, a partir de análise das seções polidas do material. Sem que haja uma estimativa de x , pode-se considerar o valor prático $x = 0,5$.

Visto que o fator liberação l é difícil de ser estimado corretamente, a prática mostra que é possível atribuir um valor em função do grau de heterogeneidade do material (PITARD; 1993, 2019):

- i. $l = 0,05$ para materiais muito homogêneos;
- ii. $l = 0,1$ para materiais homogêneos;
- iii. $l = 0,2$ para materiais medianos;
- iv. $l = 0,4$ para materiais heterogêneos;
- v. $l = 0,8$ para materiais muito heterogêneos.

3.2.2.2 Erro fundamental de amostragem (FSE)

O erro fundamental de amostragem FSE possui média desprezível e é caracterizado por sua variância, calculada a partir da notória “fórmula de Gy” (Equação (3.34)).

$$s_{FSE}^2 = IH_L \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right) \quad (3.34)$$

Onde s_{FSE}^2 é a variância relativa do erro fundamental de amostragem, d é o tamanho máximo dos fragmentos e os fatores c , f , g e l são calculados ou obtidos de forma experimental. M_S é a massa da amostra e M_L é a massa do lote do qual a amostra foi retirada.

A fórmula de Gy é extremamente útil para a otimização de protocolos de amostragem. Quando a massa do lote M_L for muito maior que a massa da amostra M_S , é possível fazer a seguinte simplificação:

$$s_{FSE}^2 = \frac{IH_L}{M_S} \quad (3.35)$$

3.2.2.3 Erro de segregação e agrupamento (GSE)

As flutuações, ou variações aleatórias, da constituição dos fragmentos vizinhos de determinado lote produzem não só o erro fundamental de amostragem, mas também possibilitam que a gravidade atue nos fragmentos. Esta atuação da força gravitacional resulta em um rearranjo dos fragmentos, que são segregados em grupos de fragmentos conforme sua constituição. Quanto maior a diferença na constituição dos fragmentos, maior será a chance de segregação (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

O erro fundamental de amostragem é o erro mínimo de amostragem. Este erro mínimo somente é alcançado em condição de seleção probabilística das partículas, o que não ocorre na prática. Na prática, as amostras são formadas a partir da seleção de incrementos ou grupos de fragmentos. Conseqüentemente, ocorre um erro de seleção e, quanto maior for o grupo de fragmentos, tanto maior será o erro, devido ao efeito

da segregação dos fragmentos no grupo. Tal erro é definido como erro de segregação e agrupamento (GSE).

3.2.2.4 Erro de flutuação de heterogeneidade (HFE)

A necessidade de constante transporte de materiais em atividades industriais leva ao uso de transportadores de correias, pilhas alongadas, fluxos de polpa em tubulações, entre outros. Estes fluxos de material quase sempre envolvem operações cronológicas e, portanto, são determinados por variações nas operações ao longo do tempo. Estas variações levam a um novo conceito de heterogeneidade, que pode ser desmembrada em três:

- i. o erro de flutuação da heterogeneidade de curto prazo HFE_1 (seleção de amostras muito próximas, por exemplo, seleção de amostras em um transportador de correia com a distância de um metro entre uma e outra),
- ii. o erro de flutuação da heterogeneidade de longo prazo HFE_2 (por exemplo, seleção de amostras em um transportador de correia a cada hora), e
- iii. o erro de flutuação periódica de heterogeneidade HFE_3 (fenômenos cíclicos) (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

Assim, tem-se:

$$HFE = HFE_1 + HFE_2 + HFE_3 \quad (3.36)$$

O erro de flutuação da heterogeneidade HFE é a soma de dois erros complementares, o erro de flutuação da qualidade QFE (variação de teor) e o erro de ponderação do incremento IWE (variação de massa).

$$HFE = QFE + IWE \quad (3.37)$$

3.2.2.5 Erro de ponderação do incremento (IWE) e erro de flutuação da qualidade (QFE)

A massa dos incrementos selecionados de um lote deve ser proporcional à vazão mássica do material no momento da amostragem, isto é, a amostra deve ser composta

por incrementos ponderados. Do mesmo modo que o erro de flutuação de heterogeneidade HFE, o erro de ponderação IWE e o erro de flutuação de qualidade QFE possuem as três componentes de heterogeneidade, conforme segue:

$$IWE = IWE_1 + IWE_2 + IWE_3 \quad (3.38)$$

$$QFE = QFE_1 + QFE_2 + QFE_3 \quad (3.39)$$

E o erro de flutuação de qualidade de curto prazo QFE_1 pode ser escrito como:

$$QFE_1 = FSE + GSE \quad (3.40)$$

3.2.2.6 Erro de materialização do incremento (IME)

Os incrementos que formam uma amostra são gerados pela materialização de grupos de fragmentos. Tal materialização é alcançada, especificamente na seguinte ordem, por meio de estágios que geram erros:

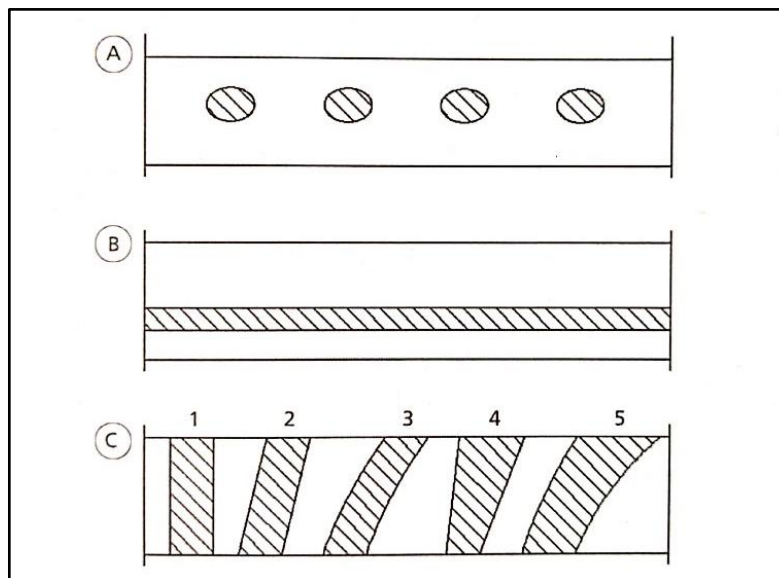
- i. erro de delimitação do incremento IDE e
- ii. erro de extração do incremento IEE.

Os estágios de preparação também geram erro na amostragem, sejam eles estágios de cominuição, peneiramento, filtragem, secagem, pesagem, etc. Este erro é denominado erro de preparação do incremento IPE. O erro de materialização do incremento é definido como a soma do IDE, IEE e IPE.

$$IME = IDE + IEE + IPE \quad (3.41)$$

O erro de delimitação do incremento em um fluxo está ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Erro de delimitação do incremento IDE em um fluxo de material



(A) a amostragem de parte do fluxo, parte do tempo é incorreta. (B) a amostragem de parte do fluxo, o tempo todo, também é incorreta. (C) a amostragem de todo o fluxo, parte do tempo é correta apenas se as linhas que delimitam o corte forem paralelas (1, 2 e 3), senão é incorreta (4 e 5).

Fonte: Chierigati e Pitard (2012).

3.2.2.7 Erro total de amostragem (TSE)

Define-se o erro total de amostragem (TSE) como a soma do erro de flutuação de heterogeneidade (HFE) e o erro de materialização do incremento (IME) que é gerado em cada estágio de amostragem (CHIEREGATI; PITARD, 2012).

$$TSE = HFE + IME \quad (3.42)$$

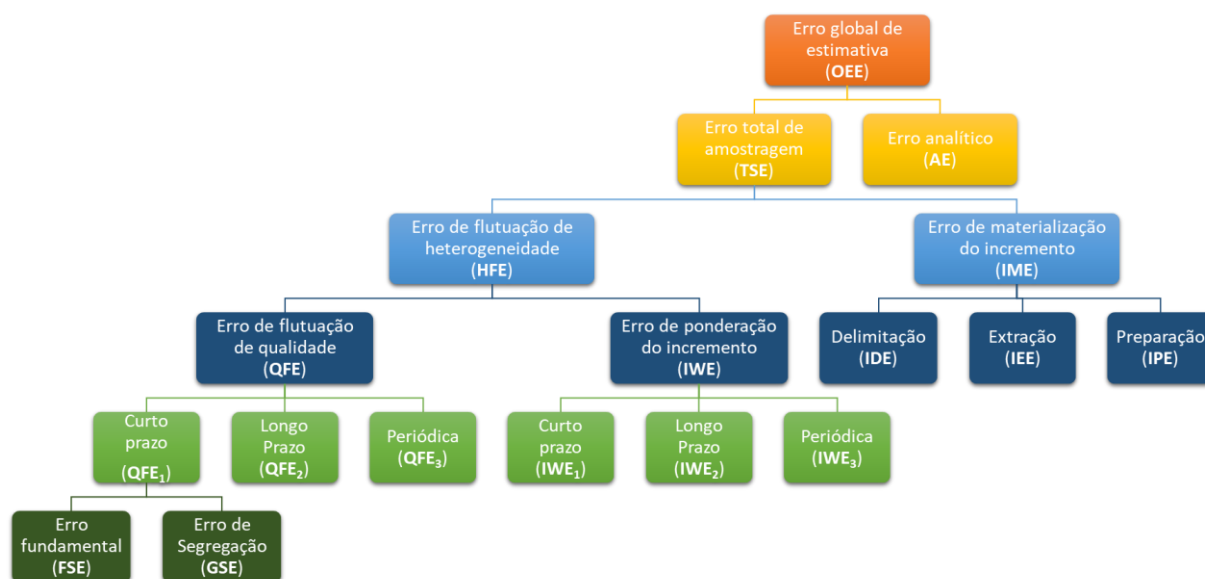
3.2.2.8 Erro analítico (AE) e erro global de estimativa (OEE)

O erro global de estimativa (OEE) é a soma do erro total de amostragem (TSE) com o erro analítico (AE). O erro analítico é decorrente das etapas de análise do material.

$$OEE = TSE + AE \quad (3.43)$$

As componentes do erro global de estimativa OEE mencionados nos itens anteriores são ilustradas na Figura 3.

Figura 3: Componentes do erro global de estimativa (OEE)



Fonte: adaptado de Chierigati e Pitard (2012).

3.2.3 Estratégias para a minimização dos erros de amostragem

O erro global de estimativa OEE possui diversas componentes, conforme apresentado nos itens anteriores. À vista disso, a forma mais eficaz de reduzir o erro global de estimativa é fazer uma investigação completa e preventiva dos processos de seleção, materialização e preparação das amostras. Tal investigação deve ser feita a fim de que a estimativa de uma característica de determinado lote L seja suficientemente precisa e não-enviesada.

A fim de conduzir essa investigação, é indispensável a classificação dos erros de amostragem em aleatórios e sistemáticos. Os erros aleatórios – FSE, GSE e HFE – devem ser minimizados. Já os erros sistemáticos – IWE, IDE, IEE e IPE – devem ser eliminados dos processos de amostragem.

De acordo com Chierigati (2021), a estratégia de amostragem deve seguir os seguintes passos:

- a. Estudo da heterogeneidade intrínseca do lote;

- b. Garantia da correção do processo de amostragem, eliminando os erros sistemáticos, quais sejam: o erro de delimitação do incremento IDE, o erro de extração do incremento IEE e o erro de preparação do incremento IPE.
- c. Otimização dos procedimentos de amostragem e preparação de amostras, minimizando os erros aleatórios, quais sejam: o erro fundamental de amostragem FSE, o erro de segregação e agrupamento GSE e o erro de flutuação da heterogeneidade HFE.

O conhecimento da heterogeneidade intrínseca do lote é necessário para a otimização de protocolos de amostragem, já que os procedimentos de amostragem devem variar de acordo com a heterogeneidade do material. A heterogeneidade intrínseca do lote (ou fator constante de heterogeneidade constitucional) IH_L pode ser obtida a partir do uso dos fatores de Gy (f, g, c, l, d apresentados na Equação (3.28)) ou a partir dos testes experimentais denominados “testes de heterogeneidade”, por meios dos quais o IH_L é obtido experimentalmente (CHIEREGATI, 2021).

3.2.4 Métodos experimentais para estimativa da variância do FSE

O erro fundamental de amostragem pode ser estimado usando a fórmula de Pierre Gy, mas a constante de amostragem K e o expoente α do diâmetro nominal do fragmento d_N^α precisam ser calibrados para cada tipo de minério (MINNITT *et al.*, 2011).

Os seguintes métodos são consagrados como métodos de calibração das constantes de amostragem e serão detalhados nos itens a seguir: o Teste de Heterogeneidade (TH), o *Duplicate Sampling Analysis* (DSA) e o *Segregation Free Analysis* (SFA).

3.2.4.1 Teste de Heterogeneidade (TH)

Um dos métodos de calibração das constantes K e α mais amplamente usados é o Teste de Heterogeneidade (TH), proposto inicialmente por Pierre Gy e adaptado por Francis Pitard (1993).

O método consiste em extrair um certo número Q de fragmentos, um a um, aleatoriamente, de uma superfície plana, garantindo que a chance de seleção de qualquer um dos fragmentos seja igual, ou seja, garantindo que o método de seleção seja equiprobabilístico. Baseando-se nesse método e, em condições ideais, o erro de segregação e agrupamento GSE deverá ser nulo.

O número total de fragmentos n presente em cada fração granulométrica deve ser maior que o número de grupos coletados p multiplicado por dez e pelo número de fragmentos Q compreendidos em cada grupo p , conforme a seguinte equação:

$$n > 10Qp \quad (3.44)$$

A estimativa do fator constante de heterogeneidade constitucional IH_L pode ser obtida por meio da Equação (3.45).

$$EST.IH_L = g \sum_q \frac{(a_q - a_L)^2 M_q^2}{a_L^2 M_L} \quad (3.45)$$

onde g é o fator granulometria, M_q é a massa de cada grupo de Q fragmentos, a_q é o teor do grupo, M_L é o somatório das massas M_q e a_L é o teor médio dos grupos de fragmentos.

Em um gráfico log-log, tomando como base os resultados do teste de heterogeneidade, é possível relacionar o diâmetro nominal de cada fração granulométrica com a estimativa do fator constante de heterogeneidade constitucional $EST.IH_L$ (PITARD, 1993).

Os diâmetros nominais dos fragmentos devem ser calculados por meio na Equação (3.46).

$$d = \sqrt[3]{\frac{d_1^3 + d_2^3}{2}} \quad (3.46)$$

onde d_1 e d_2 são as aberturas das malhas utilizadas no peneiramento de cada fração granulométrica. O gráfico obtido deve ser representado pela Equação (3.47).

$$EST.IH_L = K.d^\alpha \quad (3.47)$$

Onde K e α são as constantes de amostragem e indicam a heterogeneidade do minério. Quanto maiores os valores de K e α , maior a heterogeneidade do minério.

3.2.4.2 Teste da árvore (*Sampling Tree Experiment* STE ou *Duplicate Sampling Analysis* DSA)

Outro método de calibração das constantes K e α é o chamado *Duplicate Sampling Analysis* (DSA), também conhecido como *Sampling Tree Experiment* (STE) ou teste da árvore, proposto por François-Bongarçon. Tal método foi bastante usado na mineração de ouro sul-africana e tende a ser específico para a indústria de mineração de ouro; entretanto, versões modificadas podem ser aplicadas para todos os tipos de minérios (MINNITT *et al.*, 2011; 2007).

O teste da árvore apresenta diferenças em relação ao teste de heterogeneidade no que diz respeito à massa de amostra e tipos de erros gerados devido ao procedimento padrão do método. O teste da árvore tipicamente usa o mineral britado com sua completa distribuição de tamanhos, desde as frações mais finas (menores que 75 μm) até fragmentos de 5 cm ou mais. Desta forma, teoricamente o método tem como desvantagem a introdução, de forma significativa, do erro de segregação e agrupamento (GSE) durante a divisão da amostra em divisores rotativos ou tipo Jones e, portanto, não estima o erro fundamental de amostragem isoladamente.

A massa de amostra para a realização do teste varia de 30 a 60 kg, a depender dos objetivos do teste de calibração. Deve ser realizado um estágio de britagem primária em britador de mandíbulas para redução de tamanho até que 95% do material sejam passantes em uma malha de 1,9 cm. Um quarto deste lote de material é definido como a primeira fração de diâmetro nominal d_N e os outros três quartos são britados novamente até que 95% sejam passantes em 0,95 cm. Um terço desta nova granulometria é definido como a segunda fração. As duas frações restantes são recombinadas e cominuídas até 95% passantes em 0,1 cm e divididas em duas porções de massas iguais. Uma das porções será a terceira fração e a outra será novamente cominuída até 95% passantes em 150 μm . Cada uma dessas frações,

listadas na Tabela 1, de massa de aproximadamente 15 kg, deve ser dividida em 32 subamostras usando um divisor rotativo ou tipo Jones (Figura 4).

Dessas 32 subamostras, 2 amostras são selecionadas ao acaso para análise granulométrica, restando 30 amostras para a análise química (VILLANOVA, 2018).

Tabela 1: Frações de diâmetro nominal d_N para o teste da árvore

| Fração | Tamanho do diâmetro nominal (d_{95}) |
|-----------------|--|
| Primeira fração | 1,9 cm |
| Segunda fração | 0,95 cm |
| Terceira fração | 0,1 cm |
| Quarta fração | 150 μ m |

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.4.3 Segregation Free Analysis (SFA)

O método de calibração das constantes K e α denominado de *Segregation Free Analysis* (SFA) foi proposto por Richard Minnitt, Dominique François-Bongarçon e Francis Pitard (2011). O método SFA foi proposto com o objetivo de eliminar o erro de segregação e agrupamento (GSE), que é significativo no método DSA.

O método requer uma amostra de aproximadamente 200 kg do minério. Este lote deve ser britado a 95% passantes em 2,5 cm. Após a britagem, ele deve ser peneirado em 15 malhas de peneiras descritas na Tabela 2, gerando 16 frações granulométricas.

Utilizando-se um divisor Jones (Figura 4), cada fração granulométrica contida na Tabela 2 deve ser dividida em 32 subamostras conforme Figura 5.

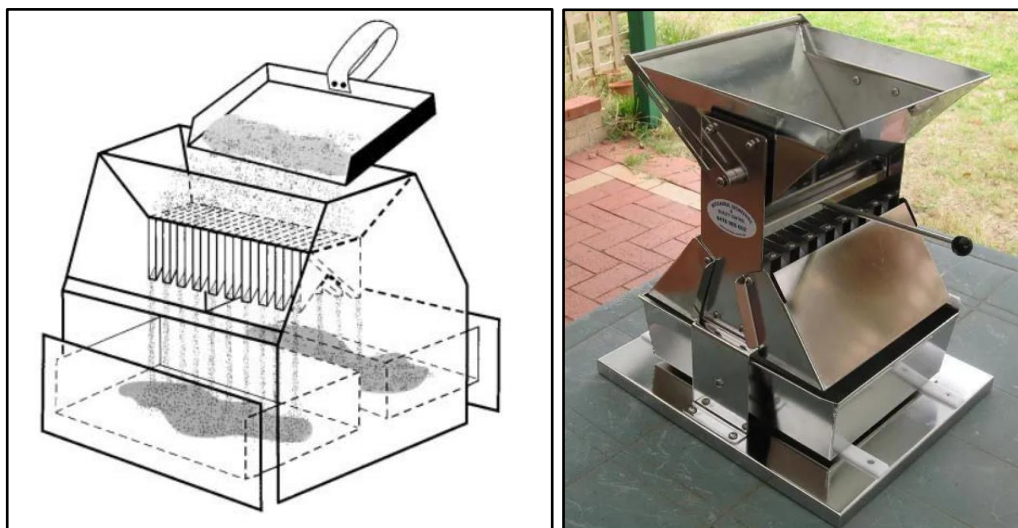
Cada uma dessas 32 subamostras deve ser ensacada, numerada, selada, pesada e então enviada para a análise química em alíquota de massa adequada à análise. A massa de todas as amostras deve ser anotada.

Tabela 2: Frações para o método *Segregation Free Analysis (SFA)*

| Fração granulométrica | Passante (μm) | Retido (μm) |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 25.000 | 19.000 |
| 2 | 19.000 | 16.000 |
| 3 | 16.000 | 13.200 |
| 4 | 13.200 | 11.200 |
| 5 | 11.200 | 9.500 |
| 6 | 9.500 | 8.000 |
| 7 | 8.000 | 6.700 |
| 8 | 6.700 | 4.750 |
| 9 | 4.750 | 3.350 |
| 10 | 3.350 | 2.000 |
| 11 | 2.000 | 1.000 |
| 12 | 1.000 | 710 |
| 13 | 710 | 500 |
| 14 | 500 | 212 |
| 15 | 212 | 150 |
| 16 | <150 | |

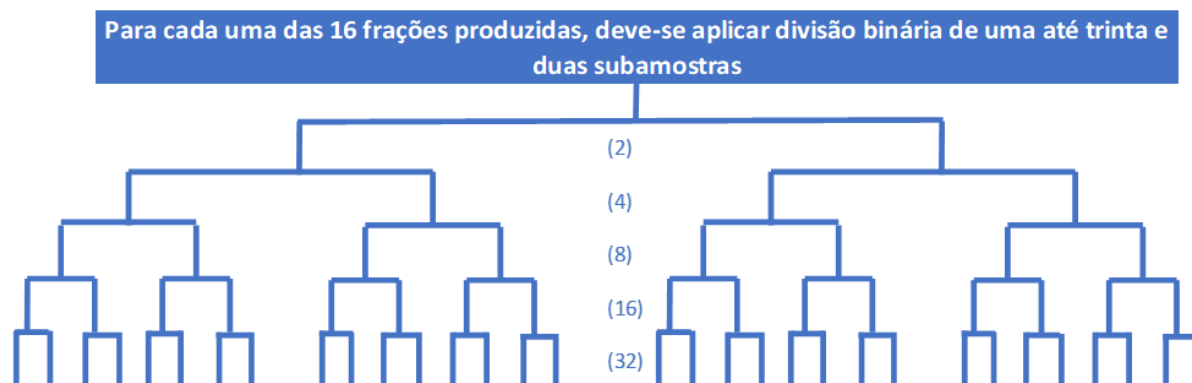
Fonte: (MINNITT *et al.*, 2011).

Figura 4: Divisor Jones para a divisão binária de amostras



Fonte: (CIVILBLOG.ORG, 2015; GERLACH; DOBB; RAAB; NOCERINO, 2002).

Figura 5: Divisão binária aplicada a cada fração granulométrica



Fonte: (MINNITT; RICE; SPANGENBERG, 2007)

Para a determinação dos parâmetros de calibração K e α , a fórmula de Gy simplificada indicada na Equação (3.48) deve ser rearranjada para resultar em uma equação linear da forma $y = ax + b$ em \log_e conforme a Equação (3.49).

$$s_{FSE}^2 = \frac{K d_N^\alpha}{M_S} \quad (3.48)$$

$$\ln(s_{FSE}^2 M_S) = \ln(K) + \alpha \times \ln(d_N) \quad (3.49)$$

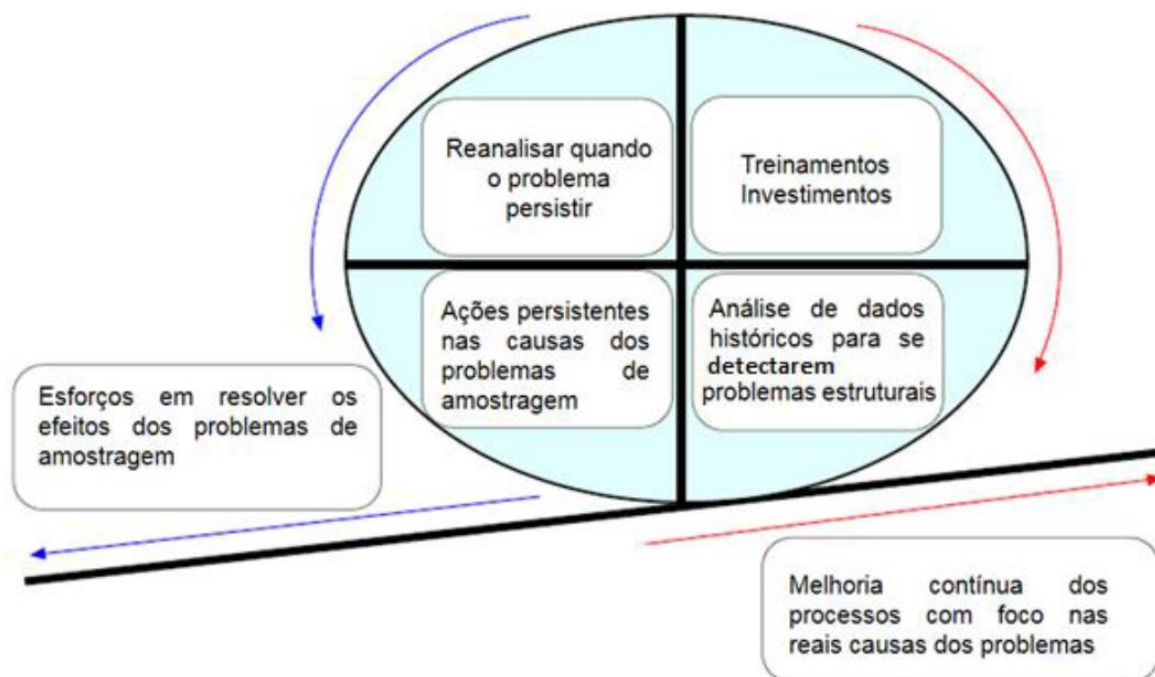
Onde $\ln(s_{FSE}^2 M_S)$ é o y da reta obtida, α é a inclinação da reta e $\ln(K)$ é o valor em que a reta cruza o eixo y .

3.3 AMOSTRAGEM NA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO

De acordo com Bortoleto (2019), o programa de garantia e controle de qualidade (do inglês, *Quality Assurance - Quality Control*, conhecido por QA-QC) não pode existir sem a aplicação dos princípios da TOS e sem investimentos em treinamentos. Na Figura 6, ilustra-se o foco na melhoria contínua dos processos, buscando sempre evitar a causa dos erros e não atuar em seus efeitos.

Pitard (2009) recomenda, após a implantação da cultura de melhoria contínua, a criação de um fluxograma que aborde o fluxo de informações e auxilie na medição dos ganhos obtidos.

Figura 6: Foco na melhoria contínua dos processos



Fonte: (PITARD, 2009), traduzido por (BORTOLETO, 2019).

3.3.1 Protocolos de Amostragem

Um protocolo de amostragem deve ser bem definido de acordo com o material amostrado e integra todas as etapas de amostragem de um lote, desde a amostragem primária até a análise química. Protocolos de amostragem envolvem um ou mais estágios de coleta de amostras, cominuição e divisões necessárias à redução do lote para o seu manuseio posterior. Um exemplo de protocolo de amostragem é ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3: Exemplo de protocolo de amostragem e cálculo do desvio padrão do FSE

| Estágio | Massa inicial (g) | Massa final (g) | d_N (cm) | IH_L (g) | var. rel. (s_{FSE}^2) | desv. rel. ($s_{FSE\ rel}$) |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------|------------|------------|---------------------------|-------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 100.000.000 | 100.000 | 5,0 | 952,6 | 0,009516 | 9,76% |
| 2. Britagem primária | 100.000 | 100.000 | 1,25 | 4,14 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Britagem secundária | 100.000 | 100.000 | 0,20 | 0,0031 | 0,000000 | 0,00% |
| 4. Divisão | 100.000 | 250 | 0,20 | 0,0031 | 0,000012 | 0,35% |
| 5. Pulverização | 250 | 250 | 0,0149 | 0,0000001 | 0,000000 | 0,00% |
| 6. Seleção da amostra analítica | 250 | 0,8 | 0,0149 | 0,0000001 | 0,000000 | 0,04% |
| TOTAL (s_{FSE}^2) | | | | | 0,009529 | 9,76% |

Fonte: (FERNANDES, 2016).

3.3.2 Otimização de protocolos de amostragem

O objetivo da otimização de um protocolo de amostragem é não apenas minimizar o desvio padrão relativo do erro fundamental em cada etapa de amostragem e preparação de amostras, mas também, e principalmente, minimizar o desvio total do erro fundamental. Usando o teste probabilístico de Pierre Gy e isolando o FSE, o desvio total do protocolo representa o desvio padrão mínimo do teor obtido para uma determinada amostra, ou seja, todos os demais componentes do erro total de amostragem são desprezados.

Para encontrar o desvio padrão total do protocolo de amostragem, calculam-se, primeiramente, as variâncias relativas a cada etapa do protocolo de amostragem. A variância do erro fundamental de amostragem é calculada pela Equação (3.50), onde M_S é a massa da amostra e M_L é a massa do lote. A variância total é calculada pela soma das variâncias parciais de cada estágio do protocolo de amostragem. O desvio padrão total do protocolo de amostragem é dado pela Equação (3.51).

$$s_{FSE}^2 = IH_L \times \left(\frac{1}{M_S} - \frac{1}{M_L} \right) \quad (3.50)$$

$$s_{FSE_{rel}} = \sqrt{s_{FSE}^2} \quad (3.51)$$

Com o desvio padrão total do protocolo de amostragem, é possível determinar se o protocolo está de acordo com as diretrizes de desvio padrão máximo recomendadas por Pitard (2013), apresentadas na Tabela 4 mais adiante.

Caso o protocolo de amostragem apresente desvios superiores aos recomendados por Pitard, sugere-se adequar o protocolo para os desvios máximos recomendados. Há diversas maneiras de se adequar o protocolo de amostragem. Uma delas é calculando a massa mínima de amostras representativas para os desvios máximos recomendados (PITARD, 1993). É possível calcular as massas mínimas a partir da Equação (3.50). Quando $M_L \gg M_S$, a massa mínima pode ser calculada a partir da Equação simplificada (3.52) (CHIEREGATI; PITARD, 2018), que é correspondente à Equação (3.48) apresentada anteriormente.

$$M_S = \frac{IH_L}{s_{FSE}^2} \quad (3.52)$$

3.3.2.1 Diretrizes recomendadas por Pitard para o processo de amostragem

Pitard (2013) recomenda diretrizes de desvios máximos do FSE aceitáveis para os processos de amostragem na etapa de exploração, controle de teores e amostragem ambiental. Tais diretrizes são recomendações de valores máximos de incerteza no processo de amostragem e variam de acordo com o tipo de minério ou etapa de amostragem. Os valores de desvios padrão relativos máximos aceitáveis são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Diretrizes de máxima variância e máximo desvio padrão relativo do FSE para as etapas de exploração, controle de teor e amostragem ambiental

| Tipos de incertezas | Metais preciosos, impurezas e investigações preliminares para amostragem ambiental | Metais básicos, amostragem ambiental, etc. |
|---|--|---|
| Incerteza Total (Relativa %) e Variância | $s = 32\%$ $s_{Atribuída}^2 = (0,32)^2 = 0,1024$ | $s = 20\%$ $s_{Atribuída}^2 = (0,20)^2 = 0,040$ |
| Incerteza Residual Total (%) e Variância de todos IDEs, IEEs, IPEs, IWES, GSEs, AEs. | $s = 23\%$ $s_{Residual}^2 = \frac{(0,32)^2}{2} = 0,0512$ | $s = 14\%$ $s_{Residual}^2 = \frac{(0,20)^2}{2} = 0,020$ |
| Incerteza aceitável e Variância do FSE₁ (%) (amostragem primária) | $s = 16\%$ $s_{FSE1}^2 = \frac{(0,32)^2}{4} = 0,0256$ | $s = 10\%$ $s_{FSE1}^2 = \frac{(0,20)^2}{4} = 0,010$ |
| Incerteza aceitável e Variância do FSE₂ (%) (amostragem secundária) | $s = 11\%$ $s_{FSE2}^2 = \frac{(0,32)^2}{8} = 0,0128$ | $s = 7\%$ $s_{FSE1}^2 = \frac{(0,20)^2}{8} = 0,005$ |
| Incerteza aceitável e Variância do FSE₃ (%) (amostragem terciária) | $s = 8\%$ $s_{FSE3}^2 = \frac{(0,32)^2}{16} = 0,0064$ | $s = 5\%$ $s_{FSE1}^2 = \frac{(0,20)^2}{16} = 0,0025$ |

Fonte: (PITARD, 2013).

3.3.3 Técnicas de redução de amostras

Segundo Pierre Gy (comunicação pessoal, apud (CHAVES; LIMA, 2012), p. 293), apenas quatro métodos de redução de amostras são confiáveis: (1) pilha alongada, (2) divisor rotativo, setorial ou de polpa, (3) divisor tipo Jones e (4) fracionamento por pá.

3.3.3.1 Pilha alongada

De acordo com Chaves (2012), a pilha alongada é construída com a técnica *chevron* (Figura 7), mediante sucessivas pilhas elementares. A pilha pode ser feita manualmente, mediante uso de balde, sobre uma mesa ou sobre o piso. A construção manual de pilhas é mais adequada para quantidades moderadas de material particulado. Ao usar esta técnica, os seguintes requisitos devem ser observados (CHAVES; LIMA, 2012):

- i. Cada pilha elementar deve ser construída no sentido oposto ao da pilha elementar anterior;
- ii. Chegando na extremidade da pilha, o derramamento do minério deve ser interrompido;
- iii. Ao terminar a construção da pilha, as extremidades devem ser retomadas e espalhadas como uma nova camada sobre a pilha.

Figura 7: Técnica *chevron* de construção de pilhas alongadas



Fonte: (CHAVES, 2012).

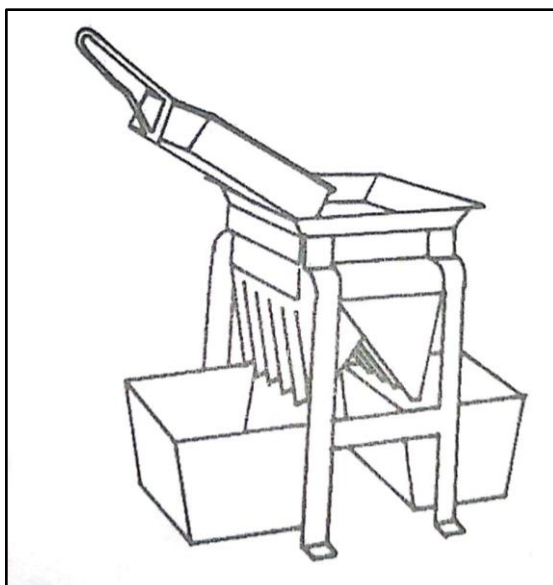
3.3.3.2 Divisor Jones

O divisor Jones, apresentado na Figura 4 e na Figura 8, é extensamente utilizado na divisão de material particulado. Em geral, estes divisores são projetados e construídos de modo a não existirem erros de delimitação e, para isso, tais divisores devem ter sempre um número idêntico de calhas para cada lado (CHIEREGATI, 2007).

Existem algumas precauções a serem observadas no seu uso (CHAVES; LIMA, 2012):

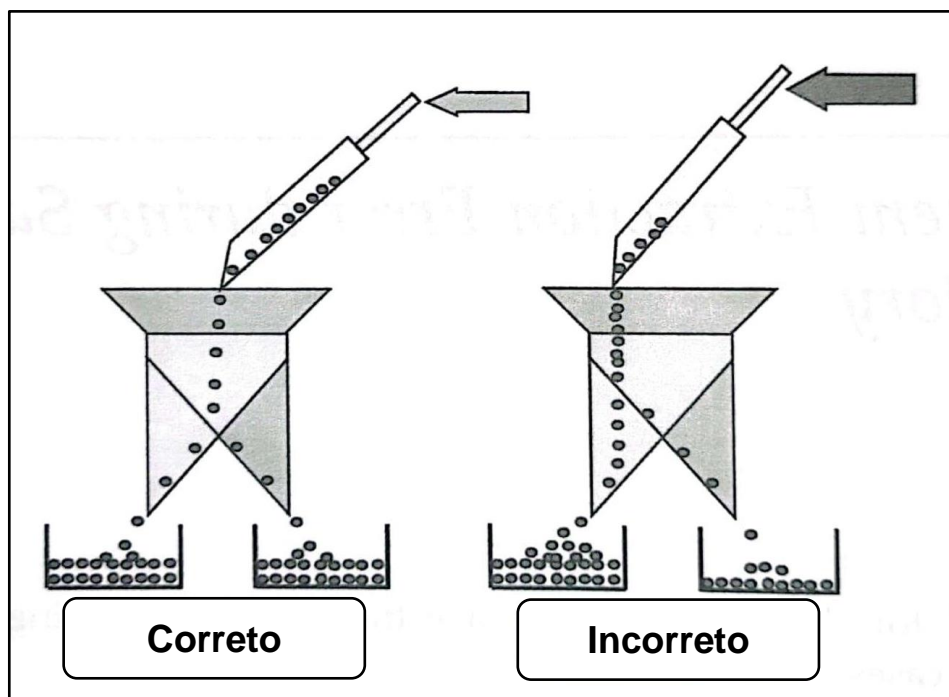
- i. A largura do rifle deve ser, pelo menos, três vezes maior que o tamanho da maior partícula do material a ser dividido;
- ii. Quando a granulometria do material é menor, devem ser utilizados divisores de larguras cada vez menores;
- iii. A alimentação do divisor deve ser feita com a pá ou com a caneca que acompanha o divisor, de modo que a amostra a ser dividida se espalhe de forma homogênea sobre o divisor.
- iv. Além disso, durante a divisão do material no divisor Jones, caso o equipamento seja usado de maneira incorreta, não se direcionando o fluxo de partículas diretamente ao eixo central do divisor, um viés pode ser introduzido (PITARD, 2019). O correto uso do divisor Jones é indicado na Figura 9.

Figura 8: Divisor Jones



Fonte: (CHAVES, 2012)

Figura 9: Uso correto e incorreto do divisor Jones



Fonte: (PITARD, 2019)

3.3.3.3 Divisor rotativo, setorial ou de polpa

Os divisores de polpa são muito efetivos quando bem projetados e mantidos. No dispositivo, existe um agitador mecânico para manter a polpa homogeneizada e em suspensão. Além disso, a mesa com as canecas possui sistema que a mantém girando em velocidade constante (CHAVES; LIMA, 2012).

Tanto para os divisores rotativos de polpa (Figura 10) quanto para os divisores rotativos de sólidos (Figura 11), a manutenção da velocidade constante da mesa e do fluxo de material alimentado são importantes para a divisão igualitária das alíquotas e para evitar o enviesamento das amostras. Além disso, não deve haver escape de fragmentos para fora das canecas e as seções devem ser largas o suficiente para receber todo o fluxo de material (CHIEREGATI, 2021).

Figura 10: Exemplos de divisores rotativos de polpa



Fonte: (DIALMÁTICA, 2022; LAARMANN, 2022)

Figura 11: Exemplos de divisores rotativos de sólidos

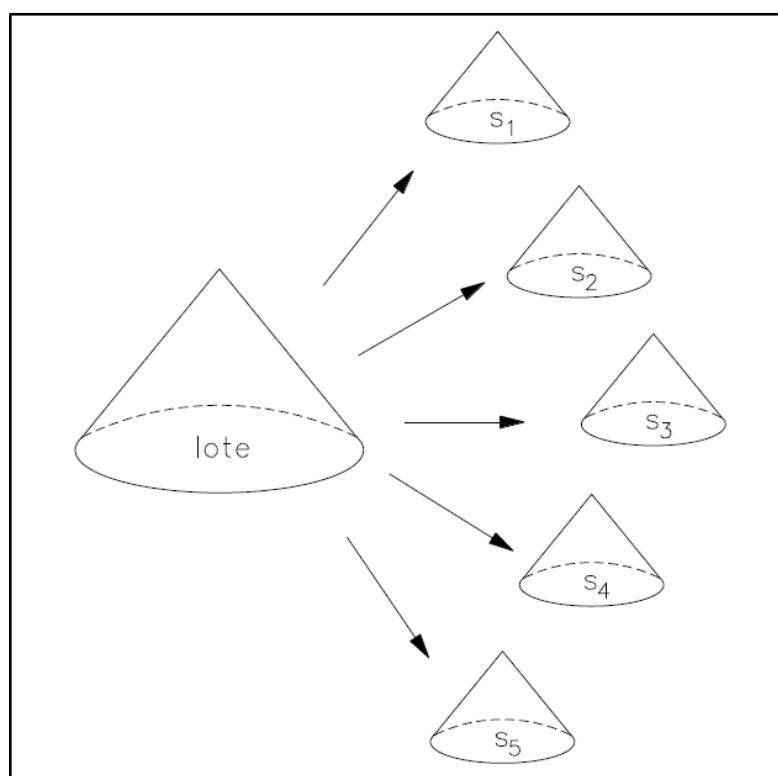


Fonte: (ESSA/FLSMIDTH®, 2022)

3.3.3.4 Método de fracionamento por pá

O método do fracionamento por pá é o método mais simples e barato. Extraem-se pazadas de um lote, depositando-as no topo de N pilhas distintas (Figura 12). Cada pilha precisa conter no mínimo 10 incrementos, sendo que, quanto maior o número de incrementos, menor será o erro de segregação e agrupamento. Ao final do fracionamento, uma das pilhas formadas deve ser selecionada aleatoriamente como amostra.

Figura 12: Método de fracionamento por pá para N igual a 5



Fonte:(CHIEREGATI, 2021).

As seguintes condições devem ser seguidas (CHIEREGATI, 2021):

- i. As pazadas devem possuir mais ou menos o mesmo tamanho;
- ii. Cada pilha deve ser formada pelo mesmo número de pazadas;
- iii. As pazadas devem ser alternadas entre a primeira e a última pilha, mantendo sempre a mesma sequência e obrigatoriamente rodando a pilha.

4 METODOLOGIA

No presente trabalho, propõe-se um método simplificado do *Segregation Free Analysis*, ou SFA (MINNITT *et al.*, 2011). Para a validação do método simplificado, foram estudados dez tipos de minério pertencentes a nove minas brasileiras: dois domínios de minério de ferro; quatro tipos de minério de ouro, dois tipos de minério de ferro, minério polimetálico de cobre, chumbo e zinco, minério de cobre, minério de nióbio e bauxita, conforme descrito na Tabela 5. Para a realização do método simplificado e do teste de heterogeneidade padrão, ou TH (PITARD, 1993; 2009), utilizou-se um lote inicial de cada tipo de minério com massa entre 400 e 500 kg, ou seja, um total de 4 a 5 toneladas de minério foram processadas no presente estudo.

Os resultados obtidos pelo método simplificado foram comparados com os resultados obtidos pelo teste de heterogeneidade padrão. Por motivo de sigilo, os nomes das empresas foram ocultados, tendo as minas sido renomeadas, genericamente, como Mina 1 a Mina 9.

Tabela 5: Tipos de minério das 9 minas brasileiras estudadas no presente trabalho

| Mina | Tipo de Minério |
|--------|--|
| Mina 1 | Itabirito 1 |
| Mina 1 | Itabirito 2 |
| Mina 2 | Bauxita |
| Mina 3 | Minério polimetálico (cobre, chumbo e zinco) |
| Mina 4 | Minério de cobre |
| Mina 5 | Minério de nióbio |
| Mina 6 | Ouro baixo teor |
| Mina 7 | Ouro baixo teor |
| Mina 8 | Ouro alto teor |
| Mina 9 | Ouro alto teor |

Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 TESTE DE HETEROGENEIDADE (TH)

O teste de heterogeneidade (TH) foi realizado para os dez tipos de minério apresentados anteriormente. O lote inicial — de cada um dos minérios estudados — foi peneirado nas 4 frações granulométricas indicadas na Tabela 6. Cada fração foi dividida, por divisor Jones, em duas partes iguais, uma para cada teste. Portanto, para a realização de cada teste de heterogeneidade, foi utilizada uma massa de minério de aproximadamente 250 kg (metade da massa do lote inicial do minério).

Tabela 6: Frações de peneiramento para o teste de heterogeneidade

| Frações | Retido (mm) | Passante (mm) |
|----------------------|-------------|---------------|
| Fração Fina | 3,35 | 4,75 |
| Fração Intermediária | 4,75 | 6,35 |
| Fração Grossa | 6,35 | 12,7 |
| Fração Extra Grossa | 12,7 | 25,4 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, o procedimento padrão do teste de heterogeneidade proposto por Gy e Pitard (1993; 2019) foi realizado para cada uma das frações obtidas do processo de peneiramento. O teste de heterogeneidade gera 50 subamostras por faixa granulométrica, resultando em um total de 200 subamostras por teste para determinação de massa e teor.

O teste de heterogeneidade é um método indireto de estimativa do IHL . Este método consiste no procedimento manual de extração de um número Q de fragmentos, coletados aleatoriamente, um a um, de cada fração granulométrica do material investigado. Cada grupo Q de fragmentos deve ser pesado (massa M_Q) e enviado para análise química, resultando no teor a_Q . M_Q é resultado da soma de todas as 50 amostras com massa M_q , e o teor médio a_Q é calculado conforme Equação (4.1). A partir da Equação (4.2) é possível, por conseguinte, calcular o valor estimado do IHL ($EST\ IHL$) para cada fração granulométrica estudada.

$$a_Q = \frac{1}{M_Q} \sum a_q M_q \quad (4.1)$$

$$EST.IH_L = g \sum_q \frac{(a_q - a_Q)^2 M_q^2}{a_Q^2 M_Q} \quad (4.2)$$

A partir dos resultados de $EST.IH_L$ para cada uma das frações, determinam-se as constantes K e α da Fórmula de Gy, indicada na Equação (4.3).

$$EST.IH_L = K \cdot d^\alpha \quad (4.3)$$

Onde d é o diâmetro nominal de uma dada fração granulométrica.

Estabelecendo-se as constantes K e α para cada minério e empregando-se a Equação (4.3), é possível determinar a massa mínima de amostra representativa, calcular o Erro Fundamental de Amostragem e otimizar os protocolos de amostragem e preparação de amostras.

O mesmo procedimento do Teste de Heterogeneidade proposto por Pierre Gy e adaptado por Francis Pitard (1993; 2019) foi adotado para cada um dos dez minérios estudados.

O item a seguir tem como objetivo detalhar os procedimentos experimentais do TH usando como exemplo um dos minérios estudados, o Itabirito 1, visando a um maior entendimento do método.

4.1.1 Teste de heterogeneidade: Itabirito 1

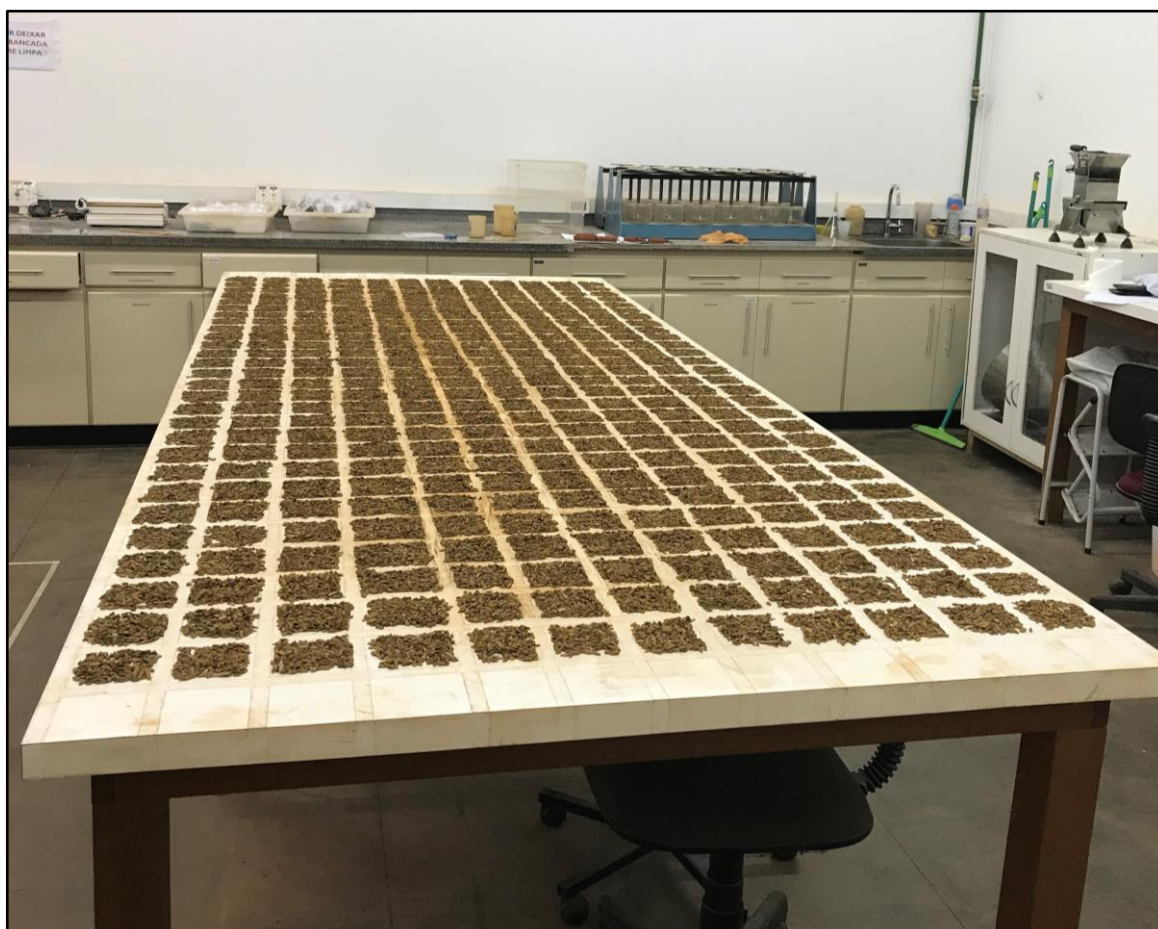
Para o teste de heterogeneidade do minério Itabirito 1, utilizou-se uma amostra inicial de 500 kg, peneirada e dividida em duas partes iguais visando à comparação com o teste alternativo. Portanto, uma massa total de 250 kg foi utilizada para este teste. Esta amostra foi submetida a peneiramento em malhas com abertura: 25,4 mm, 12,7 mm, 6,35 mm, 4,75 mm e 3,35 mm. As frações usadas no teste estão contidas na Tabela 6 apresentada anteriormente.

4.1.1.1 Fração fina: $-4,75+3,35$ mm

Uma malha quadriculada com quadrados internos dotados de uma área de 100 cm^2 foi construída com fita crepe sobre uma mesa, totalizando 426 quadrados de $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$.

A fração fina foi distribuída em forma de pilha ao longo do comprimento da mesa, para que as partículas fossem dispostas de uma maneira mais homogênea. Em seguida, as partículas foram espalhadas manualmente até que fosse obtida uma monocamada que cobrisse toda a área dos quadrados, sem sobreposição de partículas. Idealmente, cada partícula deverá ter equiprobabilidade de ser escolhida de cada quadrado. A fração fina foi espalhada sobre a mesa e dividida em todos os 426 quadrados de lado 10 cm , como pode ser visto na Figura 13.

Figura 13: Fração fina disposta sobre mesa com quadriculado $10 \times 10\text{ cm}$



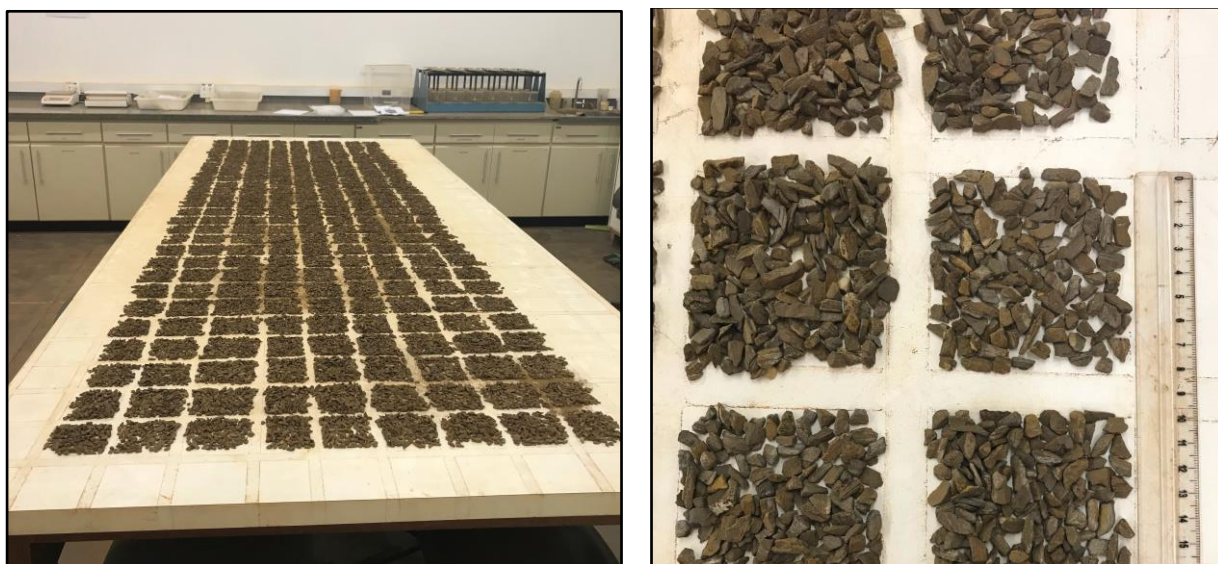
Fonte: Arquivo da autora.

Após espalhamento do material, selecionou-se ao acaso, de cada um dos quadrados de lado 10 cm, uma única partícula. As 426 partículas retiradas dos 426 quadrados foram ensacadas e, então, pesadas e identificadas. O procedimento foi repetido 50 vezes até formar 50 subamostras de 426 partículas cada. As 50 subamostras foram enviadas à análise química.

4.1.1.2 Fração intermediária: $-6,35+4,75$ cm

A fração intermediária foi dividida em 252 quadrados de lado 10 cm, conforme pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14: Fração intermediária disposta sobre mesa com quadriculado 10 x 10 cm



Fonte: Arquivo da autora.

4.1.1.3 Fração grossa: $-12,7+6,35$ cm

Conforme a Figura 15 e a Figura 16, a fração grossa foi dividida em 90 quadrados de lado 20 cm.

Figura 15: Fração grossa disposta sobre mesa com quadriculado 20 x 20 cm



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 16: Detalhe fração grossa disposta sobre mesa com quadriculado 20 x 20 cm



Fonte: Arquivo da autora.

4.1.1.4 Fração extra grossa: -25,4+12,7 cm

A fração extra grossa foi dividida em 50 quadrados de lado 30 cm, conforme Figura 17 e Figura 18.

Figura 17: Fração extra grossa disposta sobre mesa com quadriculado 30 x 30 cm



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 18: Detalhe fração extra grossa disposta sobre mesa quadriculado 30 x 30cm



Fonte: Arquivo da autora.

4.1.1.5 Amostras geradas no Teste de Heterogeneidade

Conforme detalhado nos itens anteriores, selecionou-se somente uma partícula de cada quadrado, de modo aleatório. Ao final desta coleta, obteve-se um conjunto de P partículas, que possuem em conjunto uma massa M_q e teor médio a_q . O conjunto de P partículas foi enviado à análise química. Garantiu-se que $M_q \geq 50$ g (Figura 19), massa mínima de amostra necessária para preparação e análise química.

Foram geradas, pela repetição do processo descrito acima: 50 subamostras de 426 fragmentos da fração fina; 50 subamostras de 252 fragmentos da fração intermediária; 50 subamostras de 90 fragmentos da fração grossa e 50 subamostras de 50 fragmentos da fração extra grossa. A descrição completa do número P de fragmentos coletados em cada subamostra, das massas médias e do número de subamostras geradas encontram-se na Tabela 7; e o esquema simplificado do teste de heterogeneidade, na Figura 20.

Figura 19: Número de partículas relaciona-se à massa mínima para análise química



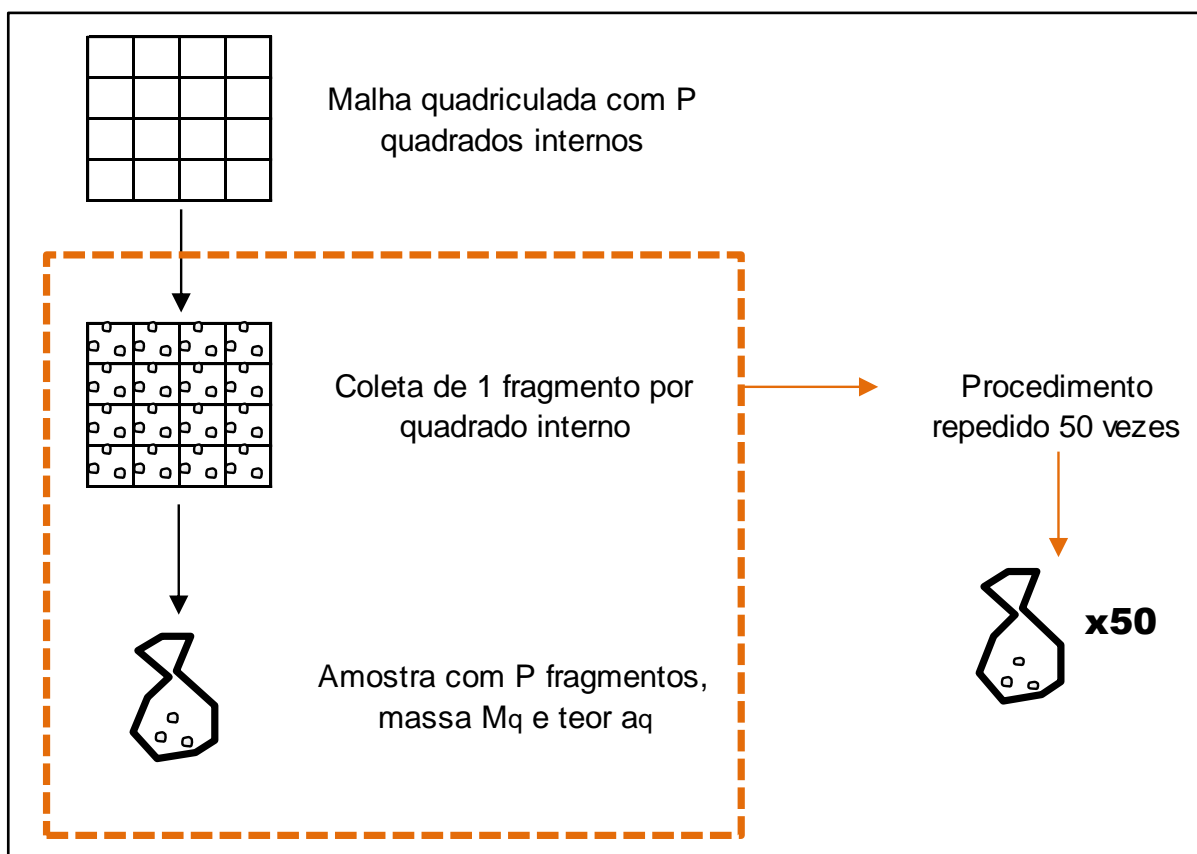
Fonte: Arquivo da autora.

Tabela 7: Número fragmentos por amostra e número total de amostras

| Fração | Número de quadrados internos e fragmentos por amostra | Número de amostras geradas de cada tipo de minério | Massa média das subamostras por fração (g) |
|---------------|---|--|--|
| Fina | 426 | 50 | 62,0 |
| Intermediária | 252 | 50 | 91,4 |
| Grossa | 90 | 50 | 191,5 |
| Extra Grossa | 50 | 50 | 777,6 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 20: Esquema simplificado do teste de heterogeneidade



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 SIMPLIFIED SEGREGATION FREE ANALYSIS (SSFA)

O *Segregation Free Analysis* (SFA) é um método de calibração de K e α consagrado na indústria mineral. Visando comparar este método com o teste de heterogeneidade padrão de Pierre Gy, foi preciso simplificar o SFA: originalmente as 16 frações granulométricas⁵ do SFA foram reduzidas para as mesmas 4 frações do teste de heterogeneidade padrão. Portanto, o método alternativo apresentado neste trabalho foi chamado de SSFA, isto é, método simplificado ou *Simplified Segregation Free Analysis*. Tanto o SSFA quanto o TH são métodos indiretos de estimativa do IHL . Para efeito de simplificação do texto, o teste de heterogeneidade padrão de Gy será aqui chamado apenas de “teste de heterogeneidade” ou TH.

O SSFA consiste no procedimento experimental de 5 etapas de divisão de cada fração granulométrica, até que sejam geradas 32 subamostras. Um dos divisores Jones utilizados nesta divisão é apresentado na Figura 21.

Figura 21: Divisor Jones usado na divisão do material particulado



Fonte: Arquivo da autora.

⁵ As 16 frações granulométricas do SFA são indicadas na Tabela 2 apresentada anteriormente.

O método simplificado SSFA exige os mesmos equipamentos e procedimentos de preparação da amostra de minério apontados no item 4.1, somados aos divisores Jones com diferentes aberturas para se adequar às diferentes frações granulométricas.

O SSFA foi realizado com os mesmos dez tipos de minério presentes na Tabela 5 apresentada anteriormente, visando à comparação com os resultados obtidos pelo teste de heterogeneidade.

No SSFA, foram utilizadas as mesmas frações de peneiramento que aquelas utilizadas no teste de heterogeneidade para efeito de comparação de resultados, conforme Tabela 8 (mesmas frações da Tabela 6).

Tabela 8: Frações de peneiramento para o SSFA

| Frações | Retido (mm) | Passante (mm) |
|----------------------|--------------------|----------------------|
| Fração Fina | 3,35 | 4,75 |
| Fração Intermediária | 4,75 | 6,35 |
| Fração Grossa | 6,35 | 12,7 |
| Fração Extra Grossa | 12,7 | 25,4 |

Fonte: Elaborado pela autora.

O lote inicial de 500 kg de cada tipo de minério foi peneirado nas frações indicadas na Tabela 6 e na Tabela 8 e, em seguida, a massa de cada fração foi dividida em duas partes iguais, uma para cada teste. Para a realização do SSFA, portanto, foi utilizada a amostra gêmea daquela utilizada para o TH, ou seja, também foi utilizada uma massa de aproximadamente 250 kg (metade da massa do lote inicial) para o SSFA.

O procedimento de divisões por meio do divisor Jones foi realizado para cada uma das frações obtidas do processo de peneiramento. Cada processo de divisão no Jones gera 2 subamostras e, portanto, 5 etapas de divisão no Jones geram 32 subamostras (2, 4, 8, 16, 32) para cada faixa granulométrica, resultando em um total geral de 128 subamostras por teste para determinação de massa e teor. Em seguida, foram calculadas as constantes de amostragem (K e α) para a calibração da Equação (4.3).

O mesmo procedimento do método SSFA foi adotado para cada um dos dez minérios estudados. O item a seguir tem como objetivo detalhar os procedimentos experimentais do SSFA usando como exemplo um dos minérios estudados, o Itabirito 1, visando a um maior entendimento do método.

4.2.1 SSFA: Itabirito 1

No SSFA, utilizou-se uma amostra 250 kg (metade da massa inicial de minério). Esta amostra foi submetida a peneiramento em malhas com abertura: 25,4 mm, 12,7 mm, 6,35 mm, 4,75 mm e 3,35 mm. As frações usadas no teste foram apresentadas na Tabela 8.

4.2.1.1 Fração fina: $-4,75+3,35$ mm

A fração fina do minério Itabirito 1 foi dividida no divisor Jones da Figura 21 apresentada anteriormente. Após cada divisão, o material particulado foi disposto sequencialmente em bandejas conforme Figura 22, Figura 23 e Figura 24.

Figura 22: Fração fina - primeira divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 23: Fração fina - segunda divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 24: Fração fina - terceira divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

A divisão foi feita mais duas vezes, até a obtenção de 32 subamostras de massas aproximadamente iguais.

4.2.1.2 Fração intermediária: -6,35+4,75 cm

O mesmo procedimento adotado para a fração fina foi adotado para a fração intermediária do minério Itabirito 1, conforme figuras a seguir.

Figura 25: Fração intermediária - primeira divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 26: Fração intermediária - segunda divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 27: Fração intermediária - terceira divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

A divisão foi feita mais duas vezes, até a obtenção de 32 subamostras de massas aproximadamente iguais da fração intermediária.

4.2.1.3 Fração grossa: $-12,7+6,35$ cm

A fração grossa do minério Itabirito 1 foi dividida em outro divisor Jones (Figura 28), com maior abertura, adequado ao tamanho das partículas desta fração. Após cada divisão, o material particulado foi disposto sequencialmente em bandejas conforme Figura 29, Figura 30 e Figura 31.

Figura 28: Divisor Jones usado na divisão binária – fração grossa



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 29: Fração grossa - primeira divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 30: Fração grossa - segunda divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 31: Fração grossa - terceira divisão binária



Fonte: Arquivo da autora.

A divisão binária foi feita mais duas vezes, até a obtenção de 32 amostras de massas aproximadamente iguais da fração grossa.

4.2.1.4 Fração extra grossa: -25,4+12,7 cm

As divisões da fração extra grossa foram realizadas a partir de pilhas alongadas (Figura 32), visto que o laboratório não dispunha de divisores Jones com abertura adequada à divisão desta fração granulométrica.

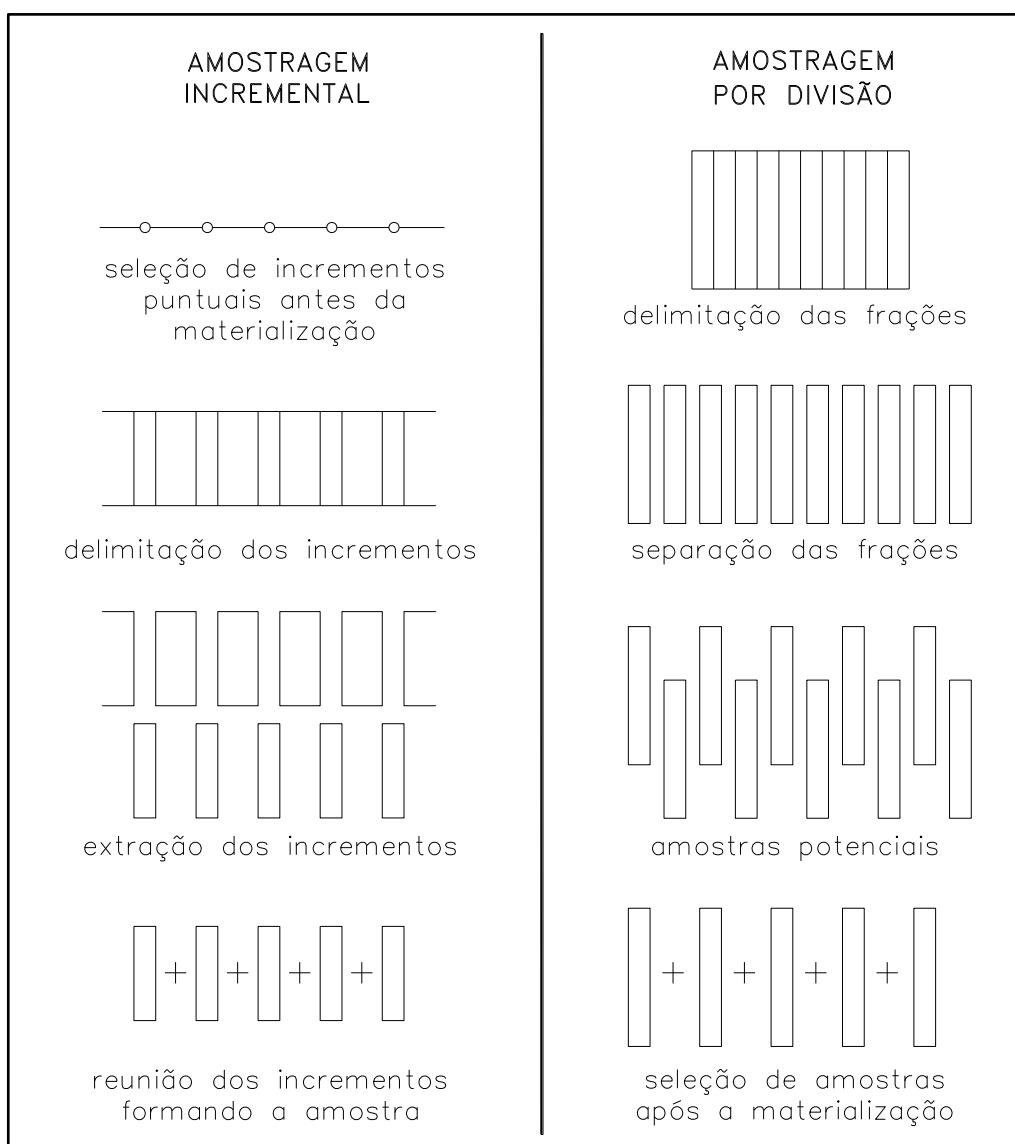
Figura 32: Fração extra grossa – construção de pilha alongada para a divisão do material



Fonte: Arquivo da autora.

A diferença entre a amostragem por pilha alongada e a amostragem por divisor Jones é que a primeira é considerada amostragem incremental e a segunda amostragem por divisão (Figura 33).

Figura 33: Amostragem incremental x amostragem por divisão

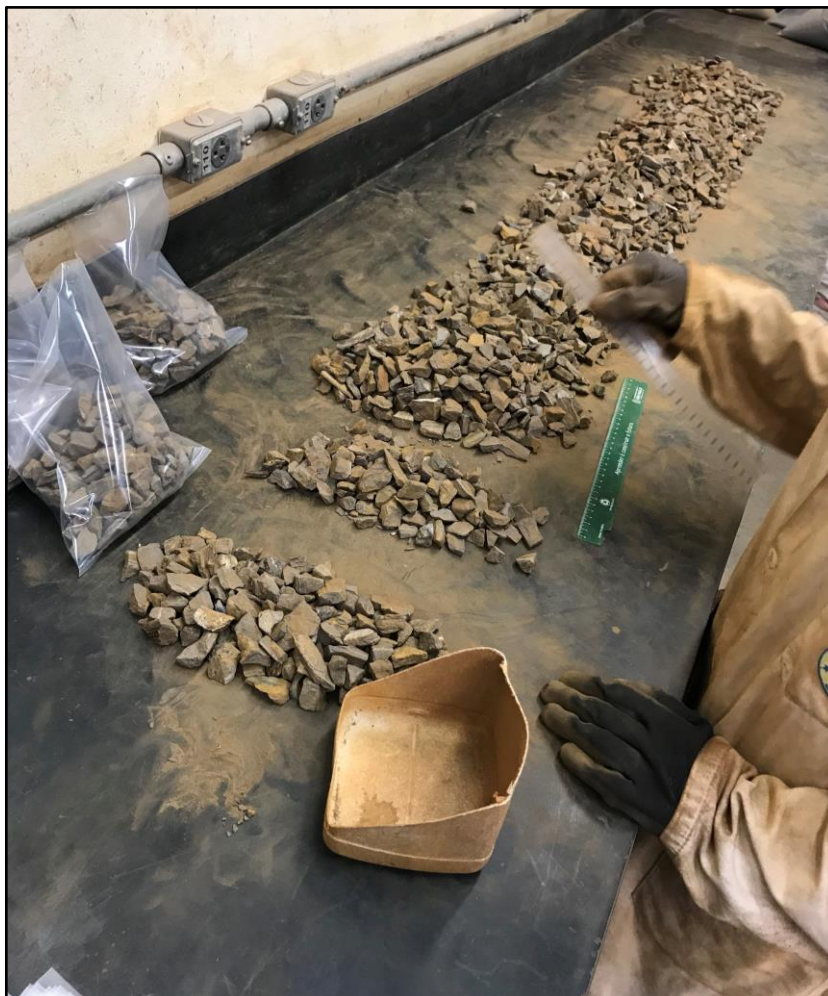


Fonte: Chieregati e Pitard (2012).

Teoricamente, pilhas alongadas apresentam distribuições de teor e granulometria suficientemente homogêneas ao longo de seu comprimento. Por isto, pode ser fatiada no sentido perpendicular ao seu eixo, resultando em amostras de composições estatisticamente iguais.

Assim, a partir da amostragem da pilha alongada (Figura 34), foram obtidas as 32 subamostras para o SSFA.

Figura 34: Divisão da pilha alongada para a obtenção das 32 subamostras



Fonte: Arquivo da autora.

Foram geradas, ao final do procedimento experimental, para cada tipo de minério, 32 subamostras de massas aproximadamente iguais de cada uma das frações granulométricas, quais sejam: fração fina; fração intermediária; fração grossa e fração extra grossa. As massas médias das subamostras de cada fração granulométrica são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Massas médias e número de subamostras de cada fração granulométrica

| Frações | Retido (mm) | Passante (mm) | Número de subamostras geradas de cada tipo de minério | Massa média das subamostras por fração (g) |
|----------------------|--------------------|----------------------|--|---|
| Fração Fina | 3,35 | 4,75 | 32 | 416,2 |
| Fração Intermediária | 4,75 | 6,35 | 32 | 501,4 |
| Fração Grossa | 6,35 | 12,7 | 32 | 984,9 |
| Fração Extra Grossa | 12,7 | 25,4 | 32 | 928,5 |

Fonte: Elaborado pela autora.

5 RESULTADOS

No presente estudo, compararam-se os resultados de 16 elementos, metais, minerais de minério e algumas impurezas dos dois testes avaliados. A listagem completa dos elementos e o método de análise química correspondente, utilizado para cada um desses elementos, é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Elementos, metais e minerais analisados para validação do método

| Mina | Tipo de Minério | Elemento/Metal/Mineral | Método de análise química |
|-------------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Mina 1 | Itabirito 1 | Fe (%) | XRF com pastilha fundida |
| Mina 1 | Itabirito 1 | SiO ₂ (%) | XRF com pastilha fundida |
| Mina 1 | Itabirito 2 | Fe (%) | XRF com pastilha fundida |
| Mina 1 | Itabirito 2 | SiO ₂ (%) | XRF com pastilha fundida |
| Mina 2 | Bauxita | Fe ₂ O ₃ (%) | XRF |
| Mina 2 | Bauxita | SiO ₂ (%) * | Absorção atômica e XRF |
| Mina 2 | Bauxita | Al ₂ O ₃ (%) ** | Gravimetria e XRF |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Pb (%) | XRF |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Cu (%) | XRF |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Zn (%) | XRF |
| Mina 4 | Minério de cobre | Cu (%) | XRF |
| Mina 5 | Minério de nióbio | Nb ₂ O ₅ (%) | XRF com pastilha fundida |
| Mina 6 | Ouro baixo teor | Au (g/t) | <i>Fire assay</i> |
| Mina 7 | Ouro baixo teor | Au (g/t) | <i>Fire assay</i> |
| Mina 8 | Ouro alto teor | Au (g/t) | <i>Fire assay</i> |
| Mina 9 | Ouro alto teor | Au (g/t) | <i>Fire assay</i> |

XRF: Espectrometria de fluorescência de raios X;

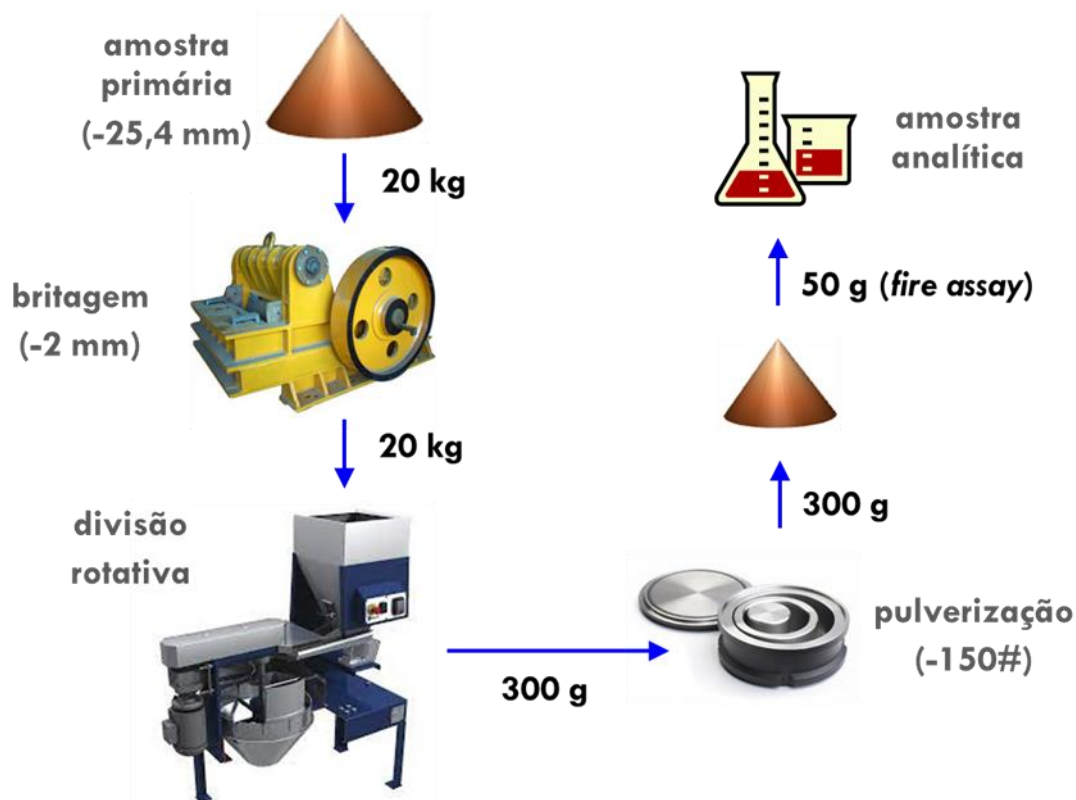
* Sílica reativa. ** Alumina aproveitável.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Mina 1 e na Mina 5, utilizou-se como método de análise química a espectrometria de fluorescência de raios X (XRF) com pastilha fundida. Na Mina 2, utilizou-se gravimetria e XRF na determinação da alumina aproveitável, absorção atômica e XRF na análise da sílica reativa e XRF nas demais análises. Na Mina 3 e Mina 4, os elementos foram analisados por meio do XRF. Por fim, na Mina 6, Mina 7, Mina 8 e Mina 9, a análise química foi realizada por meio do ensaio padrão para determinação de teor de ouro, o *fire assay*. Os resultados das análises químicas obtidos no teste de heterogeneidade (TH) e no SSFA estão contidos nos Apêndices ao final deste trabalho.

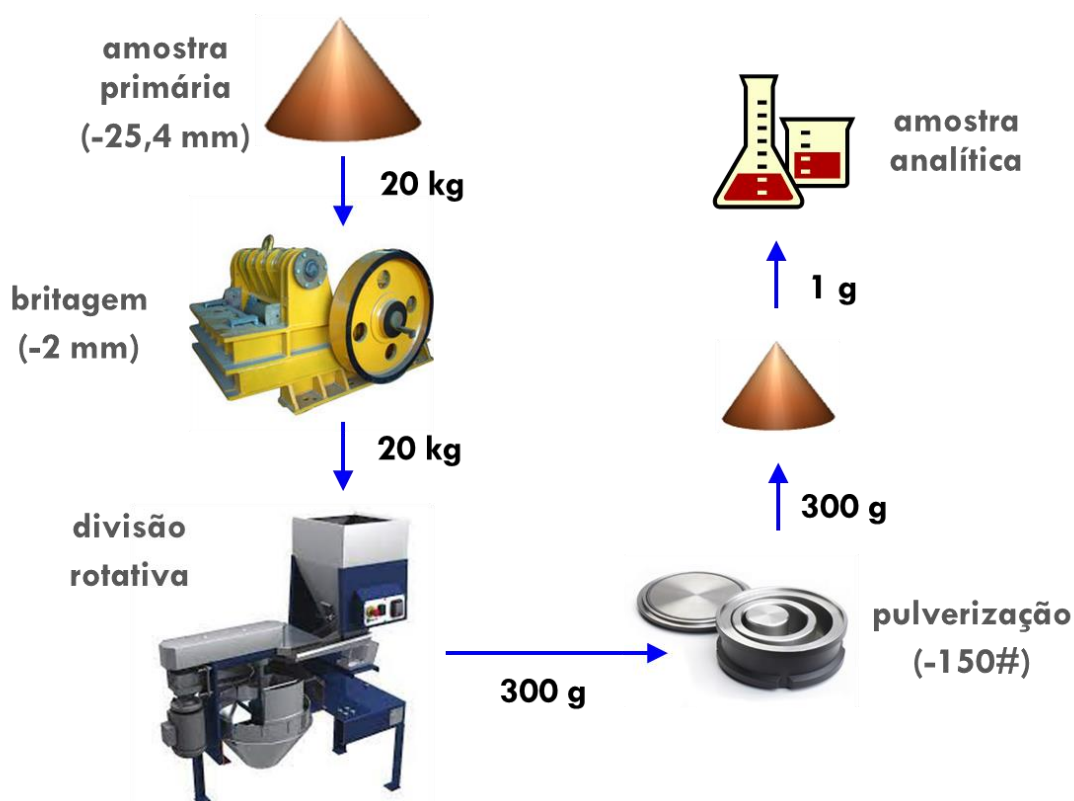
Para efeito de comparação dos resultados, os valores do IHL e do desvio padrão relativo do erro fundamental de amostragem S_{FSE} de cada elemento ou mineral analisado serão apresentados na forma de um protocolo de amostragem padrão. Para os minérios de ouro, a massa da amostra analítica para o ensaio de *fire assay* foi definida como 50 g, conforme protocolo de amostragem ilustrado na Figura 35, e para os demais minérios, a massa foi de 1 g, conforme protocolo ilustrado na Figura 36.

Figura 35: Protocolo de amostragem padrão para os minérios de ouro



Fonte: Imagem cedida pela Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Chierigati.

Figura 36: Protocolo de amostragem padrão para os demais minérios



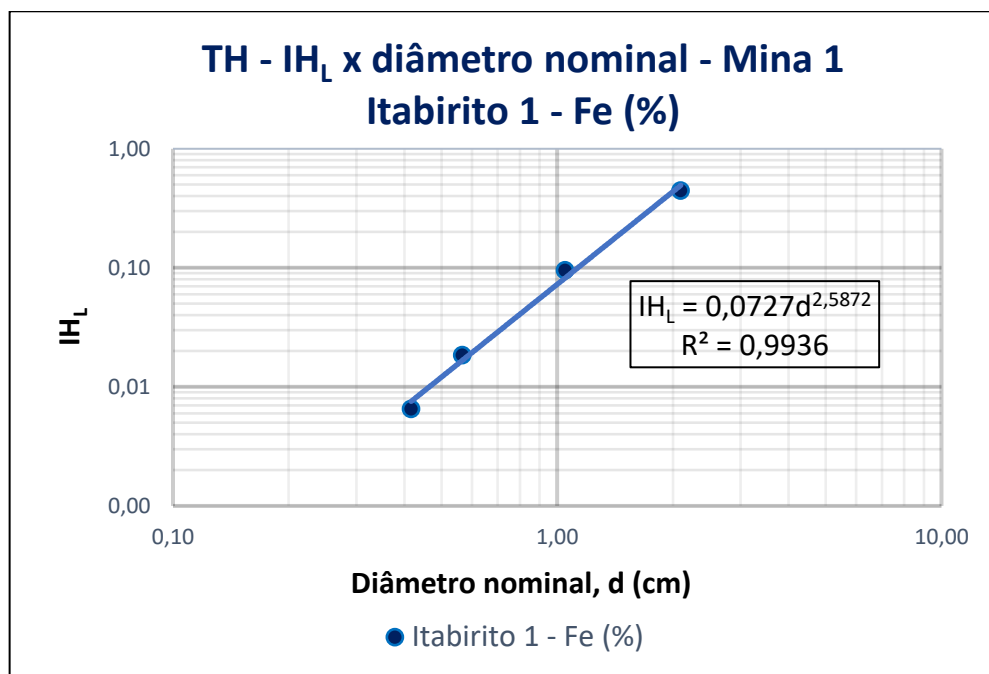
Fonte: Imagem cedida pela Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Chierigati.

5.1 RESULTADOS DO TESTE DE HETEROGENEIDADE (TH)

Os resultados de calibração das constantes de amostragem K e α , obtidos a partir dos testes de heterogeneidade e conforme Equação (4.3), são apresentados nos gráficos a seguir, classificados por tipo de minério e elemento analisado. Além disso, são apresentados os protocolos de amostragem padrão para cada um dos elementos ou minerais analisados.

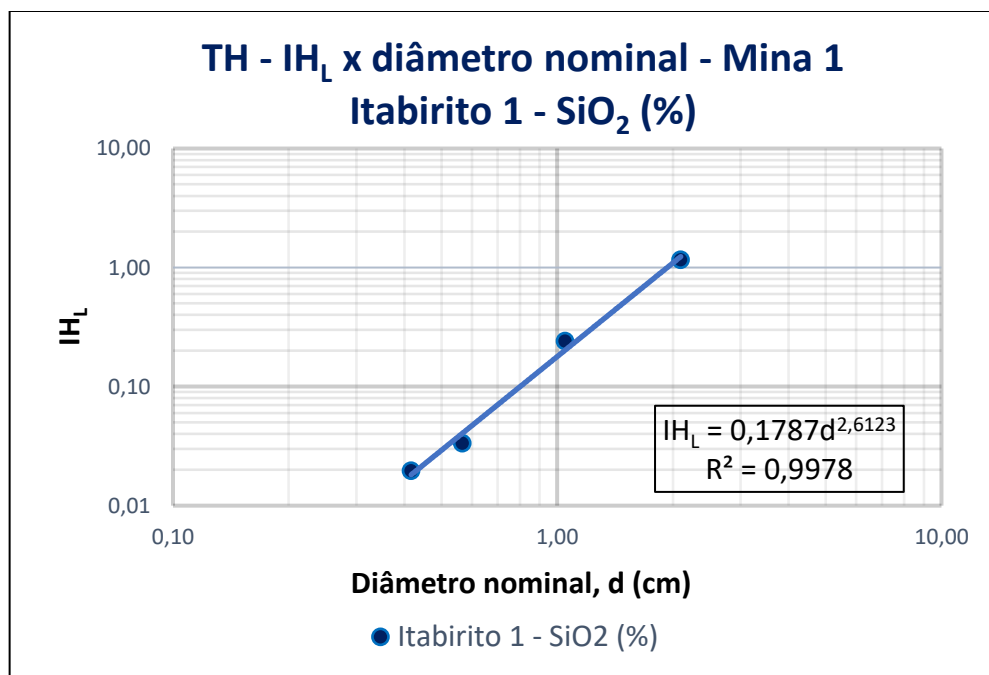
5.1.1 Mina 1 - Itabirito 1

Figura 37: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 38: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO_2 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 0,8 | 0,000041 | 0,64% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000004 | 0,19% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000001 | 0,07% |
| TOTAL | | | | | 0,000045 | 0,67% |

Fonte: Elaborado pela autora.

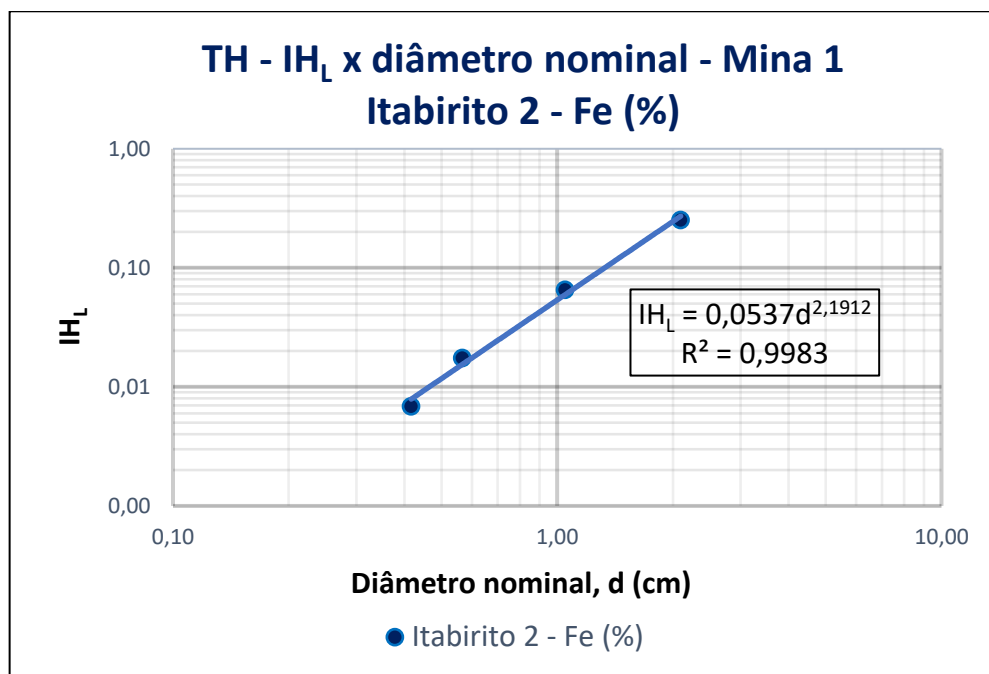
Tabela 12: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO₂ (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 2,0 | 0,000102 | 1,01% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000009 | 0,30% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000001 | 0,11% |
| TOTAL | | | | | 0,000112 | 1,06% |

Fonte: Elaborado pela autora.

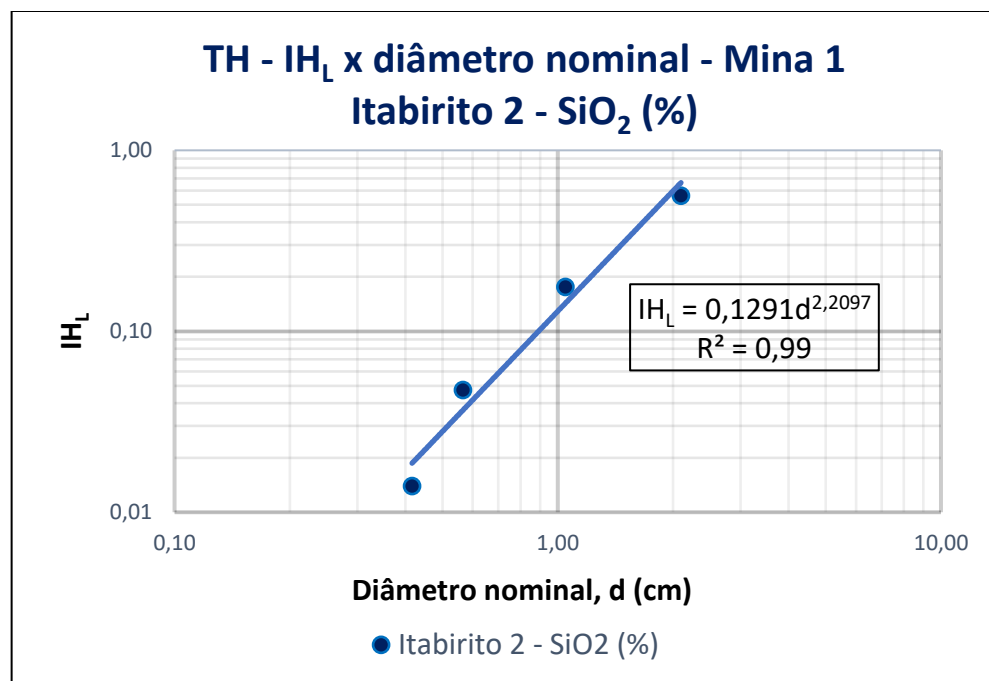
5.1.2 Mina 1 - Itabirito 2

Figura 39: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 40: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO_2 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 0,4 | 0,000021 | 0,45% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000005 | 0,23% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000002 | 0,16% |
| TOTAL | | | | | 0,000028 | 0,53% |

Fonte: Elaborado pela autora.

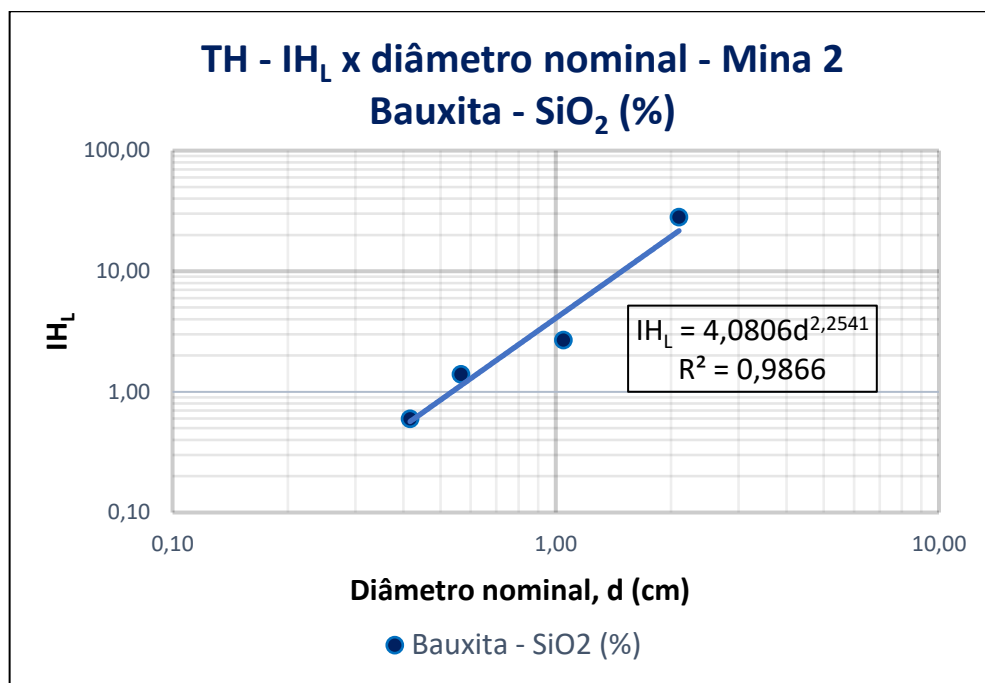
Tabela 14: TH - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO₂ (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 1,0 | 0,000051 | 0,71% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000012 | 0,35% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000005 | 0,23% |
| TOTAL | | | | | 0,000068 | 0,83% |

Fonte: Elaborado pela autora.

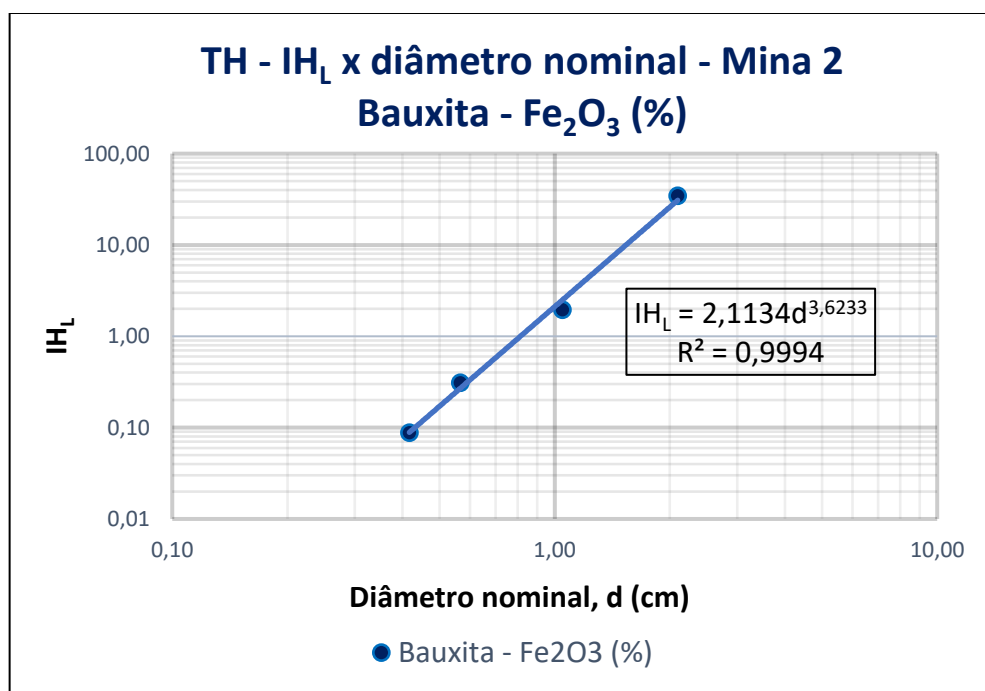
5.1.3 Mina 2 - Bauxita

Figura 41: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – SiO_2 (%)

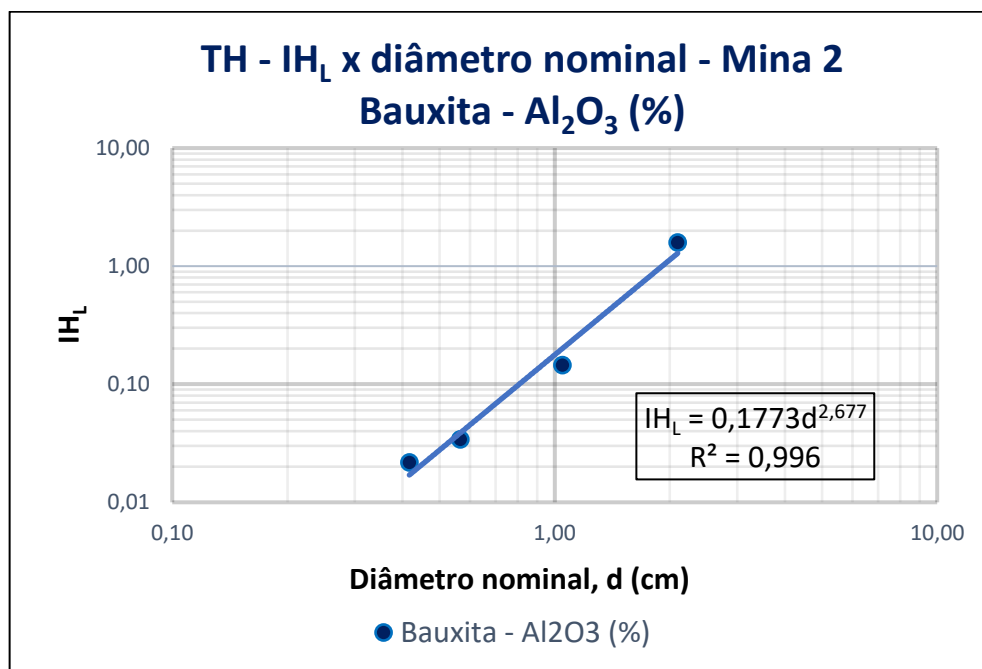


Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Fe_2O_3 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43: TH - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Al_2O_3 (%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15: TH - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – SiO_2 (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_S (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 33,4 | 0,001668 | 4,08% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,1 | 0,000356 | 1,89% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000141 | 1,19% |
| TOTAL | | | | | 0,002165 | 4,65% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16: TH - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Fe_2O_3 (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_S (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 61,9 | 0,003096 | 5,56% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000020 | 0,45% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,04% |
| TOTAL | | | | | 0,003116 | 5,58% |

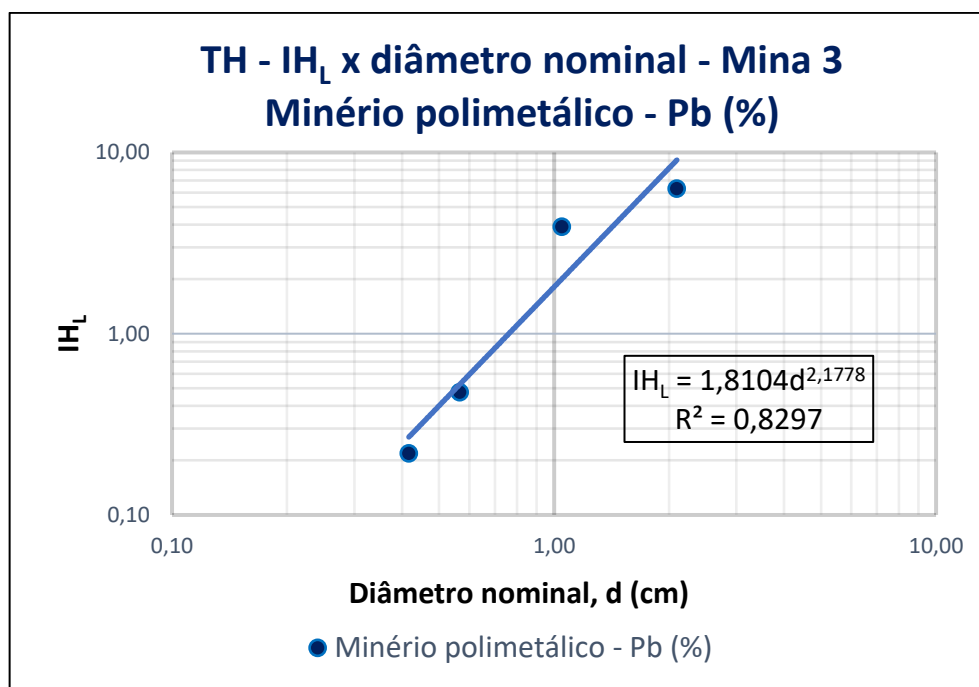
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 17: TH - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Al₂O₃ (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE} rel) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|--------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 2,1 | 0,000107 | 1,04% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000008 | 0,28% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000001 | 0,09% |
| TOTAL | | | | | 0,000116 | 1,08% |

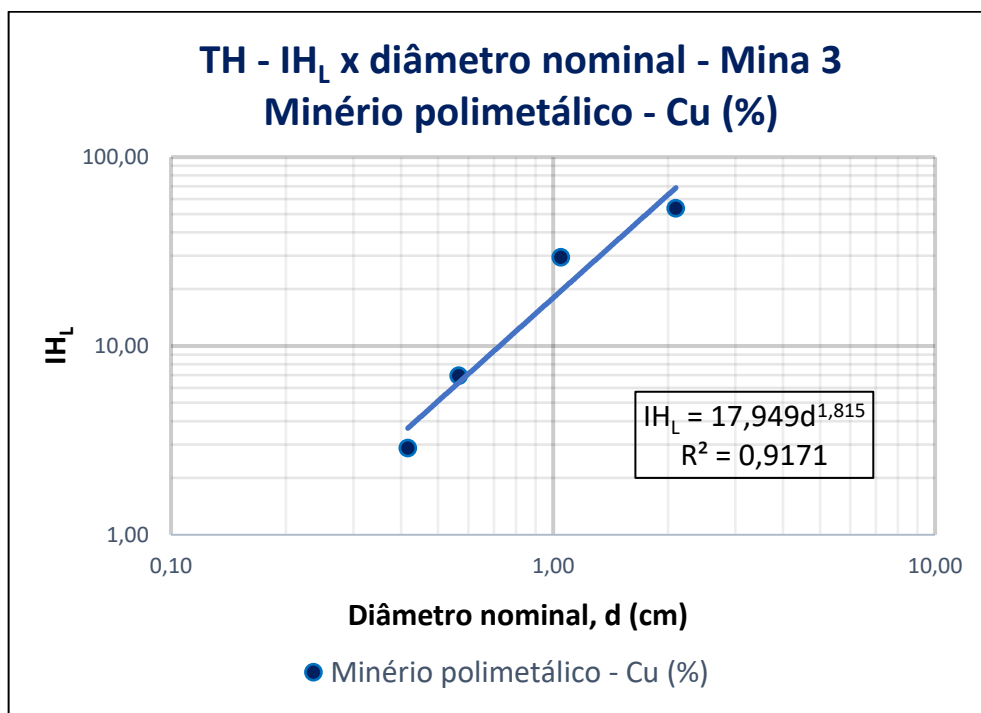
Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.4 Mina 3 - Minério Polimetálico

Figura 44: TH - IH_L vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%)

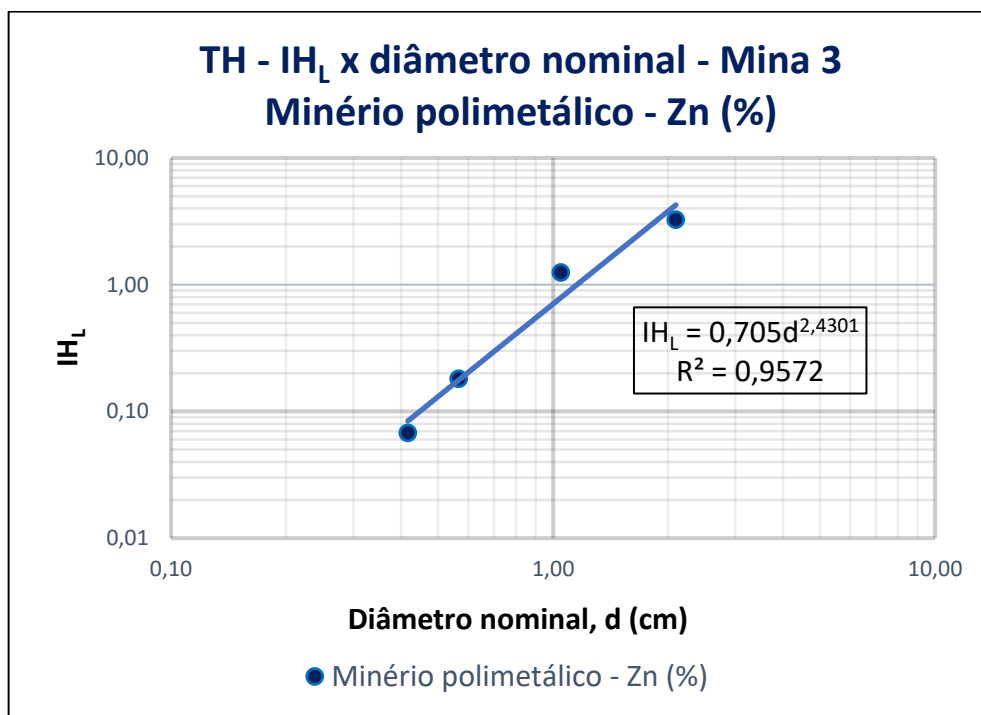
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 46: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18: TH - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 13,8 | 0,000689 | 2,63% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,1 | 0,000179 | 1,34% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000088 | 0,94% |
| TOTAL | | | | | 0,000956 | 3,09% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 19: TH - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 97,5 | 0,004873 | 6,98% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 1,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 1,0 | 0,003175 | 5,63% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,005 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,005 | 0,004582 | 6,77% |
| TOTAL | | | | | 0,012630 | 11,24% |

Fonte: Elaborado pela autora.

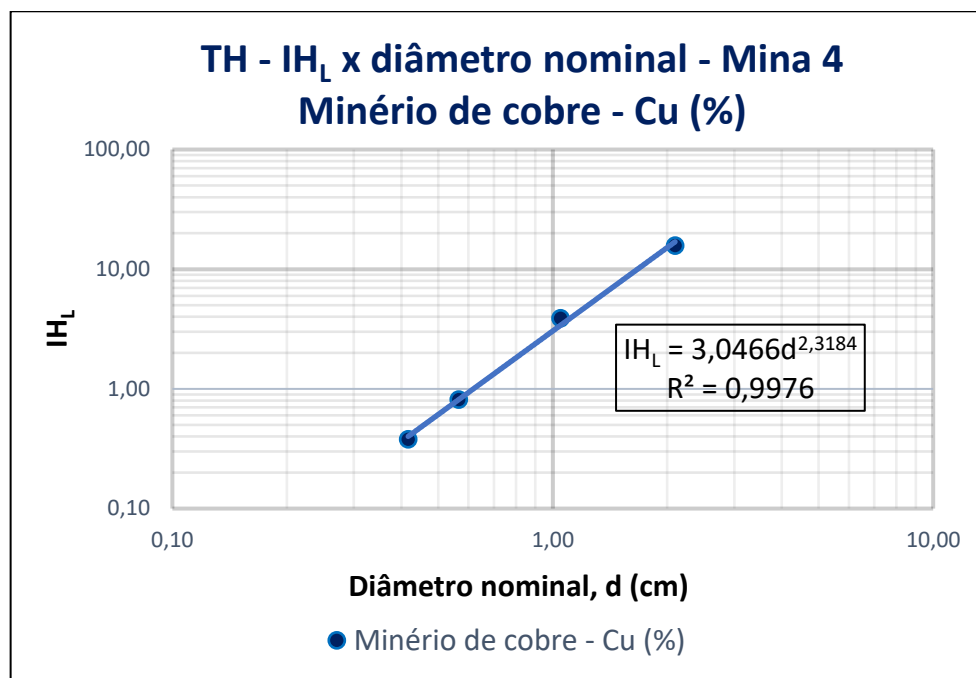
Tabela 20: TH - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 6,8 | 0,000340 | 1,84% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000046 | 0,68% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000011 | 0,33% |
| TOTAL | | | | | 0,000397 | 1,99% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.5 Mina 4 – Minério de Cobre

Figura 47: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

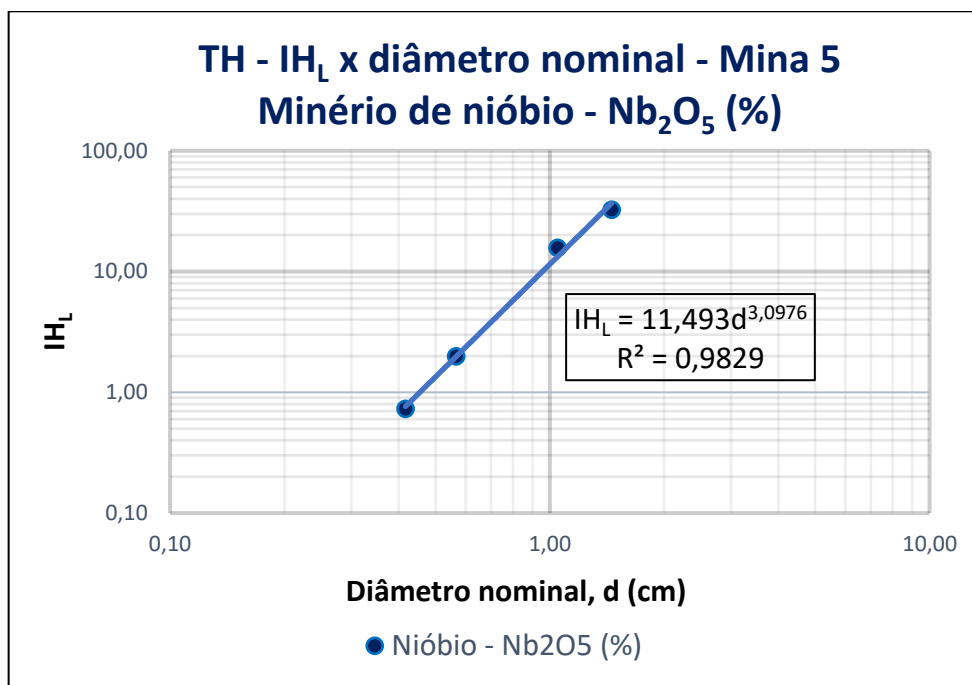
Tabela 21: TH - Protocolo de amostragem – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{H_L} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 26,4 | 0,001322 | 3,64% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,1 | 0,000240 | 1,55% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000078 | 0,89% |
| TOTAL | | | | | 0,001640 | 4,05% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.6 Mina 5 – Minério de Nióbio

Figura 48: TH - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb_2O_5 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

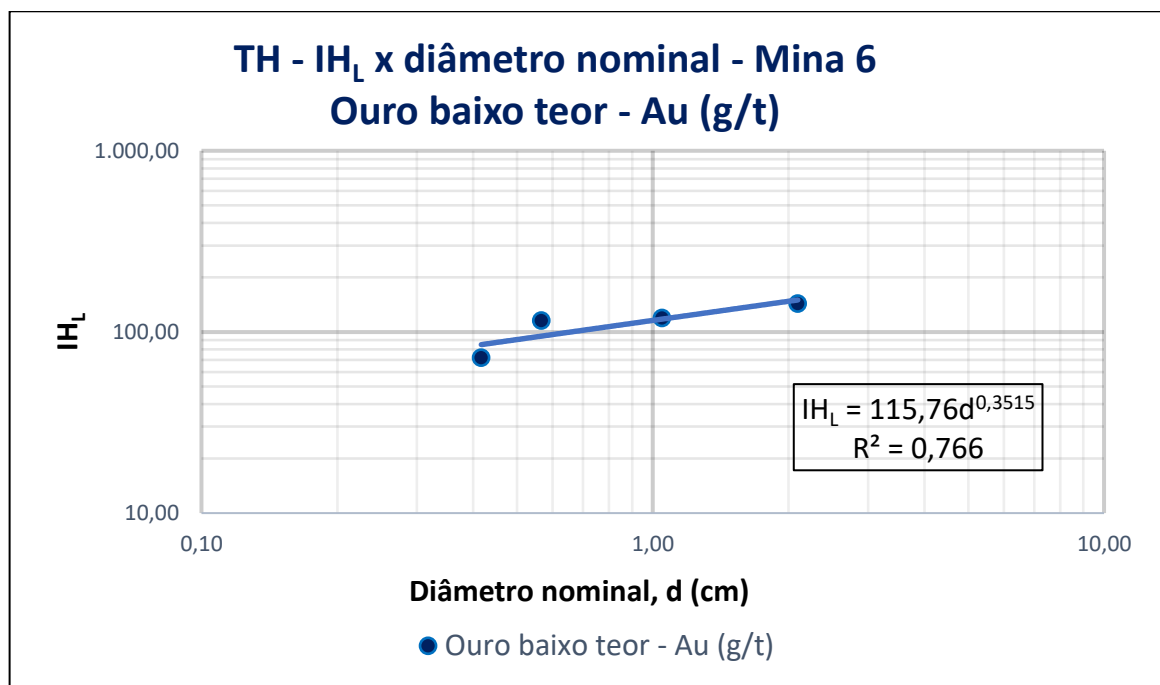
Tabela 22: TH - Protocolo de amostragem – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb_2O_5 (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 206,3 | 0,010313 | 10,16% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,1 | 0,000258 | 1,61% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000009 | 0,29% |
| TOTAL | | | | | 0,010580 | 10,29% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.7 Mina 6 – Ouro baixo teor

Figura 49: TH - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

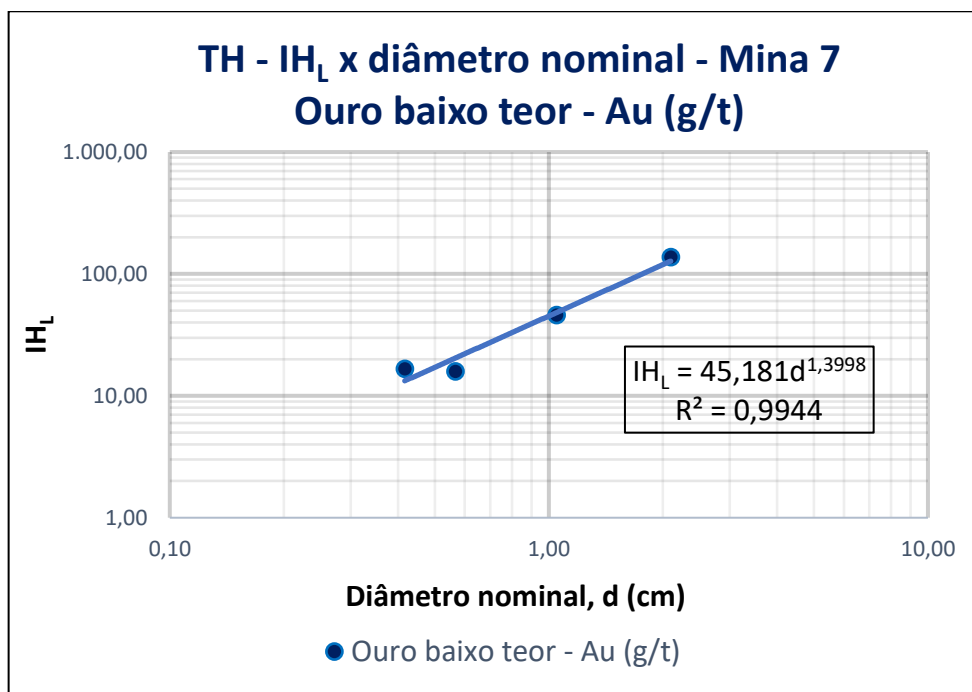
Tabela 23: TH - Protocolo de amostragem – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 160,6 | 0,008032 | 8,96% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 65,7 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 65,7 | 0,215878 | 46,46% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 23,337 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 23,337 | 0,388944 | 62,37% |
| TOTAL | | | | | 0,612855 | 78,29% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.8 Mina 7 - Ouro baixo teor

Figura 50: TH - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

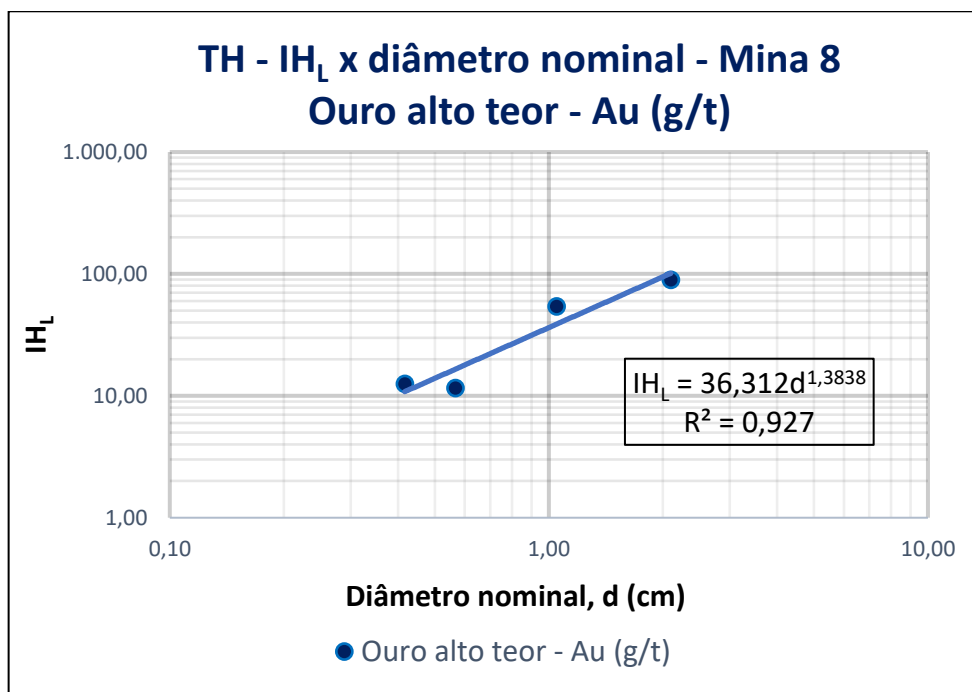
Tabela 24: TH - Protocolo de amostragem – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{H_L} (g) | Var. Rel. (S_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($S_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 166,6 | 0,008329 | 9,13% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 4,7 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 4,7 | 0,015591 | 12,49% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,077 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 0,077 | 0,001279 | 3,58% |
| TOTAL | | | | | 0,025199 | 15,87% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.9 Mina 8 - Ouro alto teor

Figura 51: TH - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

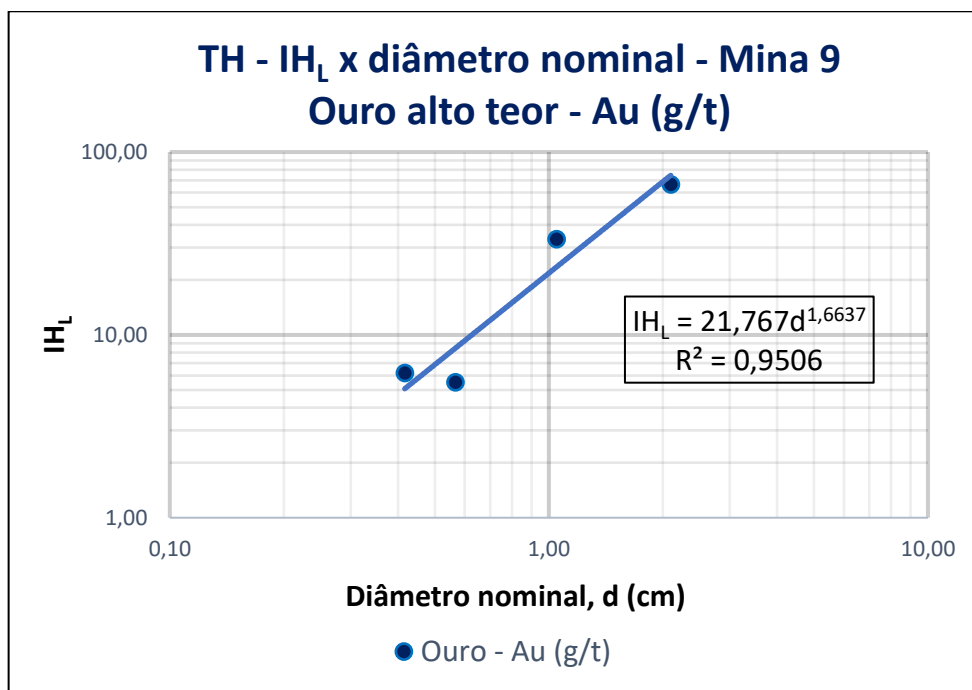
Tabela 25: TH - Protocolo de amostragem – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Dev. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 131,9 | 0,006595 | 8,12% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 3,9 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 3,9 | 0,012856 | 11,34% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,066 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 0,066 | 0,001105 | 3,32% |
| TOTAL | | | | | 0,020556 | 14,34% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.1.10 Mina 9 – Ouro alto teor

Figura 52: TH - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 26: TH - Protocolo de amostragem – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t)

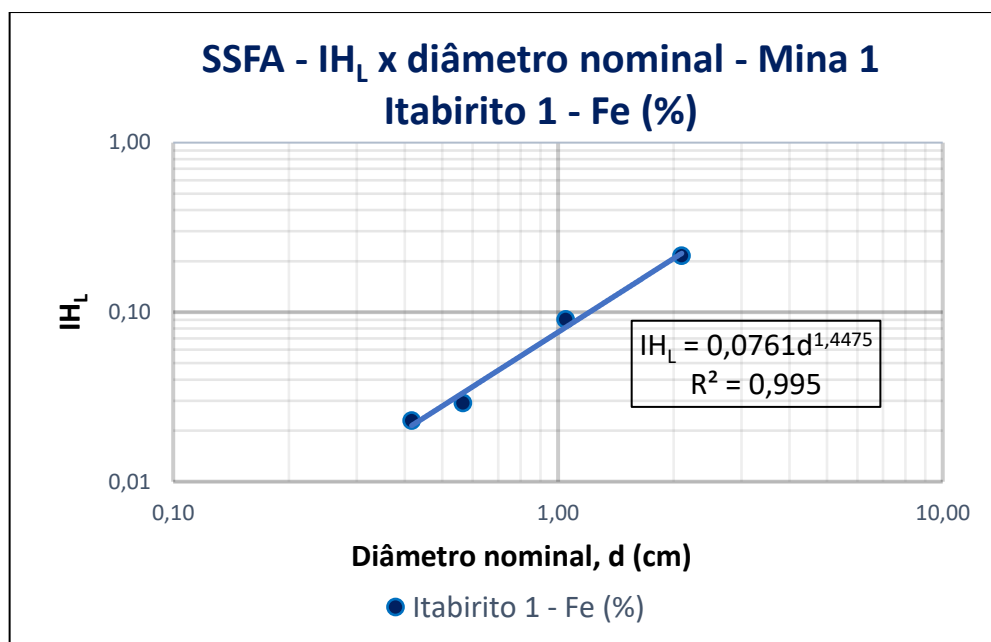
| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Dev. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 102,6 | 0,005132 | 7,16% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 1,5 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 1,5 | 0,004912 | 7,01% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,011 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 0,011 | 0,000185 | 1,36% |
| TOTAL | | | | | 0,010229 | 10,11% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 RESULTADOS DO MÉTODO SIMPLIFICADO *SIMPLIFIED SEGREGATION FREE ANALYSIS* (SSFA)

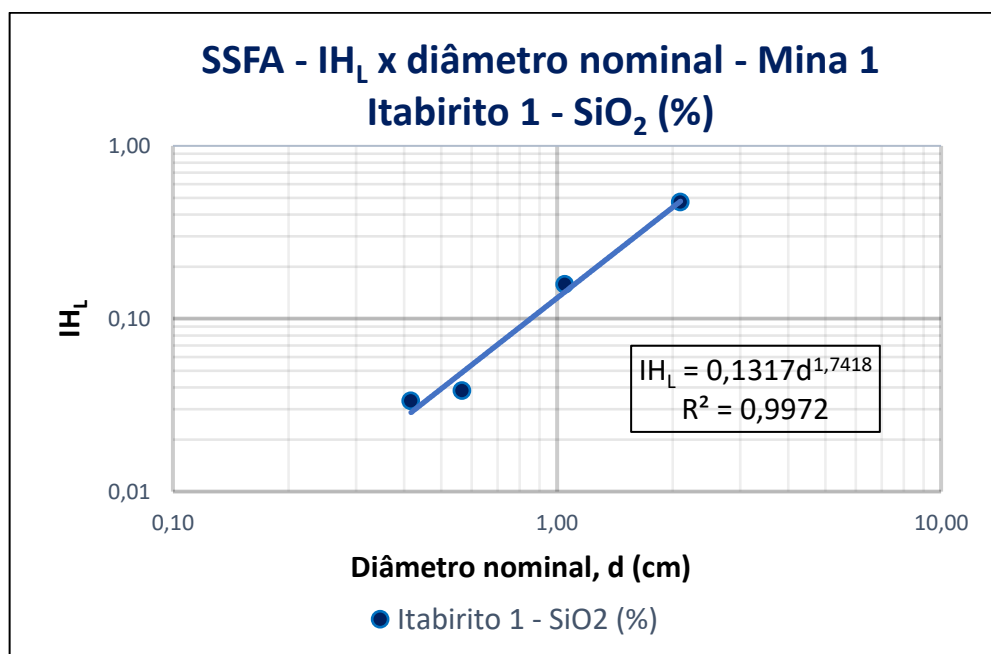
5.2.1 Mina 1 - Itabirito 1

Figura 53: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 54: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO_2 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 27: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 0,3 | 0,000015 | 0,38% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000024 | 0,49% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000104 | 1,02% |
| TOTAL | | | | | 0,000143 | 1,19% |

Fonte: Elaborado pela autora.

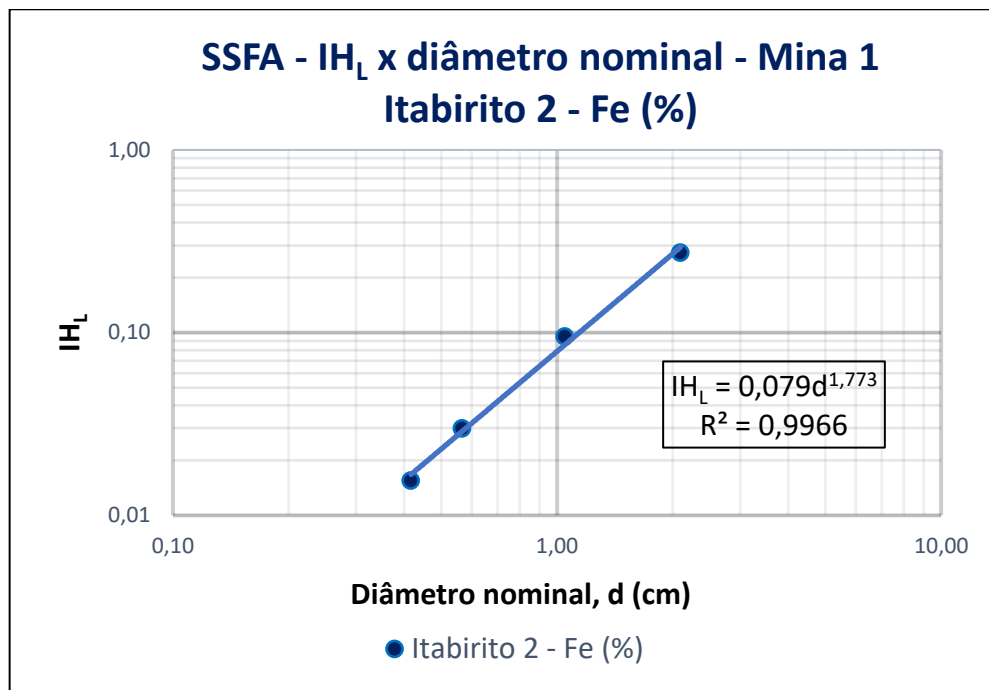
Tabela 28: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 1 – SiO₂ (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 0,7 | 0,000033 | 0,58% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000026 | 0,51% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000047 | 0,69% |
| TOTAL | | | | | 0,000107 | 1,03% |

Fonte: Elaborado pela autora.

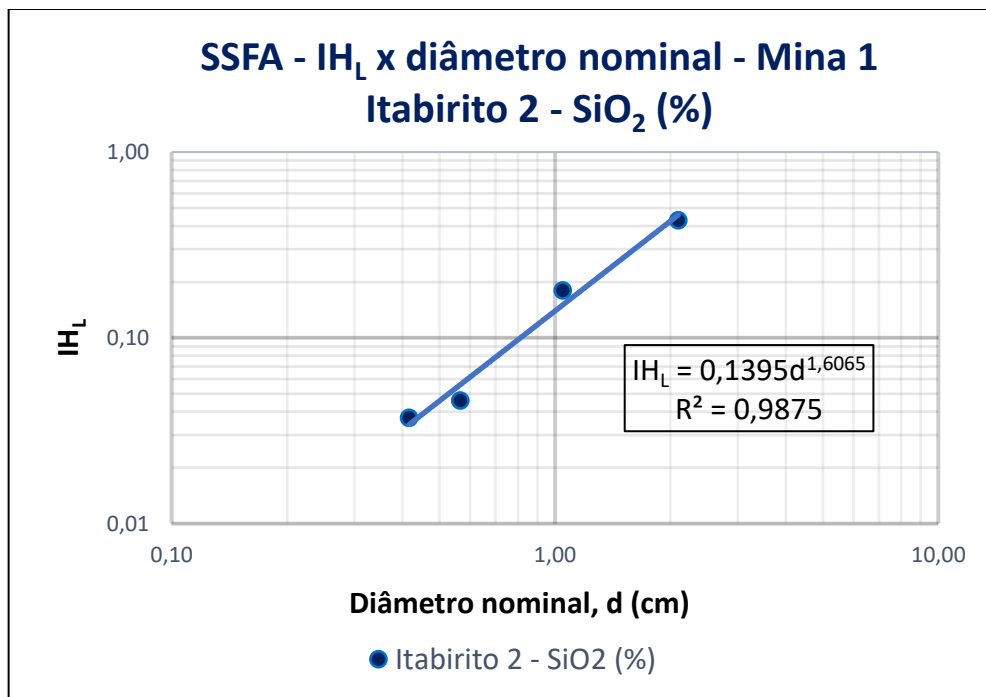
5.2.2 Mina 1 - Itabirito 2

Figura 55: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 56: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO_2 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 29: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – Fe (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 0,4 | 0,000021 | 0,45% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000015 | 0,39% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000024 | 0,49% |
| TOTAL | | | | | 0,000060 | 0,77% |

Fonte: Elaborado pela autora.

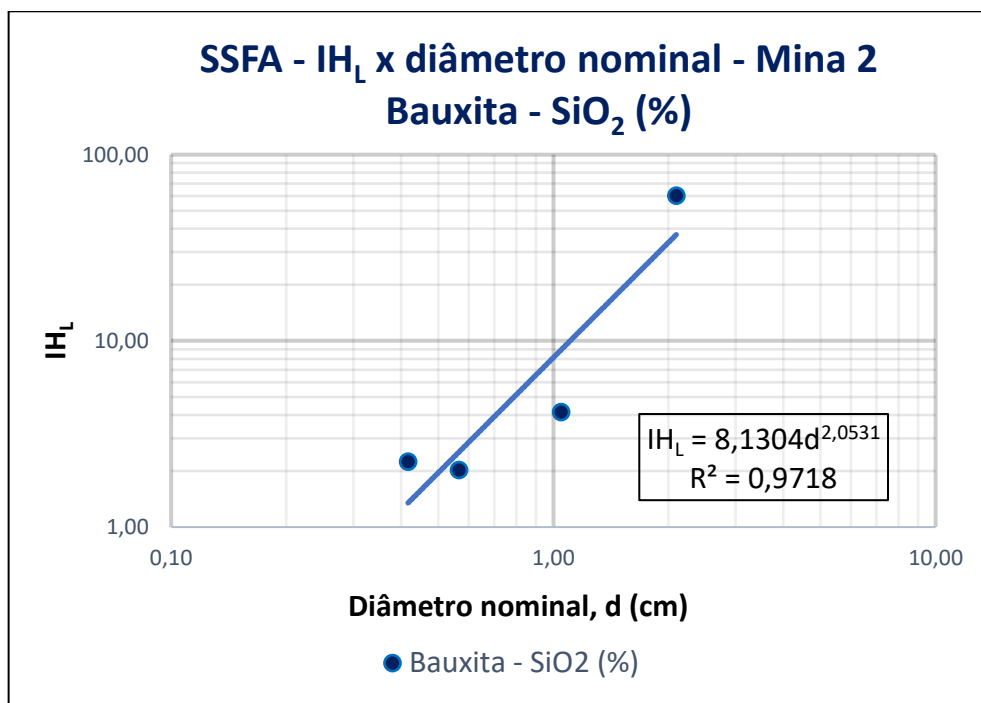
Tabela 30: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO₂ (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 0,6 | 0,000031 | 0,56% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000035 | 0,59% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000092 | 0,96% |
| TOTAL | | | | | 0,000158 | 1,26% |

Fonte: Elaborado pela autora.

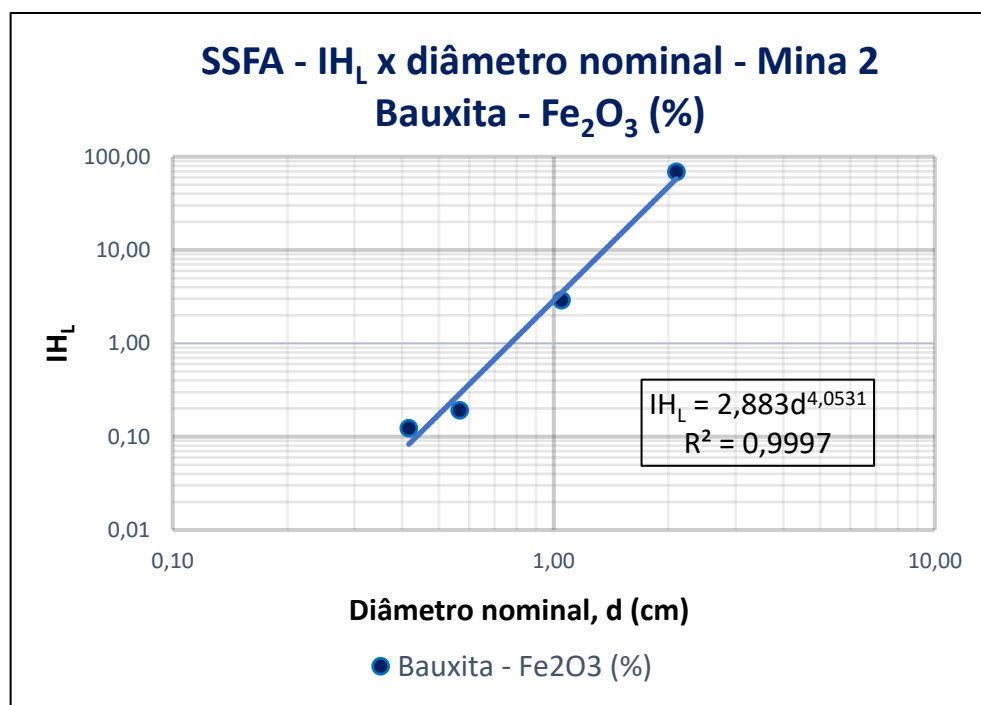
5.2.3 Mina 2 – Bauxita

Figura 57: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – SiO_2 (%)

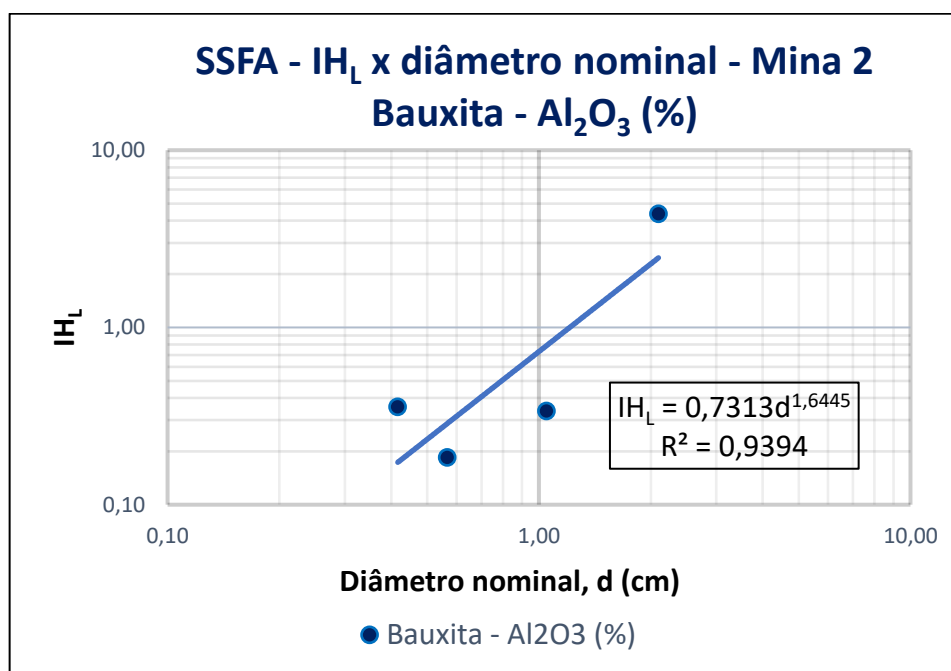


Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 58: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Fe_2O_3 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 59: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 2 – Bauxita – Al_2O_3 (%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 31: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – SiO_2 (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_S (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 55,1 | 0,002756 | 5,25% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,3 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,3 | 0,000980 | 3,13% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,001 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,001 | 0,000701 | 2,65% |
| TOTAL | | | | | 0,004437 | 6,66% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 32: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Fe_2O_3 (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_S (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 126,1 | 0,006304 | 7,94% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,0 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,0 | 0,000014 | 0,37% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,02% |
| TOTAL | | | | | 0,006318 | 7,95% |

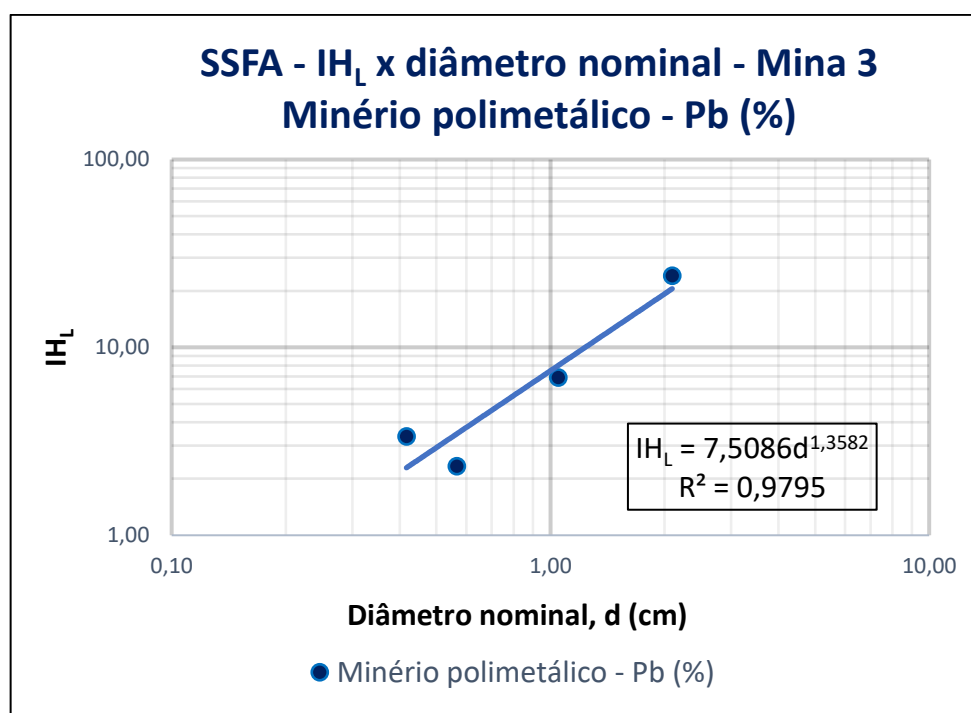
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 33: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 2 – Bauxita – Al₂O₃ (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _s (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE} rel) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|--------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 3,4 | 0,000169 | 1,30% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,1 | 0,000170 | 1,30% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,000 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,000 | 0,000406 | 2,01% |
| TOTAL | | | | | 0,000745 | 2,73% |

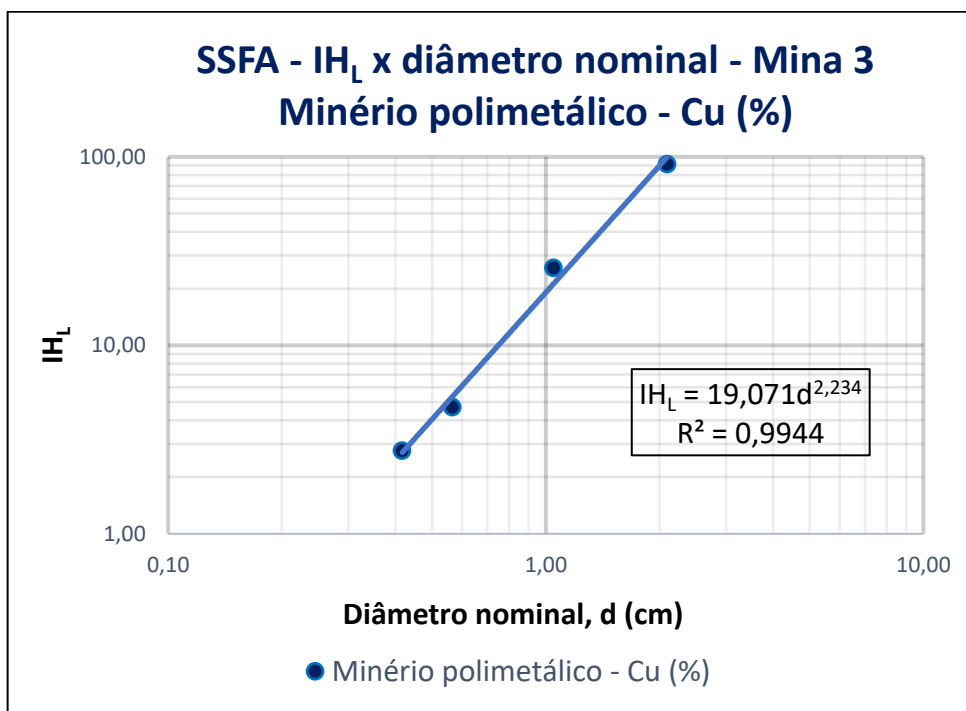
Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.4 Mina 3 – Minério Polimetálico

Figura 60: SSFA - IH_L vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%)

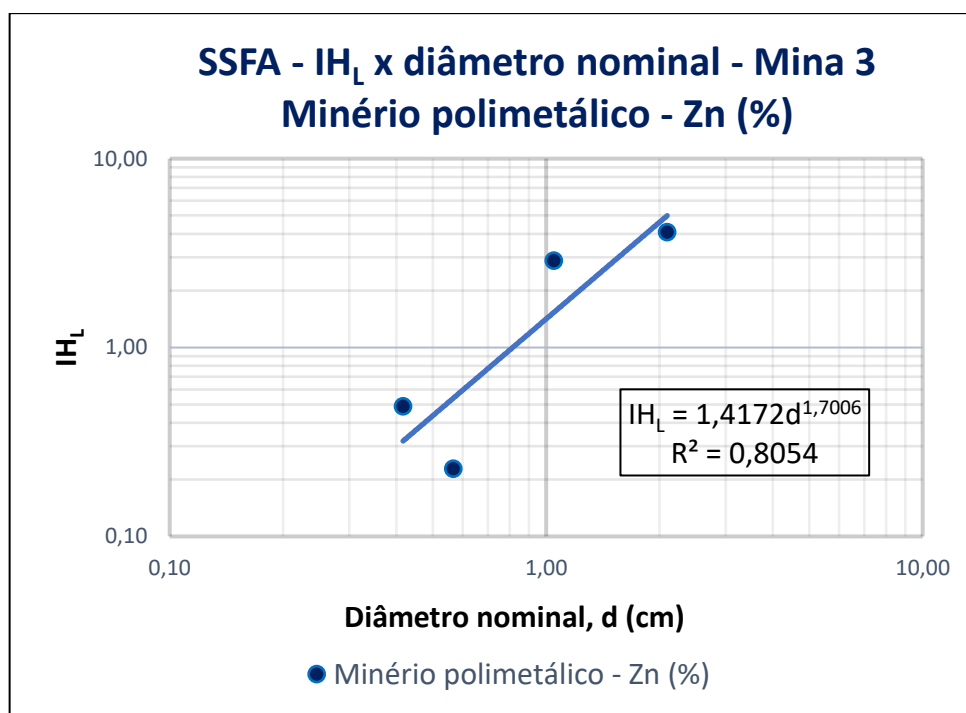
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 61: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 62: SSFA - I_{H_L} vs. diâmetro nominal – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 34: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _S (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 26,6 | 0,001332 | 3,65% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,8 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,8 | 0,002770 | 5,26% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,015 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,015 | 0,015365 | 12,40% |
| TOTAL | | | | | 0,019467 | 13,95% |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 35: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _S (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 153,0 | 0,007652 | 8,75% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,5 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,5 | 0,001719 | 4,15% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,001 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,001 | 0,000721 | 2,69% |
| TOTAL | | | | | 0,010091 | 10,05% |

Fonte: Elaborado pela autora.

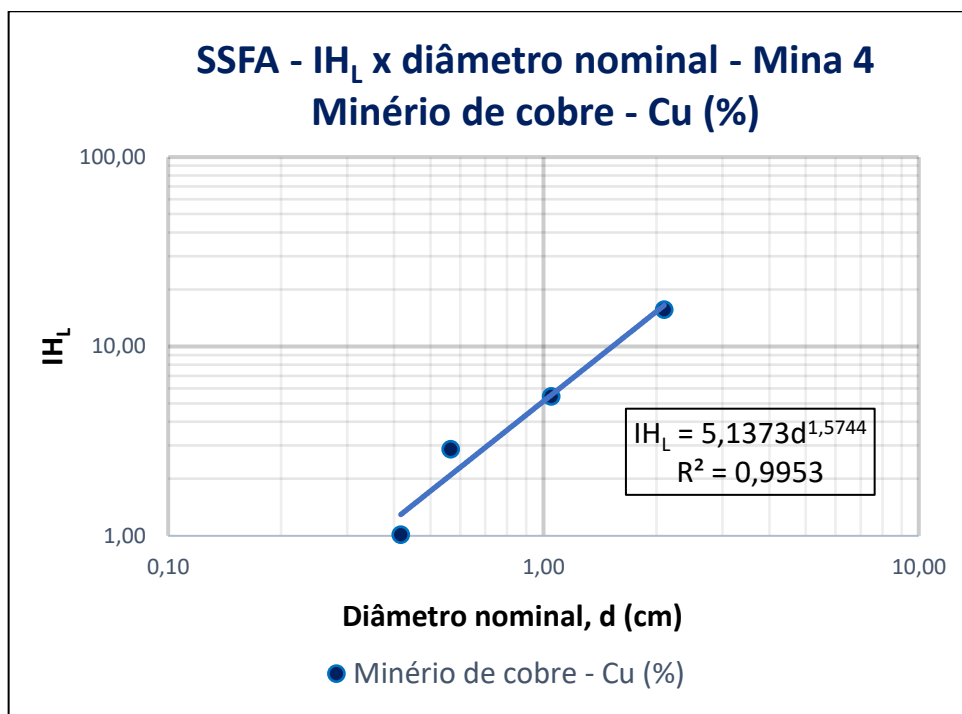
Tabela 36: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M _L (g) | Massa amostra M _S (g) | d (cm) | IH _L (g) | Var. Rel. (s ² _{FSE}) | Desv. Rel. (s _{FSE rel}) |
|---------------------------------|----------------------------------|--|--------|---------------------|---|---------------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 6,9 | 0,000346 | 1,86% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,1 | 0,000301 | 1,74% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,001 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,001 | 0,000609 | 2,47% |
| TOTAL | | | | | 0,001256 | 3,54% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.5 Mina 4 – Minério de Cobre

Figura 63: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

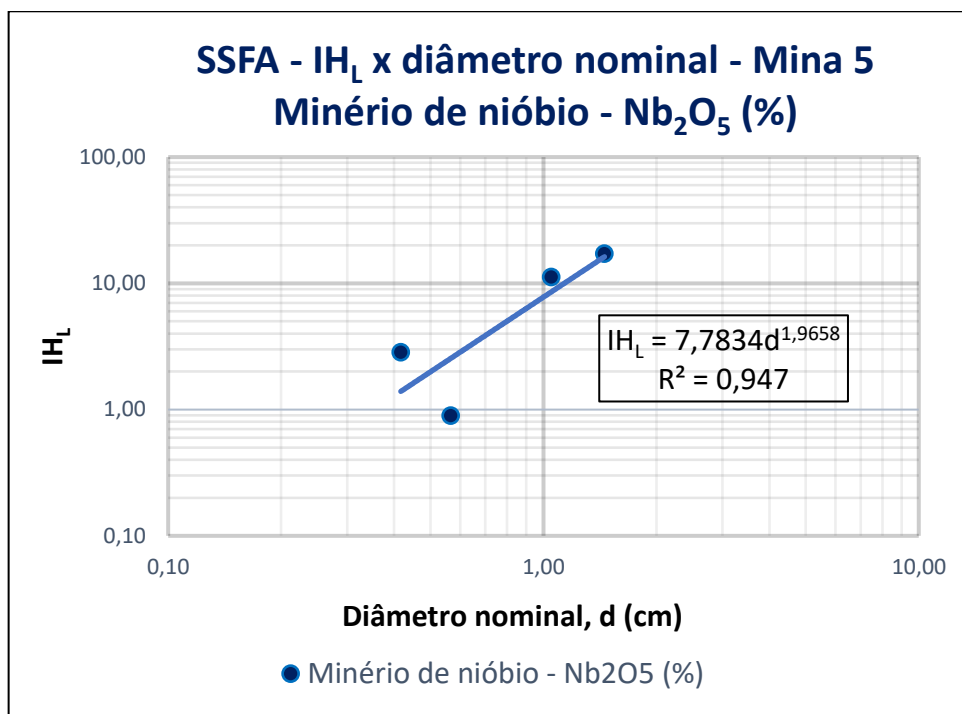
Tabela 37: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 22,3 | 0,001115 | 3,34% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,4 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,4 | 0,001338 | 3,66% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,004 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,004 | 0,003924 | 6,26% |
| TOTAL | | | | | 0,006377 | 7,99% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.6 Mina 5 – Minério de Nióbio

Figura 64: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb_2O_5 (%)



Fonte: Elaborado pela autora.

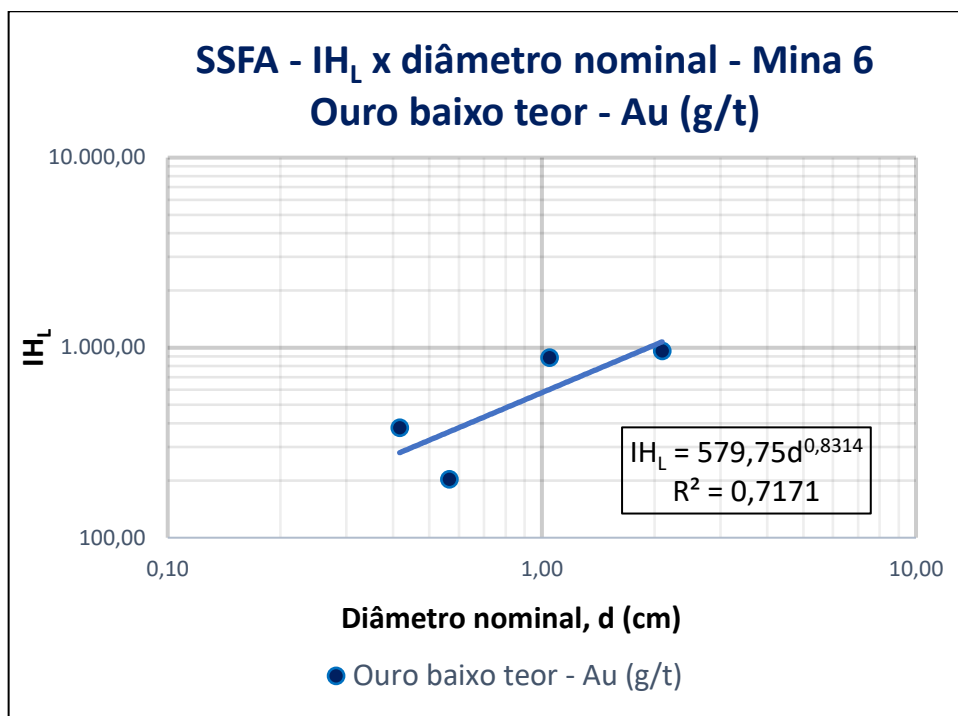
Tabela 38: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb_2O_5 (%)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 48,6 | 0,002432 | 4,93% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 0,3 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 0,3 | 0,001080 | 3,29% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,001 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 1 | 0,0105 | 0,001 | 0,000999 | 3,16% |
| TOTAL | | | | | 0,004511 | 6,72% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.7 Mina 6 – Ouro baixo teor

Figura 65: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

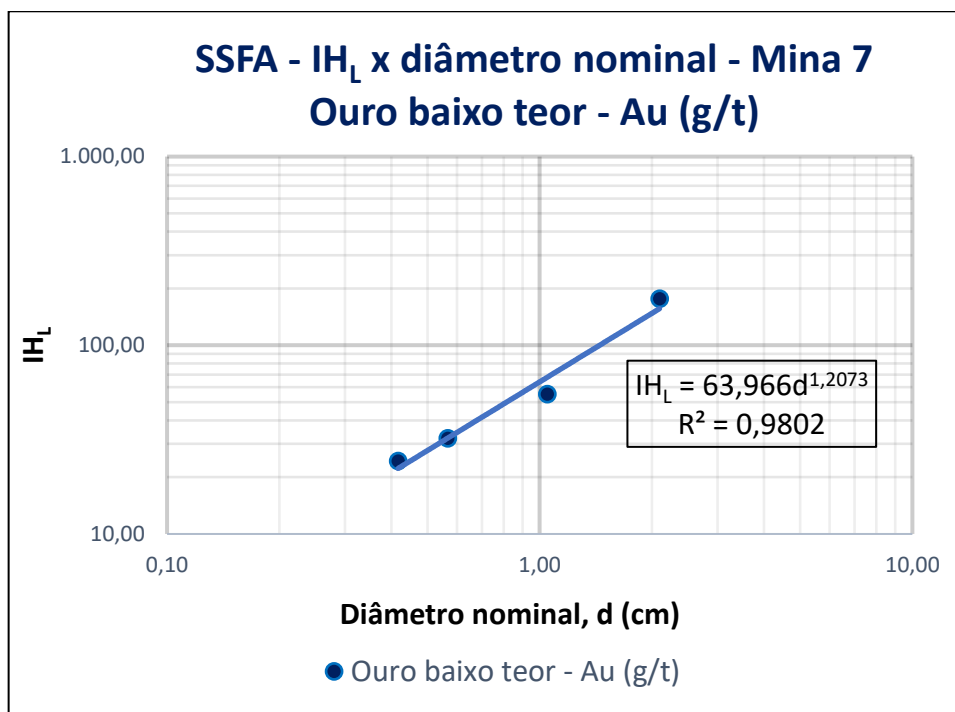
Tabela 39: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 1258,4 | 0,062916 | 25,08% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 152,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 152,1 | 0,499410 | 70,67% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 13,126 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 13,126 | 0,218762 | 46,77% |
| TOTAL | | | | | 0,781088 | 88,38% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.8 Mina 7 – Ouro baixo teor

Figura 66: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

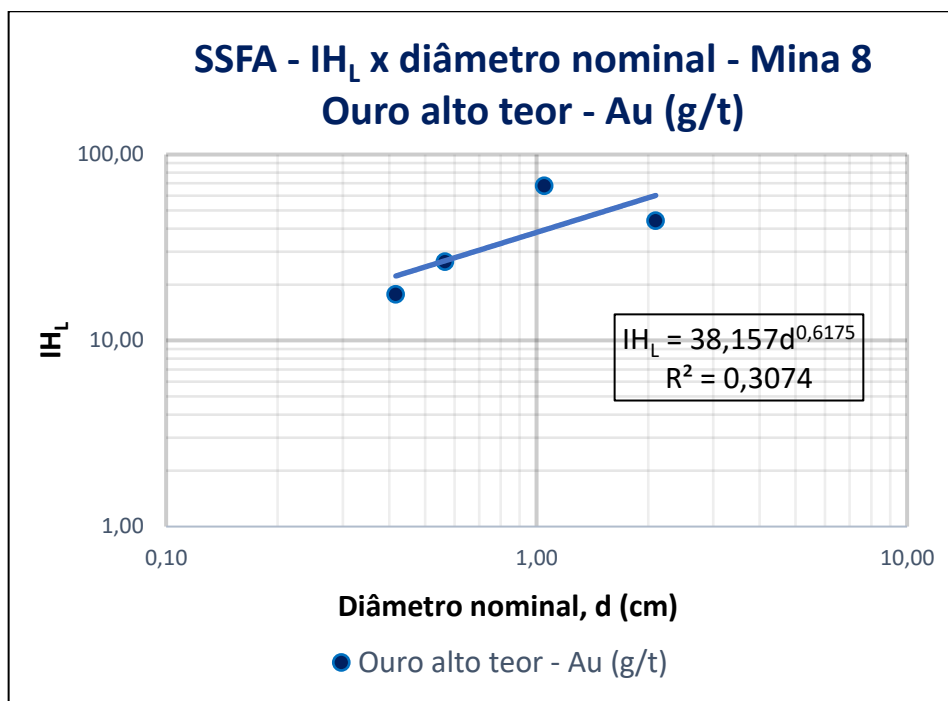
Tabela 40: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 197,1 | 0,009855 | 9,93% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 9,2 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 9,2 | 0,030088 | 17,35% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,261 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 0,261 | 0,004353 | 6,60% |
| TOTAL | | | | | 0,044295 | 21,05% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.9 Mina 8 – Ouro alto teor

Figura 67: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

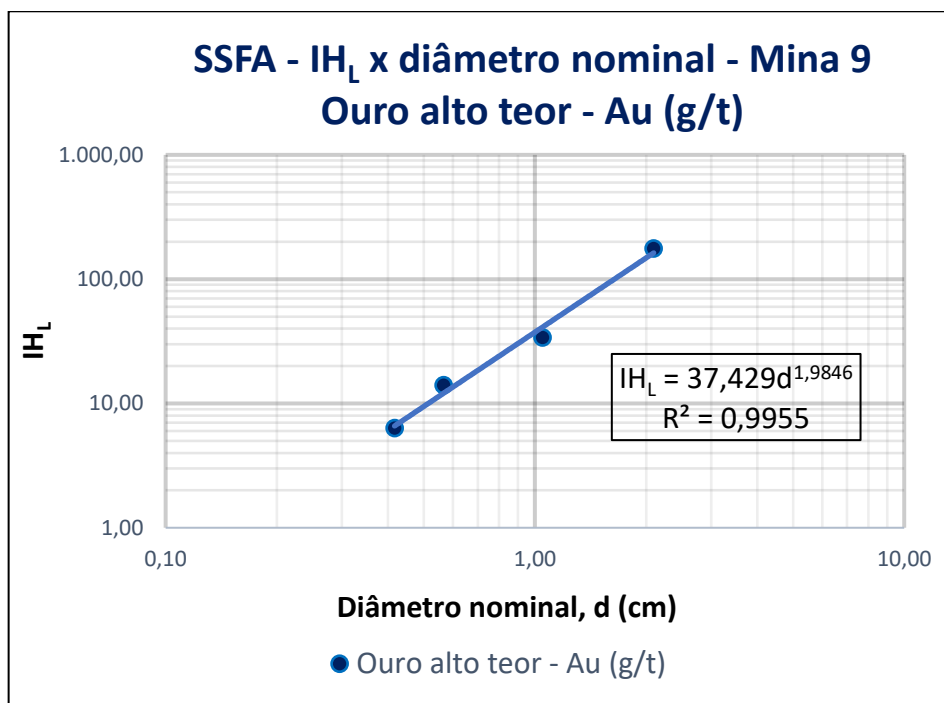
Tabela 41: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 67,9 | 0,003392 | 5,82% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 14,1 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 14,1 | 0,046372 | 21,53% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 2,289 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 2,289 | 0,038148 | 19,53% |
| TOTAL | | | | | 0,087913 | 29,65% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2.10 Mina 9 - Ouro alto teor

Figura 68: SSFA - I_{HL} vs. diâmetro nominal – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 42: SSFA - Protocolo de amostragem – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Estágio de amostragem | Massa lote M_L (g) | Massa amostra M_s (g) | d (cm) | I_{HL} (g) | Var. Rel. (s_{FSE}^2) | Desv. Rel. ($s_{FSE} rel$) |
|---------------------------------|----------------------|-------------------------|--------|--------------|---------------------------|------------------------------|
| 1. Amostragem primária | 500.000.000 | 20.000 | 2,54 | 238,0 | 0,011901 | 10,91% |
| 2. Britagem | 20.000 | 20.000 | 0,20 | 1,5 | 0,000000 | 0,00% |
| 3. Divisão | 20.000 | 300 | 0,20 | 1,5 | 0,005039 | 7,10% |
| 4. Pulverização | 300 | 300 | 0,0105 | 0,004 | 0,000000 | 0,00% |
| 5. Seleção da amostra analítica | 300 | 50 | 0,0105 | 0,004 | 0,000074 | 0,86% |
| TOTAL | | | | | 0,017014 | 13,04% |

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Uma comparação entre os resultados das constantes de amostragem K e α , obtidos a partir dos testes de heterogeneidade TH e dos testes alternativos SSFA, está apresentada na Tabela 43 e na Tabela 44, para a constante K e a constante α respectivamente. A Tabela 45 apresenta uma comparação entre os desvios padrão relativos totais do erro fundamental de amostragem obtidos para os testes TH e SSFA. A última coluna das tabelas indica as diferenças relativas entre os resultados obtidos pelo TH e os resultados obtidos pelo SSFA, calculadas com base nos resultados do TH.

Tabela 43: Comparação dos valores da constante K

| Comparação entre TH e SSFA | | | CONSTANTE K | | |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|----------|---------------|
| Mina | Minério | Elemento / mineral | TH | SSFA | Diferença (%) |
| Mina 1 | Itabirito 1 | Fe | 0,0727 | 0,0761 | ↑ 4,7 |
| Mina 1 | Itabirito 1 | SiO ₂ | 0,1787 | 0,1317 | ↓ -26,3 |
| Mina 1 | Itabirito 2 | Fe | 0,0537 | 0,0790 | ↑ 47,2 |
| Mina 1 | Itabirito 2 | SiO ₂ | 0,1291 | 0,1395 | ↑ 8,1 |
| Mina 2 | Bauxita | SiO ₂ | 4,0806 | 8,1304 | ↑ 99,2 |
| Mina 2 | Bauxita | Fe ₂ O ₃ | 2,1134 | 2,8830 | ↑ 36,4 |
| Mina 2 | Bauxita | Al ₂ O ₃ | 0,1773 | 0,7313 | ↑ 312,5 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Pb | 1,8104 | 7,5086 | ↑ 314,7 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Cu | 17,9492 | 19,0711 | ↑ 6,3 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Zn | 0,7050 | 1,4172 | ↑ 101,0 |
| Mina 4 | Minério de cobre | Cu | 3,0466 | 5,1373 | ↑ 68,6 |
| Mina 5 | Minério de nióbio | Nb ₂ O ₅ | 11,4929 | 7,7834 | ↓ -32,3 |
| Mina 6 | Ouro baixo teor | Au | 115,7650 | 579,7531 | ↑ 400,8 |
| Mina 7 | Ouro baixo teor | Au | 45,1815 | 63,9659 | ↑ 41,6 |
| Mina 8 | Ouro alto teor | Au | 36,3116 | 38,1568 | ↑ 5,1 |
| Mina 9 | Ouro alto teor | Au | 21,7668 | 37,4288 | ↑ 72,0 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 44: Comparação dos valores da constante α

| Comparação entre TH e SSFA | | | CONSTANTE α | | |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------|--------|---------------|
| Mina | Minério | Elemento / mineral | TH | SSFA | Diferença (%) |
| Mina 1 | Itabirito 1 | Fe | 2,5872 | 1,4475 | ↓ -44,1 |
| Mina 1 | Itabirito 1 | SiO ₂ | 2,6123 | 1,7418 | ↓ -33,3 |
| Mina 1 | Itabirito 2 | Fe | 2,1912 | 1,7730 | ↓ -19,1 |
| Mina 1 | Itabirito 2 | SiO ₂ | 2,2097 | 1,6065 | ↓ -27,3 |
| Mina 2 | Bauxita | SiO ₂ | 2,2541 | 2,0531 | ↓ -8,9 |
| Mina 2 | Bauxita | Fe ₂ O ₃ | 3,6233 | 4,0531 | ↑ 11,9 |
| Mina 2 | Bauxita | Al ₂ O ₃ | 2,6770 | 1,6445 | ↓ -38,6 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Pb | 2,1778 | 1,3582 | ↓ -37,6 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Cu | 1,8150 | 2,2340 | ↑ 23,1 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Zn | 2,4301 | 1,7006 | ↓ -30,0 |
| Mina 4 | Minério de cobre | Cu | 2,3184 | 1,5744 | ↓ -32,1 |
| Mina 5 | Minério de nióbio | Nb ₂ O ₅ | 3,0976 | 1,9658 | ↓ -36,5 |
| Mina 6 | Ouro baixo teor | Au | 0,3515 | 0,8314 | ↑ 136,5 |
| Mina 7 | Ouro baixo teor | Au | 1,3998 | 1,2073 | ↓ -13,7 |
| Mina 8 | Ouro alto teor | Au | 1,3838 | 0,6175 | ↓ -55,4 |
| Mina 9 | Ouro alto teor | Au | 1,6637 | 1,9846 | ↑ 19,3 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 45: Comparação dos valores do desvio total relativo S_{FSE}

| Comparação entre TH e SSFA | | | Desvio Relativo (S_{FSE}) | | |
|----------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------|---------------|
| Mina | Minério | Elemento / mineral | TH | SSFA | Diferença (%) |
| Mina 1 | Itabirito 1 | Fe | 0,67% | 1,19% | ↑ 78,5 |
| Mina 1 | Itabirito 1 | SiO ₂ | 1,06% | 1,03% | ↓ -2,5 |
| Mina 1 | Itabirito 2 | Fe | 0,53% | 0,77% | ↑ 45,5 |
| Mina 1 | Itabirito 2 | SiO ₂ | 0,83% | 1,26% | ↑ 52,1 |
| Mina 2 | Bauxita | SiO ₂ | 4,65% | 6,66% | ↑ 43,2 |
| Mina 2 | Bauxita | Fe ₂ O ₃ | 5,58% | 7,95% | ↑ 42,4 |
| Mina 2 | Bauxita | Al ₂ O ₃ | 1,08% | 2,73% | ↑ 153,3 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Pb | 3,09% | 13,95% | ↑ 351,2 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Cu | 11,24% | 10,05% | ↓ -10,6 |
| Mina 3 | Minério polimetálico | Zn | 1,99% | 3,54% | ↑ 77,9 |
| Mina 4 | Minério de cobre | Cu | 4,05% | 7,99% | ↑ 97,2 |
| Mina 5 | Minério de nióbio | Nb ₂ O ₅ | 10,29% | 6,72% | ↓ -34,7 |
| Mina 6 | Ouro baixo teor | Au | 78,29% | 88,38% | ↑ 12,9 |
| Mina 7 | Ouro baixo teor | Au | 15,87% | 21,05% | ↑ 32,6 |
| Mina 8 | Ouro alto teor | Au | 14,34% | 29,65% | ↑ 106,8 |
| Mina 9 | Ouro alto teor | Au | 10,11% | 13,04% | ↑ 29,0 |

Fonte: Elaborado pela autora.

6 DISCUSSÃO

A partir das comparações apresentadas nas tabelas do item anterior, nota-se claramente que o SSFA, comparativamente com o TH, tende a superestimar os valores de K , a subestimar os valores de α e a superestimar o desvio total relativo do erro fundamental de amostragem (s_{FSE}) do protocolo considerado. A diferença relativa média dos valores de K estimados pelo SSFA foi de +91%, a diferença relativa média dos valores de α estimados pelo SSFA foi de -12% e a diferença relativa média dos valores do s_{FSE} total provenientes dos resultados do SSFA foi de +67%. Dos 16 elementos/minerais analisados, quando são comparados os valores estimados para a constante K , apenas 2 não seguiram a tendência, ou seja, aproximadamente 88% dos elementos/minerais analisados apresentaram superestimativa de K pelo SSFA. Quando são comparados os valores estimados de α , 4 dos 16 elementos/minerais analisados não seguiram a tendência, isto é, 75% dos elementos/minerais analisados apresentaram subestimativa de α pelo SSFA. E quando são comparados os valores do s_{FSE} total, 3 dos 16 elementos/minerais analisados não seguiram a tendência, isto é, 81% dos elementos/minerais analisados apresentaram superestimativa do s_{FSE} total pelo SSFA.

Os minerais que não apresentaram tendência de superestimativa da constante K foram:

- SiO_2 (Mina 1 – Itabirito 1);
- Nb_2O_5 (Mina 5).

Os elementos ou minerais que não apresentaram tendência de subestimativa da constante α foram:

- Fe_2O_3 (Mina 2 – Bauxita);
- Cu (Mina 3);
- Ouro baixo teor (Mina 6);
- Ouro alto teor (Mina 9).

Os elementos ou minerais que não apresentaram tendência de superestimativa do S_{FSE} total foram:

- SiO_2 (Mina 1 – Itabirito 1);
- Cu (Mina 3);
- Nb_2O_5 (Mina 5).

Nota-se que, dos seis elementos ou minerais que não seguiram a tendência geral, dois são contaminantes (SiO_2 e Fe_2O_3) e dois são ouro, ou seja, elementos ou minerais que apresentam teores mais baixos ou distribuições mais erráticas.

Portanto, apesar de, teoricamente, o teste *Segregation Free Analysis* eliminar o erro de segregação e agrupamento (GSE), na prática não se notou uma equivalência entre a calibração das constantes de amostragem pelo TH e pelo SSFA. Isto indica que o SSFA deve incluir uma parcela do GSE em seus resultados, apesar de o material ter sido peneirado em faixas de tamanho que, segundo Minnitt *et al.* (2011), eliminariam este erro durante a divisão, visto que todos os fragmentos teriam aproximadamente o mesmo tamanho e a mesma densidade.

Vale salientar que, para os minérios de ouro, foi necessário um tratamento adicional dos resultados de teores considerados *outliers*, visto que minérios de ouro apresentam efeito pepita elevado, o que pode prejudicar a calibração das constantes de amostragem ao reduzir substancialmente o coeficiente de correlação de Pearson.

O efeito pepita é um termo geoestatístico que descreve a proporção da variabilidade aleatória em uma série de dados e tem duas componentes principais: componente geológico ou efeito pepita *in situ* e componente relativo à amostragem (DOMINY⁶, (2007) apud CHIEREGATI, 2018). Dependendo do procedimento de seleção da amostra analítica, o efeito pepita pode fazer com que esta subamostra apresente um teor completamente diferente da amostra original, devido à segregação das pepitas de ouro liberadas. O ideal seria que toda a amostra pulverizada fosse analisada por *fire assay*, entretanto, esta não é uma prática nem usual nem econômica.

⁶ DOMINY, S.C. Sampling – a critical component to gold mining project evaluation. In: Project Evaluation 2007, proceedings, p. 89-96. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2007.

O critério escolhido para tratamento de *outliers*, foi o “*capping*” de 3 desvios, ou seja, reduzir os valores considerados *outliers* (maiores que a média de todos os valores mais 3 vezes o desvio padrão) a um valor igual à média mais 3 desvios. Com este tratamento adicional, dos 200 resultados do TH e dos 128 resultados do SSFA, foram substituídos de 1 a 7 valores por teste, ou seja, de 0,5% a 3,5% dos teores das amostras geradas pelos testes.

Vale observar, por fim, que o efeito pepita existe para todos os tipos de minério, sendo muito mais crítico para minérios de ouro. Como consequência do efeito pepita e dos procedimentos de preparação e análise das amostras, parte da variância observada entre as subamostras dos testes de heterogeneidade pode ser proveniente do efeito pepita, dos procedimentos de preparação física e da técnica analítica. Minnitt *et al.* (2007) afirma que “*uma das principais objeções para o uso do teste da árvore para a determinação das constantes K e α é que esses resultados carregam um viés introduzido pelo erro total mais o erro analítico que não é considerado. Como resultado, o erro fundamental será superestimado*”. Desta maneira, pode-se concluir que as variâncias observadas não provêm, unicamente, das heterogeneidades constitucional e distribucional do minério. Por este motivo, é imprescindível que se garantam a ausência de erros sistemáticos e a minimização de erros aleatórios na preparação das amostras proveniente dos testes de heterogeneidade, de modo que a estimativa do IHL seja o mais fiel possível à heterogeneidade intrínseca real do lote.

7 CONCLUSÕES

Além da comparação entre dois testes de heterogeneidade, os resultados deste trabalho mostram, principalmente, as diferenças entre o método de seleção de partículas individuais (TH) e o método de divisão de amostras (SSFA) para estimar o erro fundamental de amostragem (FSE) a partir da calibração das constantes de amostragem K e α . Se, teoricamente, a seleção de partículas individuais elimina todos os erros de amostragem (ver Figura 3 apresentada anteriormente), exceto o erro fundamental de amostragem, a divisão por divisor tipo Jones inclui algum erro além do erro fundamental, provavelmente o erro de segregação e agrupamento (GSE).

É de se esperar que a constante K aumente quando o método de seleção da amostra gera um erro além do erro fundamental, visto que a variância do erro fundamental de amostragem é diretamente proporcional à constante K . Entretanto, a tendência de diminuição da constante α (expoente do diâmetro d) deve ser avaliada criteriosamente, a fim de se chegar a uma conclusão mais acertada sobre a causa real desta diminuição. Duas hipóteses podem ser tomadas como causas das diferenças nas constantes de amostragem e são apresentadas a seguir.

Hipótese 1: o erro de segregação e agrupamento aumenta quando os minerais de minério e minerais de ganga vão sendo liberados, devido às diferenças de densidades entre os minerais, especialmente quando se trata de ouro ou minerais de alta densidade (como os sulfetos, por exemplo). Para fragmentos menores que 1 cm, especialmente quando o tamanho é dado em micrômetros ou está próximo do diâmetro de liberação dos minerais, se α é menor que 1 a variância aumenta, visto que a variância do erro fundamental de amostragem é proporcional a d^α . Ou seja, a Hipótese 1 sugere que, incluindo-se o erro de segregação e agrupamento nos resultados do SSFA, os desvios do erro fundamental de amostragem de um protocolo aumentariam: (i) nas etapas do protocolo em que d é maior que 1 cm devido ao aumento de K e (ii) nas etapas do protocolo em que d é menor que 1 cm devido à diminuição de α .

Hipótese 2: a massa da subamostra (M_q) é elevada ao quadrado na equação de estimativa do IHL (Equação (4.2)) e a massa média das subamostras no SSFA foi maior que a massa média das subamostras do TH. Portanto, a Hipótese 2 sugere que

a maior massa das subamostras geradas no SSFA seria um fator relevante no aumento do valor de K e, no que diz respeito à diminuição do valor de α , a maior massa das subamostras proporcionaria, comparativamente com os resultados do TH: (i) a minimização do impacto do efeito pepita nos resultados de teor; (ii) a diminuição da variância dos teores das subamostras de uma mesma fração granulométrica; e, principalmente, (iii) a redução das diferenças relativas entre os valores da variância e do IHL das 4 frações granulométricas (conforme indicado nas duas últimas linhas das tabelas dos Apêndices), provocando uma menor inclinação da reta de regressão $IHL \times d$ e, portanto, a diminuição da constante α .

Com base no exposto, pode-se concluir que, independentemente da causa real das tendências observadas, o método de divisão de amostras para a calibração de K e α tende a gerar protocolos de amostragem com estimativas do desvio do erro fundamental maiores, o que, de certa forma, é vantajoso, pois resulta em uma avaliação conservadora do protocolo.

Como sugestão para trabalhos futuros e visando validar – ou não – os resultados apresentados neste trabalho, recomenda-se realizar testes de heterogeneidade com massas aproximadas das subamostras de cada fração granulométrica, utilizando dois métodos diferentes de composição de amostras, ou seja, o método de seleção de partículas individuais proposto originalmente por Pierre Gy e um método alternativo de divisão de amostras por divisor tipo Jones ou rotativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTOLETO, D. A. **Otimização de protocolos de amostragem para minério de alumínio: proposta para norma brasileira**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

CHAVES, A. P. **Teoria e prática do tratamento de minérios. Manuseio de sólidos e Granulados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

CHAVES, A. P.; LIMA, J. R. B. Amostragem. *In: Teoria e prática do tratamento de minérios: manuseio de sólidos granulados*: Oficina de Textos, 2012.

CHIEREGATI, A. C. **Reconciliação pró-ativa em empreendimentos mineiros**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CHIEREGATI, A. C. **Apostila de Controle de Qualidade e Reconciliação na Indústria Mineral**. São Paulo: 2021.

CHIEREGATI, A. C.; PITARD, F. Capítulo 2 - Amostragem. *In: Tratamento de Minérios - 6ª Edição*, 2018.

CHIEREGATI, A. C.; PITARD, F. F. Fundamentos teóricos da amostragem. *In: Teoria e prática do tratamento de minérios: manuseio de sólidos granulados*. 2ª Ed. ed.: Oficina de Textos, 2012.

CIVILBLOG.ORG. **How to reduce aggregate gross sample to test sample using mechanical splitter?** , 2015-01-07 2015. Disponível em: <https://civilblog.org/2015/01/07/how-to-reduce-aggregate-gross-sample-to-test-sample-using-mechanical-splitter/>.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 2ª Edição ed. São Paulo: Blucher, 2002.

DIALMÁTICA. **Equipamentos para laboratório de Mineração**. 2022. Disponível em: https://www.dialmatica.com.br/pg3.php?id_cat=2&&id=64.

DOMINY, S. C. Sampling – a critical component to gold mining project evaluation. *In: Project Evaluation 2007, proceedings, 2007*, p. 89-96. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2007.

ESSA/FLSMIDTH®. **Essa® Rotary Sample Dividers**. 2022. Disponível em: <https://www.flsmidth.com:443/en-gb/products/sampling-preparation-and-analysis/essa-rotary-sample-dividers>.

FERNANDES, F. D. L. **Otimização de protocolos de amostragem de minério de níquel com base no teste de heterogeneidade**. 2016. Trabalho de Formatura (Bacharelado em Engenharia de Minas) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GERLACH, R.; DOBB, D.; RAAB, G.; NOCERINO, J. Gy sampling theory in environmental studies. 1. Assessing soil splitting protocols. **Journal of Chemometrics**, 16, p. 321-328, 07/01 2002.

GY, P. **L'échantillonnage des minerais en vrac: Théorie générale. T. 1**. Société de l'industrie minière, 1967.

LAARMANN. **Rotary Sample Divider 4 Table Model- Laarmann Group B.V.**, 2022. Disponível em: <https://www.laarmann.eu/Products/rotary-sample-divider/>.

MINNITT, R. C. A., FRANÇOIS-BONGARÇON, D., PITARD, F.F. Segregation Free Analysis for calibrating the constants K and α for use in Gy's formula. *In*: WORLD CONFERENCE ON SAMPLING AND BLENDING, 5th, 2011, Santiago. **Proceedings.**, p. 133-150. Santiago: GECAMIN, 2011.

MINNITT, R. C. A.; RICE, P. M.; SPANGENBERG, C. Part 2: Experimental calibration of sampling parameters K and alpha for Gy's formula by the sampling tree method. **The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, n. 513, 2007.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica**. Saraiva Educação S.A., 2017.

PITARD, F. F. **Pierre Gy's sampling theory and sampling practice : heterogeneity, sampling correctness, and statistical process control**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1993.

PITARD, F. F. **Pierre Gy's Theory of Sampling and C.O. Ingamells' Poisson Process approach : pathways to representative sampling and appropriate industrial standards**. 2009. - Esbjerg, Denmark : Aalborg University, Campus Esbjerg, 2009.

PITARD, F. F. Guidelines for acceptable allotted sampling uncertainty. *In: WORLD CONFERENCE ON SAMPLING AND BLENDING, 6th, 2013, Lima. Proceedings.*, p. 89-98. Lima: GECAMIN, 2013.

PITARD, F. F. **Theory of Sampling and Sampling Practice**. Third ed. CRC Press, 2019.

VILLANOVA, F. L. D. S. P. D. **Estudo do erro fundamental de amostragem: uma comparação entre o teste de heterogeneidade e o teste da árvore no quartzo fumê na Mina Lamego (Sabará, MG)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-04052018-104543/pt-br.php>.

Apêndice A6 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 2 – Bauxita – Fe₂O₃ (%)

| Amostra | Fração | | -4,75+3,35 mm | | -6,35+4,75 mm | | -12,7+6,35 mm | | -25,4+12,7 mm | | | |
|-----------------------------------|--------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|--------------|----------------|
| | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | | |
| 1 | TH 301 | 54,1 | 17,51 | TH 401 | 94,3 | 14,41 | TH 601 | 222,6 | 20,32 | TH 1201 | 676,3 | 11,83 |
| 2 | TH 302 | 53,0 | 16,11 | TH 402 | 100,7 | 16,42 | TH 602 | 224,4 | 17,17 | TH 1202 | 633,6 | 10,96 |
| 3 | TH 303 | 53,2 | 16,80 | TH 403 | 92,7 | 16,84 | TH 603 | 220,3 | 21,19 | TH 1203 | 667,9 | 15,29 |
| 4 | TH 304 | 53,4 | 15,31 | TH 404 | 96,7 | 15,95 | TH 604 | 213,0 | 19,67 | TH 1204 | 754,7 | 8,61 |
| 5 | TH 305 | 51,5 | 16,79 | TH 405 | 92,3 | 15,64 | TH 605 | 218,8 | 15,87 | TH 1205 | 537,0 | 26,90 |
| 6 | TH 306 | 51,0 | 16,27 | TH 406 | 89,7 | 15,49 | TH 606 | 200,3 | 17,74 | TH 1206 | 700,8 | 9,35 |
| 7 | TH 307 | 51,9 | 15,71 | TH 407 | 92,5 | 15,82 | TH 607 | 223,3 | 18,90 | TH 1207 | 691,0 | 13,30 |
| 8 | TH 308 | 53,1 | 17,07 | TH 408 | 90,8 | 17,01 | TH 608 | 216,2 | 20,50 | TH 1208 | 763,1 | 11,99 |
| 9 | TH 309 | 50,4 | 16,72 | TH 409 | 90,3 | 15,95 | TH 609 | 208,2 | 23,21 | TH 1209 | 757,1 | 15,42 |
| 10 | TH 310 | 51,8 | 14,66 | TH 410 | 88,5 | 16,23 | TH 610 | 201,1 | 15,70 | TH 1210 | 626,7 | 23,46 |
| 11 | TH 311 | 53,2 | 15,20 | TH 411 | 88,2 | 16,45 | TH 611 | 187,3 | 16,57 | TH 1211 | 612,7 | 17,40 |
| 12 | TH 312 | 51,0 | 16,74 | TH 412 | 85,6 | 17,54 | TH 612 | 197,7 | 17,71 | TH 1212 | 720,2 | 16,23 |
| 13 | TH 313 | 50,7 | 14,75 | TH 413 | 93,7 | 17,05 | TH 613 | 170,0 | 18,93 | TH 1213 | 599,4 | 19,10 |
| 14 | TH 314 | 51,0 | 16,69 | TH 414 | 97,3 | 14,09 | TH 614 | 173,8 | 18,94 | TH 1214 | 701,9 | 7,31 |
| 15 | TH 315 | 52,6 | 17,88 | TH 415 | 99,7 | 14,78 | TH 615 | 182,1 | 17,41 | TH 1215 | 669,0 | 7,46 |
| 16 | TH 316 | 50,8 | 16,77 | TH 416 | 95,0 | 17,64 | TH 616 | 157,9 | 14,95 | TH 1216 | 702,2 | 8,08 |
| 17 | TH 317 | 51,7 | 16,50 | TH 417 | 93,2 | 14,71 | TH 617 | 157,2 | 12,34 | TH 1217 | 597,0 | 12,04 |
| 18 | TH 318 | 51,8 | 17,26 | TH 418 | 94,6 | 16,77 | TH 618 | 138,6 | 22,62 | TH 1218 | 632,5 | 19,73 |
| 19 | TH 319 | 47,9 | 18,29 | TH 419 | 92,7 | 16,32 | TH 619 | 136,5 | 14,47 | TH 1219 | 570,1 | 14,88 |
| 20 | TH 320 | 48,4 | 15,50 | TH 420 | 93,3 | 16,64 | TH 620 | 161,2 | 14,69 | TH 1220 | 459,0 | 17,71 |
| 21 | TH 321 | 45,9 | 16,69 | TH 421 | 92,2 | 16,06 | TH 621 | 118,9 | 19,08 | TH 1221 | 663,1 | 11,76 |
| 22 | TH 322 | 46,4 | 17,41 | TH 422 | 94,5 | 17,01 | TH 622 | 148,3 | 15,57 | TH 1222 | 655,5 | 11,90 |
| 23 | TH 323 | 45,2 | 16,05 | TH 423 | 90,8 | 16,20 | TH 623 | 146,6 | 13,20 | TH 1223 | 664,0 | 8,14 |
| 24 | TH 324 | 46,5 | 17,10 | TH 424 | 94,4 | 15,94 | TH 624 | 154,0 | 18,93 | TH 1224 | 581,8 | 14,03 |
| 25 | TH 325 | 55,1 | 16,51 | TH 425 | 85,5 | 17,43 | TH 625 | 126,2 | 16,86 | TH 1225 | 550,8 | 15,27 |
| 26 | TH 336 | 47,2 | 18,00 | TH 426 | 84,5 | 19,61 | TH 626 | 123,2 | 13,41 | TH 1226 | 784,5 | 16,00 |
| 27 | TH 327 | 45,7 | 16,68 | TH 427 | 87,1 | 18,81 | TH 627 | 128,5 | 19,32 | TH 1227 | 560,0 | 10,22 |
| 28 | TH 328 | 48,6 | 16,65 | TH 428 | 85,5 | 19,50 | TH 628 | 126,3 | 20,50 | TH 1228 | 629,7 | 12,42 |
| 29 | TH 329 | 50,6 | 14,09 | TH 429 | 82,4 | 18,80 | TH 629 | 147,6 | 22,02 | TH 1229 | 719,0 | 7,73 |
| 30 | TH 330 | 53,0 | 16,41 | TH 430 | 81,1 | 17,44 | TH 630 | 126,1 | 17,04 | TH 1230 | 509,4 | 12,64 |
| 31 | TH 331 | 49,4 | 17,48 | TH 431 | 82,0 | 18,20 | TH 631 | 130,4 | 19,20 | TH 1231 | 639,1 | 13,85 |
| 32 | TH 332 | 48,9 | 15,78 | TH 432 | 84,7 | 18,72 | TH 632 | 127,0 | 13,41 | TH 1232 | 605,3 | 18,71 |
| 33 | TH 333 | 44,9 | 16,94 | TH 433 | 80,1 | 17,17 | TH 633 | 121,3 | 16,56 | TH 1233 | 584,6 | 18,59 |
| 34 | TH 334 | 46,6 | 16,88 | TH 434 | 81,4 | 17,69 | TH 634 | 122,4 | 14,55 | TH 1234 | 581,8 | 13,05 |
| 35 | TH 335 | 44,0 | 16,42 | TH 435 | 76,0 | 19,50 | TH 635 | 125,1 | 13,66 | TH 1235 | 586,7 | 12,36 |
| 36 | TH 336 | 47,3 | 16,07 | TH 436 | 82,0 | 17,89 | TH 636 | 117,0 | 14,66 | TH 1236 | 655,6 | 6,15 |
| 37 | TH 337 | 46,1 | 15,63 | TH 437 | 69,9 | 17,21 | TH 637 | 126,3 | 17,27 | TH 1237 | 710,1 | 17,37 |
| 38 | TH 338 | 47,2 | 15,63 | TH 438 | 90,4 | 15,90 | TH 638 | 116,9 | 22,08 | TH 1238 | 556,0 | 15,86 |
| 39 | TH 339 | 48,3 | 16,92 | TH 439 | 91,1 | 18,60 | TH 639 | 132,4 | 18,30 | TH 1239 | 690,0 | 13,85 |
| 40 | TH 340 | 46,9 | 17,34 | TH 440 | 89,5 | 17,88 | TH 640 | 135,9 | 20,20 | TH 1240 | 539,2 | 8,67 |
| 41 | TH 341 | 49,1 | 18,64 | TH 441 | 84,4 | 16,03 | TH 641 | 133,8 | 19,16 | TH 1241 | 512,7 | 13,59 |
| 42 | TH 342 | 47,6 | 16,29 | TH 442 | 85,1 | 17,97 | TH 642 | 123,5 | 13,18 | TH 1242 | 685,7 | 8,97 |
| 43 | TH 343 | 48,8 | 17,13 | TH 443 | 86,3 | 17,44 | TH 643 | 129,4 | 17,94 | TH 1243 | 655,0 | 14,21 |
| 44 | TH 344 | 47,7 | 18,11 | TH 444 | 85,1 | 17,01 | TH 644 | 120,8 | 17,39 | TH 1244 | 650,4 | 7,77 |
| 45 | TH 345 | 47,3 | 15,97 | TH 445 | 85,9 | 14,92 | TH 645 | 120,4 | 16,64 | TH 1245 | 734,4 | 10,85 |
| 46 | TH 346 | 44,1 | 16,85 | TH 446 | 84,1 | 17,72 | TH 646 | 117,6 | 17,39 | TH 1246 | 567,2 | 11,84 |
| 47 | TH 347 | 48,2 | 17,98 | TH 447 | 85,9 | 18,69 | TH 647 | 138,7 | 16,56 | TH 1247 | 673,1 | 12,14 |
| 48 | TH 348 | 44,8 | 16,77 | TH 448 | 88,0 | 18,11 | TH 648 | 98,5 | 17,25 | TH 1248 | 617,0 | 9,37 |
| 49 | TH 349 | 45,4 | 16,52 | TH 449 | 86,5 | 18,57 | TH 649 | 127,7 | 15,73 | TH 1249 | 780,6 | 12,06 |
| 50 | TH 350 | 48,1 | 17,66 | TH 450 | 83,6 | 18,69 | TH 650 | 131,1 | 15,76 | TH 1250 | 509,4 | 13,94 |
| Média | | 49,1 | 16,62 | | 88,4 | 17,05 | | 153,0 | 17,43 | | 638,5 | 13,21 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 5,677 | | | 7,994 | | | 15,208 | | | 32,092 |
| Variância | | | 0,890 | | | 1,858 | | | 7,030 | | | 17,965 |
| IHL | | | 0,0879 | | | 0,3104 | | | 1,9548 | | | 34,6803 |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 183% | | | |

Apêndice A7 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 2 – Bauxita – Al₂O₃ (%)

| Amostra | Fração | | -4,75+3,35 mm | | -6,35+4,75 mm | | -12,7+6,35 mm | | -25,4+12,7 mm | |
|-----------------------------------|--------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|
| | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) |
| 1 | TH 301 | 54,1 34,60 | TH 401 | 94,3 39,94 | TH 601 | 222,6 41,39 | TH 1201 | 676,3 50,43 | | |
| 2 | TH 302 | 53,0 33,73 | TH 402 | 100,7 39,08 | TH 602 | 224,4 44,66 | TH 1202 | 633,6 48,47 | | |
| 3 | TH 303 | 53,2 35,54 | TH 403 | 92,7 38,16 | TH 603 | 220,3 42,93 | TH 1203 | 667,9 46,54 | | |
| 4 | TH 304 | 53,4 36,92 | TH 404 | 96,7 38,89 | TH 604 | 213,0 43,35 | TH 1204 | 754,7 52,03 | | |
| 5 | TH 305 | 51,5 35,33 | TH 405 | 92,3 38,66 | TH 605 | 218,8 46,54 | TH 1205 | 537,0 42,12 | | |
| 6 | TH 306 | 51,0 35,63 | TH 406 | 89,7 37,75 | TH 606 | 200,3 42,75 | TH 1206 | 700,8 54,01 | | |
| 7 | TH 307 | 51,9 33,50 | TH 407 | 92,5 37,04 | TH 607 | 223,3 45,22 | TH 1207 | 691,0 45,91 | | |
| 8 | TH 308 | 53,1 36,94 | TH 408 | 90,8 38,77 | TH 608 | 216,2 41,64 | TH 1208 | 763,1 49,87 | | |
| 9 | TH 309 | 50,4 33,86 | TH 409 | 90,3 36,25 | TH 609 | 208,2 45,12 | TH 1209 | 757,1 49,80 | | |
| 10 | TH 310 | 51,8 37,69 | TH 410 | 88,5 36,19 | TH 610 | 201,1 44,29 | TH 1210 | 626,7 42,70 | | |
| 11 | TH 311 | 53,2 36,71 | TH 411 | 88,2 38,64 | TH 611 | 187,3 44,66 | TH 1211 | 612,7 46,74 | | |
| 12 | TH 312 | 51,0 35,79 | TH 412 | 85,6 36,08 | TH 612 | 197,7 45,49 | TH 1212 | 720,2 49,01 | | |
| 13 | TH 313 | 50,7 35,40 | TH 413 | 93,7 38,04 | TH 613 | 170,0 44,56 | TH 1213 | 599,4 44,47 | | |
| 14 | TH 314 | 51,0 37,06 | TH 414 | 97,3 39,18 | TH 614 | 173,8 41,54 | TH 1214 | 701,9 55,76 | | |
| 15 | TH 315 | 52,6 35,08 | TH 415 | 99,7 38,60 | TH 615 | 182,1 41,77 | TH 1215 | 669,0 55,76 | | |
| 16 | TH 316 | 50,8 36,65 | TH 416 | 95,0 37,85 | TH 616 | 157,9 45,14 | TH 1216 | 702,2 51,32 | | |
| 17 | TH 317 | 51,7 35,60 | TH 417 | 93,2 37,85 | TH 617 | 157,2 46,26 | TH 1217 | 597,0 49,37 | | |
| 18 | TH 318 | 51,8 34,36 | TH 418 | 94,6 38,16 | TH 618 | 138,6 41,00 | TH 1218 | 632,5 46,22 | | |
| 19 | TH 319 | 47,9 34,67 | TH 419 | 92,7 38,67 | TH 619 | 136,5 45,18 | TH 1219 | 570,1 47,89 | | |
| 20 | TH 320 | 48,4 35,69 | TH 420 | 93,3 38,83 | TH 620 | 161,2 46,58 | TH 1220 | 459,0 47,37 | | |
| 21 | TH 321 | 45,9 35,52 | TH 421 | 92,2 40,25 | TH 621 | 118,9 43,64 | TH 1221 | 663,1 50,80 | | |
| 22 | TH 322 | 46,4 36,02 | TH 422 | 94,5 37,64 | TH 622 | 148,3 45,33 | TH 1222 | 655,5 51,35 | | |
| 23 | TH 323 | 45,2 35,69 | TH 423 | 90,8 38,92 | TH 623 | 146,6 47,12 | TH 1223 | 664,0 53,38 | | |
| 24 | TH 324 | 46,5 36,23 | TH 424 | 94,4 38,48 | TH 624 | 154,0 43,89 | TH 1224 | 581,8 48,76 | | |
| 25 | TH 325 | 55,1 35,15 | TH 425 | 85,5 38,75 | TH 625 | 126,2 43,39 | TH 1225 | 550,8 48,03 | | |
| 26 | TH 336 | 47,2 34,19 | TH 426 | 84,5 37,40 | TH 626 | 123,2 46,20 | TH 1226 | 784,5 47,85 | | |
| 27 | TH 327 | 45,7 36,19 | TH 427 | 87,1 38,75 | TH 627 | 128,5 42,87 | TH 1227 | 560,0 50,39 | | |
| 28 | TH 328 | 48,6 34,71 | TH 428 | 85,5 37,44 | TH 628 | 126,3 42,62 | TH 1228 | 629,7 50,49 | | |
| 29 | TH 329 | 50,6 37,23 | TH 429 | 82,4 37,06 | TH 629 | 147,6 39,93 | TH 1229 | 719,0 53,89 | | |
| 30 | TH 330 | 53,0 36,06 | TH 430 | 81,1 36,35 | TH 630 | 126,1 44,87 | TH 1230 | 509,4 49,35 | | |
| 31 | TH 331 | 49,4 35,12 | TH 431 | 82,0 38,13 | TH 631 | 130,4 40,75 | TH 1231 | 639,1 48,76 | | |
| 32 | TH 332 | 48,9 36,56 | TH 432 | 84,7 37,46 | TH 632 | 127,0 44,54 | TH 1232 | 605,3 41,08 | | |
| 33 | TH 333 | 44,9 34,54 | TH 433 | 80,1 39,11 | TH 633 | 121,3 45,04 | TH 1233 | 584,6 41,45 | | |
| 34 | TH 334 | 46,6 34,11 | TH 434 | 81,4 37,57 | TH 634 | 122,4 43,83 | TH 1234 | 581,8 49,60 | | |
| 35 | TH 335 | 44,0 34,56 | TH 435 | 76,0 37,75 | TH 635 | 125,1 46,01 | TH 1235 | 586,7 50,49 | | |
| 36 | TH 336 | 47,3 35,85 | TH 436 | 82,0 37,78 | TH 636 | 117,0 45,83 | TH 1236 | 655,6 53,59 | | |
| 37 | TH 337 | 46,1 36,04 | TH 437 | 69,9 36,45 | TH 637 | 126,3 44,20 | TH 1237 | 710,1 46,18 | | |
| 38 | TH 338 | 47,2 36,35 | TH 438 | 90,4 38,09 | TH 638 | 116,9 39,19 | TH 1238 | 556,0 46,85 | | |
| 39 | TH 339 | 48,3 35,04 | TH 439 | 91,1 38,51 | TH 639 | 132,4 42,62 | TH 1239 | 690,0 45,99 | | |
| 40 | TH 340 | 46,9 34,61 | TH 440 | 89,5 36,42 | TH 640 | 135,9 41,71 | TH 1240 | 539,2 52,49 | | |
| 41 | TH 341 | 49,1 35,17 | TH 441 | 84,4 37,69 | TH 641 | 133,8 43,75 | TH 1241 | 512,7 45,62 | | |
| 42 | TH 342 | 47,6 34,69 | TH 442 | 85,1 36,02 | TH 642 | 123,5 46,97 | TH 1242 | 685,7 50,57 | | |
| 43 | TH 343 | 48,8 35,94 | TH 443 | 86,3 37,21 | TH 643 | 129,4 42,62 | TH 1243 | 655,0 45,68 | | |
| 44 | TH 344 | 47,7 33,92 | TH 444 | 85,1 38,60 | TH 644 | 120,8 43,31 | TH 1244 | 650,4 49,24 | | |
| 45 | TH 345 | 47,3 35,96 | TH 445 | 85,9 39,27 | TH 645 | 120,4 44,14 | TH 1245 | 734,4 51,39 | | |
| 46 | TH 346 | 44,1 34,56 | TH 446 | 84,1 37,31 | TH 646 | 117,6 43,87 | TH 1246 | 567,2 50,66 | | |
| 47 | TH 347 | 48,2 35,75 | TH 447 | 85,9 37,00 | TH 647 | 138,7 43,00 | TH 1247 | 673,1 50,34 | | |
| 48 | TH 348 | 44,8 34,04 | TH 448 | 88,0 39,04 | TH 648 | 98,5 43,70 | TH 1248 | 617,0 50,20 | | |
| 49 | TH 349 | 45,4 35,46 | TH 449 | 86,5 38,17 | TH 649 | 127,7 44,91 | TH 1249 | 780,6 49,28 | | |
| 50 | TH 350 | 48,1 34,63 | TH 450 | 83,6 36,60 | TH 650 | 131,1 44,47 | TH 1250 | 509,4 48,22 | | |
| Média | | 49,1 35,41 | | 88,4 37,96 | | 153,0 43,89 | | 638,5 48,96 | | |
| Desvio padrão relativo (%) | | 2,808 | | 2,685 | | 4,150 | | 6,830 | | |
| Variância | | 0,989 | | 1,039 | | 3,317 | | 11,179 | | |
| IHL | | 0,0217 | | 0,0341 | | 0,1454 | | 1,5863 | | |
| S_{IHL} | | | | 170% | | | | | | |

Apêndice A8 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%)

| Amostra | Fração -4,75+3,35 mm | | | Fração -6,35+4,75 mm | | | Fração -12,7+6,35 mm | | | Fração -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|
| | ID | Massa (g) | Pb (%) | ID | Massa (g) | Pb (%) | ID | Massa (g) | Pb (%) | ID | Massa (g) | Pb (%) |
| 1 | TH 301 | 61,9 | 8,91 | TH 401 | 150,8 | 9,96 | TH 601 | 278,0 | 9,46 | TH 1201 | 499,0 | 10,49 |
| 2 | TH 302 | 61,7 | 10,79 | TH 402 | 153,5 | 9,57 | TH 602 | 304,7 | 7,43 | TH 1202 | 495,4 | 8,84 |
| 3 | TH 303 | 62,1 | 10,06 | TH 403 | 154,1 | 8,99 | TH 603 | 304,5 | 8,49 | TH 1203 | 532,1 | 12,04 |
| 4 | TH 304 | 62,2 | 10,74 | TH 404 | 153,2 | 10,76 | TH 604 | 349,6 | 8,97 | TH 1204 | 492,8 | 8,86 |
| 5 | TH 305 | 61,5 | 10,84 | TH 405 | 159,6 | 11,11 | TH 605 | 309,2 | 9,07 | TH 1205 | 500,0 | 10,47 |
| 6 | TH 306 | 58,6 | 8,82 | TH 406 | 142,6 | 10,67 | TH 606 | 295,0 | 8,85 | TH 1206 | 498,3 | 10,03 |
| 7 | TH 307 | 59,7 | 10,85 | TH 407 | 145,3 | 9,93 | TH 607 | 319,2 | 7,13 | TH 1207 | 510,2 | 10,94 |
| 8 | TH 308 | 61,0 | 10,49 | TH 408 | 146,3 | 10,17 | TH 608 | 271,4 | 8,57 | TH 1208 | 511,1 | 10,64 |
| 9 | TH 309 | 62,2 | 10,54 | TH 409 | 144,9 | 11,07 | TH 609 | 298,4 | 8,76 | TH 1209 | 488,2 | 9,48 |
| 10 | TH 310 | 58,9 | 10,19 | TH 410 | 142,2 | 9,33 | TH 610 | 397,0 | 7,80 | TH 1210 | 523,9 | 10,02 |
| 11 | TH 311 | 60,1 | 11,90 | TH 411 | 141,7 | 9,93 | TH 611 | 297,2 | 7,95 | TH 1211 | 487,9 | 9,50 |
| 12 | TH 312 | 59,6 | 11,03 | TH 412 | 148,8 | 10,91 | TH 612 | 353,5 | 8,95 | TH 1212 | 455,8 | 7,82 |
| 13 | TH 313 | 62,4 | 10,61 | TH 413 | 141,8 | 9,48 | TH 613 | 319,2 | 8,36 | TH 1213 | 483,2 | 10,67 |
| 14 | TH 314 | 60,9 | 11,65 | TH 414 | 142,3 | 10,76 | TH 614 | 355,0 | 9,41 | TH 1214 | 485,2 | 5,71 |
| 15 | TH 315 | 61,6 | 13,74 | TH 415 | 139,2 | 11,64 | TH 615 | 349,2 | 10,90 | TH 1215 | 489,4 | 9,11 |
| 16 | TH 316 | 61,4 | 11,68 | TH 416 | 142,4 | 9,69 | TH 616 | 341,4 | 9,07 | TH 1216 | 472,3 | 10,46 |
| 17 | TH 317 | 59,1 | 10,57 | TH 417 | 149,0 | 10,76 | TH 617 | 271,0 | 8,54 | TH 1217 | 435,0 | 10,20 |
| 18 | TH 318 | 62,4 | 10,79 | TH 418 | 150,3 | 9,67 | TH 618 | 276,1 | 11,43 | TH 1218 | 425,2 | 9,43 |
| 19 | TH 319 | 60,9 | 11,24 | TH 419 | 154,6 | 10,66 | TH 619 | 321,5 | 8,78 | TH 1219 | 465,0 | 9,76 |
| 20 | TH 320 | 61,6 | 11,62 | TH 420 | 141,4 | 12,28 | TH 620 | 307,7 | 9,86 | TH 1220 | 439,2 | 11,14 |
| 21 | TH 321 | 61,4 | 10,89 | TH 421 | 148,5 | 9,64 | TH 621 | 303,4 | 8,76 | TH 1221 | 455,8 | 7,97 |
| 22 | TH 322 | 59,1 | 11,36 | TH 422 | 141,4 | 10,25 | TH 622 | 346,0 | 12,43 | TH 1222 | 475,6 | 9,48 |
| 23 | TH 323 | 62,4 | 10,09 | TH 423 | 142,7 | 9,43 | TH 623 | 352,8 | 8,94 | TH 1223 | 539,8 | 11,51 |
| 24 | TH 324 | 60,3 | 11,08 | TH 424 | 145,1 | 10,96 | TH 624 | 327,9 | 11,26 | TH 1224 | 419,0 | 7,63 |
| 25 | TH 325 | 62,7 | 11,73 | TH 425 | 143,7 | 12,18 | TH 625 | 331,4 | 8,62 | TH 1225 | 462,0 | 10,79 |
| 26 | TH 336 | 60,5 | 10,67 | TH 426 | 146,5 | 10,39 | TH 626 | 332,9 | 9,67 | TH 1226 | 434,1 | 12,59 |
| 27 | TH 327 | 61,4 | 10,12 | TH 427 | 142,8 | 12,00 | TH 627 | 348,8 | 12,33 | TH 1227 | 452,7 | 8,21 |
| 28 | TH 328 | 58,7 | 11,09 | TH 428 | 139,4 | 9,67 | TH 628 | 397,8 | 9,65 | TH 1228 | 522,1 | 11,18 |
| 29 | TH 329 | 61,1 | 10,48 | TH 429 | 141,3 | 11,22 | TH 629 | 266,8 | 10,99 | TH 1229 | 462,2 | 9,51 |
| 30 | TH 330 | 60,2 | 10,55 | TH 430 | 146,7 | 10,92 | TH 630 | 292,6 | 8,81 | TH 1230 | 469,9 | 13,80 |
| 31 | TH 331 | 61,4 | 11,33 | TH 431 | 140,7 | 10,92 | TH 631 | 342,5 | 9,31 | TH 1231 | 526,0 | 11,80 |
| 32 | TH 332 | 59,8 | 11,93 | TH 432 | 143,1 | 10,98 | TH 632 | 276,3 | 11,03 | TH 1232 | 470,3 | 10,67 |
| 33 | TH 333 | 58,7 | 9,75 | TH 433 | 142,4 | 11,81 | TH 633 | 271,2 | 13,15 | TH 1233 | 439,2 | 10,41 |
| 34 | TH 334 | 60,9 | 12,16 | TH 434 | 141,8 | 9,60 | TH 634 | 289,6 | 8,35 | TH 1234 | 485,7 | 9,04 |
| 35 | TH 335 | 60,0 | 12,05 | TH 435 | 138,2 | 12,20 | TH 635 | 318,2 | 8,73 | TH 1235 | 490,8 | 11,25 |
| 36 | TH 336 | 62,1 | 10,79 | TH 436 | 146,9 | 9,81 | TH 636 | 310,1 | 14,32 | TH 1236 | 453,2 | 9,84 |
| 37 | TH 337 | 57,4 | 9,68 | TH 437 | 143,5 | 10,50 | TH 637 | 342,3 | 9,93 | TH 1237 | 464,2 | 12,30 |
| 38 | TH 338 | 61,0 | 9,60 | TH 438 | 141,5 | 10,81 | TH 638 | 342,0 | 9,46 | TH 1238 | 444,1 | 6,38 |
| 39 | TH 339 | 59,2 | 12,50 | TH 439 | 140,5 | 11,94 | TH 639 | 398,1 | 11,19 | TH 1239 | 541,7 | 9,51 |
| 40 | TH 340 | 59,5 | 10,62 | TH 440 | 144,3 | 10,31 | TH 640 | 321,9 | 11,34 | TH 1240 | 452,0 | 9,61 |
| 41 | TH 341 | 60,7 | 10,29 | TH 441 | 139,9 | 10,76 | TH 641 | 340,7 | 9,11 | TH 1241 | 437,8 | 9,77 |
| 42 | TH 342 | 59,2 | 10,09 | TH 442 | 144,2 | 11,07 | TH 642 | 296,1 | 10,70 | TH 1242 | 440,9 | 12,46 |
| 43 | TH 343 | 59,3 | 11,09 | TH 443 | 148,7 | 11,15 | TH 643 | 307,8 | 8,17 | TH 1243 | 462,0 | 11,06 |
| 44 | TH 344 | 61,1 | 10,13 | TH 444 | 143,1 | 10,45 | TH 644 | 298,1 | 9,23 | TH 1244 | 436,0 | 12,13 |
| 45 | TH 345 | 59,0 | 10,69 | TH 445 | 142,6 | 9,74 | TH 645 | 312,3 | 10,44 | TH 1245 | 516,6 | 8,97 |
| 46 | TH 346 | 58,8 | 11,44 | TH 446 | 147,8 | 10,35 | TH 646 | 294,5 | 9,80 | TH 1246 | 477,2 | 7,10 |
| 47 | TH 347 | 59,4 | 12,14 | TH 447 | 138,7 | 11,42 | TH 647 | 308,8 | 11,32 | TH 1247 | 470,7 | 9,34 |
| 48 | TH 348 | 58,7 | 10,65 | TH 448 | 142,5 | 10,07 | TH 648 | 314,1 | 9,57 | TH 1248 | 524,3 | 10,01 |
| 49 | TH 349 | 60,6 | 10,96 | TH 449 | 145,4 | 9,70 | TH 649 | 308,3 | 9,86 | TH 1249 | 476,6 | 8,40 |
| 50 | TH 350 | 58,0 | 10,17 | TH 450 | 139,6 | 10,20 | TH 650 | 294,0 | 8,94 | TH 1250 | 419,5 | 9,81 |
| Média | | 60,4 | 10,86 | | 144,8 | 10,56 | | 318,1 | 9,66 | | 476,2 | 9,96 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 8,200 | | | 7,856 | | | 15,201 | | | 15,946 |
| Variância | | | 0,794 | | | 0,688 | | | 2,158 | | | 2,524 |
| IHL | | | 0,2189 | | | 0,4761 | | | 3,9003 | | | 6,3277 |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 107% | | | |

Apêndice A9 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%)

| Amostra | Fração -4,75+3,35 mm | | | Fração -6,35+4,75 mm | | | Fração -12,7+6,35 mm | | | Fração -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|----------------|----------------------|--------------|----------------|
| | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) |
| 1 | TH 301 | 61,9 | 0,18 | TH 401 | 150,8 | 0,15 | TH 601 | 278,0 | 0,17 | TH 1201 | 499,0 | 0,08 |
| 2 | TH 302 | 61,7 | 0,18 | TH 402 | 153,5 | 0,17 | TH 602 | 304,7 | 0,44 | TH 1202 | 495,4 | 0,11 |
| 3 | TH 303 | 62,1 | 0,14 | TH 403 | 154,1 | 0,19 | TH 603 | 304,5 | 0,15 | TH 1203 | 532,1 | 0,12 |
| 4 | TH 304 | 62,2 | 0,16 | TH 404 | 153,2 | 0,14 | TH 604 | 349,6 | 0,12 | TH 1204 | 492,8 | 0,20 |
| 5 | TH 305 | 61,5 | 0,15 | TH 405 | 159,6 | 0,15 | TH 605 | 309,2 | 0,07 | TH 1205 | 500,0 | 0,17 |
| 6 | TH 306 | 58,6 | 0,14 | TH 406 | 142,6 | 0,14 | TH 606 | 295,0 | 0,13 | TH 1206 | 498,3 | 0,13 |
| 7 | TH 307 | 59,7 | 0,20 | TH 407 | 145,3 | 0,13 | TH 607 | 319,2 | 0,19 | TH 1207 | 510,2 | 0,16 |
| 8 | TH 308 | 61,0 | 0,19 | TH 408 | 146,3 | 0,22 | TH 608 | 271,4 | 0,07 | TH 1208 | 511,1 | 0,13 |
| 9 | TH 309 | 62,2 | 0,14 | TH 409 | 144,9 | 0,11 | TH 609 | 298,4 | 0,13 | TH 1209 | 488,2 | 0,28 |
| 10 | TH 310 | 58,9 | 0,10 | TH 410 | 142,2 | 0,16 | TH 610 | 397,0 | 0,10 | TH 1210 | 523,9 | 0,09 |
| 11 | TH 311 | 60,1 | 0,13 | TH 411 | 141,7 | 0,13 | TH 611 | 297,2 | 0,26 | TH 1211 | 487,9 | 0,15 |
| 12 | TH 312 | 59,6 | 0,13 | TH 412 | 148,8 | 0,21 | TH 612 | 353,5 | 0,12 | TH 1212 | 455,8 | 0,12 |
| 13 | TH 313 | 62,4 | 0,24 | TH 413 | 141,8 | 0,13 | TH 613 | 319,2 | 0,22 | TH 1213 | 483,2 | 0,30 |
| 14 | TH 314 | 60,9 | 0,15 | TH 414 | 142,3 | 0,25 | TH 614 | 355,0 | 0,18 | TH 1214 | 485,2 | 0,25 |
| 15 | TH 315 | 61,6 | 0,19 | TH 415 | 139,2 | 0,12 | TH 615 | 349,2 | 0,16 | TH 1215 | 489,4 | 0,16 |
| 16 | TH 316 | 61,4 | 0,11 | TH 416 | 142,4 | 0,34 | TH 616 | 341,4 | 0,25 | TH 1216 | 472,3 | 0,08 |
| 17 | TH 317 | 59,1 | 0,21 | TH 417 | 149,0 | 0,22 | TH 617 | 271,0 | 0,17 | TH 1217 | 435,0 | 0,17 |
| 18 | TH 318 | 62,4 | 0,15 | TH 418 | 150,3 | 0,22 | TH 618 | 276,1 | 0,09 | TH 1218 | 425,2 | 0,18 |
| 19 | TH 319 | 60,9 | 0,20 | TH 419 | 154,6 | 0,14 | TH 619 | 321,5 | 0,12 | TH 1219 | 465,0 | 0,20 |
| 20 | TH 320 | 61,6 | 0,11 | TH 420 | 141,4 | 0,12 | TH 620 | 307,7 | 0,21 | TH 1220 | 439,2 | 0,14 |
| 21 | TH 321 | 61,4 | 0,11 | TH 421 | 148,5 | 0,12 | TH 621 | 303,4 | 0,09 | TH 1221 | 455,8 | 0,35 |
| 22 | TH 322 | 59,1 | 0,15 | TH 422 | 141,4 | 0,21 | TH 622 | 346,0 | 0,24 | TH 1222 | 475,6 | 0,14 |
| 23 | TH 323 | 62,4 | 0,12 | TH 423 | 142,7 | 0,14 | TH 623 | 352,8 | 0,09 | TH 1223 | 539,8 | 0,25 |
| 24 | TH 324 | 60,3 | 0,09 | TH 424 | 145,1 | 0,18 | TH 624 | 327,9 | 0,19 | TH 1224 | 419,0 | 0,12 |
| 25 | TH 325 | 62,7 | 0,12 | TH 425 | 143,7 | 0,11 | TH 625 | 331,4 | 0,16 | TH 1225 | 462,0 | 0,13 |
| 26 | TH 336 | 60,5 | 0,14 | TH 426 | 146,5 | 0,21 | TH 626 | 332,9 | 0,16 | TH 1226 | 434,1 | 0,31 |
| 27 | TH 327 | 61,4 | 0,10 | TH 427 | 142,8 | 0,14 | TH 627 | 348,8 | 0,09 | TH 1227 | 452,7 | 0,11 |
| 28 | TH 328 | 58,7 | 0,15 | TH 428 | 139,4 | 0,23 | TH 628 | 397,8 | 0,16 | TH 1228 | 522,1 | 0,09 |
| 29 | TH 329 | 61,1 | 0,19 | TH 429 | 141,3 | 0,13 | TH 629 | 266,8 | 0,15 | TH 1229 | 462,2 | 0,27 |
| 30 | TH 330 | 60,2 | 0,26 | TH 430 | 146,7 | 0,17 | TH 630 | 292,6 | 0,19 | TH 1230 | 469,9 | 0,13 |
| 31 | TH 331 | 61,4 | 0,09 | TH 431 | 140,7 | 0,14 | TH 631 | 342,5 | 0,31 | TH 1231 | 526,0 | 0,05 |
| 32 | TH 332 | 59,8 | 0,19 | TH 432 | 143,1 | 0,18 | TH 632 | 276,3 | 0,14 | TH 1232 | 470,3 | 0,09 |
| 33 | TH 333 | 58,7 | 0,13 | TH 433 | 142,4 | 0,23 | TH 633 | 271,2 | 0,21 | TH 1233 | 439,2 | 0,21 |
| 34 | TH 334 | 60,9 | 0,16 | TH 434 | 141,8 | 0,13 | TH 634 | 289,6 | 0,14 | TH 1234 | 485,7 | 0,25 |
| 35 | TH 335 | 60,0 | 0,15 | TH 435 | 138,2 | 0,18 | TH 635 | 318,2 | 0,22 | TH 1235 | 490,8 | 0,08 |
| 36 | TH 336 | 62,1 | 0,16 | TH 436 | 146,9 | 0,12 | TH 636 | 310,1 | 0,23 | TH 1236 | 453,2 | 0,15 |
| 37 | TH 337 | 57,4 | 0,12 | TH 437 | 143,5 | 0,16 | TH 637 | 342,3 | 0,34 | TH 1237 | 464,2 | 0,26 |
| 38 | TH 338 | 61,0 | 0,16 | TH 438 | 141,5 | 0,10 | TH 638 | 342,0 | 0,12 | TH 1238 | 444,1 | 0,16 |
| 39 | TH 339 | 59,2 | 0,12 | TH 439 | 140,5 | 0,14 | TH 639 | 398,1 | 0,15 | TH 1239 | 541,7 | 0,09 |
| 40 | TH 340 | 59,5 | 0,20 | TH 440 | 144,3 | 0,20 | TH 640 | 321,9 | 0,19 | TH 1240 | 452,0 | 0,10 |
| 41 | TH 341 | 60,7 | 0,16 | TH 441 | 139,9 | 0,30 | TH 641 | 340,7 | 0,20 | TH 1241 | 437,8 | 0,17 |
| 42 | TH 342 | 59,2 | 0,23 | TH 442 | 144,2 | 0,16 | TH 642 | 296,1 | 0,18 | TH 1242 | 440,9 | 0,07 |
| 43 | TH 343 | 59,3 | 0,28 | TH 443 | 148,7 | 0,14 | TH 643 | 307,8 | 0,12 | TH 1243 | 462,0 | 0,07 |
| 44 | TH 344 | 61,1 | 0,18 | TH 444 | 143,1 | 0,23 | TH 644 | 298,1 | 0,19 | TH 1244 | 436,0 | 0,14 |
| 45 | TH 345 | 59,0 | 0,32 | TH 445 | 142,6 | 0,17 | TH 645 | 312,3 | 0,21 | TH 1245 | 516,6 | 0,10 |
| 46 | TH 346 | 58,8 | 0,16 | TH 446 | 147,8 | 0,16 | TH 646 | 294,5 | 0,14 | TH 1246 | 477,2 | 0,18 |
| 47 | TH 347 | 59,4 | 0,12 | TH 447 | 138,7 | 0,08 | TH 647 | 308,8 | 0,10 | TH 1247 | 470,7 | 0,18 |
| 48 | TH 348 | 58,7 | 0,14 | TH 448 | 142,5 | 0,14 | TH 648 | 314,1 | 0,26 | TH 1248 | 524,3 | 0,08 |
| 49 | TH 349 | 60,6 | 0,15 | TH 449 | 145,4 | 0,14 | TH 649 | 308,3 | 0,10 | TH 1249 | 476,6 | 0,28 |
| 50 | TH 350 | 58,0 | 0,14 | TH 450 | 139,6 | 0,16 | TH 650 | 294,0 | 0,15 | TH 1250 | 419,5 | 0,22 |
| Média | | 60,4 | 0,16 | | 144,8 | 0,17 | | 318,1 | 0,17 | | 476,2 | 0,16 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 29,878 | | | 30,267 | | | 41,339 | | | 45,214 |
| Variância | | | 0,002 | | | 0,003 | | | 0,005 | | | 0,005 |
| IHL | | | 2,8718 | | | 6,9586 | | | 29,4435 | | | 53,6048 |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 101% | | | |

Apêndice A10 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%)

| Amostra | Fração -4,75+3,35 mm | | | Fração -6,35+4,75 mm | | | Fração -12,7+6,35 mm | | | Fração -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|
| | ID | Massa (g) | Zn (%) | ID | Massa (g) | Zn (%) | ID | Massa (g) | Zn (%) | ID | Massa (g) | Zn (%) |
| 1 | TH 301 | 61,9 | 13,84 | TH 401 | 150,8 | 15,42 | TH 601 | 278,0 | 13,16 | TH 1201 | 499,0 | 13,50 |
| 2 | TH 302 | 61,7 | 15,45 | TH 402 | 153,5 | 13,74 | TH 602 | 304,7 | 12,11 | TH 1202 | 495,4 | 14,14 |
| 3 | TH 303 | 62,1 | 15,44 | TH 403 | 154,1 | 14,33 | TH 603 | 304,5 | 13,87 | TH 1203 | 532,1 | 14,72 |
| 4 | TH 304 | 62,2 | 15,05 | TH 404 | 153,2 | 15,26 | TH 604 | 349,6 | 13,27 | TH 1204 | 492,8 | 14,73 |
| 5 | TH 305 | 61,5 | 14,25 | TH 405 | 159,6 | 15,92 | TH 605 | 309,2 | 13,47 | TH 1205 | 500,0 | 16,22 |
| 6 | TH 306 | 58,6 | 14,95 | TH 406 | 142,6 | 14,50 | TH 606 | 295,0 | 13,67 | TH 1206 | 498,3 | 15,81 |
| 7 | TH 307 | 59,7 | 13,83 | TH 407 | 145,3 | 14,45 | TH 607 | 319,2 | 13,62 | TH 1207 | 510,2 | 15,55 |
| 8 | TH 308 | 61,0 | 14,41 | TH 408 | 146,3 | 14,46 | TH 608 | 271,4 | 12,75 | TH 1208 | 511,1 | 18,80 |
| 9 | TH 309 | 62,2 | 15,43 | TH 409 | 144,9 | 15,30 | TH 609 | 298,4 | 13,25 | TH 1209 | 488,2 | 15,30 |
| 10 | TH 310 | 58,9 | 14,48 | TH 410 | 142,2 | 13,74 | TH 610 | 397,0 | 13,68 | TH 1210 | 523,9 | 12,18 |
| 11 | TH 311 | 60,1 | 14,80 | TH 411 | 141,7 | 15,40 | TH 611 | 297,2 | 12,95 | TH 1211 | 487,9 | 16,04 |
| 12 | TH 312 | 59,6 | 15,40 | TH 412 | 148,8 | 15,22 | TH 612 | 353,5 | 14,03 | TH 1212 | 455,8 | 15,63 |
| 13 | TH 313 | 62,4 | 15,47 | TH 413 | 141,8 | 15,17 | TH 613 | 319,2 | 13,59 | TH 1213 | 483,2 | 16,90 |
| 14 | TH 314 | 60,9 | 15,93 | TH 414 | 142,3 | 14,96 | TH 614 | 355,0 | 14,59 | TH 1214 | 485,2 | 12,55 |
| 15 | TH 315 | 61,6 | 15,39 | TH 415 | 139,2 | 16,02 | TH 615 | 349,2 | 13,45 | TH 1215 | 489,4 | 14,14 |
| 16 | TH 316 | 61,4 | 15,18 | TH 416 | 142,4 | 14,18 | TH 616 | 341,4 | 15,37 | TH 1216 | 472,3 | 14,67 |
| 17 | TH 317 | 59,1 | 13,97 | TH 417 | 149,0 | 15,22 | TH 617 | 271,0 | 16,62 | TH 1217 | 435,0 | 13,44 |
| 18 | TH 318 | 62,4 | 14,93 | TH 418 | 150,3 | 13,24 | TH 618 | 276,1 | 16,04 | TH 1218 | 425,2 | 14,92 |
| 19 | TH 319 | 60,9 | 16,37 | TH 419 | 154,6 | 15,20 | TH 619 | 321,5 | 15,06 | TH 1219 | 465,0 | 18,06 |
| 20 | TH 320 | 61,6 | 16,44 | TH 420 | 141,4 | 14,55 | TH 620 | 307,7 | 13,95 | TH 1220 | 439,2 | 15,90 |
| 21 | TH 321 | 61,4 | 15,70 | TH 421 | 148,5 | 14,13 | TH 621 | 303,4 | 15,28 | TH 1221 | 455,8 | 15,72 |
| 22 | TH 322 | 59,1 | 15,42 | TH 422 | 141,4 | 15,00 | TH 622 | 346,0 | 14,64 | TH 1222 | 475,6 | 15,16 |
| 23 | TH 323 | 62,4 | 15,23 | TH 423 | 142,7 | 15,05 | TH 623 | 352,8 | 15,15 | TH 1223 | 539,8 | 13,60 |
| 24 | TH 324 | 60,3 | 14,94 | TH 424 | 145,1 | 15,91 | TH 624 | 327,9 | 14,34 | TH 1224 | 419,0 | 13,67 |
| 25 | TH 325 | 62,7 | 14,98 | TH 425 | 143,7 | 15,21 | TH 625 | 331,4 | 14,20 | TH 1225 | 462,0 | 12,54 |
| 26 | TH 336 | 60,5 | 15,76 | TH 426 | 146,5 | 15,05 | TH 626 | 332,9 | 15,68 | TH 1226 | 434,1 | 11,45 |
| 27 | TH 327 | 61,4 | 15,49 | TH 427 | 142,8 | 15,19 | TH 627 | 348,8 | 15,90 | TH 1227 | 452,7 | 12,81 |
| 28 | TH 328 | 58,7 | 15,27 | TH 428 | 139,4 | 14,58 | TH 628 | 397,8 | 15,84 | TH 1228 | 522,1 | 15,11 |
| 29 | TH 329 | 61,1 | 14,70 | TH 429 | 141,3 | 15,75 | TH 629 | 266,8 | 15,93 | TH 1229 | 462,2 | 15,22 |
| 30 | TH 330 | 60,2 | 15,44 | TH 430 | 146,7 | 15,86 | TH 630 | 292,6 | 14,18 | TH 1230 | 469,9 | 15,86 |
| 31 | TH 331 | 61,4 | 14,76 | TH 431 | 140,7 | 14,25 | TH 631 | 342,5 | 15,36 | TH 1231 | 526,0 | 16,80 |
| 32 | TH 332 | 59,8 | 13,42 | TH 432 | 143,1 | 14,90 | TH 632 | 276,3 | 17,37 | TH 1232 | 470,3 | 14,71 |
| 33 | TH 333 | 58,7 | 15,85 | TH 433 | 142,4 | 14,07 | TH 633 | 271,2 | 15,22 | TH 1233 | 439,2 | 15,34 |
| 34 | TH 334 | 60,9 | 15,15 | TH 434 | 141,8 | 14,17 | TH 634 | 289,6 | 14,02 | TH 1234 | 485,7 | 13,70 |
| 35 | TH 335 | 60,0 | 15,36 | TH 435 | 138,2 | 16,44 | TH 635 | 318,2 | 14,38 | TH 1235 | 490,8 | 15,79 |
| 36 | TH 336 | 62,1 | 14,73 | TH 436 | 146,9 | 14,53 | TH 636 | 310,1 | 16,13 | TH 1236 | 453,2 | 12,08 |
| 37 | TH 337 | 57,4 | 15,74 | TH 437 | 143,5 | 14,85 | TH 637 | 342,3 | 16,59 | TH 1237 | 464,2 | 16,32 |
| 38 | TH 338 | 61,0 | 14,51 | TH 438 | 141,5 | 15,66 | TH 638 | 342,0 | 16,03 | TH 1238 | 444,1 | 9,67 |
| 39 | TH 339 | 59,2 | 13,93 | TH 439 | 140,5 | 15,54 | TH 639 | 398,1 | 16,52 | TH 1239 | 541,7 | 15,28 |
| 40 | TH 340 | 59,5 | 15,18 | TH 440 | 144,3 | 16,21 | TH 640 | 321,9 | 15,57 | TH 1240 | 452,0 | 16,23 |
| 41 | TH 341 | 60,7 | 14,18 | TH 441 | 139,9 | 14,66 | TH 641 | 340,7 | 14,07 | TH 1241 | 437,8 | 15,96 |
| 42 | TH 342 | 59,2 | 15,59 | TH 442 | 144,2 | 14,61 | TH 642 | 296,1 | 13,69 | TH 1242 | 440,9 | 16,15 |
| 43 | TH 343 | 59,3 | 14,76 | TH 443 | 148,7 | 15,66 | TH 643 | 307,8 | 14,88 | TH 1243 | 462,0 | 15,59 |
| 44 | TH 344 | 61,1 | 15,35 | TH 444 | 143,1 | 14,69 | TH 644 | 298,1 | 12,22 | TH 1244 | 436,0 | 17,26 |
| 45 | TH 345 | 59,0 | 14,64 | TH 445 | 142,6 | 15,23 | TH 645 | 312,3 | 13,85 | TH 1245 | 516,6 | 15,08 |
| 46 | TH 346 | 58,8 | 15,64 | TH 446 | 147,8 | 14,17 | TH 646 | 294,5 | 14,69 | TH 1246 | 477,2 | 16,28 |
| 47 | TH 347 | 59,4 | 14,88 | TH 447 | 138,7 | 16,45 | TH 647 | 308,8 | 15,12 | TH 1247 | 470,7 | 16,23 |
| 48 | TH 348 | 58,7 | 15,00 | TH 448 | 142,5 | 15,96 | TH 648 | 314,1 | 13,45 | TH 1248 | 524,3 | 16,41 |
| 49 | TH 349 | 60,6 | 15,66 | TH 449 | 145,4 | 14,65 | TH 649 | 308,3 | 17,32 | TH 1249 | 476,6 | 13,85 |
| 50 | TH 350 | 58,0 | 13,32 | TH 450 | 139,6 | 14,78 | TH 650 | 294,0 | 13,78 | TH 1250 | 419,5 | 13,49 |
| Média | | 60,4 | 15,03 | | 144,8 | 14,99 | | 318,1 | 14,60 | | 476,2 | 14,93 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 4,587 | | | 4,813 | | | 8,695 | | | 11,457 |
| Variância | | | 0,475 | | | 0,520 | | | 1,611 | | | 2,926 |
| IHL | | | 0,0677 | | | 0,1814 | | | 1,2491 | | | 3,2668 |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 124% | | | |

Apêndice A11 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 4 – Minério de cobre – Cu (%)

| Amostra | Fração -4,75+3,35 mm | | | Fração -6,35+4,75 mm | | | Fração -12,7+6,35 mm | | | Fração -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|---------------|----------------------|--------------|----------------|
| | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) |
| 1 | TH 301 | 54,0 | 7,59 | TH 401 | 111,4 | 6,98 | TH 601 | 189,0 | 5,85 | TH 1201 | 327,3 | 3,09 |
| 2 | TH 302 | 51,4 | 6,38 | TH 402 | 109,4 | 7,14 | TH 602 | 193,7 | 5,74 | TH 1202 | 321,0 | 5,42 |
| 3 | TH 303 | 52,0 | 7,42 | TH 403 | 103,3 | 6,04 | TH 603 | 202,0 | 4,96 | TH 1203 | 312,8 | 6,23 |
| 4 | TH 304 | 52,9 | 6,19 | TH 404 | 106,2 | 7,08 | TH 604 | 192,1 | 4,76 | TH 1204 | 290,1 | 4,70 |
| 5 | TH 305 | 56,3 | 8,19 | TH 405 | 99,6 | 6,24 | TH 605 | 198,0 | 5,10 | TH 1205 | 286,8 | 3,18 |
| 6 | TH 306 | 54,5 | 6,51 | TH 406 | 102,5 | 6,61 | TH 606 | 197,9 | 5,26 | TH 1206 | 326,0 | 2,67 |
| 7 | TH 307 | 55,8 | 6,45 | TH 407 | 101,5 | 6,36 | TH 607 | 189,4 | 5,85 | TH 1207 | 289,2 | 6,50 |
| 8 | TH 308 | 53,1 | 5,72 | TH 408 | 99,2 | 6,70 | TH 608 | 196,4 | 7,29 | TH 1208 | 316,8 | 2,73 |
| 9 | TH 309 | 54,0 | 7,52 | TH 409 | 101,3 | 6,25 | TH 609 | 191,9 | 5,42 | TH 1209 | 299,3 | 5,06 |
| 10 | TH 310 | 51,6 | 5,70 | TH 410 | 104,2 | 5,91 | TH 610 | 177,9 | 5,80 | TH 1210 | 288,6 | 4,64 |
| 11 | TH 311 | 54,3 | 6,72 | TH 411 | 95,9 | 6,19 | TH 611 | 178,3 | 5,63 | TH 1211 | 288,3 | 5,27 |
| 12 | TH 312 | 56,2 | 8,25 | TH 412 | 100,4 | 6,57 | TH 612 | 155,5 | 3,89 | TH 1212 | 295,5 | 3,06 |
| 13 | TH 313 | 55,9 | 7,08 | TH 413 | 101,9 | 6,46 | TH 613 | 181,4 | 4,71 | TH 1213 | 313,2 | 3,40 |
| 14 | TH 314 | 55,3 | 6,92 | TH 414 | 106,9 | 6,99 | TH 614 | 189,8 | 7,45 | TH 1214 | 249,8 | 6,79 |
| 15 | TH 315 | 54,3 | 5,39 | TH 415 | 100,5 | 6,03 | TH 615 | 174,8 | 5,29 | TH 1215 | 312,5 | 2,53 |
| 16 | TH 316 | 54,1 | 8,08 | TH 416 | 104,4 | 5,99 | TH 616 | 186,3 | 6,06 | TH 1216 | 293,1 | 4,17 |
| 17 | TH 317 | 53,2 | 6,95 | TH 417 | 96,6 | 6,61 | TH 617 | 171,0 | 4,76 | TH 1217 | 333,6 | 2,52 |
| 18 | TH 318 | 54,0 | 7,26 | TH 418 | 98,9 | 5,44 | TH 618 | 182,7 | 7,20 | TH 1218 | 314,3 | 4,08 |
| 19 | TH 319 | 53,7 | 6,23 | TH 419 | 102,9 | 6,37 | TH 619 | 170,5 | 4,20 | TH 1219 | 315,1 | 3,12 |
| 20 | TH 320 | 55,1 | 7,00 | TH 420 | 98,3 | 6,43 | TH 620 | 176,2 | 5,53 | TH 1220 | 309,9 | 3,86 |
| 21 | TH 321 | 54,8 | 6,34 | TH 421 | 104,1 | 8,04 | TH 621 | 164,6 | 7,37 | TH 1221 | 316,4 | 5,55 |
| 22 | TH 322 | 54,4 | 7,43 | TH 422 | 99,0 | 4,64 | TH 622 | 176,2 | 5,22 | TH 1222 | 314,2 | 5,36 |
| 23 | TH 323 | 54,9 | 6,47 | TH 423 | 104,5 | 7,04 | TH 623 | 174,8 | 4,33 | TH 1223 | 329,4 | 5,38 |
| 24 | TH 324 | 55,9 | 6,37 | TH 424 | 104,4 | 7,50 | TH 624 | 167,9 | 5,69 | TH 1224 | 360,8 | 3,67 |
| 25 | TH 325 | 53,6 | 5,84 | TH 425 | 100,6 | 6,83 | TH 625 | 182,9 | 5,49 | TH 1225 | 301,3 | 3,31 |
| 26 | TH 336 | 51,0 | 5,65 | TH 426 | 102,6 | 7,94 | TH 626 | 139,5 | 4,34 | TH 1226 | 302,8 | 3,10 |
| 27 | TH 327 | 49,7 | 6,61 | TH 427 | 102,9 | 6,04 | TH 627 | 157,4 | 4,75 | TH 1227 | 317,8 | 5,60 |
| 28 | TH 328 | 53,3 | 7,08 | TH 428 | 98,7 | 6,45 | TH 628 | 162,9 | 5,55 | TH 1228 | 290,5 | 2,84 |
| 29 | TH 329 | 54,0 | 7,26 | TH 429 | 102,5 | 6,55 | TH 629 | 160,2 | 5,88 | TH 1229 | 363,6 | 2,49 |
| 30 | TH 330 | 53,9 | 6,50 | TH 430 | 99,8 | 7,92 | TH 630 | 166,9 | 6,47 | TH 1230 | 353,0 | 4,59 |
| 31 | TH 331 | 51,7 | 6,57 | TH 431 | 95,9 | 6,17 | TH 631 | 172,5 | 6,47 | TH 1231 | 348,0 | 4,63 |
| 32 | TH 332 | 54,1 | 7,23 | TH 432 | 102,2 | 8,64 | TH 632 | 160,8 | 4,90 | TH 1232 | 351,8 | 3,24 |
| 33 | TH 333 | 52,9 | 6,30 | TH 433 | 106,2 | 6,46 | TH 633 | 161,1 | 6,86 | TH 1233 | 335,5 | 2,80 |
| 34 | TH 334 | 52,8 | 6,48 | TH 434 | 101,2 | 5,37 | TH 634 | 179,4 | 7,69 | TH 1234 | 336,8 | 2,40 |
| 35 | TH 335 | 55,5 | 5,86 | TH 435 | 104,2 | 6,53 | TH 635 | 159,5 | 4,13 | TH 1235 | 387,9 | 6,09 |
| 36 | TH 336 | 53,7 | 5,55 | TH 436 | 103,8 | 7,26 | TH 636 | 158,9 | 5,38 | TH 1236 | 345,3 | 2,65 |
| 37 | TH 337 | 53,2 | 6,92 | TH 437 | 100,2 | 7,42 | TH 637 | 156,0 | 5,10 | TH 1237 | 273,0 | 4,01 |
| 38 | TH 338 | 51,4 | 8,03 | TH 438 | 102,0 | 6,33 | TH 638 | 138,4 | 6,14 | TH 1238 | 313,0 | 4,58 |
| 39 | TH 339 | 54,4 | 7,20 | TH 439 | 108,1 | 6,82 | TH 639 | 146,4 | 3,00 | TH 1239 | 320,2 | 5,73 |
| 40 | TH 340 | 55,7 | 6,62 | TH 440 | 107,5 | 7,34 | TH 640 | 143,9 | 3,44 | TH 1240 | 264,0 | 3,35 |
| 41 | TH 341 | 52,9 | 7,13 | TH 441 | 99,9 | 8,84 | TH 641 | 160,3 | 4,94 | TH 1241 | 263,0 | 3,02 |
| 42 | TH 342 | 54,6 | 6,22 | TH 442 | 100,4 | 7,45 | TH 642 | 141,0 | 3,96 | TH 1242 | 325,7 | 5,61 |
| 43 | TH 343 | 54,2 | 8,93 | TH 443 | 100,2 | 7,95 | TH 643 | 150,0 | 3,97 | TH 1243 | 262,5 | 4,57 |
| 44 | TH 344 | 49,7 | 5,79 | TH 444 | 100,8 | 7,05 | TH 644 | 157,1 | 6,04 | TH 1244 | 311,7 | 3,81 |
| 45 | TH 345 | 52,4 | 6,12 | TH 445 | 100,9 | 5,90 | TH 645 | 150,1 | 5,89 | TH 1245 | 293,1 | 5,53 |
| 46 | TH 346 | 51,8 | 7,72 | TH 446 | 97,4 | 6,70 | TH 646 | 143,5 | 3,18 | TH 1246 | 298,7 | 4,69 |
| 47 | TH 347 | 53,9 | 6,70 | TH 447 | 98,9 | 5,79 | TH 647 | 154,1 | 4,96 | TH 1247 | 276,4 | 6,39 |
| 48 | TH 348 | 51,3 | 7,52 | TH 448 | 97,8 | 8,08 | TH 648 | 159,1 | 5,75 | TH 1248 | 281,0 | 3,26 |
| 49 | TH 349 | 49,9 | 6,22 | TH 449 | 97,4 | 7,35 | TH 649 | 154,2 | 2,67 | TH 1249 | 262,7 | 3,32 |
| 50 | TH 350 | 50,6 | 6,95 | TH 450 | 96,0 | 7,51 | TH 650 | 184,7 | 5,96 | TH 1250 | 246,4 | 2,98 |
| Média | | 53,5 | 6,78 | | 101,7 | 6,77 | | 169,6 | 5,33 | | 308,6 | 4,15 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 11,443 | | | 12,289 | | | 21,454 | | | 30,453 |
| Variância | | | 0,602 | | | 0,691 | | | 1,305 | | | 1,598 |
| IHL | | | 0,3793 | | | 0,8113 | | | 3,8928 | | | 15,7049 |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 138% | | | |

Apêndice A12 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 5 – Minério de nióbio – Nb₂O₅ (%)

| Amostra | Fração | | -4,75+3,35 mm | | -6,35+4,75 mm | | -12,7+6,35 mm | | -16,0+12,7 mm | | | |
|-----------------------------------|--------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|----------------|--|--------------|----------------|
| | ID | Massa (g) Nb ₂ O ₅ (%) | ID | Massa (g) Nb ₂ O ₅ (%) | ID | Massa (g) Nb ₂ O ₅ (%) | ID | Massa (g) Nb ₂ O ₅ (%) | ID | Massa (g) Nb ₂ O ₅ (%) | | |
| 1 | TH 301 | 62,1 | 0,73 | TH 401 | 93,8 | 1,03 | TH 601 | 269,0 | 0,54 | TH 1201 | 236,3 | 0,45 |
| 2 | TH 302 | 65,6 | 0,69 | TH 402 | 92,8 | 1,24 | TH 602 | 255,4 | 0,90 | TH 1202 | 235,6 | 0,35 |
| 3 | TH 303 | 71,3 | 0,82 | TH 403 | 90,3 | 1,45 | TH 603 | 248,8 | 1,02 | TH 1203 | 191,7 | 0,40 |
| 4 | TH 304 | 60,2 | 0,98 | TH 404 | 95,7 | 0,87 | TH 604 | 266,4 | 0,93 | TH 1204 | 232,0 | 1,02 |
| 5 | TH 305 | 61,4 | 1,05 | TH 405 | 87,8 | 1,03 | TH 605 | 755,5 | 1,26 | TH 1205 | 241,2 | 0,55 |
| 6 | TH 306 | 61,9 | 0,75 | TH 406 | 89,2 | 1,33 | TH 606 | 235,4 | 0,33 | TH 1206 | 237,2 | 0,54 |
| 7 | TH 307 | 56,4 | 0,93 | TH 407 | 90,0 | 1,01 | TH 607 | 262,7 | 0,97 | TH 1207 | 204,1 | 0,86 |
| 8 | TH 308 | 59,7 | 0,89 | TH 408 | 85,2 | 0,76 | TH 608 | 140,7 | 1,26 | TH 1208 | 211,4 | 0,29 |
| 9 | TH 309 | 59,3 | 0,95 | TH 409 | 90,7 | 0,81 | TH 609 | 235,0 | 0,59 | TH 1209 | 181,8 | 1,36 |
| 10 | TH 310 | 60,1 | 0,78 | TH 410 | 93,9 | 1,03 | TH 610 | 215,3 | 0,92 | TH 1210 | 195,4 | 0,52 |
| 11 | TH 311 | 60,0 | 0,73 | TH 411 | 85,8 | 0,81 | TH 611 | 144,1 | 0,96 | TH 1211 | 238,8 | 0,56 |
| 12 | TH 312 | 57,8 | 0,95 | TH 412 | 84,9 | 1,03 | TH 612 | 237,4 | 0,49 | TH 1212 | 213,8 | 0,39 |
| 13 | TH 313 | 61,6 | 0,88 | TH 413 | 77,0 | 1,06 | TH 613 | 133,0 | 0,91 | TH 1213 | 192,3 | 0,62 |
| 14 | TH 314 | 59,2 | 0,71 | TH 414 | 82,6 | 1,11 | TH 614 | 255,4 | 0,55 | TH 1214 | 257,1 | 0,40 |
| 15 | TH 315 | 62,1 | 0,90 | TH 415 | 98,4 | 1,07 | TH 615 | 197,8 | 0,59 | TH 1215 | 221,6 | 0,63 |
| 16 | TH 316 | 60,8 | 1,13 | TH 416 | 47,5 | 0,62 | TH 616 | 161,2 | 1,62 | TH 1216 | 192,3 | 0,96 |
| 17 | TH 317 | 63,1 | 0,90 | TH 417 | 41,0 | 1,04 | TH 617 | 237,3 | 1,21 | TH 1217 | 221,2 | 0,53 |
| 18 | TH 318 | 59,3 | 0,88 | TH 418 | 79,2 | 0,92 | TH 618 | 128,1 | 1,36 | TH 1218 | 198,1 | 0,45 |
| 19 | TH 319 | 61,2 | 0,73 | TH 419 | 78,7 | 1,18 | TH 619 | 189,2 | 1,33 | TH 1219 | 220,3 | 0,84 |
| 20 | TH 320 | 56,0 | 1,20 | TH 420 | 83,0 | 1,08 | TH 620 | 240,7 | 0,66 | TH 1220 | 237,9 | 0,44 |
| 21 | TH 321 | 60,2 | 0,89 | TH 421 | 81,3 | 0,87 | TH 621 | 124,1 | 0,65 | TH 1221 | 218,0 | 0,34 |
| 22 | TH 322 | 57,8 | 0,95 | TH 422 | 90,3 | 1,00 | TH 622 | 208,1 | 1,07 | TH 1222 | 203,5 | 0,30 |
| 23 | TH 323 | 60,6 | 1,05 | TH 423 | 91,1 | 0,78 | TH 623 | 130,3 | 1,31 | TH 1223 | 217,6 | 0,95 |
| 24 | TH 324 | 62,8 | 0,88 | TH 424 | 66,3 | 0,64 | TH 624 | 204,7 | 0,65 | TH 1224 | 271,8 | 0,65 |
| 25 | TH 325 | 55,8 | 0,93 | TH 425 | 84,0 | 1,35 | TH 625 | 172,3 | 1,51 | TH 1225 | 202,7 | 0,75 |
| 26 | TH 336 | 57,1 | 0,89 | TH 426 | 83,7 | 0,80 | TH 626 | 207,3 | 1,30 | TH 1226* | | |
| 27 | TH 327 | 58,1 | 0,84 | TH 427 | 84,7 | 1,02 | TH 627 | 115,2 | 1,36 | TH 1227 | 251,4 | 0,41 |
| 28 | TH 328 | 59,7 | 0,86 | TH 428 | 86,9 | 0,91 | TH 628 | 193,0 | 0,87 | TH 1228 | 223,5 | 0,65 |
| 29 | TH 329 | 57,7 | 1,07 | TH 429 | 83,9 | 0,91 | TH 629 | 194,2 | 0,82 | TH 1229 | 255,1 | 0,98 |
| 30 | TH 330 | 54,6 | 1,04 | TH 430 | 86,8 | 1,43 | TH 630 | 150,4 | 0,49 | TH 1230 | 240,4 | 0,62 |
| 31 | TH 331 | 56,1 | 1,11 | TH 431 | 86,4 | 0,82 | TH 631 | 121,4 | 0,95 | TH 1231 | 206,9 | 1,02 |
| 32 | TH 332 | 58,4 | 0,96 | TH 432 | 82,2 | 0,80 | TH 632 | 221,2 | 0,63 | TH 1232 | 246,9 | 2,13 |
| 33 | TH 333 | 54,4 | 0,83 | TH 433 | 81,7 | 1,09 | TH 633 | 100,1 | 1,17 | TH 1233 | 227,7 | 0,62 |
| 34 | TH 334 | 55,5 | 1,07 | TH 434 | 80,8 | 1,25 | TH 634 | 156,2 | 0,47 | TH 1234 | 256,8 | 0,41 |
| 35 | TH 335 | 56,6 | 0,96 | TH 435 | 78,4 | 1,40 | TH 635 | 216,8 | 0,98 | TH 1235 | 241,4 | 0,46 |
| 36 | TH 336 | 57,1 | 1,10 | TH 436 | 81,1 | 1,37 | TH 636 | 93,5 | 1,44 | TH 1236 | 229,5 | 0,55 |
| 37 | TH 337 | 54,6 | 1,04 | TH 437 | 86,2 | 0,99 | TH 637 | 182,4 | 0,92 | TH 1237 | 241,7 | 0,52 |
| 38 | TH 338 | 59,6 | 0,91 | TH 438 | 87,1 | 0,77 | TH 638 | 110,8 | 1,41 | TH 1238 | 221,0 | 0,62 |
| 39 | TH 339 | 57,5 | 0,98 | TH 439 | 84,8 | 1,04 | TH 639 | 130,5 | 0,78 | TH 1239 | 252,6 | 0,65 |
| 40 | TH 340 | 57,6 | 1,07 | TH 440 | 74,8 | 1,16 | TH 640 | 172,8 | 0,70 | TH 1240 | 226,7 | 0,31 |
| 41 | TH 341 | 55,6 | 0,71 | TH 441 | 86,5 | 1,17 | TH 641 | 147,1 | 0,67 | TH 1241 | 218,2 | 1,04 |
| 42 | TH 342 | 59,1 | 1,19 | TH 442 | 85,9 | 1,16 | TH 642 | 104,1 | 0,74 | TH 1242 | 231,3 | 0,55 |
| 43 | TH 343 | 56,9 | 1,18 | TH 443 | 84,1 | 1,04 | TH 643 | 188,3 | 0,72 | TH 1243 | 205,8 | 0,76 |
| 44 | TH 344 | 55,9 | 0,94 | TH 444 | 80,1 | 0,65 | TH 644 | 103,9 | 1,02 | TH 1244 | 212,1 | 0,46 |
| 45 | TH 345 | 58,5 | 0,96 | TH 445 | 86,6 | 1,09 | TH 645 | 182,8 | 0,47 | TH 1245 | 224,1 | 0,20 |
| 46 | TH 346 | 56,8 | 1,23 | TH 446 | 85,4 | 1,25 | TH 646 | 137,9 | 0,45 | TH 1246 | 235,2 | 0,72 |
| 47 | TH 347 | 56,3 | 1,26 | TH 447 | 83,3 | 1,42 | TH 647 | 117,5 | 1,16 | TH 1247 | 252,1 | 0,57 |
| 48 | TH 348 | 55,8 | 0,97 | TH 448 | 82,4 | 0,77 | TH 648 | 181,9 | 1,21 | TH 1248 | 242,2 | 0,70 |
| 49 | TH 349 | 57,1 | 0,97 | TH 449 | 89,2 | 1,47 | TH 649 | 94,5 | 0,86 | TH 1249 | 253,0 | 0,41 |
| 50 | TH 350 | 61,0 | 1,06 | TH 450 | 82,4 | 1,06 | TH 650 | 166,3 | 1,25 | TH 1250 | 275,4 | 0,61 |
| Média | | 58,9 | 0,95 | | 83,5 | 1,04 | | 188,8 | 0,93 | | 227,4 | 0,64 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 15,072 | | | 21,457 | | | 35,203 | | | 50,526 |
| Variância | | | 0,020 | | | 0,050 | | | 0,107 | | | 0,103 |
| IHL | | | 0,7301 | | | 1,9787 | | | 15,7105 | | | 32,3729 |
| S_{IHL} | | | | | | | | | | | | 116% |

*Amostra perdida.

Apêndice A13 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | -6,35+4,75 mm | | -12,7+6,35 mm | | -25,4+12,7 mm | | | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|--------------|-----------------|-------|-----------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|-------|--------------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | | |
| 1 | TH 301 | 61,5 | 5,950 | TH 401 | 113,6 | 0,149 | TH 601 | 77,5 | 0,150 | TH 901 | 180,9 | 1,364 |
| 2 | TH 302 | 52,6 | 0,740 | TH 402 | 110,6 | 6,864 | TH 602 | 100,9 | 0,521 | TH 902 | 189,9 | 3,882 |
| 3 | TH 303 | 54,9 | 1,099 | TH 403 | 101,5 | 0,624 | TH 603 | 88,5 | 0,056 | TH 903 | 181,4 | 0,185 |
| 4 | TH 304 | 57,3 | 1,826 | TH 404 | 107,1 | 0,280 | TH 604 | 89,6 | 6,570 | TH 904 | 182,4 | 0,631 |
| 5 | TH 305 | 56,4 | 7,461 | TH 405 | 103,4 | 0,649 | TH 605 | 83,4 | 0,173 | TH 905 | 162,1 | 0,259 |
| 6 | TH 306 | 61,6 | 0,313 | TH 406 | 105,8 | 0,560 | TH 606 | 95,6 | 0,093 | TH 906 | 181,7 | 0,160 |
| 7 | TH 307 | 60,4 | 0,353 | TH 407 | 104,8 | 0,221 | TH 607 | 84,0 | 0,139 | TH 907 | 167,4 | 0,184 |
| 8 | TH 308 | 53,7 | 2,919 | TH 408 | 103,6 | 0,982 | TH 608 | 90,7 | 0,276 | TH 908 | 184,3 | 0,611 |
| 9 | TH 309 | 58,4 | 0,362 | TH 409 | 103,9 | 0,157 | TH 609 | 88,6 | 1,517 | TH 909 | 169,8 | 0,148 |
| 10 | TH 310 | 55,3 | 0,162 | TH 410 | 101,7 | 0,182 | TH 610 | 79,8 | 0,113 | TH 910 | 175,6 | 0,532 |
| 11 | TH 311 | 56,1 | 0,296 | TH 411 | 100,0 | 1,535 | TH 611 | 80,9 | 1,390 | TH 911 | 160,7 | 0,319 |
| 12 | TH 312 | 59,1 | 0,899 | TH 412 | 103,5 | 1,421 | TH 612 | 91,7 | 0,627 | TH 912 | 165,3 | 0,076 |
| 13 | TH 313 | 61,2 | 0,467 | TH 413 | 96,7 | 0,077 | TH 613 | 80,4 | 0,058 | TH 913 | 160,8 | 0,069 |
| 14 | TH 314 | 53,8 | 0,233 | TH 414 | 100,6 | 0,342 | TH 614 | 86,9 | 0,624 | TH 914 | 159,6 | 1,318 |
| 15 | TH 315 | 57,9 | 0,939 | TH 415 | 100,1 | 0,438 | TH 615 | 84,6 | 0,182 | TH 915 | 163,5 | 0,878 |
| 16 | TH 316 | 56,2 | 0,785 | TH 416 | 98,3 | 9,977 | TH 616 | 81,3 | 0,057 | TH 916 | 180,9 | 0,069 |
| 17 | TH 317 | 54,5 | 0,497 | TH 417 | 99,9 | 3,041 | TH 617 | 89,8 | 0,301 | TH 917 | 173,5 | 0,374 |
| 18 | TH 318 | 61,7 | 0,138 | TH 418 | 100,2 | 1,440 | TH 618 | 80,8 | 0,390 | TH 918 | 168,0 | 0,329 |
| 19 | TH 319 | 52,5 | 0,398 | TH 419 | 96,2 | 0,138 | TH 619 | 89,2 | 0,080 | TH 919 | 154,1 | 0,081 |
| 20 | TH 320 | 59,2 | 0,434 | TH 420 | 99,3 | 3,036 | TH 620 | 81,9 | 0,130 | TH 920 | 169,3 | 0,542 |
| 21 | TH 321 | 56,8 | 2,005 | TH 421 | 98,0 | 0,988 | TH 621 | 81,8 | 0,569 | TH 921 | 159,4 | 0,206 |
| 22 | TH 322 | 56,0 | 0,720 | TH 422 | 101,5 | 0,739 | TH 622 | 79,7 | 3,651 | TH 922 | 155,5 | 0,050 |
| 23 | TH 323 | 59,6 | 0,815 | TH 423 | 96,4 | 0,155 | TH 623 | 82,4 | 0,124 | TH 923 | 158,1 | 0,796 |
| 24 | TH 324 | 51,1 | 0,411 | TH 424 | 96,8 | 0,261 | TH 624 | 82,5 | 5,293 | TH 924 | 187,6 | 0,461 |
| 25 | TH 325 | 52,9 | 0,472 | TH 425 | 99,1 | 3,052 | TH 625 | 89,0 | 0,084 | TH 925 | 149,1 | 0,043 |
| 26 | TH 326 | 55,2 | 0,208 | TH 426 | 96,4 | 2,825 | TH 626 | 77,3 | 0,170 | TH 926 | 168,1 | 0,240 |
| 27 | TH 327 | 57,5 | 0,214 | TH 427 | 100,9 | 1,215 | TH 627 | 72,9 | 1,076 | TH 927 | 161,2 | 0,082 |
| 28 | TH 328 | 53,1 | 0,142 | TH 428 | 98,6 | 0,190 | TH 628 | 86,1 | 0,117 | TH 928 | 152,1 | 0,039 |
| 29 | TH 329 | 60,8 | 1,190 | TH 429 | 93,4 | 0,140 | TH 629 | 74,8 | 0,075 | TH 929 | 167,5 | 0,358 |
| 30 | TH 330 | 58,4 | 0,123 | TH 430 | 95,5 | 0,422 | TH 630 | 90,0 | 0,080 | TH 930 | 177,3 | 0,558 |
| 31 | TH 331 | 59,7 | 0,374 | TH 431 | 98,1 | 0,102 | TH 631 | 79,3 | 0,077 | TH 931 | 175,4 | 0,078 |
| 32 | TH 332 | 50,2 | 0,873 | TH 432 | 96,1 | 2,230 | TH 632 | 78,8 | 1,984 | TH 932 | 166,8 | 0,072 |
| 33 | TH 333 | 57,5 | 0,157 | TH 433 | 95,2 | 0,290 | TH 633 | 75,8 | 0,983 | TH 933 | 161,6 | 0,166 |
| 34 | TH 334 | 60,1 | 0,482 | TH 434 | 93,6 | 0,186 | TH 634 | 79,3 | 0,189 | TH 934 | 160,6 | 0,048 |
| 35 | TH 335 | 56,8 | 0,246 | TH 435 | 101,9 | 0,140 | TH 635 | 86,4 | 0,163 | TH 935 | 173,2 | 0,103 |
| 36 | TH 336 | 57,6 | 0,308 | TH 436 | 92,9 | 0,596 | TH 636 | 75,6 | 0,128 | TH 936 | 160,6 | 0,236 |
| 37 | TH 337 | 57,3 | 0,129 | TH 437 | 95,1 | 0,288 | TH 637 | 73,3 | 0,077 | TH 937 | 145,2 | 0,029 |
| 38 | TH 338 | 54,3 | 0,338 | TH 438 | 94,0 | 0,145 | TH 638 | 75,5 | 0,205 | TH 938 | 168,2 | 0,102 |
| 39 | TH 339 | 59,6 | 0,084 | TH 439 | 94,6 | 0,810 | TH 639 | 75,6 | 0,071 | TH 939 | 160,3 | 0,252 |
| 40 | TH 340 | 54,4 | 0,295 | TH 440 | 99,6 | 0,162 | TH 640 | 75,5 | 0,255 | TH 940 | 158,6 | 0,149 |
| 41 | TH 341 | 54,8 | 0,391 | TH 441 | 94,3 | 0,098 | TH 641 | 76,9 | 0,049 | TH 941 | 166,4 | 0,682 |
| 42 | TH 342 | 61,6 | 1,263 | TH 442 | 97,8 | 0,579 | TH 642 | 73,6 | 0,320 | TH 942 | 157,6 | 0,100 |
| 43 | TH 343 | 59,5 | 0,403 | TH 443 | 92,4 | 0,148 | TH 643 | 77,8 | 1,349 | TH 943 | 164,9 | 0,085 |
| 44 | TH 344 | 57,0 | 0,160 | TH 444 | 94,7 | 0,309 | TH 644 | 75,7 | 0,020 | TH 944 | 162,6 | 0,179 |
| 45 | TH 345 | 58,4 | 0,196 | TH 445 | 91,1 | 0,309 | TH 645 | 78,6 | 0,128 | TH 945 | 163,1 | 0,037 |
| 46 | TH 346 | 54,2 | 0,640 | TH 446 | 90,6 | 2,572 | TH 646 | 72,0 | 0,081 | TH 946 | 153,8 | 0,855 |
| 47 | TH 347 | 54,9 | 0,534 | TH 447 | 92,6 | 0,766 | TH 647 | 71,2 | 1,222 | TH 947 | 154,1 | 0,060 |
| 48 | TH 348 | 56,3 | 2,905 | TH 448 | 90,9 | 0,214 | TH 648 | 72,4 | 1,094 | TH 948 | 165,8 | 0,125 |
| 49 | TH 349 | 56,5 | 7,461 | TH 449 | 90,3 | 0,336 | TH 649 | 74,9 | 1,287 | TH 949 | 165,4 | 0,160 |
| 50 | TH 350 | 55,2 | 0,121 | TH 450 | 90,8 | 0,230 | TH 650 | 73,4 | 0,621 | TH 950 | 181,0 | 0,073 |
| Média | | 56,8 | 0,999 | 98,3 | | 1,052 | 81,3 | | 0,700 | 166,6 | | 0,369 |
| Desvio padrão relativo (%) | | 165,561 | | 168,320 | | 181,604 | | 161,826 | | | | |
| Variância | | 2,734 | | 3,137 | | 1,615 | | 0,356 | | | | |
| IHL | | 72,0700 | | 115,5345 | | 119,3478 | | 143,4978 | | | | |
| S_{IHL} | | 26% | | | | | | | | | | |

Apêndice A14 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|--------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | TH 301 | 56,1 | 0,470 | TH 401 | 134,9 | 0,640 | TH 601 | 188,2 | 0,470 | TH 1201 | 853,1 | 1,580 | |
| 2 | TH 302 | 65,8 | 0,870 | TH 402 | 129,6 | 1,660 | TH 602 | 202,5 | 0,640 | TH 1202 | 876,3 | 0,370 | |
| 3 | TH 303 | 66,5 | 0,460 | TH 403 | 123,7 | 0,780 | TH 603 | 201,2 | 0,370 | TH 1203 | 847,6 | 0,840 | |
| 4 | TH 304 | 55,0 | 4,400 | TH 404 | 124,6 | 1,090 | TH 604 | 214,2 | 1,660 | TH 1204 | 860,0 | 0,800 | |
| 5 | TH 305 | 62,2 | 0,790 | TH 405 | 128,3 | 0,300 | TH 605 | 203,3 | 0,900 | TH 1205 | 892,7 | 0,410 | |
| 6 | TH 306 | 52,4 | 0,700 | TH 406 | 126,7 | 1,410 | TH 606 | 201,5 | 1,540 | TH 1206 | 947,8 | 0,620 | |
| 7 | TH 307 | 56,0 | 0,850 | TH 407 | 121,6 | 2,270 | TH 607 | 183,3 | 0,400 | TH 1207 | 913,2 | 1,380 | |
| 8 | TH 308 | 61,4 | 0,350 | TH 408 | 120,5 | 1,330 | TH 608 | 198,5 | 1,126 | TH 1208 | 864,6 | 0,900 | |
| 9 | TH 309 | 54,5 | 0,790 | TH 409 | 120,3 | 1,090 | TH 609 | 170,0 | 0,520 | TH 1209 | 867,2 | 0,880 | |
| 10 | TH 310 | 64,8 | 1,300 | TH 410 | 122,1 | 1,410 | TH 610 | 178,6 | 0,280 | TH 1210 | 819,5 | 0,640 | |
| 11 | TH 311 | 57,4 | 0,540 | TH 411 | 125,3 | 0,820 | TH 611 | 190,7 | 2,180 | TH 1211 | 746,7 | 1,020 | |
| 12 | TH 312 | 58,9 | 0,510 | TH 412 | 122,0 | 0,420 | TH 612 | 186,0 | 0,610 | TH 1212 | 848,1 | 0,530 | |
| 13 | TH 313 | 55,3 | 1,460 | TH 413 | 121,1 | 0,810 | TH 613 | 193,9 | 0,480 | TH 1213 | 886,5 | 0,570 | |
| 14 | TH 314 | 54,8 | 0,970 | TH 414 | 121,1 | 0,840 | TH 614 | 182,3 | 0,670 | TH 1214 | 900,8 | 0,290 | |
| 15 | TH 315 | 61,2 | 1,260 | TH 415 | 115,2 | 0,840 | TH 615 | 187,9 | 0,270 | TH 1215 | 819,8 | 0,430 | |
| 16 | TH 316 | 57,0 | 2,400 | TH 416 | 114,4 | 1,003 | TH 616 | 182,1 | 1,980 | TH 1216 | 835,0 | 0,380 | |
| 17 | TH 317 | 60,1 | 1,060 | TH 417 | 111,4 | 1,060 | TH 617 | 162,1 | 0,290 | TH 1217 | 905,9 | 0,560 | |
| 18 | TH 318 | 55,5 | 0,610 | TH 418 | 110,8 | 0,700 | TH 618 | 176,2 | 0,830 | TH 1218 | 799,0 | 0,540 | |
| 19 | TH 319 | 58,3 | 0,450 | TH 419 | 119,6 | 0,920 | TH 619 | 199,1 | 0,510 | TH 1219 | 764,8 | 0,320 | |
| 20 | TH 320 | 61,3 | 0,730 | TH 420 | 117,5 | 0,970 | TH 620 | 177,1 | 0,460 | TH 1220 | 737,3 | 0,290 | |
| 21 | TH 321 | 55,2 | 0,550 | TH 421 | 113,2 | 1,440 | TH 621 | 158,4 | 0,420 | TH 1221 | 777,3 | 0,930 | |
| 22 | TH 322 | 55,2 | 0,490 | TH 422 | 116,1 | 0,440 | TH 622 | 163,9 | 0,340 | TH 1222 | 815,9 | 1,370 | |
| 23 | TH 323 | 58,7 | 0,720 | TH 423 | 109,3 | 0,560 | TH 623 | 154,9 | 0,880 | TH 1223 | 809,5 | 4,090 | |
| 24 | TH 324 | 56,3 | 1,740 | TH 424 | 118,9 | 1,470 | TH 624 | 160,9 | 0,470 | TH 1224 | 769,8 | 0,870 | |
| 25 | TH 325 | 61,7 | 1,150 | TH 425 | 115,2 | 0,940 | TH 625 | 182,6 | 1,040 | TH 1225 | 822,8 | 1,260 | |
| 26 | TH 326 | 55,5 | 0,920 | TH 426 | 114,3 | 0,570 | TH 626 | 158,8 | 0,490 | TH 1226 | 659,0 | 0,590 | |
| 27 | TH 327 | 57,4 | 0,470 | TH 427 | 106,1 | 1,930 | TH 627 | 161,7 | 1,770 | TH 1227 | 762,8 | 1,320 | |
| 28 | TH 328 | 52,5 | 1,840 | TH 428 | 106,7 | 0,620 | TH 628 | 162,5 | 1,410 | TH 1228 | 704,6 | 1,500 | |
| 29 | TH 329 | 51,2 | 0,700 | TH 429 | 108,8 | 0,780 | TH 629 | 144,5 | 0,650 | TH 1229 | 689,4 | 0,990 | |
| 30 | TH 330 | 56,3 | 0,700 | TH 430 | 109,8 | 1,380 | TH 630 | 150,8 | 0,410 | TH 1230 | 726,9 | 0,370 | |
| 31 | TH 331 | 59,2 | 1,300 | TH 431 | 126,4 | 0,400 | TH 631 | 143,7 | 1,010 | TH 1231 | 663,7 | 0,650 | |
| 32 | TH 332 | 53,1 | 0,300 | TH 432 | 106,9 | 1,003 | TH 632 | 161,4 | 0,640 | TH 1232 | 627,0 | 0,530 | |
| 33 | TH 333 | 54,9 | 0,420 | TH 433 | 100,4 | 0,510 | TH 633 | 154,6 | 0,760 | TH 1233 | 712,9 | 0,790 | |
| 34 | TH 334 | 55,3 | 1,870 | TH 434 | 123,6 | 1,050 | TH 634 | 137,7 | 0,930 | TH 1234 | 710,6 | 1,520 | |
| 35 | TH 335 | 51,4 | 3,390 | TH 435 | 100,3 | 0,650 | TH 635 | 170,4 | 1,960 | TH 1235 | 747,2 | 0,920 | |
| 36 | TH 336 | 53,0 | 3,190 | TH 436 | 101,2 | 0,480 | TH 636 | 138,8 | 0,900 | TH 1236 | 804,6 | 0,510 | |
| 37 | TH 337 | 55,0 | 0,820 | TH 437 | 112,5 | 0,400 | TH 637 | 169,6 | 0,880 | TH 1237 | 716,7 | 0,610 | |
| 38 | TH 338 | 51,8 | 0,490 | TH 438 | 117,8 | 0,520 | TH 638 | 150,0 | 0,590 | TH 1238 | 746,6 | 0,520 | |
| 39 | TH 339 | 52,5 | 3,220 | TH 439 | 106,9 | 0,530 | TH 639 | 145,6 | 3,150 | TH 1239 | 869,9 | 0,680 | |
| 40 | TH 340 | 58,5 | 1,100 | TH 440 | 120,1 | 0,620 | TH 640 | 132,1 | 0,480 | TH 1240 | 774,6 | 0,800 | |
| 41 | TH 341 | 51,6 | 0,600 | TH 441 | 117,9 | 0,470 | TH 641 | 154,5 | 0,520 | TH 1241 | 686,2 | 0,430 | |
| 42 | TH 342 | 56,2 | 0,740 | TH 442 | 105,8 | 0,450 | TH 642 | 147,4 | 0,360 | TH 1242 | 608,8 | 0,530 | |
| 43 | TH 343 | 52,1 | 0,750 | TH 443 | 110,7 | 0,800 | TH 643 | 144,3 | 1,000 | TH 1243 | 676,1 | 0,600 | |
| 44 | TH 344 | 57,9 | 1,450 | TH 444 | 105,7 | 0,430 | TH 644 | 135,3 | 1,570 | TH 1244 | 617,2 | 1,470 | |
| 45 | TH 345 | 60,1 | 0,700 | TH 445 | 105,1 | 0,700 | TH 645 | 138,7 | 1,730 | TH 1245 | 663,4 | 1,730 | |
| 46 | TH 346 | 52,5 | 0,770 | TH 446 | 106,8 | 0,600 | TH 646 | 162,1 | 0,900 | TH 1246 | 603,0 | 0,830 | |
| 47 | TH 347 | 52,0 | 0,560 | TH 447 | 105,8 | 1,010 | TH 647 | 160,5 | 0,330 | TH 1247 | 737,3 | 0,370 | |
| 48 | TH 348 | 51,5 | 0,390 | TH 448 | 101,3 | 0,330 | TH 648 | 128,6 | 0,720 | TH 1248 | 625,5 | 0,480 | |
| 49 | TH 349 | 50,2 | 0,570 | TH 449 | 107,2 | 1,930 | TH 649 | 132,4 | 4,520 | TH 1249 | 800,4 | 0,800 | |
| 50 | TH 350 | 51,8 | 1,340 | TH 450 | 101,3 | 1,280 | TH 650 | 116,5 | 0,640 | TH 1250 | 617,9 | 0,700 | |
| Média | | 56,3 | 1,084 | 114,7 | | 0,893 | 166,0 | | 0,953 | 770,7 | | 0,842 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | 80,055 | | 50,626 | | 82,580 | | 71,450 | | | | | |
| Variância | | 0,754 | | 0,204 | | 0,620 | | 0,362 | | | | | |
| IHL | | 16,6665 | | 15,8085 | | 45,8646 | | 137,6150 | | | | | |
| S_{IHL} | | 106% | | | | | | | | | | | |

Apêndice A15 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|--------|----------------|--------------|----------------|---------------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | TH 301 | 58,0 | 1,329 | TH 401 | 100,5 | 4,098 | TH 601 | 150,9 | 0,366 | TH 1201 | 240,7 | 1,825 | |
| 2 | TH 302 | 58,6 | 3,049 | TH 402 | 94,1 | 1,220 | TH 602 | 143,0 | 9,023 | TH 1202 | 221,1 | 0,665 | |
| 3 | TH 303 | 54,9 | 3,156 | TH 403 | 100,1 | 1,315 | TH 603 | 119,0 | 2,389 | TH 1203 | 197,4 | 2,961 | |
| 4 | TH 304 | 55,9 | 3,871 | TH 404 | 93,1 | 2,589 | TH 604 | 135,3 | 2,928 | TH 1204 | 209,8 | 1,270 | |
| 5 | TH 305 | 53,0 | 4,057 | TH 405 | 90,6 | 2,685 | TH 605 | 125,8 | 0,835 | TH 1205 | 209,9 | 4,467 | |
| 6 | TH 306 | 57,2 | 0,579 | TH 406 | 96,6 | 0,746 | TH 606 | 135,4 | 2,198 | TH 1206 | 213,3 | 2,968 | |
| 7 | TH 307 | 53,9 | 1,587 | TH 407 | 102,9 | 2,746 | TH 607 | 122,8 | 10,998 | TH 1207 | 204,0 | 3,945 | |
| 8 | TH 308 | 54,3 | 7,678 | TH 408 | 96,8 | 2,674 | TH 608 | 135,2 | 1,866 | TH 1208 | 215,6 | 7,353 | |
| 9 | TH 309 | 59,3 | 2,596 | TH 409 | 98,2 | 6,194 | TH 609 | 124,9 | 1,182 | TH 1209 | 217,1 | 0,501 | |
| 10 | TH 310 | 57,3 | 1,716 | TH 410 | 97,7 | 1,714 | TH 610 | 138,6 | 1,698 | TH 1210 | 209,1 | 1,942 | |
| 11 | TH 311 | 54,5 | 1,612 | TH 411 | 103,6 | 3,739 | TH 611 | 126,6 | 0,398 | TH 1211 | 207,6 | 1,158 | |
| 12 | TH 312 | 56,7 | 3,038 | TH 412 | 93,6 | 4,396 | TH 612 | 125,9 | 1,462 | TH 1212 | 197,8 | 2,078 | |
| 13 | TH 313 | 56,2 | 0,811 | TH 413 | 99,4 | 2,471 | TH 613 | 108,4 | 3,053 | TH 1213 | 216,5 | 5,820 | |
| 14 | TH 314 | 56,7 | 1,310 | TH 414 | 96,0 | 4,278 | TH 614 | 120,9 | 3,103 | TH 1214 | 219,4 | 1,832 | |
| 15 | TH 315 | 56,9 | 1,738 | TH 415 | 99,6 | 1,092 | TH 615 | 109,2 | 1,678 | TH 1215 | 181,9 | 2,133 | |
| 16 | TH 316 | 54,3 | 1,530 | TH 416 | 95,1 | 2,277 | TH 616 | 129,2 | 0,997 | TH 1216 | 199,8 | 12,244 | |
| 17 | TH 317 | 57,2 | 2,903 | TH 417 | 94,3 | 4,474 | TH 617 | 103,0 | 3,015 | TH 1217 | 166,2 | 0,720 | |
| 18 | TH 318 | 54,7 | 1,359 | TH 418 | 94,7 | 1,748 | TH 618 | 105,3 | 0,586 | TH 1218 | 193,1 | 2,403 | |
| 19 | TH 319 | 55,7 | 1,633 | TH 419 | 97,7 | 3,785 | TH 619 | 109,7 | 1,416 | TH 1219 | 188,1 | 0,468 | |
| 20 | TH 320 | 58,2 | 3,868 | TH 420 | 95,2 | 2,525 | TH 620 | 121,7 | 3,774 | TH 1220 | 187,9 | 0,882 | |
| 21 | TH 321 | 59,2 | 0,689 | TH 421 | 97,6 | 2,109 | TH 621 | 120,7 | 1,760 | TH 1221 | 239,9 | 1,714 | |
| 22 | TH 322 | 53,1 | 2,599 | TH 422 | 96,7 | 2,632 | TH 622 | 110,9 | 1,977 | TH 1222 | 191,9 | 3,674 | |
| 23 | TH 323 | 54,6 | 0,757 | TH 423 | 91,2 | 2,951 | TH 623 | 119,5 | 0,556 | TH 1223 | 230,4 | 5,724 | |
| 24 | TH 324 | 54,1 | 0,853 | TH 424 | 96,7 | 1,607 | TH 624 | 108,7 | 1,233 | TH 1224 | 194,7 | 0,540 | |
| 25 | TH 325 | 54,1 | 6,061 | TH 425 | 90,3 | 1,641 | TH 625 | 119,1 | 4,907 | TH 1225 | 218,9 | 0,931 | |
| 26 | TH 326 | 54,4 | 4,009 | TH 426 | 93,1 | 1,895 | TH 626 | 129,7 | 3,144 | TH 1226 | 189,4 | 7,084 | |
| 27 | TH 327 | 53,1 | 2,054 | TH 427 | 96,3 | 4,208 | TH 627 | 117,4 | 1,601 | TH 1227 | 202,6 | 1,457 | |
| 28 | TH 328 | 54,7 | 1,057 | TH 428 | 96,0 | 1,373 | TH 628 | 114,7 | 5,671 | TH 1228 | 188,5 | 0,665 | |
| 29 | TH 329 | 56,8 | 1,499 | TH 429 | 90,3 | 2,327 | TH 629 | 112,0 | 0,605 | TH 1229 | 230,6 | 0,834 | |
| 30 | TH 330 | 53,1 | 2,500 | TH 430 | 91,3 | 4,712 | TH 630 | 107,4 | 2,922 | TH 1230 | 195,2 | 0,772 | |
| 31 | TH 331 | 53,2 | 2,724 | TH 431 | 95,1 | 1,976 | TH 631 | 104,3 | 5,599 | TH 1231 | 189,1 | 1,389 | |
| 32 | TH 332 | 55,2 | 1,415 | TH 432 | 94,3 | 5,282 | TH 632 | 107,5 | 0,425 | TH 1232 | 175,3 | 0,697 | |
| 33 | TH 333 | 55,5 | 0,946 | TH 433 | 97,3 | 3,512 | TH 633 | 108,9 | 0,974 | TH 1233 | 226,1 | 3,536 | |
| 34 | TH 334 | 56,4 | 4,299 | TH 434 | 92,2 | 4,349 | TH 634 | 120,6 | 0,281 | TH 1234 | 219,5 | 1,628 | |
| 35 | TH 335 | 55,1 | 1,877 | TH 435 | 94,1 | 2,246 | TH 635 | 103,6 | 0,778 | TH 1235 | 183,9 | 0,829 | |
| 36 | TH 336 | 53,3 | 2,929 | TH 436 | 96,5 | 2,737 | TH 636 | 112,9 | 1,306 | TH 1236 | 207,5 | 1,446 | |
| 37 | TH 337 | 59,1 | 3,482 | TH 437 | 93,4 | 3,044 | TH 637 | 97,8 | 2,744 | TH 1237 | 171,8 | 1,067 | |
| 38 | TH 338 | 52,4 | 1,834 | TH 438 | 92,1 | 2,960 | TH 638 | 104,3 | 2,685 | TH 1238 | 211,9 | 1,605 | |
| 39 | TH 339 | 58,0 | 11,844 | TH 439 | 98,5 | 7,921 | TH 639 | 88,2 | 2,460 | TH 1239 | 193,6 | 1,029 | |
| 40 | TH 340 | 53,9 | 2,372 | TH 440 | 92,1 | 1,540 | TH 640 | 97,5 | 1,302 | TH 1240 | 207,7 | 1,234 | |
| 41 | TH 341 | 56,5 | 4,448 | TH 441 | 93,3 | 5,390 | TH 641 | 96,8 | 2,660 | TH 1241 | 187,1 | 1,390 | |
| 42 | TH 342 | 55,9 | 1,732 | TH 442 | 97,8 | 3,020 | TH 642 | 92,8 | 0,590 | TH 1242 | 153,2 | 10,094 | |
| 43 | TH 343 | 50,4 | 2,241 | TH 443 | 90,4 | 3,533 | TH 643 | 98,6 | 1,437 | TH 1243 | 183,6 | 0,503 | |
| 44 | TH 344 | 52,0 | 2,196 | TH 444 | 95,3 | 3,407 | TH 644 | 104,5 | 2,542 | TH 1244 | 166,7 | 4,507 | |
| 45 | TH 345 | 52,1 | 2,961 | TH 445 | 92,5 | 2,806 | TH 645 | 100,1 | 1,533 | TH 1245 | 210,3 | 0,966 | |
| 46 | TH 346 | 56,0 | 1,934 | TH 446 | 90,9 | 1,434 | TH 646 | 88,7 | 1,212 | TH 1246 | 186,2 | 1,369 | |
| 47 | TH 347 | 52,8 | 1,188 | TH 447 | 92,6 | 3,065 | TH 647 | 103,4 | 9,903 | TH 1247 | 179,9 | 1,578 | |
| 48 | TH 348 | 55,5 | 2,362 | TH 448 | 95,3 | 1,368 | TH 648 | 110,2 | 2,407 | TH 1248 | 182,8 | 1,798 | |
| 49 | TH 349 | 50,8 | 3,908 | TH 449 | 97,0 | 5,007 | TH 649 | 129,1 | 2,391 | TH 1249 | 206,8 | 5,323 | |
| 50 | TH 350 | 53,1 | 1,815 | TH 450 | 89,0 | 2,827 | TH 650 | 87,0 | 0,882 | TH 1250 | 194,9 | 2,898 | |
| Média | | 55,2 | 2,600 | 95,2 | | 2,993 | 114,2 | | 2,429 | 200,3 | | 2,518 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | 74,035 | | 48,179 | | 94,788 | | 99,048 | | | | | |
| Variância | | 3,705 | | 2,079 | | 5,300 | | 6,221 | | | | | |
| IHL | | 12,5421 | | 11,5564 | | 53,9591 | | 89,6398 | | | | | |
| S_{IHL} | | 89% | | | | | | | | | | | |

Apêndice A16 - Dados obtidos do teste de heterogeneidade – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|----------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | TH 301 | 61,1 | 7,690 | TH 401 | 103,9 | 15,025 | TH 601 | 229,4 | 5,957 | TH 1201 | 468,6 | 4,013 | |
| 2 | TH 302 | 60,3 | 15,200 | TH 402 | 102,9 | 9,050 | TH 602 | 237,4 | 7,953 | TH 1202 | 390,3 | 3,310 | |
| 3 | TH 303 | 59,5 | 9,990 | TH 403 | 106,8 | 9,685 | TH 603 | 265,4 | 11,893 | TH 1203 | 444,6 | 8,403 | |
| 4 | TH 304 | 58,5 | 8,050 | TH 404 | 106,0 | 9,305 | TH 604 | 266,1 | 6,133 | TH 1204 | 424,6 | 5,273 | |
| 5 | TH 305 | 58,2 | 13,200 | TH 405 | 112,0 | 10,650 | TH 605 | 258,4 | 7,700 | TH 1205 | 487,6 | 5,933 | |
| 6 | TH 306 | 61,8 | 6,140 | TH 406 | 110,1 | 8,325 | TH 606 | 265,2 | 4,890 | TH 1206 | 432,3 | 5,463 | |
| 7 | TH 307 | 58,7 | 23,900 | TH 407 | 106,3 | 7,025 | TH 607 | 237,4 | 7,060 | TH 1207 | 418,1 | 10,537 | |
| 8 | TH 308 | 60,5 | 6,410 | TH 408 | 104,9 | 5,460 | TH 608 | 239,5 | 5,357 | TH 1208 | 484,2 | 6,247 | |
| 9 | TH 309 | 61,3 | 4,460 | TH 409 | 100,6 | 7,585 | TH 609 | 226,0 | 16,400 | TH 1209 | 472,6 | 12,517 | |
| 10 | TH 310 | 57,9 | 10,900 | TH 410 | 99,1 | 6,135 | TH 610 | 243,5 | 3,647 | TH 1210 | 449,1 | 4,423 | |
| 11 | TH 311 | 61,4 | 11,050 | TH 411 | 99,5 | 6,955 | TH 611 | 245,1 | 17,233 | TH 1211 | 497,0 | 4,970 | |
| 12 | TH 312 | 59,6 | 10,600 | TH 412 | 99,7 | 8,285 | TH 612 | 241,3 | 3,650 | TH 1212 | 427,8 | 8,773 | |
| 13 | TH 313 | 56,4 | 14,750 | TH 413 | 99,7 | 10,450 | TH 613 | 236,8 | 27,267 | TH 1213 | 453,6 | 17,583 | |
| 14 | TH 314 | 57,9 | 5,400 | TH 414 | 99,2 | 7,420 | TH 614 | 234,2 | 14,250 | TH 1214 | 500,3 | 1,827 | |
| 15 | TH 315 | 61,3 | 5,190 | TH 415 | 100,9 | 4,465 | TH 615 | 228,2 | 11,233 | TH 1215 | 425,8 | 6,503 | |
| 16 | TH 316 | 56,2 | 6,280 | TH 416 | 108,2 | 9,725 | TH 616 | 222,5 | 5,757 | TH 1216 | 424,7 | 6,937 | |
| 17 | TH 317 | 62,5 | 8,810 | TH 417 | 102,1 | 8,955 | TH 617 | 249,6 | 8,107 | TH 1217 | 531,8 | 3,267 | |
| 18 | TH 318 | 59,7 | 5,900 | TH 418 | 103,2 | 8,660 | TH 618 | 229,5 | 5,103 | TH 1218 | 480,5 | 8,137 | |
| 19 | TH 319 | 56,6 | 8,530 | TH 419 | 96,6 | 7,445 | TH 619 | 218,4 | 10,403 | TH 1219 | 457,7 | 1,647 | |
| 20 | TH 320 | 54,2 | 5,640 | TH 420 | 96,2 | 13,100 | TH 620 | 219,9 | 9,620 | TH 1220 | 446,5 | 10,110 | |
| 21 | TH 321 | 55,1 | 7,470 | TH 421 | 99,5 | 7,845 | TH 621 | 226,2 | 3,967 | TH 1221 | 389,1 | 11,387 | |
| 22 | TH 322 | 59,8 | 9,430 | TH 422 | 97,7 | 7,160 | TH 622 | 194,0 | 5,983 | TH 1222 | 412,1 | 13,467 | |
| 23 | TH 323 | 61,6 | 4,450 | TH 423 | 99,1 | 9,160 | TH 623 | 215,5 | 7,667 | TH 1223 | 406,4 | 3,633 | |
| 24 | TH 324 | 56,2 | 6,460 | TH 424 | 95,3 | 5,165 | TH 624 | 215,0 | 6,553 | TH 1224 | 459,2 | 4,100 | |
| 25 | TH 325 | 55,8 | 5,790 | TH 425 | 99,8 | 5,710 | TH 625 | 215,2 | 3,773 | TH 1225 | 453,6 | 7,407 | |
| 26 | TH 326 | 53,3 | 12,400 | TH 426 | 98,4 | 7,085 | TH 626 | 192,9 | 9,547 | TH 1226 | 370,0 | 6,287 | |
| 27 | TH 327 | 55,9 | 5,590 | TH 427 | 99,5 | 6,190 | TH 627 | 215,4 | 13,900 | TH 1227 | 392,5 | 7,643 | |
| 28 | TH 328 | 56,8 | 5,140 | TH 428 | 100,2 | 12,550 | TH 628 | 208,7 | 3,003 | TH 1228 | 396,8 | 6,977 | |
| 29 | TH 329 | 57,0 | 10,600 | TH 429 | 97,8 | 9,355 | TH 629 | 205,5 | 14,500 | TH 1229 | 387,7 | 9,393 | |
| 30 | TH 330 | 55,8 | 18,050 | TH 430 | 98,2 | 10,025 | TH 630 | 200,1 | 15,867 | TH 1230 | 409,8 | 2,293 | |
| 31 | TH 331 | 57,6 | 16,300 | TH 431 | 100,4 | 14,825 | TH 631 | 196,5 | 1,893 | TH 1231 | 358,1 | 7,757 | |
| 32 | TH 332 | 55,0 | 10,400 | TH 432 | 99,4 | 11,500 | TH 632 | 192,8 | 5,943 | TH 1232 | 351,3 | 10,123 | |
| 33 | TH 333 | 54,1 | 6,910 | TH 433 | 95,1 | 6,045 | TH 633 | 203,1 | 4,847 | TH 1233 | 339,0 | 8,223 | |
| 34 | TH 334 | 56,1 | 6,390 | TH 434 | 99,3 | 12,050 | TH 634 | 200,9 | 6,017 | TH 1234 | 355,0 | 2,483 | |
| 35 | TH 335 | 53,4 | 8,380 | TH 435 | 97,8 | 4,155 | TH 635 | 182,3 | 6,777 | TH 1235 | 360,1 | 4,407 | |
| 36 | TH 336 | 55,2 | 9,580 | TH 436 | 98,2 | 6,920 | TH 636 | 204,5 | 8,213 | TH 1236 | 421,6 | 15,733 | |
| 37 | TH 337 | 55,7 | 4,680 | TH 437 | 106,8 | 11,025 | TH 637 | 172,0 | 6,013 | TH 1237 | 346,9 | 5,157 | |
| 38 | TH 338 | 54,9 | 4,580 | TH 438 | 98,8 | 8,715 | TH 638 | 180,8 | 7,427 | TH 1238 | 337,7 | 8,280 | |
| 39 | TH 339 | 56,0 | 11,250 | TH 439 | 95,6 | 13,775 | TH 639 | 177,6 | 8,977 | TH 1239 | 339,5 | 3,940 | |
| 40 | TH 340 | 56,8 | 5,420 | TH 440 | 102,1 | 9,745 | TH 640 | 196,3 | 5,260 | TH 1240 | 345,4 | 7,073 | |
| 41 | TH 341 | 55,1 | 13,100 | TH 441 | 97,2 | 5,460 | TH 641 | 195,2 | 6,587 | TH 1241 | 360,0 | 8,710 | |
| 42 | TH 342 | 56,7 | 6,840 | TH 442 | 96,5 | 5,220 | TH 642 | 187,2 | 5,637 | TH 1242 | 356,6 | 12,067 | |
| 43 | TH 343 | 54,3 | 5,320 | TH 443 | 104,1 | 4,370 | TH 643 | 180,7 | 5,247 | TH 1243 | 381,2 | 7,310 | |
| 44 | TH 344 | 57,2 | 7,240 | TH 444 | 97,7 | 12,850 | TH 644 | 166,5 | 5,470 | TH 1244 | 363,7 | 2,230 | |
| 45 | TH 345 | 53,4 | 6,860 | TH 445 | 97,2 | 7,130 | TH 645 | 195,6 | 10,037 | TH 1245 | 344,9 | 18,817 | |
| 46 | TH 346 | 55,7 | 7,740 | TH 446 | 98,9 | 9,220 | TH 646 | 182,8 | 6,370 | TH 1246 | 354,2 | 12,883 | |
| 47 | TH 347 | 52,9 | 14,450 | TH 447 | 99,0 | 9,940 | TH 647 | 169,9 | 6,267 | TH 1247 | 364,9 | 6,723 | |
| 48 | TH 348 | 55,8 | 4,850 | TH 448 | 98,6 | 4,450 | TH 648 | 173,2 | 3,900 | TH 1248 | 352,6 | 12,000 | |
| 49 | TH 349 | 55,6 | 12,550 | TH 449 | 100,6 | 6,745 | TH 649 | 169,2 | 8,017 | TH 1249 | 329,5 | 4,010 | |
| 50 | TH 350 | 54,7 | 4,240 | TH 450 | 96,9 | 10,005 | TH 650 | 159,5 | 6,653 | TH 1250 | 302,2 | 17,800 | |
| Média | | 57,1 | 8,811 | 100,5 | | 8,562 | 211,4 | | 7,998 | 405,2 | | 7,684 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | 46,629 | | 32,108 | | 56,567 | | 54,945 | | | | | |
| Variância | | 16,880 | | 7,557 | | 20,471 | | 17,824 | | | | | |
| IHL | | 6,1938 | | 5,4988 | | 33,3174 | | 66,3888 | | | | | |
| S_{IHL} | | 103% | | | | | | | | | | | |

APÊNDICE B – DADOS EXPERIMENTAIS: SSFA

Apêndice B1 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 1 – Itabirito 1 – Fe (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|--------|-------------------|-----------|--------|-------------------|-----------|--------|--------------------|-----------|--------|-------------------|-----------|--------|
| | | ID | Massa (g) | Fe (%) | ID | Massa (g) | Fe (%) | ID | Massa (g) | Fe (%) | ID | Massa (g) | Fe (%) |
| 1 | | SSFA 301 | 462,2 | 40,5 | SSFA 401 | 497,4 | 40,7 | SSFA 601 | 1112,3 | 39,0 | SSFA 120 | 812,4 | 38,7 |
| 2 | | SSFA 302 | 458,1 | 41,0 | SSFA 402 | 382,9 | 40,5 | SSFA 602 | 1046,8 | 40,8 | SSFA 120 | 789,9 | 38,6 |
| 3 | | SSFA 303 | 420,7 | 40,8 | SSFA 403 | 458,4 | 40,4 | SSFA 603 | 1064,6 | 39,6 | SSFA 120 | 829,1 | 39,5 |
| 4 | | SSFA 304 | 426,1 | 40,2 | SSFA 404 | 392,4 | 41,3 | SSFA 604 | 1076,1 | 39,5 | SSFA 120 | 840,6 | 39,4 |
| 5 | | SSFA 305 | 399,2 | 40,7 | SSFA 405 | 441,1 | 40,1 | SSFA 605 | 972,2 | 39,8 | SSFA 120 | 850,2 | 40,2 |
| 6 | | SSFA 306 | 421,9 | 40,1 | SSFA 406 | 444,5 | 39,8 | SSFA 606 | 1110,5 | 40,2 | SSFA 120 | 832,7 | 38,3 |
| 7 | | SSFA 307 | 502,1 | 40,4 | SSFA 407 | 396,8 | 40,2 | SSFA 607 | 985,2 | 39,4 | SSFA 120 | 997,2 | 39,8 |
| 8 | | SSFA 308 | 384,0 | 40,7 | SSFA 408 | 473,7 | 40,3 | SSFA 608 | 1236,2 | 39,7 | SSFA 120 | 792,2 | 39,6 |
| 9 | | SSFA 309 | 471,3 | 39,7 | SSFA 409 | 401,3 | 39,9 | SSFA 609 | 1108,7 | 39,3 | SSFA 120 | 1040,2 | 39,3 |
| 10 | | SSFA 310 | 383,6 | 40,8 | SSFA 410 | 460,0 | 40,5 | SSFA 610 | 1102,2 | 39,7 | SSFA 121 | 823,0 | 39,6 |
| 11 | | SSFA 311 | 471,6 | 40,8 | SSFA 411 | 438,4 | 40,5 | SSFA 611 | 1093,8 | 39,7 | SSFA 121 | 926,4 | 39,6 |
| 12 | | SSFA 312 | 427,4 | 40,8 | SSFA 412 | 476,7 | 39,5 | SSFA 612 | 1013,4 | 38,9 | SSFA 121 | 822,8 | 37,0 |
| 13 | | SSFA 313 | 481,6 | 39,9 | SSFA 413 | 469,7 | 40,1 | SSFA 613 | 1085,7 | 38,7 | SSFA 121 | 799,4 | 40,4 |
| 14 | | SSFA 314 | 391,6 | 40,2 | SSFA 414 | 455,0 | 40,0 | SSFA 614 | 1111,4 | 39,9 | SSFA 121 | 1047,3 | 39,8 |
| 15 | | SSFA 315 | 483,0 | 40,7 | SSFA 415 | 504,1 | 41,1 | SSFA 615 | 964,3 | 39,6 | SSFA 121 | 935,8 | 39,0 |
| 16 | | SSFA 316 | 421,5 | 40,6 | SSFA 416 | 536,3 | 40,6 | SSFA 616 | 954,9 | 39,8 | SSFA 121 | 981,2 | 40,2 |
| 17 | | SSFA 317 | 423,7 | 40,8 | SSFA 417 | 437,9 | 40,2 | SSFA 617 | 1089,4 | 39,3 | SSFA 121 | 914,4 | 40,1 |
| 18 | | SSFA 318 | 425,2 | 40,4 | SSFA 418 | 483,2 | 40,1 | SSFA 618 | 1068,7 | 39,3 | SSFA 121 | 996,0 | 39,2 |
| 19 | | SSFA 319 | 464,9 | 40,4 | SSFA 419 | 487,3 | 40,4 | SSFA 619 | 1197,7 | 39,3 | SSFA 121 | 874,4 | 40,4 |
| 20 | | SSFA 320 | 419,1 | 39,8 | SSFA 420 | 413,1 | 40,5 | SSFA 620 | 1115,9 | 39,6 | SSFA 122 | 970,7 | 39,1 |
| 21 | | SSFA 321 | 464,7 | 40,8 | SSFA 421 | 448,8 | 40,1 | SSFA 621 | 994,8 | 39,3 | SSFA 122 | 967,4 | 39,7 |
| 22 | | SSFA 322 | 405,3 | 40,0 | SSFA 422 | 454,6 | 40,2 | SSFA 622 | 994,0 | 40,2 | SSFA 122 | 1042,3 | 38,3 |
| 23 | | SSFA 323 | 370,7 | 39,8 | SSFA 423 | 415,6 | 40,2 | SSFA 623 | 1078,3 | 39,6 | SSFA 122 | 784,9 | 40,1 |
| 24 | | SSFA 324 | 380,8 | 39,7 | SSFA 424 | 494,9 | 40,9 | SSFA 624 | 1101,3 | 40,4 | SSFA 122 | 937,3 | 38,0 |
| 25 | | SSFA 325 | 391,6 | 39,8 | SSFA 425 | 445,3 | 40,4 | SSFA 625 | 992,1 | 39,2 | SSFA 122 | 1014,1 | 38,8 |
| 26 | | SSFA 336 | 384,0 | 39,9 | SSFA 426 | 420,8 | 40,6 | SSFA 626 | 1003,0 | 40,0 | SSFA 122 | 1015,8 | 40,5 |
| 27 | | SSFA 327 | 443,7 | 40,4 | SSFA 427 | 411,8 | 39,7 | SSFA 627 | 1072,3 | 39,8 | SSFA 122 | 1009,7 | 40,1 |
| 28 | | SSFA 328 | 433,9 | 40,4 | SSFA 428 | 428,0 | 40,6 | SSFA 628 | 1075,6 | 38,3 | SSFA 122 | 880,5 | 38,6 |
| 29 | | SSFA 329 | 442,6 | 39,7 | SSFA 429 | 390,8 | 40,3 | SSFA 629 | 1075,7 | 39,1 | SSFA 122 | 966,2 | 39,1 |
| 30 | | SSFA 330 | 454,5 | 39,9 | SSFA 430 | 453,2 | 39,8 | SSFA 630 | 1051,0 | 39,3 | SSFA 123 | 1050,0 | 38,0 |
| 31 | | SSFA 331 | 511,6 | 40,4 | SSFA 431 | 475,2 | 39,3 | SSFA 631 | 1028,0 | 39,6 | SSFA 123 | 1009,9 | 40,1 |
| 32 | | SSFA 332 | 490,7 | 40,5 | SSFA 432 | 484,8 | 39,7 | SSFA 632 | 918,3 | 40,1 | SSFA 123 | 792,7 | 39,6 |
| Média | | 434,8 40,3 | | | 449,2 40,3 | | | 1059,2 39,6 | | | 917,1 39,3 | | |
| Desvio padrão relativo (%) | | 1,009 | | | 1,083 | | | 1,264 | | | 2,118 | | |
| Variância | | 0,165 | | | 0,190 | | | 0,250 | | | 0,694 | | |
| IHL | | 0,0229 | | | 0,0291 | | | 0,0904 | | | 0,2151 | | |
| S_{IHL} | | 100% | | | | | | | | | | | |

Apêndice B4 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 1 – Itabirito 2 – SiO₂ (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|
| | | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) |
| 1 | SSFA 301 | 400,8 | 39,1 | SSFA 401 | 551,9 | 38,7 | SSFA 601 | 1142,6 | 39,6 | SSFA 120 | 860,8 | 42,9 | |
| 2 | SSFA 302 | 437,9 | 39,1 | SSFA 402 | 558,3 | 38,5 | SSFA 602 | 1141,5 | 38,9 | SSFA 120 | 922,0 | 40,6 | |
| 3 | SSFA 303 | 404,2 | 39,7 | SSFA 403 | 520,8 | 39,1 | SSFA 603 | 964,3 | 37,9 | SSFA 120 | 889,8 | 40,0 | |
| 4 | SSFA 304 | 416,3 | 38,1 | SSFA 404 | 527,9 | 39,4 | SSFA 604 | 937,2 | 40,4 | SSFA 120 | 1020,5 | 40,5 | |
| 5 | SSFA 305 | 410,7 | 38,7 | SSFA 405 | 489,7 | 39,4 | SSFA 605 | 1073,7 | 38,7 | SSFA 120 | 1055,8 | 39,3 | |
| 6 | SSFA 306 | 396,7 | 38,3 | SSFA 406 | 418,5 | 38,6 | SSFA 606 | 984,8 | 39,1 | SSFA 120 | 835,3 | 40,9 | |
| 7 | SSFA 307 | 411,4 | 39,5 | SSFA 407 | 482,7 | 39,8 | SSFA 607 | 855,5 | 38,1 | SSFA 120 | 1024,3 | 40,8 | |
| 8 | SSFA 308 | 414,2 | 39,1 | SSFA 408 | 475,9 | 38,5 | SSFA 608 | 996,6 | 38,5 | SSFA 120 | 954,1 | 40,0 | |
| 9 | SSFA 309 | 423,2 | 38,9 | SSFA 409 | 477,9 | 38,7 | SSFA 609 | 841,7 | 38,2 | SSFA 120 | 1201,0 | 40,0 | |
| 10 | SSFA 310 | 432,2 | 38,5 | SSFA 410 | 469,3 | 38,9 | SSFA 610 | 929,2 | 39,2 | SSFA 121 | 707,0 | 39,3 | |
| 11 | SSFA 311 | 428,7 | 39,2 | SSFA 411 | 464,6 | 38,8 | SSFA 611 | 975,1 | 38,4 | SSFA 121 | 1080,9 | 40,4 | |
| 12 | SSFA 312 | 387,6 | 38,9 | SSFA 412 | 524,3 | 39,7 | SSFA 612 | 995,6 | 38,6 | SSFA 121 | 861,1 | 41,0 | |
| 13 | SSFA 313 | 419,5 | 39,6 | SSFA 413 | 497,3 | 39,7 | SSFA 613 | 968,3 | 37,9 | SSFA 121 | 1018,0 | 42,6 | |
| 14 | SSFA 314 | 382,2 | 39,7 | SSFA 414 | 478,2 | 39,7 | SSFA 614 | 967,9 | 39,4 | SSFA 121 | 1099,5 | 41,0 | |
| 15 | SSFA 315 | 441,4 | 38,0 | SSFA 415 | 501,7 | 38,7 | SSFA 615 | 993,4 | 38,2 | SSFA 121 | 956,1 | 41,6 | |
| 16 | SSFA 316 | 446,3 | 38,7 | SSFA 416 | 485,5 | 40,0 | SSFA 616 | 874,5 | 38,8 | SSFA 121 | 802,6 | 40,6 | |
| 17 | SSFA 317 | 444,9 | 38,6 | SSFA 417 | 489,2 | 39,4 | SSFA 617 | 1019,7 | 40,2 | SSFA 121 | 838,0 | 40,2 | |
| 18 | SSFA 318 | 435,8 | 37,9 | SSFA 418 | 510,3 | 39,0 | SSFA 618 | 1069,9 | 38,9 | SSFA 121 | 861,6 | 41,9 | |
| 19 | SSFA 319 | 408,5 | 38,5 | SSFA 419 | 503,0 | 38,6 | SSFA 619 | 935,4 | 37,0 | SSFA 121 | 768,4 | 42,6 | |
| 20 | SSFA 320 | 446,3 | 39,5 | SSFA 420 | 609,5 | 38,3 | SSFA 620 | 1001,0 | 38,2 | SSFA 122 | 947,2 | 40,0 | |
| 21 | SSFA 321 | 417,7 | 39,4 | SSFA 421 | 508,5 | 38,8 | SSFA 621 | 997,3 | 37,9 | SSFA 122 | 1036,1 | 40,4 | |
| 22 | SSFA 322 | 432,6 | 38,9 | SSFA 422 | 506,3 | 39,3 | SSFA 622 | 969,6 | 39,5 | SSFA 122 | 814,0 | 41,7 | |
| 23 | SSFA 323 | 416,9 | 39,0 | SSFA 423 | 474,1 | 39,8 | SSFA 623 | 966,5 | 39,0 | SSFA 122 | 820,3 | 40,1 | |
| 24 | SSFA 324 | 376,8 | 38,3 | SSFA 424 | 501,6 | 39,4 | SSFA 624 | 1073,9 | 38,8 | SSFA 122 | 747,9 | 39,7 | |
| 25 | SSFA 325 | 393,2 | 39,5 | SSFA 425 | 472,9 | 38,7 | SSFA 625 | 978,8 | 39,0 | SSFA 122 | 965,9 | 41,5 | |
| 26 | SSFA 326 | 430,2 | 38,6 | SSFA 426 | 481,5 | 38,7 | SSFA 626 | 1004,6 | 39,2 | SSFA 122 | 957,3 | 40,1 | |
| 27 | SSFA 327 | 435,5 | 39,2 | SSFA 427 | 493,6 | 38,2 | SSFA 627 | 947,7 | 39,1 | SSFA 122 | 1051,4 | 38,0 | |
| 28 | SSFA 328 | 406,9 | 38,3 | SSFA 428 | 505,6 | 39,9 | SSFA 628 | 972,7 | 40,0 | SSFA 122 | 934,9 | 40,3 | |
| 29 | SSFA 329 | 391,3 | 38,8 | SSFA 429 | 534,6 | 39,7 | SSFA 629 | 976,1 | 39,6 | SSFA 122 | 965,7 | 38,1 | |
| 30 | SSFA 330 | 420,3 | 38,8 | SSFA 430 | 500,0 | 39,3 | SSFA 630 | 961,4 | 38,5 | SSFA 123 | 842,7 | 41,5 | |
| 31 | SSFA 331 | 414,6 | 38,5 | SSFA 431 | 491,2 | 39,2 | SSFA 631 | 1040,9 | 39,3 | SSFA 123 | 833,0 | 41,3 | |
| 32 | SSFA 332 | 395,1 | 39,3 | SSFA 432 | 537,8 | 39,1 | SSFA 632 | 959,8 | 38,5 | SSFA 123 | 1040,2 | 38,6 | |
| Média | | 416,2 | 38,9 | | 501,4 | 39,1 | | 984,9 | 38,8 | | 928,5 | 40,5 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 1,294 | | | 1,300 | | | 1,886 | | | 2,909 | |
| Variância | | | 0,253 | | | 0,259 | | | 0,536 | | | 1,392 | |
| IHL | | | 0,0371 | | | 0,0460 | | | 0,1803 | | | 0,4289 | |
| S_{IHL} | | 106% | | | | | | | | | | | |

Apêndice B5 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 2 – Bauxita – SiO₂ (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|----------------|----------------------|
| | | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) | ID | Massa (g) | SiO ₂ (%) |
| 1 | SSFA 301 | 529,5 | 11,70 | SSFA 401 | 249,3 | 8,12 | SSFA 601 | 661,9 | 5,93 | SSFA 120 | 2854,2 | 3,44 | |
| 2 | SSFA 302 | 556,7 | 12,00 | SSFA 402 | 266,1 | 8,32 | SSFA 602 | 769,9 | 4,56 | SSFA 120 | 2828,0 | 3,09 | |
| 3 | SSFA 303 | 499,5 | 12,09 | SSFA 403 | 236,7 | 8,53 | SSFA 603 | 683,6 | 5,63 | SSFA 120 | 2541,5 | 2,78 | |
| 4 | SSFA 304 | 527,7 | 14,63 | SSFA 404 | 246,2 | 10,70 | SSFA 604 | 772,6 | 5,25 | SSFA 120 | 2535,6 | 3,63 | |
| 5 | SSFA 305 | 556,2 | 12,70 | SSFA 405 | 249,2 | 9,60 | SSFA 605 | 833,2 | 5,41 | SSFA 120 | 2543,1 | 3,85 | |
| 6 | SSFA 306 | 473,9 | 12,88 | SSFA 406 | 223,7 | 8,38 | SSFA 606 | 713,6 | 5,84 | SSFA 120 | 2577,4 | 3,29 | |
| 7 | SSFA 307 | 591,5 | 11,34 | SSFA 407 | 215,4 | 8,57 | SSFA 607 | 765,2 | 4,28 | SSFA 120 | 2525,8 | 2,49 | |
| 8 | SSFA 308 | 626,5 | 14,35 | SSFA 408 | 253,2 | 9,92 | SSFA 608 | 794,7 | 4,13 | SSFA 120 | 2892,5 | 2,50 | |
| 9 | SSFA 309 | 550,1 | 11,60 | SSFA 409 | 245,3 | 9,11 | SSFA 609 | 769,3 | 4,48 | SSFA 120 | 2613,1 | 2,27 | |
| 10 | SSFA 310 | 603,7 | 12,36 | SSFA 410 | 248,8 | 8,85 | SSFA 610 | 731,5 | 4,97 | SSFA 121 | 1983,4 | 2,55 | |
| 11 | SSFA 311 | 527,6 | 12,93 | SSFA 411 | 230,0 | 8,74 | SSFA 611 | 682,6 | 5,59 | SSFA 121 | 1793,2 | 2,24 | |
| 12 | SSFA 312 | 501,0 | 11,50 | SSFA 412 | 258,8 | 11,22 | SSFA 612 | 692,8 | 4,58 | SSFA 121 | 2182,4 | 1,96 | |
| 13 | SSFA 313 | 548,4 | 14,92 | SSFA 413 | 273,5 | 9,00 | SSFA 613 | 711,0 | 4,69 | SSFA 121 | 2246,1 | 1,88 | |
| 14 | SSFA 314 | 671,0 | 13,00 | SSFA 414 | 266,0 | 9,48 | SSFA 614 | 761,2 | 5,55 | SSFA 121 | 1890,1 | 3,08 | |
| 15 | SSFA 315 | 599,6 | 12,60 | SSFA 415 | 260,6 | 10,55 | SSFA 615 | 769,4 | 4,46 | SSFA 121 | 2221,6 | 2,61 | |
| 16 | SSFA 316 | 670,3 | 13,23 | SSFA 416 | 228,1 | 10,98 | SSFA 616 | 680,0 | 4,64 | SSFA 121 | 2074,5 | 2,46 | |
| 17 | SSFA 317 | 527,3 | 13,82 | SSFA 417 | 264,7 | 11,72 | SSFA 617 | 729,9 | 4,69 | SSFA 121 | 2198,8 | 3,71 | |
| 18 | SSFA 318 | 573,5 | 13,83 | SSFA 418 | 234,2 | 11,37 | SSFA 618 | 825,2 | 5,08 | SSFA 121 | 1919,0 | 3,10 | |
| 19 | SSFA 319 | 550,7 | 14,00 | SSFA 419 | 267,0 | 11,17 | SSFA 619 | 752,6 | 4,93 | SSFA 121 | 1918,8 | 3,55 | |
| 20 | SSFA 320 | 549,0 | 11,62 | SSFA 420 | 232,3 | 11,72 | SSFA 620 | 783,4 | 5,04 | SSFA 122 | 2052,6 | 3,08 | |
| 21 | SSFA 321 | 575,3 | 13,64 | SSFA 421 | 230,2 | 8,69 | SSFA 621 | 762,6 | 5,29 | SSFA 122 | 2166,1 | 3,39 | |
| 22 | SSFA 322 | 531,0 | 12,42 | SSFA 422 | 235,8 | 10,04 | SSFA 622 | 745,2 | 5,46 | SSFA 122 | 1925,7 | 3,15 | |
| 23 | SSFA 323 | 510,5 | 14,39 | SSFA 423 | 257,3 | 8,80 | SSFA 623 | 723,7 | 4,97 | SSFA 122 | 2524,3 | 3,27 | |
| 24 | SSFA 324 | 501,3 | 13,10 | SSFA 424 | 282,6 | 8,19 | SSFA 624 | 697,2 | 5,42 | SSFA 122 | 1770,3 | 2,89 | |
| 25 | SSFA 325 | 567,0 | 13,64 | SSFA 425 | 273,5 | 9,39 | SSFA 625 | 760,7 | 5,02 | SSFA 122 | 1832,3 | 4,30 | |
| 26 | SSFA 326 | 545,7 | 12,46 | SSFA 426 | 230,5 | 11,23 | SSFA 626 | 694,8 | 5,65 | SSFA 122 | 2015,1 | 2,55 | |
| 27 | SSFA 327 | 576,3 | 10,05 | SSFA 427 | 274,4 | 9,70 | SSFA 627 | 750,3 | 4,76 | SSFA 122 | 2302,7 | 3,63 | |
| 28 | SSFA 328 | 587,3 | 13,94 | SSFA 428 | 261,5 | 9,46 | SSFA 628 | 771,7 | 6,14 | SSFA 122 | 2695,3 | 4,91 | |
| 29 | SSFA 329 | 542,8 | 13,60 | SSFA 429 | 238,0 | 8,93 | SSFA 629 | 743,4 | 4,86 | SSFA 122 | 1909,4 | 3,29 | |
| 30 | SSFA 330 | 515,8 | 11,97 | SSFA 430 | 252,0 | 9,69 | SSFA 630 | 810,1 | 5,22 | SSFA 123 | 1944,3 | 3,37 | |
| 31 | SSFA 331 | 593,8 | 13,63 | SSFA 431 | 227,3 | 9,07 | SSFA 631 | 704,7 | 4,83 | SSFA 123 | 2204,0 | 2,74 | |
| 32 | SSFA 332 | 549,6 | 12,00 | SSFA 432 | 221,3 | 12,74 | SSFA 632 | 737,1 | 4,19 | SSFA 123 | 1794,6 | 2,72 | |
| Média | | 557,2 | 12,87 | | 247,9 | 9,75 | | 743,3 | 5,05 | | 2233,6 | 3,06 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 8,705 | | | 12,634 | | | 10,265 | | | 21,480 | |
| Variância | | | 1,256 | | | 1,517 | | | 0,268 | | | 0,431 | |
| IHL | | | 2,2477 | | | 2,0258 | | | 4,1383 | | | 60,2693 | |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 167% | | | | |

Apêndice B6 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 2 – Bauxita – Fe₂O₃ (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | -6,35+4,75 mm | | -12,7+6,35 mm | | -25,4+12,7 mm | | | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|--|---------------|--|---------------|--|----------------|--|---------------|--------|-------|
| | | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Fe ₂ O ₃ (%) | | | |
| 1 | SSFA 301 | 529,5 | 16,73 | SSFA 401 | 249,3 | 17,27 | SSFA 601 | 661,9 | 17,61 | SSFA 120 | 2854,2 | 24,79 |
| 2 | SSFA 302 | 556,7 | 17,51 | SSFA 402 | 266,1 | 17,76 | SSFA 602 | 769,9 | 18,29 | SSFA 120 | 2828,0 | 12,73 |
| 3 | SSFA 303 | 499,5 | 17,14 | SSFA 403 | 236,7 | 18,58 | SSFA 603 | 683,6 | 18,98 | SSFA 120 | 2541,5 | 16,20 |
| 4 | SSFA 304 | 527,7 | 17,46 | SSFA 404 | 246,2 | 18,52 | SSFA 604 | 772,6 | 18,10 | SSFA 120 | 2535,6 | 15,71 |
| 5 | SSFA 305 | 556,2 | 16,60 | SSFA 405 | 249,2 | 17,06 | SSFA 605 | 833,2 | 15,19 | SSFA 120 | 2543,1 | 17,63 |
| 6 | SSFA 306 | 473,9 | 16,74 | SSFA 406 | 223,7 | 18,98 | SSFA 606 | 713,6 | 21,00 | SSFA 120 | 2577,4 | 17,49 |
| 7 | SSFA 307 | 591,5 | 16,85 | SSFA 407 | 215,4 | 16,99 | SSFA 607 | 765,2 | 18,19 | SSFA 120 | 2525,8 | 15,82 |
| 8 | SSFA 308 | 626,5 | 17,04 | SSFA 408 | 253,2 | 17,32 | SSFA 608 | 794,7 | 17,85 | SSFA 120 | 2892,5 | 16,22 |
| 9 | SSFA 309 | 550,1 | 16,96 | SSFA 409 | 245,3 | 17,24 | SSFA 609 | 769,3 | 18,87 | SSFA 120 | 2613,1 | 14,85 |
| 10 | SSFA 310 | 603,7 | 17,11 | SSFA 410 | 248,8 | 17,95 | SSFA 610 | 731,5 | 15,24 | SSFA 121 | 1983,4 | 17,63 |
| 11 | SSFA 311 | 527,6 | 17,11 | SSFA 411 | 230,0 | 17,19 | SSFA 611 | 682,6 | 18,27 | SSFA 121 | 1793,2 | 27,20 |
| 12 | SSFA 312 | 501,0 | 16,80 | SSFA 412 | 258,8 | 17,09 | SSFA 612 | 692,8 | 20,04 | SSFA 121 | 2182,4 | 19,65 |
| 13 | SSFA 313 | 548,4 | 16,99 | SSFA 413 | 273,5 | 17,08 | SSFA 613 | 711,0 | 19,75 | SSFA 121 | 2246,1 | 20,91 |
| 14 | SSFA 314 | 671,0 | 17,72 | SSFA 414 | 266,0 | 17,73 | SSFA 614 | 761,2 | 17,03 | SSFA 121 | 1890,1 | 13,35 |
| 15 | SSFA 315 | 599,6 | 17,27 | SSFA 415 | 260,6 | 16,30 | SSFA 615 | 769,4 | 16,65 | SSFA 121 | 2221,6 | 24,23 |
| 16 | SSFA 316 | 670,3 | 17,19 | SSFA 416 | 228,1 | 18,34 | SSFA 616 | 680,0 | 18,64 | SSFA 121 | 2074,5 | 13,77 |
| 17 | SSFA 317 | 527,3 | 17,88 | SSFA 417 | 264,7 | 18,33 | SSFA 617 | 729,9 | 19,81 | SSFA 121 | 2198,8 | 14,87 |
| 18 | SSFA 318 | 573,5 | 16,77 | SSFA 418 | 234,2 | 18,35 | SSFA 618 | 825,2 | 19,19 | SSFA 121 | 1919,0 | 14,96 |
| 19 | SSFA 319 | 550,7 | 17,57 | SSFA 419 | 267,0 | 17,46 | SSFA 619 | 752,6 | 17,20 | SSFA 121 | 1918,8 | 12,06 |
| 20 | SSFA 320 | 549,0 | 17,07 | SSFA 420 | 232,3 | 17,33 | SSFA 620 | 783,4 | 15,74 | SSFA 122 | 2052,6 | 14,75 |
| 21 | SSFA 321 | 575,3 | 17,02 | SSFA 421 | 230,2 | 18,05 | SSFA 621 | 762,6 | 17,59 | SSFA 122 | 2166,1 | 19,69 |
| 22 | SSFA 322 | 531,0 | 17,47 | SSFA 422 | 235,8 | 18,50 | SSFA 622 | 745,2 | 18,37 | SSFA 122 | 1925,7 | 11,65 |
| 23 | SSFA 323 | 510,5 | 17,27 | SSFA 423 | 257,3 | 17,23 | SSFA 623 | 723,7 | 20,73 | SSFA 122 | 2524,3 | 12,94 |
| 24 | SSFA 324 | 501,3 | 17,03 | SSFA 424 | 282,6 | 17,13 | SSFA 624 | 697,2 | 17,82 | SSFA 122 | 1770,3 | 13,09 |
| 25 | SSFA 325 | 567,0 | 16,76 | SSFA 425 | 273,5 | 16,91 | SSFA 625 | 760,7 | 16,14 | SSFA 122 | 1832,3 | 11,75 |
| 26 | SSFA 326 | 545,7 | 17,20 | SSFA 426 | 230,5 | 17,42 | SSFA 626 | 694,8 | 17,26 | SSFA 122 | 2015,1 | 22,09 |
| 27 | SSFA 327 | 576,3 | 16,90 | SSFA 427 | 274,4 | 16,67 | SSFA 627 | 750,3 | 16,59 | SSFA 122 | 2302,7 | 11,15 |
| 28 | SSFA 328 | 587,3 | 16,75 | SSFA 428 | 261,5 | 17,41 | SSFA 628 | 771,7 | 17,79 | SSFA 122 | 2695,3 | 15,22 |
| 29 | SSFA 329 | 542,8 | 17,10 | SSFA 429 | 238,0 | 17,25 | SSFA 629 | 743,4 | 18,44 | SSFA 122 | 1909,4 | 12,50 |
| 30 | SSFA 330 | 515,8 | 16,26 | SSFA 430 | 252,0 | 16,63 | SSFA 630 | 810,1 | 18,18 | SSFA 123 | 1944,3 | 14,63 |
| 31 | SSFA 331 | 593,8 | 16,57 | SSFA 431 | 227,3 | 16,30 | SSFA 631 | 704,7 | 15,00 | SSFA 123 | 2204,0 | 15,41 |
| 32 | SSFA 332 | 549,6 | 17,12 | SSFA 432 | 221,3 | 18,00 | SSFA 632 | 737,1 | 16,15 | SSFA 123 | 1794,6 | 15,58 |
| Média | | 557,2 | 17,06 | 247,9 | 17,51 | 743,3 | 17,87 | 2233,6 | 16,27 | | | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | | | | | | | | 24,717 | | |
| Variância | | | | | | | | | | 16,164 | | |
| IHL | | 0,1241 | | 0,1926 | | 2,9196 | | 69,2594 | | | | |
| S_{IHL} | | 188% | | | | | | | | | | |

Apêndice B7 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 2 – Bauxita – Al₂O₃ (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | -6,35+4,75 mm | | -12,7+6,35 mm | | -25,4+12,7 mm | | | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|--|---------------|--|---------------|--|---------------|--|----------|---------------|---------------|
| | | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | ID | Massa (g) Al ₂ O ₃ (%) | | | |
| 1 | SSFA 301 | 529,5 | 32,08 | SSFA 401 | 249,3 | 36,02 | SSFA 601 | 661,9 | 41,66 | SSFA 120 | 2854,2 | 40,56 |
| 2 | SSFA 302 | 556,7 | 30,46 | SSFA 402 | 266,1 | 36,89 | SSFA 602 | 769,9 | 43,12 | SSFA 120 | 2828,0 | 48,05 |
| 3 | SSFA 303 | 499,5 | 32,04 | SSFA 403 | 236,7 | 37,29 | SSFA 603 | 683,6 | 41,31 | SSFA 120 | 2541,5 | 47,31 |
| 4 | SSFA 304 | 527,7 | 30,81 | SSFA 404 | 246,2 | 36,19 | SSFA 604 | 772,6 | 41,35 | SSFA 120 | 2535,6 | 45,85 |
| 5 | SSFA 305 | 556,2 | 33,13 | SSFA 405 | 249,2 | 37,33 | SSFA 605 | 833,2 | 43,81 | SSFA 120 | 2543,1 | 43,95 |
| 6 | SSFA 306 | 473,9 | 32,31 | SSFA 406 | 223,7 | 35,90 | SSFA 606 | 713,6 | 39,89 | SSFA 120 | 2577,4 | 44,72 |
| 7 | SSFA 307 | 591,5 | 30,63 | SSFA 407 | 215,4 | 37,23 | SSFA 607 | 765,2 | 41,85 | SSFA 120 | 2525,8 | 47,33 |
| 8 | SSFA 308 | 626,5 | 30,32 | SSFA 408 | 253,2 | 35,04 | SSFA 608 | 794,7 | 42,10 | SSFA 120 | 2892,5 | 44,95 |
| 9 | SSFA 309 | 550,1 | 32,11 | SSFA 409 | 245,3 | 38,06 | SSFA 609 | 769,3 | 40,96 | SSFA 120 | 2613,1 | 46,51 |
| 10 | SSFA 310 | 603,7 | 30,94 | SSFA 410 | 248,8 | 37,50 | SSFA 610 | 731,5 | 43,02 | SSFA 121 | 1983,4 | 46,26 |
| 11 | SSFA 311 | 527,6 | 33,21 | SSFA 411 | 230,0 | 37,87 | SSFA 611 | 682,6 | 41,39 | SSFA 121 | 1793,2 | 40,31 |
| 12 | SSFA 312 | 501,0 | 32,25 | SSFA 412 | 258,8 | 36,75 | SSFA 612 | 692,8 | 41,23 | SSFA 121 | 2182,4 | 45,68 |
| 13 | SSFA 313 | 548,4 | 31,81 | SSFA 413 | 273,5 | 35,27 | SSFA 613 | 711,0 | 42,08 | SSFA 121 | 2246,1 | 45,12 |
| 14 | SSFA 314 | 671,0 | 32,52 | SSFA 414 | 266,0 | 37,87 | SSFA 614 | 761,2 | 42,20 | SSFA 121 | 1890,1 | 48,14 |
| 15 | SSFA 315 | 599,6 | 30,48 | SSFA 415 | 260,6 | 38,62 | SSFA 615 | 769,4 | 43,99 | SSFA 121 | 2221,6 | 40,64 |
| 16 | SSFA 316 | 670,3 | 31,63 | SSFA 416 | 228,1 | 35,87 | SSFA 616 | 680,0 | 42,23 | SSFA 121 | 2074,5 | 49,22 |
| 17 | SSFA 317 | 527,3 | 30,15 | SSFA 417 | 264,7 | 36,19 | SSFA 617 | 729,9 | 40,75 | SSFA 121 | 2198,8 | 47,00 |
| 18 | SSFA 318 | 573,5 | 31,34 | SSFA 418 | 234,2 | 36,54 | SSFA 618 | 825,2 | 40,58 | SSFA 121 | 1919,0 | 47,66 |
| 19 | SSFA 319 | 550,7 | 29,02 | SSFA 419 | 267,0 | 36,58 | SSFA 619 | 752,6 | 42,73 | SSFA 121 | 1918,8 | 48,93 |
| 20 | SSFA 320 | 549,0 | 33,88 | SSFA 420 | 232,3 | 36,65 | SSFA 620 | 783,4 | 43,52 | SSFA 122 | 2052,6 | 47,35 |
| 21 | SSFA 321 | 575,3 | 32,02 | SSFA 421 | 230,2 | 32,90 | SSFA 621 | 762,6 | 42,43 | SSFA 122 | 2166,1 | 40,46 |
| 22 | SSFA 322 | 531,0 | 31,77 | SSFA 422 | 235,8 | 36,10 | SSFA 622 | 745,2 | 42,33 | SSFA 122 | 1925,7 | 43,39 |
| 23 | SSFA 323 | 510,5 | 31,42 | SSFA 423 | 257,3 | 35,38 | SSFA 623 | 723,7 | 40,27 | SSFA 122 | 2524,3 | 44,25 |
| 24 | SSFA 324 | 501,3 | 31,56 | SSFA 424 | 282,6 | 37,73 | SSFA 624 | 697,2 | 42,00 | SSFA 122 | 1770,3 | 47,55 |
| 25 | SSFA 325 | 567,0 | 31,21 | SSFA 425 | 273,5 | 39,56 | SSFA 625 | 760,7 | 44,08 | SSFA 122 | 1832,3 | 47,56 |
| 26 | SSFA 326 | 545,7 | 32,75 | SSFA 426 | 230,5 | 36,27 | SSFA 626 | 694,8 | 42,77 | SSFA 122 | 2015,1 | 43,33 |
| 27 | SSFA 327 | 576,3 | 32,83 | SSFA 427 | 274,4 | 38,29 | SSFA 627 | 750,3 | 44,49 | SSFA 122 | 2302,7 | 50,26 |
| 28 | SSFA 328 | 587,3 | 32,09 | SSFA 428 | 261,5 | 36,40 | SSFA 628 | 771,7 | 41,91 | SSFA 122 | 2695,3 | 45,41 |
| 29 | SSFA 329 | 542,8 | 30,88 | SSFA 429 | 238,0 | 38,27 | SSFA 629 | 743,4 | 43,45 | SSFA 122 | 1909,4 | 52,26 |
| 30 | SSFA 330 | 515,8 | 33,25 | SSFA 430 | 252,0 | 37,96 | SSFA 630 | 810,1 | 43,41 | SSFA 123 | 1944,3 | 47,56 |
| 31 | SSFA 331 | 593,8 | 33,13 | SSFA 431 | 227,3 | 37,81 | SSFA 631 | 704,7 | 44,54 | SSFA 123 | 2204,0 | 46,81 |
| 32 | SSFA 332 | 549,6 | 32,90 | SSFA 432 | 221,3 | 33,73 | SSFA 632 | 737,1 | 43,45 | SSFA 123 | 1794,6 | 46,62 |
| Média | | 557,2 | 31,78 | | 247,9 | 36,75 | | 743,3 | 42,34 | | 2233,6 | 45,97 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 3,455 | | | 3,777 | | | 2,906 | | | 6,169 |
| Variância | | | 1,205 | | | 1,927 | | | 1,514 | | | 8,043 |
| IHL | | | 0,3567 | | | 0,1849 | | | 0,3373 | | | 4,3679 |
| S_{IHL} | | 155% | | | | | | | | | | |

Apêndice B8 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 3 – Minério polimetálico – Pb (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|----------------|--------|
| | | ID | Massa (g) | Pb (%) | ID | Massa (g) | Pb (%) | ID | Massa (g) | Pb (%) | ID | Massa (g) | Pb (%) |
| 1 | SSFA 301 | 803,7 | 10,52 | SSFA 401 | 971,6 | 11,35 | SSFA 601 | 2217,3 | 10,81 | SSFA 120 | 4115,5 | 10,56 | |
| 2 | SSFA 302 | 797,8 | 9,28 | SSFA 402 | 976,2 | 10,31 | SSFA 602 | 2101,1 | 10,18 | SSFA 120 | 3474,3 | 10,63 | |
| 3 | SSFA 303 | 795,8 | 9,60 | SSFA 403 | 982,8 | 10,97 | SSFA 603 | 2283,4 | 10,92 | SSFA 120 | 4090,3 | 9,84 | |
| 4 | SSFA 304 | 800,9 | 9,68 | SSFA 404 | 953,4 | 11,28 | SSFA 604 | 2358,0 | 10,08 | SSFA 120 | 3888,6 | 10,48 | |
| 5 | SSFA 305 | 786,3 | 10,17 | SSFA 405 | 952,3 | 11,63 | SSFA 605 | 2318,7 | 11,64 | SSFA 120 | 4044,6 | 11,34 | |
| 6 | SSFA 306 | 792,9 | 9,28 | SSFA 406 | 960,6 | 11,59 | SSFA 606 | 2276,4 | 10,60 | SSFA 120 | 3710,5 | 13,06 | |
| 7 | SSFA 307 | 804,1 | 10,22 | SSFA 407 | 986,0 | 12,23 | SSFA 607 | 2842,3 | 10,43 | SSFA 120 | 3694,2 | 12,50 | |
| 8 | SSFA 308 | 816,0 | 11,15 | SSFA 408 | 955,7 | 11,18 | SSFA 608 | 2190,9 | 10,11 | SSFA 120 | 3519,2 | 12,44 | |
| 9 | SSFA 309 | 766,8 | 8,05 | SSFA 409 | 968,4 | 11,08 | SSFA 609 | 2092,2 | 11,16 | SSFA 120 | 3579,1 | 7,72 | |
| 10 | SSFA 310 | 763,1 | 9,87 | SSFA 410 | 1034,6 | 11,94 | SSFA 610 | 2361,4 | 11,15 | SSFA 121 | 3681,4 | 12,15 | |
| 11 | SSFA 311 | 773,2 | 10,88 | SSFA 411 | 985,3 | 11,59 | SSFA 611 | 2306,7 | 11,54 | SSFA 121 | 3589,2 | 10,72 | |
| 12 | SSFA 312 | 770,2 | 10,58 | SSFA 412 | 972,8 | 10,11 | SSFA 612 | 2247,4 | 10,01 | SSFA 121 | 3806,9 | 11,87 | |
| 13 | SSFA 313 | 791,0 | 10,91 | SSFA 413 | 957,3 | 11,82 | SSFA 613 | 2301,2 | 11,35 | SSFA 121 | 3764,2 | 8,85 | |
| 14 | SSFA 314 | 786,3 | 10,56 | SSFA 414 | 983,1 | 11,05 | SSFA 614 | 2370,1 | 11,13 | SSFA 121 | 3820,5 | 10,08 | |
| 15 | SSFA 315 | 767,9 | 8,53 | SSFA 415 | 947,8 | 10,73 | SSFA 615 | 2235,4 | 11,29 | SSFA 121 | 4020,9 | 10,13 | |
| 16 | SSFA 316 | 764,6 | 10,02 | SSFA 416 | 933,7 | 11,27 | SSFA 616 | 2273,9 | 12,20 | SSFA 121 | 3724,6 | 9,50 | |
| 17 | SSFA 317 | 792,1 | 9,09 | SSFA 417 | 920,0 | 11,26 | SSFA 617 | 2242,0 | 13,10 | SSFA 121 | 3601,6 | 10,09 | |
| 18 | SSFA 318 | 804,3 | 9,01 | SSFA 418 | 985,5 | 11,35 | SSFA 618 | 2223,8 | 11,19 | SSFA 121 | 4081,8 | 10,32 | |
| 19 | SSFA 319 | 804,6 | 9,48 | SSFA 419 | 916,9 | 9,56 | SSFA 619 | 2266,0 | 11,07 | SSFA 121 | 3783,0 | 10,17 | |
| 20 | SSFA 320 | 811,7 | 9,09 | SSFA 420 | 938,8 | 9,92 | SSFA 620 | 2196,2 | 11,12 | SSFA 122 | 3650,0 | 10,50 | |
| 21 | SSFA 321 | 801,7 | 8,64 | SSFA 421 | 946,9 | 11,46 | SSFA 621 | 2325,2 | 11,60 | SSFA 122 | 3509,3 | 7,86 | |
| 22 | SSFA 322 | 814,4 | 11,56 | SSFA 422 | 930,9 | 10,09 | SSFA 622 | 2251,6 | 11,77 | SSFA 122 | 3507,4 | 10,57 | |
| 23 | SSFA 323 | 796,8 | 10,49 | SSFA 423 | 1010,7 | 10,91 | SSFA 623 | 2214,9 | 11,32 | SSFA 122 | 3606,6 | 10,81 | |
| 24 | SSFA 324 | 831,6 | 10,56 | SSFA 424 | 908,0 | 9,94 | SSFA 624 | 2513,2 | 12,02 | SSFA 122 | 3743,9 | 10,41 | |
| 25 | SSFA 325 | 806,1 | 11,25 | SSFA 425 | 938,2 | 11,34 | SSFA 625 | 2530,5 | 11,39 | SSFA 122 | 3506,2 | 10,79 | |
| 26 | SSFA 326 | 807,5 | 10,83 | SSFA 426 | 899,2 | 11,65 | SSFA 626 | 2217,0 | 11,02 | SSFA 122 | 3611,8 | 10,36 | |
| 27 | SSFA 327 | 802,8 | 10,88 | SSFA 427 | 914,3 | 11,21 | SSFA 627 | 2420,2 | 11,27 | SSFA 122 | 3504,7 | 10,14 | |
| 28 | SSFA 328 | 804,9 | 10,91 | SSFA 428 | 950,4 | 11,58 | SSFA 628 | 2529,7 | 9,03 | SSFA 122 | 3768,6 | 10,91 | |
| 29 | SSFA 329 | 816,6 | 10,56 | SSFA 429 | 941,5 | 11,13 | SSFA 629 | 2228,9 | 10,73 | SSFA 122 | 3615,1 | 10,08 | |
| 30 | SSFA 330 | 845,4 | 11,24 | SSFA 430 | 1060,2 | 11,66 | SSFA 630 | 2328,2 | 9,31 | SSFA 123 | 3522,6 | 9,07 | |
| 31 | SSFA 331 | 829,2 | 10,10 | SSFA 431 | 1011,3 | 9,08 | SSFA 631 | 2222,9 | 11,84 | SSFA 123 | 3630,2 | 11,30 | |
| 32 | SSFA 332 | 816,3 | 11,08 | SSFA 432 | 1032,3 | 11,85 | SSFA 632 | 2637,7 | 11,45 | SSFA 123 | 4180,7 | 9,80 | |
| Média | | 799,0 | 10,13 | | 963,3 | 11,07 | | 2316,4 | 11,06 | | 3729,6 | 10,47 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 8,922 | | | 6,704 | | | 7,378 | | | 11,249 | |
| Variância | | | 0,816 | | | 0,550 | | | 0,666 | | | 1,387 | |
| IHL | | | 3,3575 | | | 2,3346 | | | 6,9108 | | | 24,0646 | |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 110% | | | | |

Apêndice B9 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 3 – Minério polimetálico – Cu (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|--------|
| | | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) | ID | Massa (g) | Cu (%) |
| 1 | SSFA 301 | 803,7 | 0,15 | SSFA 401 | 971,6 | 0,17 | SSFA 601 | 2217,3 | 0,14 | SSFA 120 | 4115,5 | 0,11 | |
| 2 | SSFA 302 | 797,8 | 0,15 | SSFA 402 | 976,2 | 0,17 | SSFA 602 | 2101,1 | 0,19 | SSFA 120 | 3474,3 | 0,15 | |
| 3 | SSFA 303 | 795,8 | 0,14 | SSFA 403 | 982,8 | 0,19 | SSFA 603 | 2283,4 | 0,14 | SSFA 120 | 4090,3 | 0,15 | |
| 4 | SSFA 304 | 800,9 | 0,16 | SSFA 404 | 953,4 | 0,16 | SSFA 604 | 2358,0 | 0,16 | SSFA 120 | 3888,6 | 0,20 | |
| 5 | SSFA 305 | 786,3 | 0,15 | SSFA 405 | 952,3 | 0,17 | SSFA 605 | 2318,7 | 0,15 | SSFA 120 | 4044,6 | 0,17 | |
| 6 | SSFA 306 | 792,9 | 0,16 | SSFA 406 | 960,6 | 0,17 | SSFA 606 | 2276,4 | 0,15 | SSFA 120 | 3710,5 | 0,14 | |
| 7 | SSFA 307 | 804,1 | 0,16 | SSFA 407 | 986,0 | 0,17 | SSFA 607 | 2842,3 | 0,18 | SSFA 120 | 3694,2 | 0,20 | |
| 8 | SSFA 308 | 816,0 | 0,15 | SSFA 408 | 955,7 | 0,15 | SSFA 608 | 2190,9 | 0,22 | SSFA 120 | 3519,2 | 0,13 | |
| 9 | SSFA 309 | 766,8 | 0,17 | SSFA 409 | 968,4 | 0,17 | SSFA 609 | 2092,2 | 0,19 | SSFA 120 | 3579,1 | 0,18 | |
| 10 | SSFA 310 | 763,1 | 0,18 | SSFA 410 | 1034,6 | 0,15 | SSFA 610 | 2361,4 | 0,14 | SSFA 121 | 3681,4 | 0,14 | |
| 11 | SSFA 311 | 773,2 | 0,16 | SSFA 411 | 985,3 | 0,16 | SSFA 611 | 2306,7 | 0,22 | SSFA 121 | 3589,2 | 0,14 | |
| 12 | SSFA 312 | 770,2 | 0,15 | SSFA 412 | 972,8 | 0,18 | SSFA 612 | 2247,4 | 0,19 | SSFA 121 | 3806,9 | 0,25 | |
| 13 | SSFA 313 | 791,0 | 0,15 | SSFA 413 | 957,3 | 0,18 | SSFA 613 | 2301,2 | 0,19 | SSFA 121 | 3764,2 | 0,19 | |
| 14 | SSFA 314 | 786,3 | 0,16 | SSFA 414 | 983,1 | 0,15 | SSFA 614 | 2370,1 | 0,16 | SSFA 121 | 3820,5 | 0,19 | |
| 15 | SSFA 315 | 767,9 | 0,16 | SSFA 415 | 947,8 | 0,16 | SSFA 615 | 2235,4 | 0,15 | SSFA 121 | 4020,9 | 0,14 | |
| 16 | SSFA 316 | 764,6 | 0,15 | SSFA 416 | 933,7 | 0,16 | SSFA 616 | 2273,9 | 0,15 | SSFA 121 | 3724,6 | 0,17 | |
| 17 | SSFA 317 | 792,1 | 0,16 | SSFA 417 | 920,0 | 0,19 | SSFA 617 | 2242,0 | 0,13 | SSFA 121 | 3601,6 | 0,19 | |
| 18 | SSFA 318 | 804,3 | 0,16 | SSFA 418 | 985,5 | 0,18 | SSFA 618 | 2223,8 | 0,20 | SSFA 121 | 4081,8 | 0,20 | |
| 19 | SSFA 319 | 804,6 | 0,12 | SSFA 419 | 916,9 | 0,15 | SSFA 619 | 2266,0 | 0,15 | SSFA 121 | 3783,0 | 0,12 | |
| 20 | SSFA 320 | 811,7 | 0,14 | SSFA 420 | 938,8 | 0,16 | SSFA 620 | 2196,2 | 0,18 | SSFA 122 | 3650,0 | 0,13 | |
| 21 | SSFA 321 | 801,7 | 0,15 | SSFA 421 | 946,9 | 0,13 | SSFA 621 | 2325,2 | 0,16 | SSFA 122 | 3509,3 | 0,17 | |
| 22 | SSFA 322 | 814,4 | 0,15 | SSFA 422 | 930,9 | 0,16 | SSFA 622 | 2251,6 | 0,14 | SSFA 122 | 3507,4 | 0,16 | |
| 23 | SSFA 323 | 796,8 | 0,15 | SSFA 423 | 1010,7 | 0,19 | SSFA 623 | 2214,9 | 0,16 | SSFA 122 | 3606,6 | 0,11 | |
| 24 | SSFA 324 | 831,6 | 0,16 | SSFA 424 | 908,0 | 0,21 | SSFA 624 | 2513,2 | 0,15 | SSFA 122 | 3743,9 | 0,13 | |
| 25 | SSFA 325 | 806,1 | 0,16 | SSFA 425 | 938,2 | 0,17 | SSFA 625 | 2530,5 | 0,16 | SSFA 122 | 3506,2 | 0,15 | |
| 26 | SSFA 326 | 807,5 | 0,13 | SSFA 426 | 899,2 | 0,15 | SSFA 626 | 2217,0 | 0,19 | SSFA 122 | 3611,8 | 0,14 | |
| 27 | SSFA 327 | 802,8 | 0,16 | SSFA 427 | 914,3 | 0,17 | SSFA 627 | 2420,2 | 0,12 | SSFA 122 | 3504,7 | 0,15 | |
| 28 | SSFA 328 | 804,9 | 0,15 | SSFA 428 | 950,4 | 0,15 | SSFA 628 | 2529,7 | 0,16 | SSFA 122 | 3768,6 | 0,18 | |
| 29 | SSFA 329 | 816,6 | 0,13 | SSFA 429 | 941,5 | 0,15 | SSFA 629 | 2228,9 | 0,17 | SSFA 122 | 3615,1 | 0,12 | |
| 30 | SSFA 330 | 845,4 | 0,15 | SSFA 430 | 1060,2 | 0,15 | SSFA 630 | 2328,2 | 0,16 | SSFA 123 | 3522,6 | 0,15 | |
| 31 | SSFA 331 | 829,2 | 0,13 | SSFA 431 | 1011,3 | 0,17 | SSFA 631 | 2222,9 | 0,16 | SSFA 123 | 3630,2 | 0,17 | |
| 32 | SSFA 332 | 816,3 | 0,15 | SSFA 432 | 1032,3 | 0,16 | SSFA 632 | 2637,7 | 0,17 | SSFA 123 | 4180,7 | 0,23 | |
| Média | | 799,0 | 0,15 | | 963,3 | 0,17 | | 2316,4 | 0,17 | | 3729,6 | 0,16 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 8,056 | | | 9,692 | | | 14,685 | | | 20,900 | |
| Variância | | | 0,000 | | | 0,000 | | | 0,001 | | | 0,001 | |
| IHL | | | 2,7560 | | | 4,7046 | | | 25,7630 | | | 91,4017 | |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 133% | | | | |

Apêndice B10 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 3 – Minério polimetálico – Zn (%)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|---------------|-----------|--------|
| | | ID | Massa (g) | Zn (%) | ID | Massa (g) | Zn (%) | ID | Massa (g) | Zn (%) | ID | Massa (g) | Zn (%) |
| 1 | SSFA 301 | 803,7 | 14,59 | SSFA 401 | 971,6 | 15,58 | SSFA 601 | 2217,3 | 15,08 | SSFA 120 | 4115,5 | 15,08 | |
| 2 | SSFA 302 | 797,8 | 13,81 | SSFA 402 | 976,2 | 15,26 | SSFA 602 | 2101,1 | 13,71 | SSFA 120 | 3474,3 | 15,64 | |
| 3 | SSFA 303 | 795,8 | 14,78 | SSFA 403 | 982,8 | 15,37 | SSFA 603 | 2283,4 | 14,56 | SSFA 120 | 4090,3 | 14,53 | |
| 4 | SSFA 304 | 800,9 | 14,83 | SSFA 404 | 953,4 | 15,85 | SSFA 604 | 2358,0 | 14,51 | SSFA 120 | 3888,6 | 14,33 | |
| 5 | SSFA 305 | 786,3 | 14,31 | SSFA 405 | 952,3 | 14,84 | SSFA 605 | 2318,7 | 15,88 | SSFA 120 | 4044,6 | 14,88 | |
| 6 | SSFA 306 | 792,9 | 14,67 | SSFA 406 | 960,6 | 15,64 | SSFA 606 | 2276,4 | 14,71 | SSFA 120 | 3710,5 | 16,30 | |
| 7 | SSFA 307 | 804,1 | 15,20 | SSFA 407 | 986,0 | 15,92 | SSFA 607 | 2842,3 | 14,91 | SSFA 120 | 3694,2 | 14,05 | |
| 8 | SSFA 308 | 816,0 | 15,81 | SSFA 408 | 955,7 | 15,52 | SSFA 608 | 2190,9 | 14,49 | SSFA 120 | 3519,2 | 14,58 | |
| 9 | SSFA 309 | 766,8 | 14,72 | SSFA 409 | 968,4 | 15,82 | SSFA 609 | 2092,2 | 16,07 | SSFA 120 | 3579,1 | 14,83 | |
| 10 | SSFA 310 | 763,1 | 15,29 | SSFA 410 | 1034,6 | 15,69 | SSFA 610 | 2361,4 | 15,68 | SSFA 121 | 3681,4 | 15,75 | |
| 11 | SSFA 311 | 773,2 | 15,29 | SSFA 411 | 985,3 | 15,79 | SSFA 611 | 2306,7 | 16,73 | SSFA 121 | 3589,2 | 15,32 | |
| 12 | SSFA 312 | 770,2 | 14,74 | SSFA 412 | 972,8 | 15,98 | SSFA 612 | 2247,4 | 15,16 | SSFA 121 | 3806,9 | 15,47 | |
| 13 | SSFA 313 | 791,0 | 15,37 | SSFA 413 | 957,3 | 15,65 | SSFA 613 | 2301,2 | 14,87 | SSFA 121 | 3764,2 | 13,78 | |
| 14 | SSFA 314 | 786,3 | 15,60 | SSFA 414 | 983,1 | 15,70 | SSFA 614 | 2370,1 | 16,03 | SSFA 121 | 3820,5 | 15,25 | |
| 15 | SSFA 315 | 767,9 | 13,98 | SSFA 415 | 947,8 | 15,41 | SSFA 615 | 2235,4 | 15,45 | SSFA 121 | 4020,9 | 14,98 | |
| 16 | SSFA 316 | 764,6 | 14,18 | SSFA 416 | 933,7 | 15,46 | SSFA 616 | 2273,9 | 15,57 | SSFA 121 | 3724,6 | 14,21 | |
| 17 | SSFA 317 | 792,1 | 14,77 | SSFA 417 | 920,0 | 15,65 | SSFA 617 | 2242,0 | 15,96 | SSFA 121 | 3601,6 | 15,27 | |
| 18 | SSFA 318 | 804,3 | 14,34 | SSFA 418 | 985,5 | 15,07 | SSFA 618 | 2223,8 | 15,65 | SSFA 121 | 4081,8 | 14,55 | |
| 19 | SSFA 319 | 804,6 | 15,13 | SSFA 419 | 916,9 | 15,00 | SSFA 619 | 2266,0 | 15,88 | SSFA 121 | 3783,0 | 14,29 | |
| 20 | SSFA 320 | 811,7 | 14,81 | SSFA 420 | 938,8 | 15,33 | SSFA 620 | 2196,2 | 15,29 | SSFA 122 | 3650,0 | 14,57 | |
| 21 | SSFA 321 | 801,7 | 15,30 | SSFA 421 | 946,9 | 15,53 | SSFA 621 | 2325,2 | 15,53 | SSFA 122 | 3509,3 | 14,15 | |
| 22 | SSFA 322 | 814,4 | 15,83 | SSFA 422 | 930,9 | 14,69 | SSFA 622 | 2251,6 | 15,90 | SSFA 122 | 3507,4 | 16,16 | |
| 23 | SSFA 323 | 796,8 | 14,19 | SSFA 423 | 1010,7 | 15,54 | SSFA 623 | 2214,9 | 16,03 | SSFA 122 | 3606,6 | 14,97 | |
| 24 | SSFA 324 | 831,6 | 14,82 | SSFA 424 | 908,0 | 14,99 | SSFA 624 | 2513,2 | 15,07 | SSFA 122 | 3743,9 | 16,03 | |
| 25 | SSFA 325 | 806,1 | 15,19 | SSFA 425 | 938,2 | 15,28 | SSFA 625 | 2530,5 | 15,49 | SSFA 122 | 3506,2 | 14,53 | |
| 26 | SSFA 326 | 807,5 | 15,18 | SSFA 426 | 899,2 | 15,92 | SSFA 626 | 2217,0 | 14,52 | SSFA 122 | 3611,8 | 13,80 | |
| 27 | SSFA 327 | 802,8 | 15,18 | SSFA 427 | 914,3 | 15,47 | SSFA 627 | 2420,2 | 14,59 | SSFA 122 | 3504,7 | 14,77 | |
| 28 | SSFA 328 | 804,9 | 15,12 | SSFA 428 | 950,4 | 15,62 | SSFA 628 | 2529,7 | 13,22 | SSFA 122 | 3768,6 | 14,83 | |
| 29 | SSFA 329 | 816,6 | 14,54 | SSFA 429 | 941,5 | 15,32 | SSFA 629 | 2228,9 | 15,78 | SSFA 122 | 3615,1 | 14,64 | |
| 30 | SSFA 330 | 845,4 | 15,39 | SSFA 430 | 1060,2 | 15,59 | SSFA 630 | 2328,2 | 15,70 | SSFA 123 | 3522,6 | 14,90 | |
| 31 | SSFA 331 | 829,2 | 14,39 | SSFA 431 | 1011,3 | 15,18 | SSFA 631 | 2222,9 | 15,12 | SSFA 123 | 3630,2 | 15,80 | |
| 32 | SSFA 332 | 816,3 | 15,05 | SSFA 432 | 1032,3 | 15,97 | SSFA 632 | 2637,7 | 15,66 | SSFA 123 | 4180,7 | 13,91 | |
| Média | | 799,0 | 14,89 | 963,3 | 15,49 | 2316,4 | 15,28 | 3729,6 | 14,88 | | | | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 3,396 | | 2,127 | | 4,813 | | 4,565 | | | | |
| Variância | | | 0,256 | | 0,109 | | 0,541 | | 0,461 | | | | |
| IHL | | | 0,4888 | | 0,2284 | | 2,8909 | | 4,0941 | | | | |
| S_{IHL} | | 98% | | | | | | | | | | | |

Apêndice B13 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 6 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4,0+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|----------|-----------------|----------------|----------|-----------------|----------------|----------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | SSFA 301 | 917,1 | 1,38 | SSFA 401 | 833,3 | 0,41 | SSFA 601 | 1325,8 | 0,34 | SSFA 901 | 1113,3 | 0,99 | |
| 2 | SSFA 302 | 898,5 | 12,42 | SSFA 402 | 846,3 | 1,02 | SSFA 602 | 1329,8 | 0,77 | SSFA 902 | 1058,0 | 0,12 | |
| 3 | SSFA 303 | 901,8 | 4,75 | SSFA 403 | 845,6 | 1,85 | SSFA 603 | 1324,9 | 4,99 | SSFA 903 | 1104,2 | 7,73 | |
| 4 | SSFA 304 | 823,8 | 1,77 | SSFA 404 | 832,3 | 5,29 | SSFA 604 | 1325,0 | 0,39 | SSFA 904 | 1142,9 | 0,11 | |
| 5 | SSFA 305 | 930,7 | 1,30 | SSFA 405 | 848,6 | 1,67 | SSFA 605 | 1330,2 | 0,78 | SSFA 905 | 1092,4 | 0,45 | |
| 6 | SSFA 306 | 899,2 | 1,48 | SSFA 406 | 837,4 | 0,83 | SSFA 606 | 1325,4 | 0,39 | SSFA 906 | 1102,7 | 1,24 | |
| 7 | SSFA 307 | 905,4 | 1,81 | SSFA 407 | 846,3 | 0,89 | SSFA 607 | 1329,2 | 1,65 | SSFA 907 | 1102,7 | 0,17 | |
| 8 | SSFA 308 | 894,4 | 1,25 | SSFA 408 | 848,1 | 1,65 | SSFA 608 | 1325,0 | 9,61 | SSFA 908 | 1085,9 | 0,26 | |
| 9 | SSFA 309 | 911,6 | 0,88 | SSFA 409 | 836,2 | 0,70 | SSFA 609 | 1330,5 | 0,46 | SSFA 909 | 1099,7 | 0,13 | |
| 10 | SSFA 310 | 903,7 | 0,82 | SSFA 410 | 842,7 | 1,13 | SSFA 610 | 1321,9 | 0,76 | SSFA 910 | 1095,0 | 0,38 | |
| 11 | SSFA 311 | 903,5 | 0,92 | SSFA 411 | 846,7 | 1,37 | SSFA 611 | 1331,6 | 0,42 | SSFA 911 | 1149,3 | 3,16 | |
| 12 | SSFA 312 | 908,1 | 2,66 | SSFA 412 | 820,8 | 0,64 | SSFA 612 | 1331,4 | 1,12 | SSFA 912 | 1105,1 | 0,48 | |
| 13 | SSFA 313 | 900,1 | 4,13 | SSFA 413 | 834,2 | 1,00 | SSFA 613 | 1323,0 | 0,71 | SSFA 913 | 1088,4 | 0,24 | |
| 14 | SSFA 314 | 916,4 | 0,74 | SSFA 414 | 822,8 | 0,48 | SSFA 614 | 1321,3 | 2,69 | SSFA 914 | 1099,6 | 0,70 | |
| 15 | SSFA 315 | 893,3 | 3,40 | SSFA 415 | 843,4 | 0,60 | SSFA 615 | 1324,7 | 2,21 | SSFA 915 | 1104,2 | 0,75 | |
| 16 | SSFA 316 | 905,4 | 2,16 | SSFA 416 | 843,6 | 0,60 | SSFA 616 | 1321,8 | 0,80 | SSFA 916 | 1103,9 | 0,16 | |
| 17 | SSFA 317 | 903,4 | 1,69 | SSFA 417 | 822,5 | 0,66 | SSFA 617 | 1328,5 | 2,40 | SSFA 917 | 1093,8 | 0,44 | |
| 18 | SSFA 318 | 896,2 | 5,21 | SSFA 418 | 829,2 | 2,38 | SSFA 618 | 1320,2 | 0,31 | SSFA 918 | 1054,1 | 1,69 | |
| 19 | SSFA 319 | 917,4 | 3,42 | SSFA 419 | 835,6 | 2,44 | SSFA 619 | 1334,0 | 1,71 | SSFA 919 | 1111,3 | 0,45 | |
| 20 | SSFA 320 | 916,5 | 6,05 | SSFA 420 | 838,7 | 1,57 | SSFA 620 | 1332,3 | 0,47 | SSFA 920 | 1142,2 | 0,57 | |
| 21 | SSFA 321 | 902,7 | 2,00 | SSFA 421 | 840,7 | 1,81 | SSFA 621 | 1320,4 | 1,38 | SSFA 921 | 1091,8 | 3,51 | |
| 22 | SSFA 322 | 907,3 | 1,69 | SSFA 422 | 842,0 | 1,36 | SSFA 622 | 1328,6 | 0,16 | SSFA 922 | 1036,2 | 0,18 | |
| 23 | SSFA 323 | 912,4 | 3,39 | SSFA 423 | 835,4 | 1,00 | SSFA 623 | 1319,8 | 2,22 | SSFA 923 | 1115,1 | 0,32 | |
| 24 | SSFA 324 | 908,7 | 1,44 | SSFA 424 | 818,2 | 0,32 | SSFA 624 | 1334,0 | 0,76 | SSFA 924 | 1053,5 | 1,60 | |
| 25 | SSFA 325 | 911,6 | 3,59 | SSFA 425 | 846,0 | 0,68 | SSFA 625 | 1334,8 | 3,07 | SSFA 925 | 1087,2 | 0,97 | |
| 26 | SSFA 326 | 900,7 | 1,37 | SSFA 426 | 821,9 | 3,66 | SSFA 626 | 1340,7 | 0,46 | SSFA 926 | 1101,6 | 0,17 | |
| 27 | SSFA 327 | 910,9 | 0,83 | SSFA 427 | 849,7 | 1,34 | SSFA 627 | 1320,9 | 0,55 | SSFA 927 | 1089,7 | 0,15 | |
| 28 | SSFA 328 | 918,8 | 2,94 | SSFA 428 | 845,0 | 0,57 | SSFA 628 | 1321,4 | 0,47 | SSFA 928 | 1110,4 | 0,45 | |
| 29 | SSFA 329 | 904,1 | 3,83 | SSFA 429 | 846,6 | 1,34 | SSFA 629 | 1336,1 | 0,25 | SSFA 929 | 1075,2 | 0,28 | |
| 30 | SSFA 330 | 909,8 | 3,14 | SSFA 430 | 818,4 | 2,44 | SSFA 630 | 1342,8 | 0,46 | SSFA 930 | 1126,0 | 2,10 | |
| 31 | SSFA 331 | 901,8 | 11,58 | SSFA 431 | 850,3 | 1,01 | SSFA 631 | 1336,6 | 0,18 | SSFA 931 | 1069,0 | 0,41 | |
| 32 | SSFA 332 | 883,9 | 0,70 | SSFA 432 | 851,9 | 1,56 | SSFA 632 | 1326,6 | 2,88 | SSFA 932 | 1109,0 | 1,69 | |
| Média | | 903,7 | 2,96 | | 838,1 | 1,38 | | 1328,1 | 1,43 | | 1097,3 | 1,00 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 93,032 | | | 73,776 | | | 129,623 | | | 149,342 | |
| Variância | | | 7,587 | | | 1,041 | | | 3,445 | | | 2,237 | |
| IHL | | 379,1444 | | 203,0121 | | 884,0978 | | 962,0292 | | | | | |
| S_{IHL} | | 61% | | | | | | | | | | | |

Apêndice B14 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 7 – Ouro baixo teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4,0+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|--------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | | SSFA 301 | 379,2 | 1,04 | SSFA 401 | 320,3 | 0,89 | SSFA 601 | 761,0 | 0,68 | SSFA 120 | 1756,9 | 0,57 |
| 2 | | SSFA 302 | 379,7 | 1,87 | SSFA 402 | 317,9 | 0,51 | SSFA 602 | 750,3 | 0,57 | SSFA 120 | 1892,7 | 0,48 |
| 3 | | SSFA 303 | 380,5 | 0,58 | SSFA 403 | 312,0 | 0,57 | SSFA 603 | 781,7 | 0,54 | SSFA 120 | 1777,2 | 0,83 |
| 4 | | SSFA 304 | 379,7 | 0,60 | SSFA 404 | 312,4 | 0,70 | SSFA 604 | 789,3 | 0,74 | SSFA 120 | 1718,5 | 1,16 |
| 5 | | SSFA 305 | 380,4 | 0,82 | SSFA 405 | 311,7 | 1,06 | SSFA 605 | 766,4 | 1,02 | SSFA 120 | 1874,5 | 0,69 |
| 6 | | SSFA 306 | 385,7 | 0,54 | SSFA 406 | 329,2 | 0,62 | SSFA 606 | 747,6 | 0,39 | SSFA 120 | 1891,0 | 0,76 |
| 7 | | SSFA 307 | 382,6 | 0,58 | SSFA 407 | 312,0 | 0,71 | SSFA 607 | 773,2 | 0,98 | SSFA 120 | 1521,2 | 1,62 |
| 8 | | SSFA 308 | 385,6 | 0,58 | SSFA 408 | 314,5 | 0,89 | SSFA 608 | 752,5 | 0,75 | SSFA 120 | 1900,7 | 0,53 |
| 9 | | SSFA 309 | 379,8 | 0,52 | SSFA 409 | 326,6 | 0,61 | SSFA 609 | 750,0 | 1,46 | SSFA 120 | 1601,2 | 1,63 |
| 10 | | SSFA 310 | 377,5 | 0,72 | SSFA 410 | 307,8 | 0,71 | SSFA 610 | 759,7 | 0,93 | SSFA 121 | 1439,4 | 0,54 |
| 11 | | SSFA 311 | 380,5 | 0,79 | SSFA 411 | 311,4 | 1,94 | SSFA 611 | 788,2 | 1,03 | SSFA 121 | 1572,8 | 0,72 |
| 12 | | SSFA 312 | 377,5 | 0,55 | SSFA 412 | 309,2 | 1,91 | SSFA 612 | 763,7 | 0,55 | SSFA 121 | 1602,3 | 1,12 |
| 13 | | SSFA 313 | 376,8 | 0,45 | SSFA 413 | 325,7 | 0,77 | SSFA 613 | 770,9 | 0,76 | SSFA 121 | 1411,7 | 0,51 |
| 14 | | SSFA 314 | 381,2 | 0,73 | SSFA 414 | 303,6 | 1,24 | SSFA 614 | 791,2 | 0,56 | SSFA 121 | 1596,3 | 0,69 |
| 15 | | SSFA 315 | 375,7 | 1,58 | SSFA 415 | 329,7 | 0,51 | SSFA 615 | 773,8 | 0,57 | SSFA 121 | 1513,9 | 0,94 |
| 16 | | SSFA 316 | 377,1 | 0,63 | SSFA 416 | 312,3 | 0,96 | SSFA 616 | 771,7 | 1,01 | SSFA 121 | 1653,7 | 0,35 |
| 17 | | SSFA 317 | 376,3 | 0,79 | SSFA 417 | 304,6 | 1,52 | SSFA 617 | 749,0 | 0,86 | SSFA 121 | 1557,9 | 0,62 |
| 18 | | SSFA 318 | 375,6 | 0,96 | SSFA 418 | 309,8 | 1,11 | SSFA 618 | 789,0 | 0,86 | SSFA 121 | 1478,6 | 0,48 |
| 19 | | SSFA 319 | 377,7 | 0,54 | SSFA 419 | 306,2 | 1,00 | SSFA 619 | 793,0 | 0,72 | SSFA 121 | 1556,2 | 0,55 |
| 20 | | SSFA 320 | 375,6 | 0,72 | SSFA 420 | 315,2 | 0,59 | SSFA 620 | 774,9 | 1,15 | SSFA 122 | 1633,3 | 1,38 |
| 21 | | SSFA 321 | 378,5 | 0,78 | SSFA 421 | 318,9 | 0,53 | SSFA 621 | 781,6 | 0,60 | SSFA 122 | 1440,7 | 0,49 |
| 22 | | SSFA 322 | 377,3 | 1,00 | SSFA 422 | 309,9 | 0,72 | SSFA 622 | 766,6 | 0,76 | SSFA 122 | 1481,6 | 0,47 |
| 23 | | SSFA 323 | 377,1 | 0,96 | SSFA 423 | 317,1 | 0,96 | SSFA 623 | 762,4 | 2,00 | SSFA 122 | 1514,9 | 0,37 |
| 24 | | SSFA 324 | 381,3 | 0,66 | SSFA 424 | 312,0 | 1,46 | SSFA 624 | 781,2 | 1,13 | SSFA 122 | 1326,6 | 0,46 |
| 25 | | SSFA 325 | 379,1 | 0,81 | SSFA 425 | 300,6 | 1,36 | SSFA 625 | 798,6 | 0,73 | SSFA 122 | 1398,0 | 0,60 |
| 26 | | SSFA 326 | 378,4 | 1,03 | SSFA 426 | 300,6 | 1,25 | SSFA 626 | 771,5 | 0,65 | SSFA 122 | 1470,4 | 1,33 |
| 27 | | SSFA 327 | 380,3 | 0,84 | SSFA 427 | 315,2 | 0,62 | SSFA 627 | 750,2 | 0,76 | SSFA 122 | 1496,7 | 1,08 |
| 28 | | SSFA 328 | 380,8 | 0,66 | SSFA 428 | 327,0 | 1,29 | SSFA 628 | 779,5 | 1,47 | SSFA 122 | 1441,1 | 0,50 |
| 29 | | SSFA 329 | 381,5 | 0,63 | SSFA 429 | 318,1 | 0,77 | SSFA 629 | 779,1 | 0,53 | SSFA 122 | 1495,1 | 0,46 |
| 30 | | SSFA 330 | 381,4 | 0,70 | SSFA 430 | 333,4 | 0,72 | SSFA 630 | 746,4 | 0,82 | SSFA 123 | 1448,0 | 1,05 |
| 31 | | SSFA 331 | 385,4 | 0,67 | SSFA 431 | 337,3 | 0,54 | SSFA 631 | 751,4 | 0,90 | SSFA 123 | 1526,3 | 1,09 |
| 32 | | SSFA 332 | 387,4 | 0,86 | SSFA 432 | 318,7 | 0,35 | SSFA 632 | 762,1 | 0,78 | SSFA 123 | 1445,9 | 0,97 |
| Média | | | 379,8 | 0,79 | | 315,7 | 0,92 | | 769,6 | 0,85 | | 1576,1 | 0,78 |
| Desvio padrão relativo (%) | | | | 37,362 | | | 43,761 | | | 38,644 | | | 46,258 |
| Variância | | | | 0,086 | | | 0,162 | | | 0,108 | | | 0,130 |
| IHL | | | | 24,3452 | | | 32,1484 | | | 54,9681 | | | 176,1981 |
| S_{IHL} | | | | | | | 98% | | | | | | |

Apêndice B15 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 8 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4,0+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|---------------|----------------|----------|-----------------|----------------|----------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | SSFA 301 | 641,9 | 2,71 | SSFA 401 | 454,2 | 3,73 | SSFA 601 | 1827,7 | 3,03 | SSFA 120 | 719,6 | 3,22 | |
| 2 | SSFA 302 | 632,4 | 2,01 | SSFA 402 | 424,5 | 2,30 | SSFA 602 | 1863,8 | 2,63 | SSFA 120 | 734,3 | 6,76 | |
| 3 | SSFA 303 | 669,5 | 2,32 | SSFA 403 | 477,3 | 3,12 | SSFA 603 | 1899,3 | 3,42 | SSFA 120 | 735,4 | 2,91 | |
| 4 | SSFA 304 | 646,2 | 2,82 | SSFA 404 | 424,9 | 1,93 | SSFA 604 | 1881,1 | 2,49 | SSFA 120 | 784,2 | 1,95 | |
| 5 | SSFA 305 | 674,9 | 4,05 | SSFA 405 | 450,9 | 1,63 | SSFA 605 | 1810,5 | 2,79 | SSFA 120 | 724,4 | 2,00 | |
| 6 | SSFA 306 | 650,4 | 1,90 | SSFA 406 | 420,5 | 2,29 | SSFA 606 | 1894,8 | 2,45 | SSFA 120 | 736,0 | 1,80 | |
| 7 | SSFA 307 | 663,4 | 3,56 | SSFA 407 | 422,5 | 2,20 | SSFA 607 | 1846,9 | 1,89 | SSFA 120 | 779,2 | 3,18 | |
| 8 | SSFA 308 | 680,5 | 4,07 | SSFA 408 | 429,3 | 2,04 | SSFA 608 | 1878,4 | 5,21 | SSFA 120 | 762,5 | 3,23 | |
| 9 | SSFA 309 | 667,6 | 2,63 | SSFA 409 | 440,9 | 3,89 | SSFA 609 | 1902,3 | 2,23 | SSFA 120 | 736,0 | 1,61 | |
| 10 | SSFA 310 | 626,6 | 2,67 | SSFA 410 | 454,4 | 1,47 | SSFA 610 | 1861,1 | 3,74 | SSFA 121 | 792,7 | 3,00 | |
| 11 | SSFA 311 | 682,6 | 3,87 | SSFA 411 | 421,4 | 5,35 | SSFA 611 | 1898,8 | 1,87 | SSFA 121 | 770,0 | 1,43 | |
| 12 | SSFA 312 | 653,2 | 3,00 | SSFA 412 | 410,9 | 3,20 | SSFA 612 | 1882,0 | 2,18 | SSFA 121 | 779,2 | 1,83 | |
| 13 | SSFA 313 | 665,8 | 3,77 | SSFA 413 | 420,1 | 1,90 | SSFA 613 | 1866,4 | 2,51 | SSFA 121 | 789,3 | 3,08 | |
| 14 | SSFA 314 | 692,9 | 2,90 | SSFA 414 | 473,0 | 4,67 | SSFA 614 | 1855,7 | 2,11 | SSFA 121 | 762,9 | 1,91 | |
| 15 | SSFA 315 | 657,1 | 3,09 | SSFA 415 | 413,7 | 2,58 | SSFA 615 | 1819,7 | 2,45 | SSFA 121 | 762,7 | 2,54 | |
| 16 | SSFA 316 | 648,8 | 2,92 | SSFA 416 | 401,9 | 2,28 | SSFA 616 | 1846,3 | 2,84 | SSFA 121 | 713,1 | 3,30 | |
| 17 | SSFA 317 | 660,8 | 2,15 | SSFA 417 | 407,7 | 2,56 | SSFA 617 | 1953,5 | 2,13 | SSFA 121 | 723,6 | 3,02 | |
| 18 | SSFA 318 | 652,8 | 2,42 | SSFA 418 | 407,2 | 2,12 | SSFA 618 | 1825,8 | 3,20 | SSFA 121 | 769,1 | 2,30 | |
| 19 | SSFA 319 | 676,4 | 2,17 | SSFA 419 | 423,4 | 2,83 | SSFA 619 | 1915,0 | 2,15 | SSFA 121 | 784,9 | 1,83 | |
| 20 | SSFA 320 | 641,1 | 3,12 | SSFA 420 | 445,8 | 3,22 | SSFA 620 | 1868,1 | 2,25 | SSFA 122 | 772,9 | 3,56 | |
| 21 | SSFA 321 | 632,2 | 1,98 | SSFA 421 | 405,9 | 2,66 | SSFA 621 | 1803,0 | 2,46 | SSFA 122 | 782,0 | 3,64 | |
| 22 | SSFA 322 | 639,4 | 1,84 | SSFA 422 | 450,9 | 2,73 | SSFA 622 | 1889,9 | 2,31 | SSFA 122 | 780,5 | 2,78 | |
| 23 | SSFA 323 | 696,1 | 2,32 | SSFA 423 | 416,6 | 2,62 | SSFA 623 | 1919,3 | 4,54 | SSFA 122 | 770,3 | 2,27 | |
| 24 | SSFA 324 | 660,0 | 2,63 | SSFA 424 | 428,3 | 2,60 | SSFA 624 | 1859,4 | 4,00 | SSFA 122 | 742,9 | 3,70 | |
| 25 | SSFA 325 | 678,4 | 2,44 | SSFA 425 | 435,5 | 1,96 | SSFA 625 | 1924,5 | 2,57 | SSFA 122 | 734,7 | 2,96 | |
| 26 | SSFA 326 | 678,2 | 2,99 | SSFA 426 | 459,3 | 2,20 | SSFA 626 | 1859,6 | 3,09 | SSFA 122 | 766,6 | 2,10 | |
| 27 | SSFA 327 | 701,6 | 2,92 | SSFA 427 | 401,4 | 3,10 | SSFA 627 | 1798,3 | 2,96 | SSFA 122 | 738,8 | 4,11 | |
| 28 | SSFA 328 | 680,7 | 2,56 | SSFA 428 | 468,9 | 1,45 | SSFA 628 | 1872,9 | 3,05 | SSFA 122 | 768,3 | 1,38 | |
| 29 | SSFA 329 | 688,6 | 2,08 | SSFA 429 | 443,0 | 2,32 | SSFA 629 | 1963,3 | 2,84 | SSFA 122 | 761,6 | 2,27 | |
| 30 | SSFA 330 | 713,9 | 2,49 | SSFA 430 | 452,5 | 2,39 | SSFA 630 | 1894,6 | 3,06 | SSFA 123 | 755,4 | 3,27 | |
| 31 | SSFA 331 | 688,7 | 3,38 | SSFA 431 | 400,0 | 1,70 | SSFA 631 | 1997,1 | 2,37 | SSFA 123 | 798,3 | 3,15 | |
| 32 | SSFA 332 | 691,3 | 2,55 | SSFA 432 | 407,6 | 1,80 | SSFA 632 | 2023,9 | 2,61 | SSFA 123 | 791,6 | 3,22 | |
| Média | | 666,7 | 2,76 | | 431,1 | 2,59 | | 1881,3 | 2,80 | | 760,1 | 2,79 | |
| Desvio padrão relativo (%) | | | 22,366 | | | 33,790 | | | 26,577 | | | 36,793 | |
| Variância | | | 0,381 | | | 0,765 | | | 0,552 | | | 1,054 | |
| IHL | | | 17,7455 | | | 26,5223 | | | 67,9839 | | | 44,1752 | |
| S_{IHL} | | | | | | | | | 57% | | | | |

Apêndice B16 - Dados obtidos do método simplificado SSFA – Mina 9 – Ouro alto teor – Au (g/t)

| Amostra | Fração | -4,75+3,35 mm | | | -6,35+4,75 mm | | | -12,7+6,35 mm | | | -25,4,0+12,7 mm | | |
|-----------------------------------|----------|---------------|-------------|----------------|---------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|----------|-----------------|-----------|----------|
| | | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) | ID | Massa (g) | Au (g/t) |
| 1 | SSFA 301 | 668,7 | 8,26 | SSFA 401 | 832,8 | 8,51 | SSFA 601 | 2148,3 | 5,87 | SSFA 120 | 2305,4 | 6,31 | |
| 2 | SSFA 302 | 663,9 | 10,25 | SSFA 402 | 838,7 | 7,99 | SSFA 602 | 2181,4 | 8,77 | SSFA 120 | 2381,5 | 12,00 | |
| 3 | SSFA 303 | 659,4 | 8,74 | SSFA 403 | 844,5 | 8,87 | SSFA 603 | 2161,3 | 6,13 | SSFA 120 | 2537,1 | 5,71 | |
| 4 | SSFA 304 | 643,3 | 7,57 | SSFA 404 | 822,1 | 6,77 | SSFA 604 | 2170,4 | 8,99 | SSFA 120 | 2448,4 | 8,56 | |
| 5 | SSFA 305 | 667,3 | 7,09 | SSFA 405 | 829,5 | 10,05 | SSFA 605 | 2154,9 | 9,44 | SSFA 120 | 2441,2 | 7,26 | |
| 6 | SSFA 306 | 657,7 | 9,05 | SSFA 406 | 830,9 | 5,76 | SSFA 606 | 2186,8 | 7,16 | SSFA 120 | 2243,1 | 9,41 | |
| 7 | SSFA 307 | 648,6 | 8,78 | SSFA 407 | 825,0 | 5,52 | SSFA 607 | 2178,5 | 6,05 | SSFA 120 | 2472,3 | 10,15 | |
| 8 | SSFA 308 | 654,7 | 7,14 | SSFA 408 | 827,5 | 6,14 | SSFA 608 | 2163,3 | 6,10 | SSFA 120 | 2494,9 | 4,05 | |
| 9 | SSFA 309 | 676,1 | 7,89 | SSFA 409 | 821,8 | 7,86 | SSFA 609 | 2187,7 | 6,41 | SSFA 120 | 2400,4 | 9,47 | |
| 10 | SSFA 310 | 650,3 | 10,75 | SSFA 410 | 815,8 | 7,17 | SSFA 610 | 2159,5 | 6,10 | SSFA 121 | 2351,8 | 9,52 | |
| 11 | SSFA 311 | 676,5 | 7,64 | SSFA 411 | 835,1 | 6,12 | SSFA 611 | 2167,9 | 7,70 | SSFA 121 | 2420,0 | 7,83 | |
| 12 | SSFA 312 | 698,0 | 8,86 | SSFA 412 | 833,5 | 7,40 | SSFA 612 | 2151,2 | 5,75 | SSFA 121 | 2348,6 | 7,72 | |
| 13 | SSFA 313 | 664,4 | 7,90 | SSFA 413 | 836,4 | 7,33 | SSFA 613 | 2164,3 | 6,65 | SSFA 121 | 2258,5 | 11,00 | |
| 14 | SSFA 314 | 630,9 | 6,60 | SSFA 414 | 830,3 | 7,78 | SSFA 614 | 2179,0 | 6,51 | SSFA 121 | 2364,7 | 8,91 | |
| 15 | SSFA 315 | 659,0 | 7,29 | SSFA 415 | 809,2 | 7,19 | SSFA 615 | 2180,1 | 5,68 | SSFA 121 | 2426,7 | 9,90 | |
| 16 | SSFA 316 | 640,8 | 8,54 | SSFA 416 | 824,8 | 9,84 | SSFA 616 | 2141,5 | 6,10 | SSFA 121 | 2406,3 | 8,32 | |
| 17 | SSFA 317 | 652,1 | 10,15 | SSFA 417 | 847,6 | 6,15 | SSFA 617 | 2186,7 | 7,66 | SSFA 121 | 2396,4 | 35,10 | |
| 18 | SSFA 318 | 663,7 | 8,88 | SSFA 418 | 844,1 | 8,33 | SSFA 618 | 2192,2 | 6,74 | SSFA 121 | 2436,7 | 8,26 | |
| 19 | SSFA 319 | 648,9 | 7,19 | SSFA 419 | 828,6 | 10,65 | SSFA 619 | 2155,7 | 6,41 | SSFA 121 | 2371,3 | 10,10 | |
| 20 | SSFA 320 | 653,2 | 9,71 | SSFA 420 | 817,4 | 6,56 | SSFA 620 | 2141,8 | 8,30 | SSFA 122 | 2356,6 | 10,25 | |
| 21 | SSFA 321 | 646,7 | 8,55 | SSFA 421 | 838,8 | 7,85 | SSFA 621 | 2193,0 | 7,87 | SSFA 122 | 2397,4 | 8,66 | |
| 22 | SSFA 322 | 671,5 | 7,95 | SSFA 422 | 835,7 | 8,49 | SSFA 622 | 2185,3 | 7,26 | SSFA 122 | 2347,2 | 8,59 | |
| 23 | SSFA 323 | 655,6 | 7,29 | SSFA 423 | 830,1 | 8,11 | SSFA 623 | 2151,2 | 9,09 | SSFA 122 | 2385,0 | 9,30 | |
| 24 | SSFA 324 | 663,5 | 7,48 | SSFA 424 | 834,3 | 6,58 | SSFA 624 | 2138,4 | 8,42 | SSFA 122 | 2418,2 | 8,36 | |
| 25 | SSFA 325 | 671,0 | 6,21 | SSFA 425 | 809,5 | 8,49 | SSFA 625 | 2134,4 | 5,90 | SSFA 122 | 2440,8 | 4,63 | |
| 26 | SSFA 326 | 665,2 | 9,24 | SSFA 426 | 813,0 | 8,77 | SSFA 626 | 2179,6 | 8,20 | SSFA 122 | 2417,2 | 8,99 | |
| 27 | SSFA 327 | 681,4 | 7,57 | SSFA 427 | 817,3 | 7,15 | SSFA 627 | 2184,6 | 5,98 | SSFA 122 | 2443,9 | 7,48 | |
| 28 | SSFA 328 | 668,0 | 7,90 | SSFA 428 | 811,8 | 9,88 | SSFA 628 | 2132,5 | 8,39 | SSFA 122 | 2400,9 | 8,35 | |
| 29 | SSFA 329 | 653,1 | 7,83 | SSFA 429 | 808,9 | 7,97 | SSFA 629 | 2170,3 | 9,05 | SSFA 122 | 2384,9 | 8,23 | |
| 30 | SSFA 330 | 688,2 | 7,81 | SSFA 430 | 809,9 | 10,70 | SSFA 630 | 2195,6 | 5,62 | SSFA 123 | 2473,3 | 8,23 | |
| 31 | SSFA 331 | 642,2 | 10,10 | SSFA 431 | 824,9 | 9,65 | SSFA 631 | 2185,9 | 5,82 | SSFA 123 | 2375,1 | 5,91 | |
| 32 | SSFA 332 | 663,6 | 7,36 | SSFA 432 | 827,8 | 6,75 | SSFA 632 | 2195,3 | 6,53 | SSFA 123 | 2426,1 | 8,85 | |
| Média | | 660,9 | 8,24 | 826,8 | 7,89 | 2168,7 | 7,08 | 2399,1 | 9,23 | | | | |
| Desvio padrão relativo (%) | | 13,519 | | 17,884 | | 17,164 | | 54,380 | | | | | |
| Variância | | 1,240 | | 1,990 | | 1,478 | | 25,201 | | | | | |
| IHL | | 6,3433 | | 14,0523 | | 33,9089 | | 176,5226 | | | | | |
| S_{IHL} | | 139% | | | | | | | | | | | |