

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas – Mestrado  
Profissional

Dissertação de Mestrado

Remoção de quartzo grosso da carga circulante da flotação, por meio de peneiramento  
de alta frequência

Autor: Júlio César da Silva  
Orientador: Professor Dr. George Eduardo Sales Valadão

Outubro de 2019

Júlio César da Silva

Remoção de quartzo grosso da carga circulante da flotação, por meio de peneiramento  
de alta frequência

Proposta de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Área de concentração: Tecnologia Mineral

Orientador: Professor Dr. George Eduardo Sales Valadão

Coorientador: Henrique Dias Gatti Turrer

Belo Horizonte  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia

2019

- S586r Silva, Júlio César da.  
Remoção de quartzo grosso da carga circulante da flotação, por meio de peneiramento de alta frequência [recurso eletrônico] / Júlio César da Silva. - 2019.  
1 recurso online (xiv, 95 f. : il., color.) : pdf.
- Orientador: George Eduardo Sales Valadão.  
Coorientador: Henrique Dias Gatti Turrer.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.
- Anexos: f. 93-95.
- Inclui bibliografia.  
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.
1. Engenharia de minas - Teses. 2. Tecnologia mineral - Teses. 3. Flotação - Teses. 4. Peneiramento (Mineração) - Teses. I. Valadão, George Eduardo Sales. II. Turrer, Henrique Dias Gatti. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV Título.
- CDU: 622(043)



## ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO ALUNO **JÚLIO CÉSAR DA SILVA**

Realizou-se, no dia 25 de outubro de 2019, às 14:00 horas, 2240 DEMET, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de dissertação, intitulada *Remoção de quartzo grosso da carga circulante, por meio de peneiramento de alta frequência*, apresentada por JÚLIO CÉSAR DA SILVA, número de registro 2017721187, graduado no curso de ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em ENGENHARIA METALÚRGICA, MATERIAIS E DE MINAS, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). George Eduardo Sales Valadão - Orientador (UFMG), Prof(a). Paulo Roberto de Magalhaes Viana (UFMG), Prof(a). Henrique Dias Gatti Turrer (Anglo American).

A Comissão considerou a dissertação:

Aprovada

Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 25 de outubro de 2019.



Prof(a). George Eduardo Sales Valadão ( Doutor )



Prof(a). Paulo Roberto de Magalhaes Viana ( Doutor )



Prof(a). Henrique Dias Gatti Turrer ( Doutor )

## AGRADECIMENTOS

- A Anglo American Minério de Ferro Brasil pelo apoio, subsídio e incentivo no estudo e desenvolvimento de seus funcionários.
- A toda equipe do processo longo prazo, pelo apoio na execução dos ensaios, sobretudo ao Fabiano Gonzaga, Junio Simões e Carlos Nascimento.
- Ao professor George Eduardo Sales Valadão pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a realização deste trabalho.
- Ao Henrique Turrer Dias Gatti coordenador de processos pelos ensinamentos diários.
- Ao professor Douglas Batista Mazzinghy pelos conselhos e amizade.
- A Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) pela oportunidade de realização desse trabalho e engrandecimento pessoal.

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS.....   | vii  |
| LISTA DE TABELAS.....   | xi   |
| RESUMO.....   | xiii |
| ABSTRACT.....   | xiv  |
| 1 INTRODUÇÃO.....   | 1    |
| 2 OBJETIVO.....   | 3    |
| 2.1 Relevância do tema.....                                       | 3    |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                      | 4    |
| 3.1 Flotação de minério de ferro.....                             | 4    |
| 3.1.1 Aspectos gerais.....  | 4    |
| 3.1.2 Amina.....  | 4    |
| 3.1.3 Amido.....  | 5    |
| 3.2 Influência da granulometria na flotação.....                  | 5    |
| 3.3 Peneiramento.....   | 8    |
| 3.3.1 Peneiramento de finos.....                                  | 9    |
| 3.3.2 Variáveis operacionais.....                                 | 10   |
| 3.3.3 Eficiência de peneiramento.....                             | 11   |
| 3.3.4 Modelamento matemático para peneira de alta frequência..... | 12   |
| 3.4 Peneira Derrick Stack Sizer.....                              | 14   |
| 3.5 Peneira Metso Ultra Fine Screen.....                          | 16   |
| 3.6 Complexo Minas Rio.....                                       | 17   |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS.....  | 22   |
| 4.1 Coleta de dados da carga circulante.....                      | 22   |
| 4.2 Coleta e caracterização das amostras.....                     | 22   |
| 4.2.1 Análise química.....  | 23   |
| 4.2.2 Análise granuloquímica.....                                 | 24   |
| 4.2.3 Análise mineralógica.....                                   | 24   |
| 4.3 Peneiramento da carga circulante e flotação em bancada.....   | 25   |

|   |    |
|---|----|
| 4.3.1 Peneiramento .....  | 25 |
| 4.3.2 Flotação.....   | 25 |
| 4.4 Testes pilotos em peneira de alta frequência .....                            | 27 |
| 4.4.1 Teste UFS Metso Minerals .....  | 27 |
| 4.4.2 Teste Derrick Stack Sizer .....   | 29 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....   | 32 |
| 5.1 Caracterização carga circulante .....   | 32 |
| 5.1.1 Partição .....  | 32 |
| 5.1.2 Teores da Carga Circulante da Flotação .....                                | 33 |
| 5.1.3 Análise granulométrica .....  | 35 |
| 5.1.4 Análise química por faixa da amostra cabeça.....                            | 37 |
| 5.1.5 Mineralogia.....  | 39 |
| 5.2 Flotação em Bancada .....   | 44 |
| 5.3 Testes Peneiramento Metso .....   | 46 |
| 5.3.1 Testes na malha de 150 $\mu$ m .....  | 46 |
| 5.3.2 Testes na Malha de 180 $\mu$ m .....  | 49 |
| 5.3.3 Testes com a malha de 212 $\mu$ m.....                                      | 53 |
| 5.3.4 Estabilidade da flotação e balanço de massas com utilização da peneira..... | 59 |
| 5.4 Testes Peneiramento Derrick .....   | 61 |
| 5.4.1 Testes em malha de 150 $\mu$ m .....  | 62 |
| 5.4.2 Testes na malha de 180 $\mu$ m .....  | 67 |
| 5.4.3 Testes na malha de 212 $\mu$ m .....  | 74 |
| 6 CONCLUSÕES .....  | 86 |
| 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....  | 88 |
| 8 REFERÊNCIAS.....  | 89 |
| ANEXOS .....  | 93 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.1 - Curvas granulométricas modelo (Rogers, 1982).....   | 13 |
| Figura 3.2 - Peneira Derrick Stack Sizer (Cassimiro, 2015). .....  | 14 |
| Figura 3.3 - Sistemas de spray (Fonte. Arquivo interno Anglo American).....                                  | 15 |
| Figura 3.4 - Sistema de spray para peneira Repulp (Clark, 2007).....   | 16 |
| Figura 3.5 - Metso Ultra Fine Screen (Fonte. Arquivo interno Anglo American) .....                           | 16 |
| Figura 3.6 - Características da UFS (Fonte. Arquivo interno Anglo American).....                             | 17 |
| Figura 3.7 - Infraestrutura Operacional Integrada (Fonte. Arquivo interno Anglo American) .....              | 18 |
| Figura 3.8 - Circuito de moagem, classificação e deslamagem.....   | 18 |
| Figura 3.9 - Circuito de flotação original do sistema Minas/Rio.....   | 19 |
| Figura 3.10 - Circuito de flotação modificado.....   | 20 |
| Figura 3.11 – Circuito de flotação modificado com peneira de alta frequência.....                            | 20 |
| Figura 4.1 - Fluxograma de preparação e caracterização .....   | 22 |
| Figura 4.2 - Fluxograma de preparação e caracterização amostra fornecedores .....                            | 23 |
| Figura 4.3 - Axios Fast Panalytical.....   | 23 |
| Figura 4.4 - Qemscan Carl Zeiss .....  | 24 |
| Figura 4.5 - Célula de Flotação em bancada.....  | 25 |
| Figura 4.6 - Fluxograma de testes. A carga circulante peneirada. B carga circulante sem peneirar .....       | 27 |
| Figura 4.7 - Peneira UFS Metso e tela.....   | 28 |
| Figura 4.8 - Fluxograma testes UFS Metso .....   | 28 |
| Figura 4.9 - Peneira de testes Super Stack Sizer.....  | 29 |
| Figura 4.10 - Fluxograma de testes Derrick .....   | 30 |
| Figura 5.1 - Partição para a carga circulante da flotação .....  | 32 |
| Figura 5.2 - Variação dos teores de Fe (Fe, AL) na alimentação e carga circulante (Fe, CC) da flotação ..... | 33 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 5.3 - Variação dos teores de SiO <sub>2</sub> na alimentação (SiO <sub>2</sub> , AL) e carga circulante da flotação (SiO <sub>2</sub> ,CC) ..... | 34 |
| Figura 5.4 - Diferença entre os valores de Fe na alimentação e Fe carga circulante da flotação.....   | 34 |
| Figura 5.5 - Curvas granulométricas antes utilização das prensas e enchimento do moinho 27% .....   | 35 |
| Figura 5.6 - Curvas granulométricas após utilização das prensas e enchimento do moinho 30% .....  | 35 |
| Figura 5.7 - P80 alimentação da flotação e carga circulante .....   | 36 |
| Figura 5.8 - Teste de hipótese para granulometria.....  | 36 |
| Figura 5.9 - Distribuição de Fe e SiO <sub>2</sub> primeira campanha de amostragem.....   | 37 |
| Figura 5.10 - Distribuição de Fe, SiO <sub>2</sub> e retido em 150µm primeira campanha de amostragem.....   | 37 |
| Figura 5.11 - Distribuição de Fe, SiO <sub>2</sub> e retido em 150µm segunda campanha de amostragem.....  | 38 |
| Figura 5.12 - Distribuição de Fe e SiO <sub>2</sub> segunda campanha de amostragem .....  | 38 |
| Figura 5.13 - Composição mineralógica da amostra de carga circulante .....  | 39 |
| Figura 5.14 - Quartzo com inclusões de hematita .....   | 40 |
| Figura 5.15 - Hematita mista com quartzo .....  | 40 |
| Figura 5.16 – Hematita mista com quartzo, quartzo com inclusão de hematita e presença de goethita.....  | 41 |
| Figura 5.17 - Grau de liberação do quartzo na carga circulante .....  | 41 |
| Figura 5.18 - Granulometria carga circulante .....  | 42 |
| Figura 5.19 - Granuloquímica amostra enviada para fornecedores .....  | 43 |
| Figura 5.20 - Carga circulante da flotação >150µm e <150µm.....   | 43 |
| Figura 5.21 - Nível de significância dos testes de flotação .....   | 44 |
| Figura 5.22 - Efeitos das variáveis testadas em todos os níveis no teor de quartzo no concentrado.....  | 45 |
| Figura 5.23 - Correlação linear retido em 150µm no concentrado e SiO <sub>2</sub> .....   | 45 |
| Figura 5.24 - A Curvas granulométricas dos testes 1 e 2 .....   | 46 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 5.25 - Curvas granulométricas dos testes 3 e 4 .....   | 47 |
| Figura 5.26 - Curvas granulométricas dos testes 5 e 6 .....   | 48 |
| Figura 5.27 - Gráfico de contorno para distribuição do Fe para o <i>undersize</i> .....               | 49 |
| Figura 5.28 - Curvas granulométricas dos testes 7 e 8 .....   | 50 |
| Figura 5.29 - Curvas granulométricas dos testes 9 e 10 .....  | 51 |
| Figura 5.30 - Curvas granulométricas dos testes 11 e 12 .....   | 52 |
| Figura 5.31 - Gráfico de contorno para malha de 180 $\mu$ m.....                                      | 53 |
| Figura 5.32 - Curvas granulométricas dos testes 13 e 14 .....   | 54 |
| Figura 5.33 - Curvas granulométricas dos testes 15 e 16 .....   | 55 |
| Figura 5.34 - Curvas granulométricas dos testes 17 e 18 .....   | 56 |
| Figura 5.35 - Gráfico de superfície de contorno malha 212 $\mu$ m.....                                | 57 |
| Figura 5.36 - Efeitos principais para a distribuição e teores de Fe e SiO <sub>2</sub> .....          | 58 |
| Figura 5.37 - Gráfico de contorno para distribuição de Fe no <i>undersize</i> e <i>oversize</i> ..... | 59 |
| Figura 5.38 - Diferença entre o Fe da alimentação e carga circulante após peneiramento .....          | 59 |
| Figura 5.39 - Balanço de Massas sem utilização da peneira na carga circulante .....                   | 60 |
| Figura 5.40 - Balanço de Massas utilizando a peneira para remoção de quartzo na carga circulante..... | 61 |
| Figura 5.41 - Curvas granulométricas testes 1 e 2, malha 150 $\mu$ m.....                             | 62 |
| Figura 5.42 - Curvas granulométricas testes 3 e 4, malha 150 $\mu$ m.....                             | 63 |
| Figura 5.43 - Curvas granulométricas testes 3 e 4, malha 150 $\mu$ m.....                             | 64 |
| Figura 5.44 - Curvas granulométricas testes 7 e 8, malha 150 $\mu$ m.....                             | 65 |
| Figura 5.45 - Gráfico de contorno testes na malha de 150 $\mu$ m.....                                 | 66 |
| Figura 5.46 - Curvas granulométricas testes 9 e 10, malha 180 $\mu$ m.....                            | 67 |
| Figura 5.47 - Curvas granulométricas testes 11 e 12, malha 180 $\mu$ m.....                           | 68 |
| Figura 5.48 - Curvas granulométricas testes 13 e 14, malha 180 $\mu$ m.....                           | 69 |
| Figura 5.49 - Curvas granulométricas testes 15 e 16, malha 180 $\mu$ m.....                           | 70 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.50 - Curvas granulométricas testes 17 e 18, malha 180 $\mu$ m.....  | 71 |
| Figura 5.51 - Curvas granulométricas testes 19 e 20, malha 180 $\mu$ m.....  | 72 |
| Figura 5.52 - Gráfico de contorno malha 180 $\mu$ m, testes Derrick .....  | 73 |
| Figura 5.53 - Curvas granulométricas testes 21 e 22, malha 212 $\mu$ m.....  | 74 |
| Figura 5.54 - Curvas granulométricas testes 23 e 24, malha 212 $\mu$ m.....  | 75 |
| Figura 5.55 - Curvas granulométricas testes 25 e 26, malha 212 $\mu$ m.....  | 76 |
| Figura 5.56 - Curvas granulométricas testes 27 e 28, malha 212 $\mu$ m.....  | 77 |
| Figura 5.57 - Curvas granulométricas testes 29 e 30, malha 212 $\mu$ m.....  | 78 |
| Figura 5.58 - Curvas granulométricas testes 31 e 32, malha 212 $\mu$ m.....  | 79 |
| Figura 5.59 - Curvas granulométricas testes 33 e 34, malha 212 $\mu$ m.....  | 80 |
| Figura 5.60 - Curvas granulométricas testes 35 e 36, malha 212 $\mu$ m.....  | 81 |
| Figura 5.61 - Gráfico de contorno para a malha de 212 $\mu$ m.....   | 82 |
| Figura 5.62 - Gráficos de principais efeitos distribuição de Fe para <i>oversize</i> e <i>undersize</i> dos testes na <i>Super Stack Sizer</i> ..... | 83 |
| Figura 5.63 - Gráficos contorno para os testes na <i>Super Stack Sizer</i> .....   | 83 |
| Figura 5.64 - Balanço de massas para os testes com a Derrick sem a utilização das peneiras .....   | 84 |
| Figura 5.65 - Balanço de massas para os testes com a Derrick com a utilização das peneiras .....   | 85 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela IV.1 - Testes de Flotação .....                           | 26 |
| Tabela IV.2 - Sequência de testes UFS.....                       | 28 |
| Tabela IV.3 - Testes Derrick.....                                | 31 |
| Tabela V.1 - Composição química amostra enviada para testes..... | 42 |
| Tabela V.2 - Testes 1 e 2, malha 150 $\mu$ m .....               | 46 |
| Tabela V.3 - Testes 3 e 4, malha de 150 $\mu$ m .....            | 47 |
| Tabela V.4 - Testes 5 e 6, malha 150 $\mu$ m .....               | 48 |
| Tabela V.5 - Testes 7 e 8, malha 180 $\mu$ m .....               | 50 |
| Tabela V.6 - Testes 9 e 10, malha de 180 $\mu$ m .....           | 51 |
| Tabela V.7 - Testes 11 e 12, malha de 180 $\mu$ m .....          | 52 |
| Tabela V.8 - Testes 13 e 14, malha 212 $\mu$ m .....             | 54 |
| Tabela V.9 - Testes 15 e 16, malha 212 $\mu$ m .....             | 55 |
| Tabela V.10 - Testes 17 e 18, malha de 212 $\mu$ m .....         | 56 |
| Tabela V.11 - Testes 1 e 2, malha 150 $\mu$ m .....              | 62 |
| Tabela V.12 - Testes 3 e 4, malha 150 $\mu$ m .....              | 63 |
| Tabela V.13 - Testes 5 e 6, malha 150 $\mu$ m .....              | 64 |
| Tabela V.14 - Testes 7 e 8, malha 150 $\mu$ m .....              | 65 |
| Tabela V.15 - Testes 9 e 10 malha de 180 $\mu$ m .....           | 67 |
| Tabela V.16 - Testes 11 e 12 malha de 180 $\mu$ m .....          | 68 |
| Tabela V.17 - Testes 13 e 14 malha de 180 $\mu$ m .....          | 69 |
| Tabela V.18 - Testes 15 e 16 malha de 180 $\mu$ m .....          | 70 |
| Tabela V.19 - Testes 17 e 18 malha de 180 $\mu$ m .....          | 71 |
| Tabela V.20 - Testes 19 e 20 malha de 180 $\mu$ m .....          | 72 |
| Tabela V.21 - Testes 21 e 22 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 74 |
| Tabela V.22 - Testes 23 e 24 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 75 |
| Tabela V.23 - Testes 25 e 26 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 76 |
| Tabela V.24 - Testes 27 e 28 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 77 |
| Tabela V.25 - Testes 29 e 30 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 78 |
| Tabela V.26 - Testes 31 e 32 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 79 |
| Tabela V.27 - Testes 33 e 34 malhas de 212 $\mu$ m.....          | 80 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela V.28 - Testes 35 e 36 malhas de 212 $\mu$ m..... | 81 |
|---|----|

## RESUMO

Atualmente, o sistema Minas/Rio, de propriedade da Anglo American, no seu processo de concentração por flotação catiônica reversa tem apresentado um acúmulo consideravelmente elevado de  $\text{SiO}_2 > 150\mu\text{m}$  na carga circulante da flotação. Isso é representado principalmente pela presença de quartzo, que mostra uma tendência à elevação com o tempo. O estudo objetivou avaliar o efeito da retirada de partículas grosseiras de quartzo por meio de peneiramento de alta frequência da carga circulante da flotação. O estudo contemplou campanhas de amostragens da carga circulante, testes de flotação em bancada, ensaios nos equipamentos piloto da Derrick e Metso, com variação dos principais parâmetros operacionais dos equipamentos. As amostragens da carga circulante da flotação apresentaram em média 46% da massa retida em  $150\mu\text{m}$  com 72% do material sendo quartzo e apenas 4,0% de Fe. Ensaios em flotação em bancada com remoção do material  $> 150\mu\text{m}$  da carga circulante resultaram na diminuição de aproximadamente 1% de quartzo no produto final, sem que ocorresse redução na recuperação metalúrgica. Os testes de peneiramento na malha de  $212\mu\text{m}$  produziram *undersizes* com aproximadamente 56% de Fe, com razões de enriquecimento de 1,49 nos testes na Metso e 1,36 nos testes na Derrick, com recuperação metalúrgica de 95%. Os *oversizes* apresentaram aproximadamente 6% de Fe. Balanços de massas resultaram em um aumento de 0,18% em massa para um teor de carga circulante de 25% de Fe, tendo uma elevação de produção anual de aproximadamente 88.000 toneladas de concentrado. Para uma carga circulante com 41% de Fe, o resultado foi ainda mais expressivo: um aumento de 0,93% de recuperação em massa, com elevação anual na produção de aproximadamente 322.000 toneladas. Todo o estudo desenvolvido indicou que a utilização da peneira de alta frequência para remoção de quartzo de grande tamanho é uma boa alternativa do ponto de vista de processos para maximizar recuperações e elevar a qualidade dos produtos finais da planta de beneficiamento do sistema Minas/Rio.

## ABSTRACT

Currently, the Minas / Rio system, owned by Anglo American, in its reverse cationic flotation concentration process has shown a considerably high accumulation of  $\text{SiO}_2 > 150\mu\text{m}$  in the flotation circulating load. This is mainly represented by the presence of quartz, which shows a rising trend along the time. The study aimed to evaluate the effect of the removal of coarse quartz particles through high frequency screening of the flotation circulating load. The study involved circulating load sampling campaigns, bench flotation tests, tests on Derrick and Metso pilot equipment, with variation of the main operating parameters of the equipment. Flotation circulating load samplings presented on average 46% of the retained mass at  $150\mu\text{m}$  with 72% of the material related to quartz and only 4.0% related to Fe. Bench flotation tests with material extraction  $> 150\mu\text{m}$  from the circulating load resulted in a decrease of approximately 1% of quartz in the final product, without reduction in metallurgical recovery. Screening tests on the  $212\mu\text{m}$  produced undersizes with approximately 56% of Fe, with enrichment ratios of 1,49 tests at Metso and 1,36 tests at Derrick, with 95% metallurgical recovery. The oversizes presented approximately 6% of Fe. Mass balances resulted in a 0,18% of mass increase to a 25% of Fe circulating load content, with an annual production increase of approximately 88,000 tons of concentrate. For a 41% of Fe circulating load the result was even more significant, an increase of 0, 93% of mass recovery, with an annual production increase of approximately 322,000 tons. The study shows that the use of high frequency screen to remove large size quartz is a good alternative from a process perspective to maximize recoveries of Minas/Rio beneficiation project.

## 1 INTRODUÇÃO

O minério de ferro é uma das principais *commodities* produzidas no Brasil, com grande relevância econômica para o país e para o estado de Minas Gerais, sendo responsável pela geração de empregos e renda para as cidades mineradoras. Conforme apresentado pela revista Brasil Mineral (2018), a produção de minério de ferro brasileira foi estimada em 383,5 milhões de toneladas em 2017, correspondendo a 80% das exportações da mineração e 8,8% das exportações brasileiras.

Com o aumento da oferta da matéria prima, houve queda nos preços do minério, o que obriga os produtores a se adequarem a esse novo cenário, com a otimização do processo, visando maximizar a produção e reduzir custos operacionais, e, acima de tudo atender as exigências dos clientes com relação a qualidade do produto. Esses fatores, associados à redução dos teores de ferro das jazidas, torna a tarefa ainda mais complexa dentro das instalações de beneficiamento.

A operação do sistema Minas/Rio de propriedade da Anglo American iniciou-se em 2014. O empreendimento contempla: mina, usina de beneficiamento, localizados no município de Conceição do Mato Dentro. O mineroduto possui 525km de extensão e é responsável pelo transporte da polpa de concentrado de Conceição do Mato Dentro até a unidade de filtragem e embarque, localizada no norte fluminense, município de São João da Barra.

Atualmente o circuito de flotação sofreu algumas modificações devido a uma sobrecarga de quartzo de tamanho elevado ( $>150\mu\text{m}$ ) nos fluxos intermediários da flotação, mais precisamente na carga circulante da flotação. Com a obtenção dessa informação surgiu o estudo de peneiramento de alta frequência para alguns fluxos do circuito. Primeiramente pensou-se na possibilidade de peneirar toda a alimentação nova da flotação, mas esse fluxo demandaria alto investimento e espaço físico.

Baseado em amostragens e acompanhamento de campo, concluiu-se que o fluxo mais adequado a ser peneirado era a própria carga circulante da flotação (afundado da scavenger). Isso acontece já que a maior parte do quartzo  $>150\mu\text{m}$  presente na



alimentação da flotação se direcionava para o afundado da scavenger que indica uma tendência de elevação ao longo do tempo. Esta sobrecarga continuou acontecendo mesmo com a prensa de rolos de 100% do ROM proveniente da britagem secundária, aumento do grau de enchimento da moagem primária de 27 para 30% e redução do p80 do produto da moagem.

Outra informação importante levantada no estudo foi que, para correção dos teores de  $\text{SiO}_2$  na carga circulante da flotação, realiza-se o dreno da *scavenger*, por meio de válvula manual. Como o circuito cleaner 1 é composto por dois tanques independentes, uma outra medida adotada foi o direcionamento do flotado de um dos tanques direto para o espessador de rejeito. Essa manobra resultou na redução das recuperações mássica e metálica. Assim, com base nas informações obtidas, aliada ao menor custo de implantação decidiu-se por prosseguir o estudo somente para a carga circulante da flotação.

## 2 OBJETIVO

O trabalho investiga a possibilidade de aplicação do peneiramento de alta frequência, para remoção total ou parcial de quartzo  $>150\mu\text{m}$  da carga circulante da flotação. Objetiva-se elevar a qualidade do produto final sem que ocorra a redução da recuperação metalúrgica no processo de concentração, evitar a perda por drenagem e utilizar o circuito com os dois bancos da cleaner direcionando seus flotados para a etapa *scavenger*, elevando as recuperações mássica e metálica. O estudo contempla:

- Realização de testes comparativos de flotação em bancada, com o objetivo de comprovar os ganhos da remoção da fração  $> 150\mu\text{m}$ ;
- Determinar a tela de melhor desempenho, por meio de testes no equipamento industrial de peneiramento de alta frequência;
- Definir e otimizar parâmetros operacionais da peneira, ou seja, densidade da polpa, velocidade/vibração e taxa de alimentação;

### 2.1 Relevância do tema

A aplicação do peneiramento de alta frequência na carga circulante da flotação pode proporcionar uma melhor seletividade da flotação, pois sabe-se que partículas grosseiras são difíceis de serem coletadas e comprometem a estabilidade do agregado partícula-bolha. A remoção total ou parcial da fração  $>150\mu\text{m}$  pode resultar na redução do consumo de reagentes, menor gasto energético na remoagem e, principalmente, na melhoria da qualidade do produto final.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura referente ao objeto de estudo. Compreende aspectos gerais sobre flotação, influência da granulometria no processo de concentração e uma abordagem sobre o peneiramento de finos e a peneira de alta frequência.

#### **3.1 Flotação de minério de ferro**

##### **3.1.1 Aspectos gerais**

A flotação em espuma, é um método de concentração, com aplicação em partículas sólidas, que utiliza as características superficiais entre os minerais constituintes. A flotação trata misturas heterogêneas de partículas em suspensão em meio aquoso (polpas). Para o bom desempenho do processo de flotação, o método requer três condições básicas: liberalidade, diferencialidade e separabilidade hidrodinâmica (Perez *et al.*, 2012).

A flotação tem aplicação para várias classes minerais, sendo que, para o minério de ferro, sua aplicação tem aumentado, devido à queda de teores de ferro presente nas jazidas e liberação dos minerais constituintes. Atualmente, o processo de flotação é amplamente utilizado no tratamento do minério de ferro, devido a sua versatilidade e seletividade. Permite a obtenção de concentrados de elevados teores e expressivas recuperações. Os reagentes utilizados são amido e amina, que tem a função depressora e espumante\coletora, respectivamente.

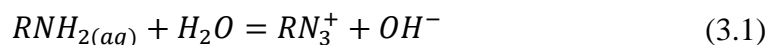
##### **3.1.2 Amina**

Trata-se de compostos químicos e orgânicos nitrogenados, derivados do amoníaco (NH<sub>3</sub>) e que são resultados da substituição total ou parcial dos hidrogênios da molécula por grupos hidrocarbônicos.

A amina se ioniza em solução aquosa, conforme Equação 3.1. Em pH 10,5,

aproximadamente 50% da amina se encontra na forma ionizada Leja (1982).

A Equação 3.1 é a utilizada por Leja (1982)



### 3.1.3 Amido

O amido é um depressor utilizado na flotação para aumentar a seletividade do sistema. Age de modo a impedir ou diminuir a adsorção do coletor na superfície da hematita.

Amido é um polímero natural (polissacarídeo) formado pela condensação de moléculas de  $\alpha$ -D(+) glicose, através de ligações do tipo  $\alpha$ -1,4 (amilose) e  $\alpha$ -1,6 (amilopectina).

Os amidos são insolúveis em água e sua aplicação depende do processo de gelatinização, que se baseia na capacidade que os grânulos de amido têm de absorver água quando molhados ou expostos à umidade.

## 3.2 Influência da granulometria na flotação

Estudos mostraram que o sucesso do processo de flotação para minério de ferro está diretamente associado à distribuição granulométrica das partículas.

Para Amorim (2013), partículas que passam pelo processo de flotação precisam estar em uma faixa granulométrica ideal para apresentarem recuperações e teores satisfatórios. Essa faixa ideal depende do minério a ser flotado, já que os minerais possuem características mineralógicas distintas. Para o minério de ferro, a faixa ideal em geral é menor que 150 $\mu$ m e maior que 10 $\mu$ m.

Os autores Rodrigues e Filho (2010) relataram que os processos básicos que são determinantes para recuperação de partículas em uma célula de flotação abrangem os consecutivos subprocessos de colisão, adesão e estabilidade do agregado partícula/bolha.

Nesses processos, a colisão é controlada pelo ambiente hidrodinâmico da polpa na célula de flotação, enquanto a adesão é influenciada pelo comportamento físico-químico da interface entre partícula e bolha. Por sua vez, a eficiência da estabilidade depende, tanto dos eventos hidrodinâmicos, como dos físico-químicos.

Segundo Vieira (2005) o tamanho da partícula possui grande influência no processo hidrodinâmico das partículas maiores e de pequeno diâmetro, flotadas em conjunto podem apresentar diferentes comportamentos, tais como grau de hidrofobicidade, colisão e adesão com as bolhas de ar, o que pode afetar negativamente a seletividade do processo de flotação

Os autores Ahmed e Jameson (1985) e Hermainz e Calero (2001) mostram que o tamanho das partículas minerais envolvidas no processo pode afetar a taxa de flotação. Para o caso da flotação reversa de minério de ferro, em que a distribuição de quartzo nas várias frações é heterogênea, esse efeito pode ser mais acentuado, relatam Carvalho e Martins (2005).

Vieira (2005) relatou que quando se processa partículas grossas juntamente com finas, e estas são colocadas em contato com um coletor concomitantemente, grande parte do coletor será consumido pelas partículas finas, fato que reduziria a disponibilidade para adsorção nas partículas grossas e assim reduziria a recuperação dessas partículas.

Segundo Cruz (2010), a flotação exibe um melhor desempenho quando se trabalha com material de distribuição granulométrica de menor amplitude, quando comparado com material de granulometria completa. O autor concluiu que ao separar as frações  $<150 >44\mu\text{m}$  e  $<44\mu\text{m} >10\mu\text{m}$  o resultado foi a redução do consumo de amido da ordem de 17% e amina 26%. Na mesma linha de estudo, Pimentel *et al.* (2014) concluíram que para a obtenção de um concentrado com teor satisfatório, uma boa alternativa seria dividir a alimentação do circuito de concentração, entre flotação de grossos e finos, ou seja, adotar o circuito de flotação fracionada. Nesse caso, a alimentação da flotação de grossos teria um intervalo granulométrico em  $<0,15 >0,045\text{mm}$ , seguido de uma remoagem, para o caso de um concentrado de qualidade ligeiramente abaixo do esperado, e por fim, uma

flotação de limpeza. Já para a flotação de finos, a granulometria da alimentação estaria na faixa  $<0,045 >0,010$ mm, considerando que nesta faixa granulométrica já se espera obter um concentrado final com elevado índice de pureza, na faixa de 67-68% de Fe.

A crescente exigência para a produção de concentrados com teor de quartzo cada vez menor acarreta dificuldades e grandes desafios para a indústria mineradora brasileira. Assim, os produtores necessitam adequar suas instalações para elevar a qualidade de seus produtos finais. Dentro desse contexto, uma das grandes dificuldades para a obtenção dos concentrados finais com um elevado índice de pureza é a presença de partículas de grande tamanho de quartzo no pellet feed.

Leja (1982) afirma que o tamanho máximo para alimentação de um sistema de flotação pode ser determinado em função do grau de liberação do mineral minério, ou seja, fração granulométrica onde não há presença de partículas mistas. Porém, em muitos casos, este tamanho é limitado pela força de adesão entre partícula e bolha, ou seja, o fluxo ascendente de bolhas não é capaz de levantar partículas muito grandes.

Ferreira (2003) observou, por meio de testes de flotação em bancada, que para a obtenção de um concentrado com elevado índice de pureza, o limite superior do quartzo foi de  $105\mu\text{m}$ .

Para Vieira (2005), flotação catiônica do quartzo em partículas menores que  $150\mu\text{m}$ , ocorre sem grandes dificuldades, mesmo na presença de pequena quantidade de amina, em faixa de pH que varia de 9,0 a 10,5. Entretanto, o menor desempenho dos coletores de quartzo, nas frações granulométricas maiores que  $150\mu\text{m}$  resulta na obtenção de concentrados contaminados com quartzo de elevado tamanho.

Braga (2010) verificou em testes de laboratório utilizando amostras representativas de diferentes tipologias provenientes da mina do Pico, que aproximadamente 2,57% da massa alimentada na flotação está presente na fração  $>150\mu\text{m}$ , apresentando elevado teor de quartzo. Segundo o autor, esse material sobrecarrega o sistema de flotação, aumenta o consumo de reagentes e tempo de residência.

Segundo Esteves et al (2014) o escalpe da fração >150 $\mu$ m da alimentação da flotação de 6,65% para 4,5% resultou em uma redução de 67% quartzo e elevação no teor de ferro de 0,25%, elevando a qualidade do produto final.

Vieira (2005) verificou que, para a flotação de partículas de quartzo grosseiras, é necessária uma maior dosagem de coletor para se obter um maior grau de hidrofobicidade e, conseqüentemente, maior força de adesão partícula bolha, a fim de se alcançar maiores índices de recuperação do quartzo.

### **3.3 Peneiramento**

O peneiramento é um método de separação por tamanho, compreendendo duas ou mais classes, possuindo um limite superior e inferior (Correia, 2010). As peneiras vibratórias apresentam três tipos de classificação: horizontais, inclinadas e de alta frequência (Galery *et al.*, 2012).

Para Galery *et al.* (2012), peneiramento é uma operação unitária do processo de beneficiamento, que consiste na separação de partículas de diferentes tamanhos e formas através de uma superfície com aberturas geométricas de formas variadas, resultando em dois produtos: material retido (*oversize*) e material passante (*undersize*). A classificação por tamanho é feita por barreira mecânica, (nos processos de classificação em correntes fluidas, a barreira é fluidodinâmica). Trata-se de um processo do tipo “passa/não passa” e as barreiras são compostas pelos fios da malha. Frequentemente as peneiras possuem superfície tecida com fios regularmente espaçados e crivos, quando feitas de chapas perfuradas (Luz e Carvalho, 2005).

O peneiramento pode ser realizado a seco ou a úmido. No peneiramento a seco, o material apresenta somente a umidade natural. Sua aplicação acontece para materiais maiores que 5mm. O peneiramento a úmido tem sua utilização para materiais de granulometria menor que 0,25mm. O peneiramento de partículas de grande tamanho utiliza maiores amplitudes e baixa frequência. Já o peneiramento de finos é realizado em alta frequência e baixa amplitude (Wills, 2006).

### 3.3.1 Peneiramento de finos

Para a classificação de partículas de pequeno tamanho, os hidrociclones são amplamente utilizados nas plantas de beneficiamento em etapas de classificação e deslamagem, por necessitarem de menor espaço físico e investimento. Para Carvalho (2015) os hidrociclones classificam o minério por ação da força centrífuga, que aumenta a classificação de partículas de menor tamanho, elevando a eficiência do corte e aumentando a carga circulante.

No peneiramento, existe uma separação levando-se em conta o tamanho geométrico das partículas. Este processamento em peneiras de alta frequência apresenta boa eficiência na classificação de finos e redução da carga circulante.

O peneiramento, atualmente, é utilizado em larga escala na indústria mineral para classificação de partículas de maior tamanho, em circuitos de cominuição. Segundo Cassimiro (2015), para partículas de menor tamanho, esse equipamento sempre foi pouco utilizado, devido à baixa capacidade, entupimento e desgaste excessivo das telas.

Para o peneiramento de finos, são normalmente utilizadas as peneiras de alta frequência. Ao contrário das peneiras convencionais, esse equipamento possui baixa amplitude de vibração e alta frequência. Essa combinação promove um maior contato de partículas de menor tamanho com a superfície da peneira, aumentando a probabilidade de passagem dos ultrafinos (Cassimiro, 2015). A frequência utilizada pode chegar até 3600rpm. Já as peneiras vibratórias para materiais grossos possuem variação de frequência de 700 a 1200rpm (Wills, 2006).

As peneiras de alta frequência executam um movimento linear e possuem múltiplos decks de classificação individual, dispostos de forma escalonada, que funcionam em paralelo. Elas oferecem uma grande capacidade e operam em espaço reduzido. Para Valine *et al.* (2011), as principais características desse equipamento são:

- Construção robusta e alta capacidade;



- Alta resistência ao desgaste;
- Elevada eficiência;
- Baixo consumo de energia;
- Fácil manutenção e acesso fácil aos componentes;
- Oferecem melhores recuperações.

Com o desenvolvimento da peneira de alta frequência, e por apresentar maior eficiência, o equipamento tem sido mais utilizado na classificação em circuitos de moagem. Para Valine *et al.* (2011), com o aumento dos custos de energia e o objetivo de otimizar circuitos de cominuição, a classificação por meio de peneiras de alta frequência se tornou uma realidade necessária nas plantas de beneficiamento.

Vargas *et al.* (2019) concluíram que, a utilização concomitante de peneira de alta frequência e hidrociclones promoveram um aumento de capacidade e redução de 0,3% no teor de zinco do rejeito da flotação. Esses testes foram realizados na unidade de Vazante (MG) de propriedade da Nexa Resources.

Esse equipamento também tem sido utilizado na retirada de quartzo grosso do concentrado final nas minas de Conceição, Cauê e Brucutu da mineradora Vale S/A.

### **3.3.2 Variáveis operacionais**

As principais variáveis para o peneiramento a úmido são:

- Abertura da tela e distribuição granulométrica da alimentação;
- Taxa de alimentação;
- Densidade da polpa.

A abertura da tela é uma variável extremamente importante, pois determinará a capacidade do equipamento. Para Wills (2006), quando a abertura da tela é próxima ao tamanho das partículas, a chance de passagem é consideravelmente reduzida, à medida

que as proporções dessas partículas aumentam. Nesse caso, a tendência é que esse material se prenda nas aberturas, reduzindo a área aberta disponível.

A taxa de alimentação ou capacidade da peneira define a quantidade de peneiras necessária para atender as especificações desejadas para um determinado tipo de alimentação. Um subdimensionamento resultará em baixa eficiência, ou seja, o *oversize* apresentará grande quantidade de partículas finas, além de maior desgaste das telas e componentes (Mular, 2003).

No peneiramento a úmido, as partículas do *undersize* são arrastadas pelo movimento do fluido, portanto, a densidade da polpa na maioria dos casos afetará a eficiência do peneiramento. Com a redução da densidade da polpa, conseqüentemente a viscosidade do fluido irá diminuir, o que facilita a passagem das partículas de menores tamanhos para o *undersize* (Valine *et al.*, 2011).

### 3.3.3 Eficiência de peneiramento

Correia (2010) define eficiência como a avaliação do desempenho da operação unitária de peneiramento em relação a separação granulométrica ideal desejada. Assim, eficiência de peneiramento é definida como a relação entre a quantidade de partículas menores que a abertura da tela de peneiramento e que passam por ela e a quantidade delas presentes na alimentação.

O cálculo de eficiência para as peneiras de alta frequência é definido conforme as equações a seguir: (Cassimiro, 2015).

$$U = \frac{(100 \times (C - A))}{(C + D - 100)} \quad (3.2)$$

$$O = 100 - U \quad (3.3)$$

$$Eu = \frac{U \times D}{B} \quad (3.4)$$

$$E_o = \frac{O \times C}{A} \quad (3.5)$$

$$E = \frac{U \times D + O \times C}{100} \quad (3.6)$$

Sendo:

- A - % de *oversize* presente na alimentação da peneira;
- B - % de *undersize* presente na alimentação da peneira;
- C - % de *oversize* presente no material retido na tela;
- D - % de *undersize* presente no passante da tela;
- O - % em massa do *oversize*;
- U - % em massa do *undersize*;
- Eu - Eficiência para o *undersize*;
- Eo – Eficiência para o *oversize*;
- E – Eficiência global.

### 3.3.4 Modelamento matemático para peneira de alta frequência

Os modelos matemáticos são uma importante ferramenta para otimização de plantas de concentração, podendo ser aplicados em praticamente todas as operações unitárias de beneficiamento. Através dessa representação, pode-se obter partições teóricas de fluxos de equipamentos de cominuição, classificação e concentração.

As peneiras de alta frequência podem ser modeladas de acordo com a equação 3.7 (Rogers, 1982).

$$c(di) = 1 - A(1 - e(di)) \quad (3.7)$$

Sendo:

- $c(di)$  - Função classificação corrigida;
- $e(di)$  - Função classificação real;

A - Partição da água para o *undersize*;

A função classificação real  $e(di)$  é modelada através da função 3.8 (Rogers, 1982).

$$e(di) = \frac{\frac{di}{d_{50c}}}{\left(\frac{di}{d_{50c}}\right) + \exp\left[\alpha\left(1 - \left(\frac{di}{d_{50c}}\right)^2\right)\right]} \quad (3.8)$$

Sendo:

$di$  - O tamanho das partículas no intervalo de tamanho  $i$  (mm);

$d_{50}$  - O tamanho (corrigido) no qual a partícula tem 50% de chance de ir para o *underflow* ou *overflow*;

$\alpha$  - Expoente de uniformidade;

A figura 3.1 representam os gráficos com dados experimentais e modelados.

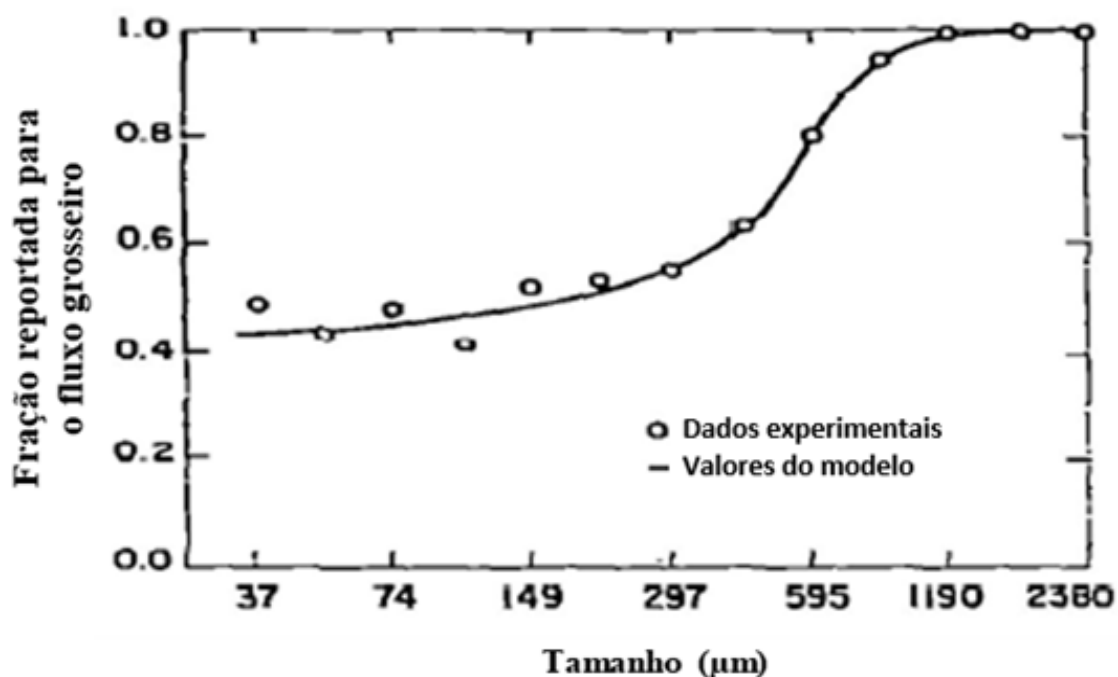


Figura 3.1 - Curvas granulométricas modelo (Rogers, 1982)

A função objetivo mede o desvio entre os valores experimentais e teóricos, podendo ser representada pela equação 3.9.

$$FO = \sum_{i=1}^n \frac{(Pi(exp) - Pi(Mod))^2}{Pi(exp)} \quad (1.9)$$

Sendo:

FO - Função objetivo;

Pi (exp) - Percentual passante experimental no tamanho di;

Pi (Mod) - Percentual passante no modelo no tamanho di;

O modelo é calibrado utilizando o solver suplemento da planilha eletrônica do excel regressão não linear.

### 3.4 Peneira Derrick Stack Sizer

A peneira Derrick Stack Sizer foi desenvolvida por meio de estudos para ser aplicada na classificação de finos. Após esses estudos, a corporação Derrick concluiu que o principal fator a influenciar a eficiência e capacidade da peneira é a largura (Cassimiro, 2015).

Utilizada em circuitos de moagem, a peneira alcançou a eficiência de 90% (Valine *et. al.*, 2011). A figura 3.2 representa a peneira Derrick Stack Sizer.

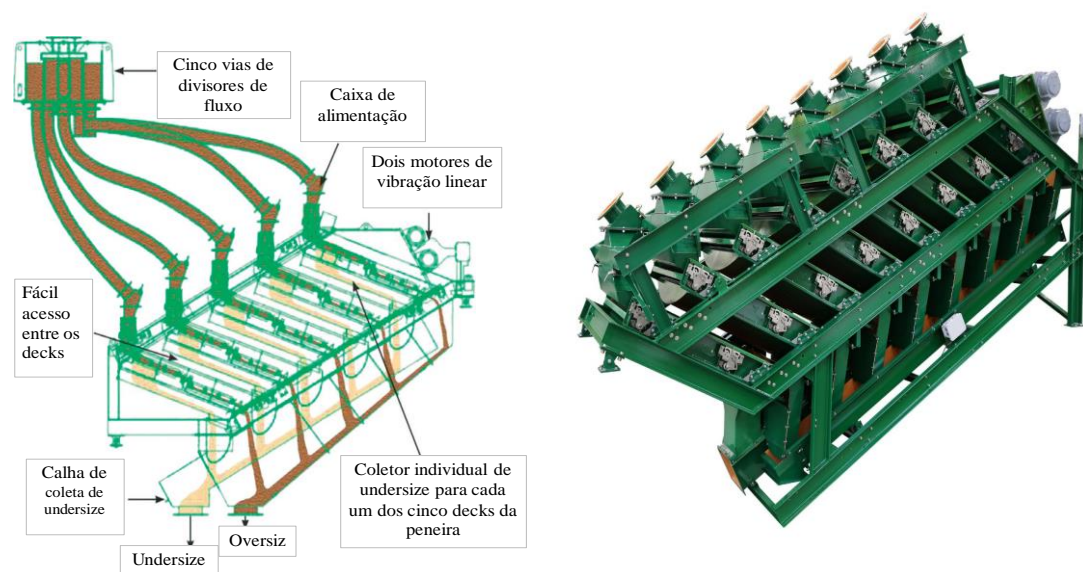


Figura 3.2 - Peneira Derrick Stack Sizer (Cassimiro, 2015).

A peneira *Super Stack Sizer* de alta capacidade, consiste no máximo 8 decks posicionados um sobre o outro com operação em paralelo. Este equipamento possui movimento linear, baixa amplitude e alta frequência, oferecendo maior eficiência de separação. Sua baixa carga dinâmica minimiza o requisito de suporte estrutural. A tela é composta de poliuretano, que fornece maior área aberta e alta durabilidade quando comparado as telas de aço trançado. O equipamento ainda possui a opção de spray em cada deck, que são posicionados na segunda tela de cada deck. Os tipos de bicos para injeção do spray, estão representados na figura 3.3.



Figura 3.3 - Sistemas de spray

A figura 3.4 apresenta a peneira *repulp* de alta frequência, possui spray de repolpagem para melhor remoção de finos do *oversize*. Cada deck requer dois painéis de tela e uma calha de repolpagem revestida de borracha substituível e opcional que é colocada entre dois painéis de tela. Esse recurso opcional usa uma ação de lavagem de alta frequência para espalhar efetivamente o material de maiores tamanhos antes de sua entrada no segundo painel. O sistema de spray é destinado a calha de repolpagem e não ao painel da tela. Se os jatos fossem direcionados no painel da tela, o peneiramento poderia ser prejudicado de duas formas: desgastar prematuramente o painel da tela e forçar material maior que a abertura passar através da tela (Clark, 2007).



Figura 3.4 - Sistema de spray para peneira Repulp (Clark, 2007)

### 3.5 Peneira Metso Ultra Fine Screen

Recém-chegada ao mercado, a peneira UFS (*Ultra Fine Screen*) foi desenvolvida com o objetivo de substituir hidrociclones em circuitos de moagem. Apresenta uma configuração de até 10 decks sobrepostos com operação em paralelo. A figura 3.5 apresenta a peneira UFS e seus componentes.

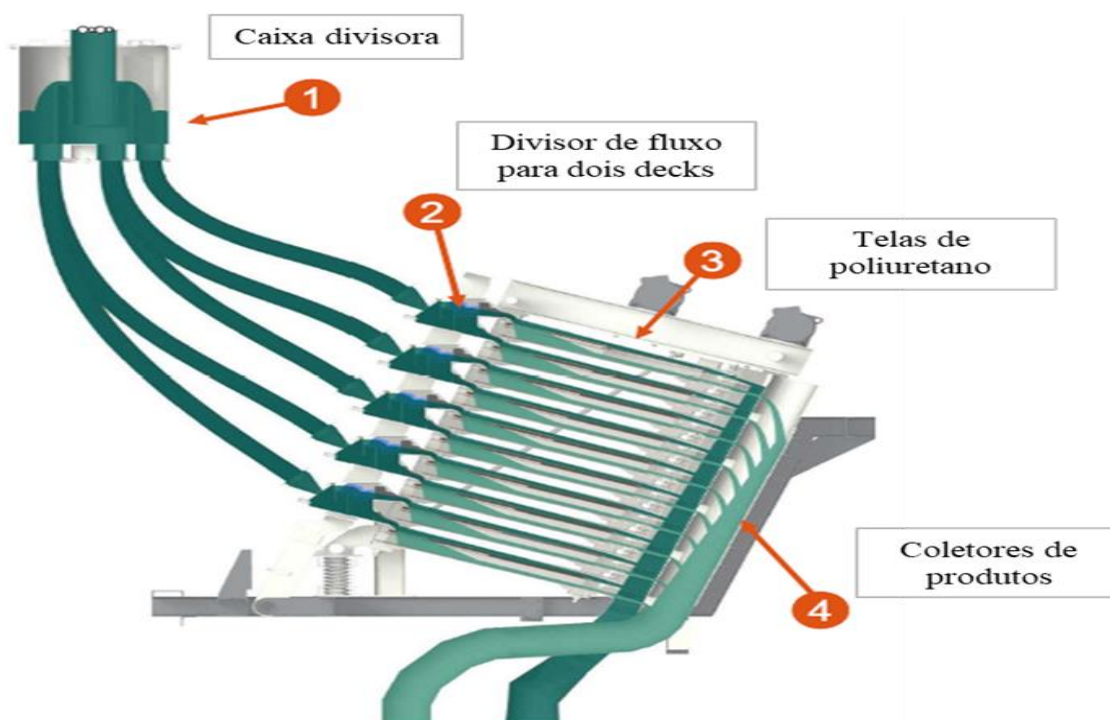


Figura 3.5 - Metso Ultra Fine Screen (Fonte. Catálogo Peneira UFS Metso, 2017)

Trata-se de um equipamento de alta capacidade, possuindo telas de poliuretano com abertura mínima de  $75\mu\text{m}$  e máxima de  $1000\mu\text{m}$ , variação de frequência de 1800 a 3600rpm. Esse equipamento opera com movimento linear e baixa amplitude, a operação pode ser realizada por até dez decks operando em paralelo. Suas dimensões estão representadas na figura 3.6.

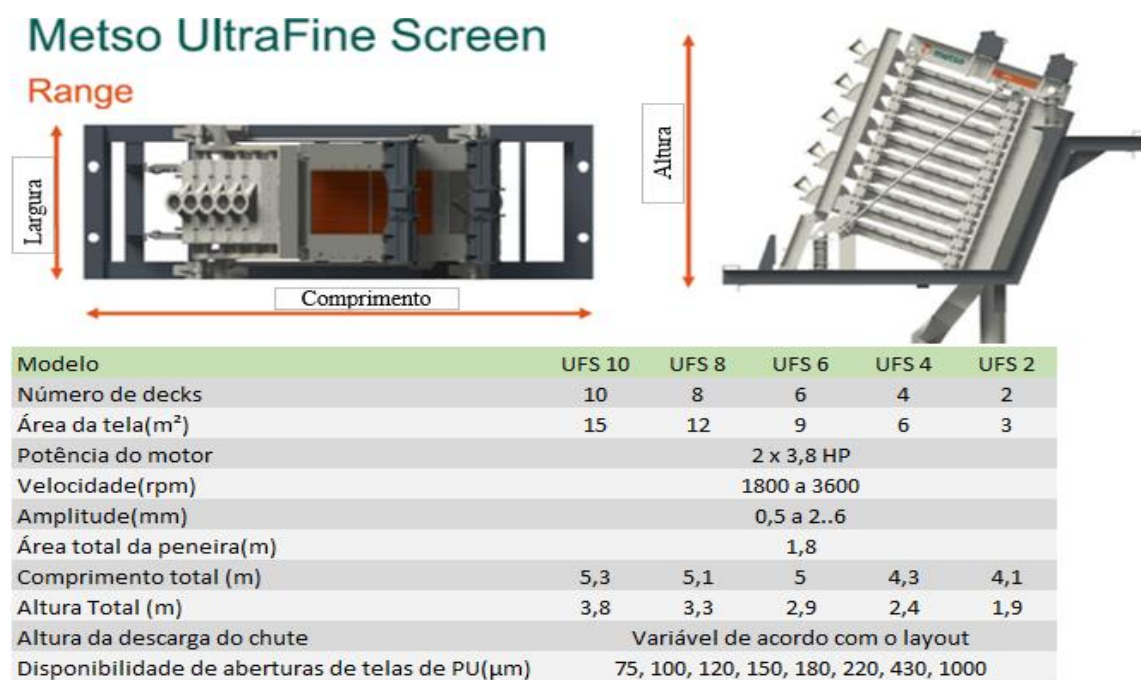


Figura 3.6 - Características da UFS (Fonte. Catálogo Peneira UFS Metso, 2017)

### 3.6 Complexo Minas Rio

O complexo Minas/Rio é o maior investimento do grupo Anglo American no mundo, com valor estimado de US\$ 5,7 bilhões. Sua capacidade instalada é para a produção de 26,5 Mt/ano. A jazida apresenta recursos geológicos estimados em 5,8 bilhões de toneladas, o que equivale a 20 anos de operação, com expectativa de postergação para 40 anos. Todo Pellet Feed produzido na planta de beneficiamento é bombeado através do maior mineroduto do mundo com 525km de extensão, passando por 32 municípios até São João da Barra, Estado do Rio de Janeiro, onde ocorre a separação sólido/ líquido do produto em filtros cerâmicos e embarcado para o mercado externo. A figura 3.7 representa a infraestrutura operacional integrada do Minas/Rio.





Figura 3.7 - Infraestrutura Operacional Integrada

O minério de ferro processado no complexo industrial do Minas/Rio, totalizou quase 15 milhões de toneladas de concentrado em 2017. O minério é lavrado na Serra do Sapo, município de Conceição do Mato Dentro. A planta de processamento mineral possui etapas de britagem primária, secundária e prensas de rolos. O circuito de moagem e classificação possui duas linhas independentes com moinho de bolas e hidrociclones de 33". A deslamagem do material moído e classificado é realizada por meio de hidrociclones de 15" na etapa de deslamagem primária e 4" na secundária, o circuito de moagem e deslamagem está representado na figura 3.8.

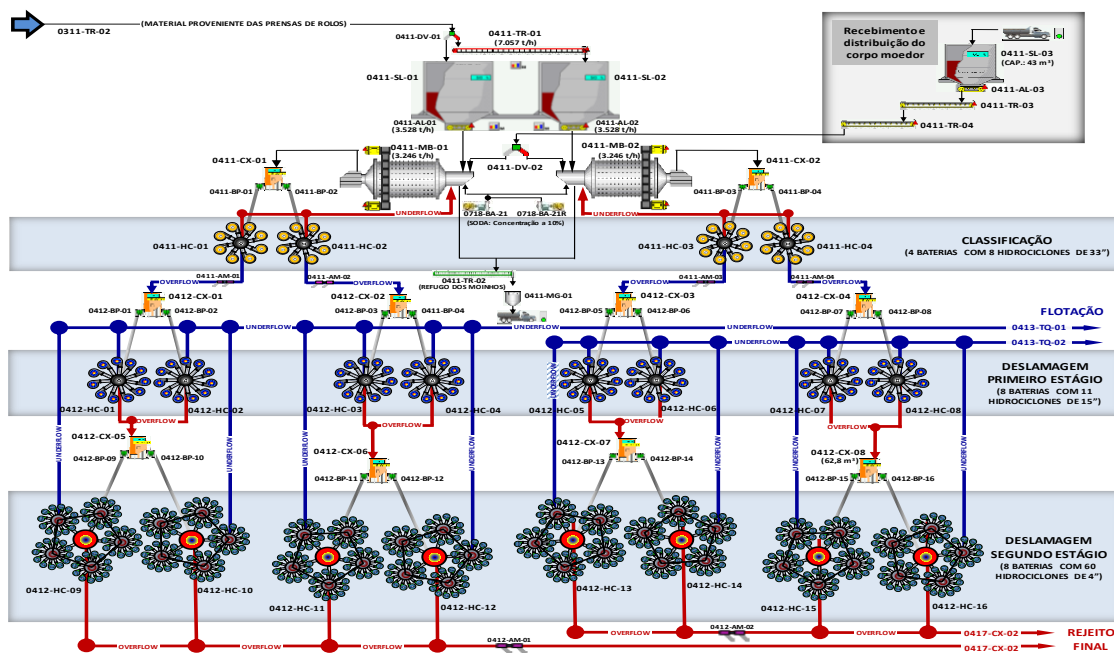


Figura 3.8 - Circuito de moagem, classificação e deslamagem

O circuito de flotação original possui duas linhas independentes compostas por tanques cell, operando em paralelo. As duas linhas são compostas por 3 tanques para a etapa *rougher*, dois tanques para as *cleaners* 1 e 2, dois tanques para as etapas *scavengers* 1 e 2. Cada tanque possui 160m<sup>3</sup> de volume total e 120m<sup>3</sup> de volume útil. Este circuito de flotação está representado pela figura 3.9.

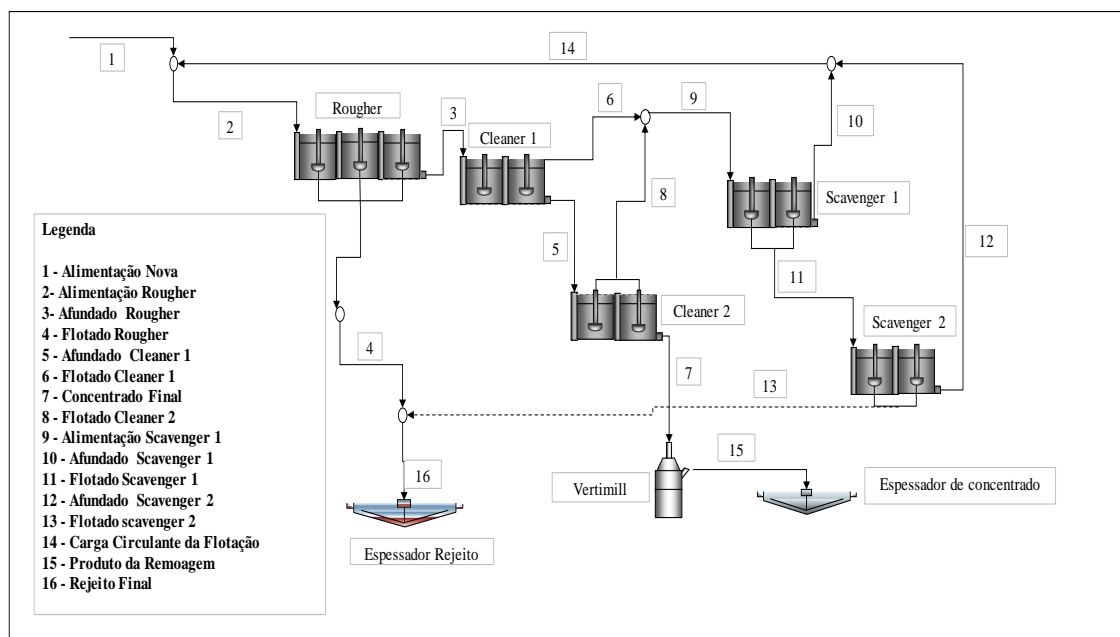


Figura 3.9 - Circuito de flotação original do sistema Minas/Rio

Atualmente, em virtude da concentração de quartzo  $>150\mu\text{m}$  na carga circulante da flotação e para elevar a qualidade do produto final, o circuito de flotação passou por algumas modificações. O flotado do primeiro tanque da cleaner 1 está sendo direcionado para o espessador de rejeitos, juntamente com os flotados *roughers* e *scavengers*, e a etapa *scavenger* 1 foi modificada para cleaner 3, com objetivo de elevar a qualidade do produto final. O circuito modificado está representado conforme figura 3.10.

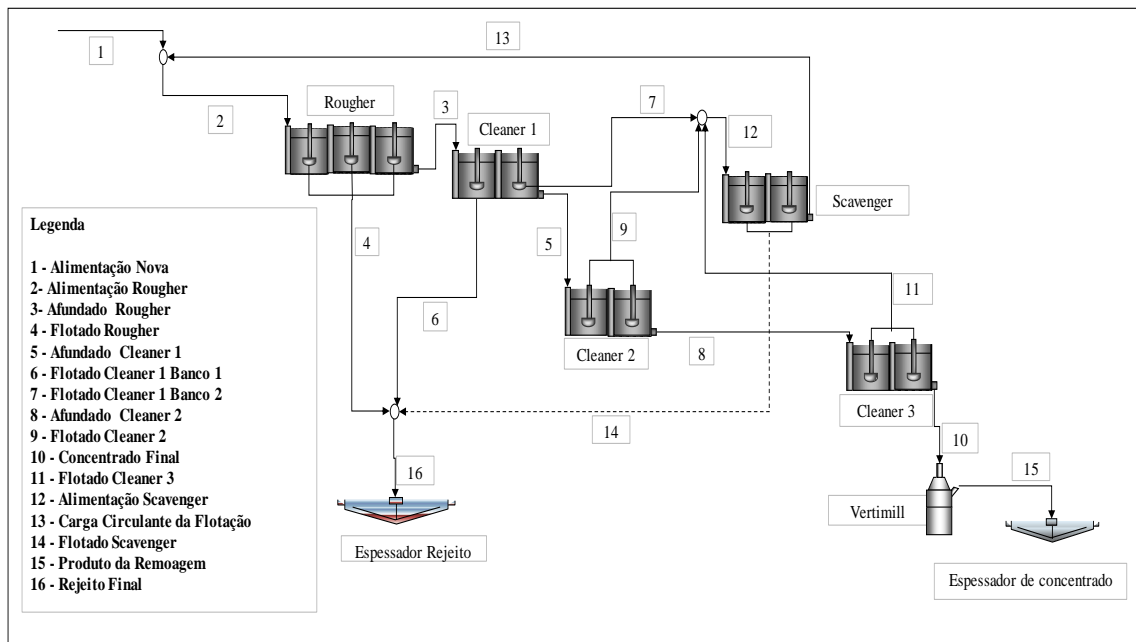


Figura 3.10 - Circuito de flotação modificado

Com a implantação do peneiramento de alta frequência para a carga circulante, objetiva-se utilizar o circuito de flotação capaz de otimizar recuperações e elevar a qualidade de seus produtos finais com a remoção do quartzo maior que  $150\mu\text{m}$  na carga circulante da flotação. As telas testadas foram de  $150\mu\text{m}$ ,  $180\mu\text{m}$  ou  $212\mu\text{m}$ . O circuito com a peneira de alta frequência está ilustrado conforme figura 3.11.

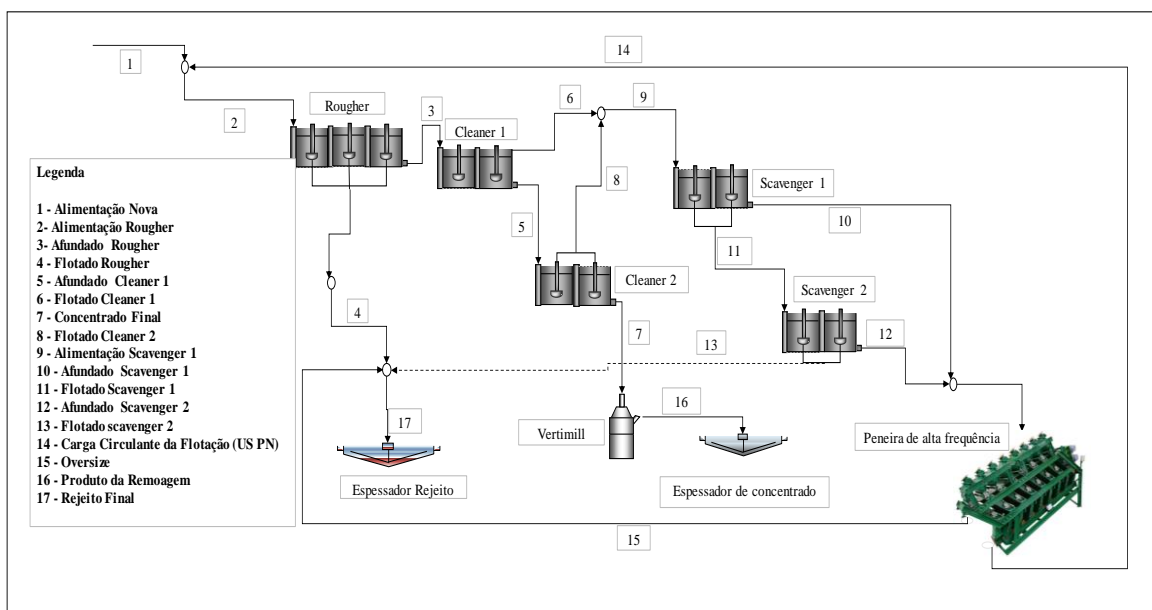


Figura 3.11 – Circuito de flotação modificado com peneira de alta frequência

A função da peneira de alta frequência é processar toda a carga circulante da flotação, que é composta pelos afundados das *scavengers*, mas essa composição pode alterar conforme circuito utilizado na operação. Essa variação de circuito depende da campanha de produção ou teor de Fe alimentado na usina de beneficiamento. Apesar da mudança dos fluxos que compõem a carga circulante, as características química e granulométrica do material que alimentará a peneira não apresentam grandes alterações. O impacto é maior na vazão de massa, que aumenta ou reduz, mas sempre compreendida entre 10 ou 15% da massa alimentada na flotação.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentados os materiais e métodos utilizados durante a execução dos experimentos.

### 4.1 Coleta de dados da carga circulante

A primeira parte do estudo consistiu na coleta de dados no sistema PIMS (sistema de gerenciamento de informações da planta), no qual são armazenados os dados medidos ou calculados da planta, de forma instantânea. Esses levantamentos de informações objetivaram:

- Conhecer a variabilidade de teores da carga circulante da flotação;
- Determinar partição da carga circulante para composição dos testes de flotação;
- Análise estatística dos dados químicos e granulométricos.

### 4.2 Coleta e caracterização das amostras

As amostragens foram realizadas na planta industrial nas duas linhas de flotação em dois períodos distintos. Na primeira campanha, realizada antes, o minério proveniente da britagem secundária não era totalmente prensado e o grau de enchimento da moagem era de 27%. Na segunda campanha, realizada depois, todo produto da britagem secundária foi prensado e o grau de enchimento da moagem elevado para 30%. As amostras foram caracterizadas conforme figura 4.1.

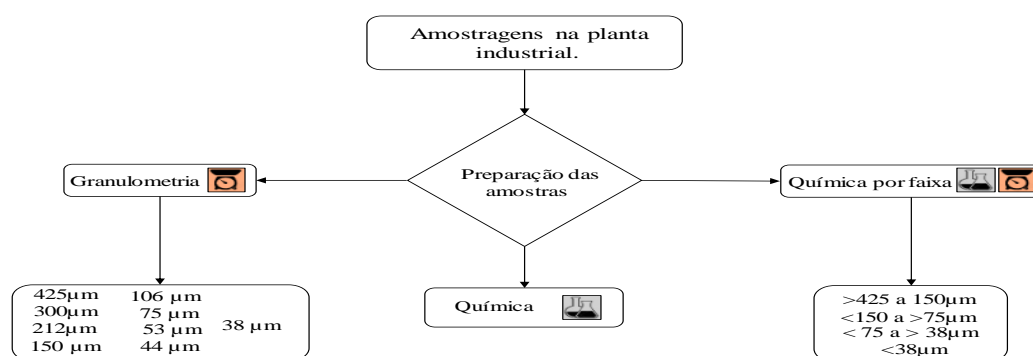


Figura 4.1 - Fluxograma de preparação e caracterização

Para os testes em peneira industrial, foi necessária à coleta de grande quantidade de amostra da carga circulante, aproximadamente 2 toneladas de material, proveniente da planta industrial. A amostragem foi realizada em um dia de estabilidade da planta, e as amostras foram armazenadas em tambores de 200 litros. Após a coleta, metade da amostra foi enviada para a Metso Minerals em Sorocaba (SP) e a outra metade para a Derrick Corporation Buffalo (EUA). Para essa amostra a análise dos minerais via QEMSCAN foi acrescentada na caracterização. Os ensaios e testes dessa amostra estão ilustradas na figura 4.2.

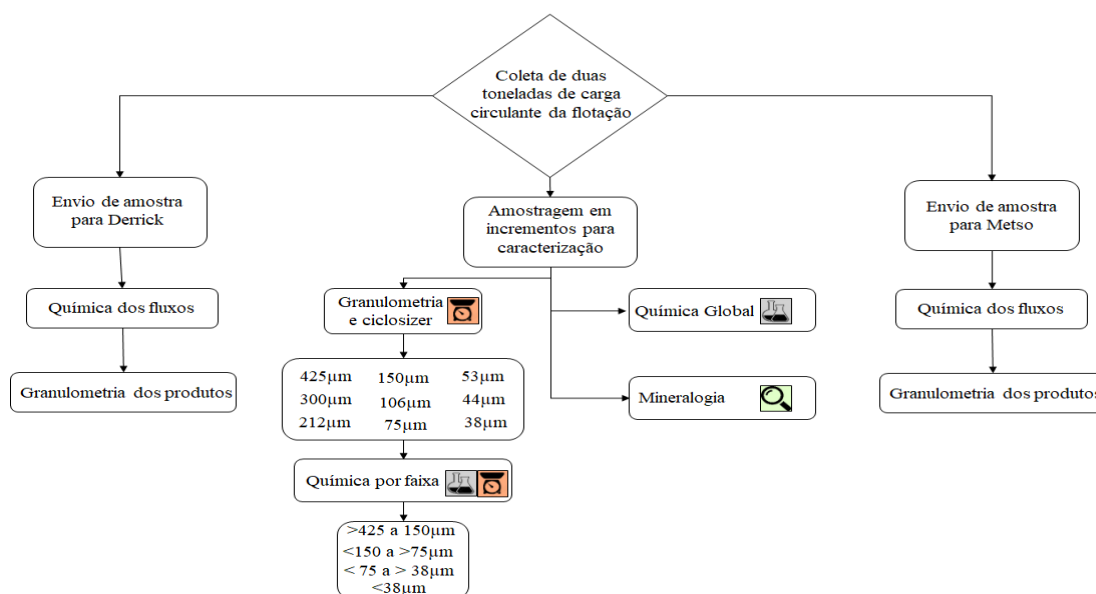


Figura 4.2 - Fluxograma de preparação e caracterização amostra fornecedores

### 4.2.1 Análise química

As composições químicas das amostras foram determinadas pelo método analítico de fluorescência de raios-x, método de fusão, por meio do aparelho Axios Fast da Panalytical. O equipamento de raios-x está representado conforme figura 4.3.



Figura 4.3 - Axios Fast Panalytical

### 4.2.2 Análise granuloquímica

Realizou-se as análises granulométricas em um peneirador suspenso a úmido. O peneiramento foi realizado com injeção de água e finalizado quando o passante na última malha esteve totalmente clarificado. As malhas utilizadas foram 425 $\mu$ m, 300 $\mu$ m, 212 $\mu$ m, 150 $\mu$ m, 106 $\mu$ m, 75 $\mu$ m, 53 $\mu$ m, 44 $\mu$ m, 38 $\mu$ m.

Para a análise de química por faixa, as malhas de 425 $\mu$ m a 150 $\mu$ m, 106 $\mu$ m a 75 $\mu$ m, 53 $\mu$ m a 38 $\mu$ m e o seu passante foram acumulados e enviados para análise.

### 4.2.3 Análise mineralógica

A análise mineralógica foi realizada via QEMSCAN modelo EVO 50, microscópio eletrônico de varredura. O equipamento é composto por um conjunto de detectores de sinais de elétrons retro espalhados e energia dispersiva de raios X gerados a partir de um feixe de elétrons incidente sobre uma amostra. Os elétrons retro espalhados permitem identificar o mineral pelo seu brilho e a energia dispersiva de raios X pela composição química (Gonçalves, 2015). O microscópio eletrônico está representado conforme figura 4.4.



Figura 4.4 - Qemscan Carl Zeiss

### 4.3 Peneiramento da carga circulante e flotação em bancada

#### 4.3.1 Peneiramento

Para a etapa de peneiramento da amostra total da carga circulante, foi utilizado um peneirador para peneira de 500mm x 500mm, com malha de 150 $\mu$ m. Os produtos da peneira foram enviados a análise química para determinação dos teores.

#### 4.3.2 Flotação

Os testes de flotação foram realizados em células de laboratório CDC, com extração automática de espuma e cuba de 2,5L e ar forçado a uma vazão de 2,0 lpm/m. A célula de flotação em bancada da CDC está representada na figura 4.5.



Figura 4.5 - Célula de Flotação em bancada

A amostra devidamente pesada foi inserida na cuba, na qual se adicionou água até a polpa atingir 60% de sólidos. Após 30 segundos de agitação, adicionou-se os reagentes na seguinte ordem: depressor e coletor. Os tempos de condicionamento foram 5 minutos para o depressor e 1 minuto para o coletor. As flotações foram realizadas em pH 10,5 com água deionizada a 40% de sólidos em peso.

Utilizou-se, respectivamente, como depressor e coletor, soluções de amido a 1%, gelatinizado na proporção amido/soda de 5:1, amina a 1%.



As amostras para os testes de flotação foram compostas por meio de misturas entre alimentação nova e carga circulante da flotação, a partição de cada um dos fluxos foram de acordo com a média obtida pela coleta de dados no sistema PIMS. As misturas serão realizadas de acordo com os teores de alimentação nova e carga circulante da flotação, conforme tabela IV.1.

Tabela IV.1 - Testes de Flotação

| <b>Teste</b> | <b>Amina(g/t)</b> | <b>Teor (Fe)<br/>Alimentação<br/>Nova</b> | <b>Teor (Fe)<br/>Carga<br/>Circulante</b> | <b>Carga<br/>Circulante</b> |
|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|
| 1            | 50                | 37,6                                      | 43,6                                      | Sem peneirar                |
| 2            | 35                | 37,6                                      | 43,6                                      | Sem peneirar                |
| 3            | 50                | 37,6                                      | 25,8                                      | Sem peneirar                |
| 4            | 35                | 37,6                                      | 25,8                                      | Sem peneirar                |
| 5            | 50                | 31,8                                      | 43,6                                      | Sem peneirar                |
| 6            | 35                | 31,8                                      | 43,6                                      | Sem peneirar                |
| 7            | 50                | 31,8                                      | 25,8                                      | Sem peneirar                |
| 8            | 50                | 31,8                                      | 25,8                                      | Sem peneirar                |
| 9            | 35                | 31,8                                      | 25,8                                      | Sem peneirar                |
| 10           | 50                | 37,6                                      | 62,4                                      | Peneirada                   |
| 11           | 35                | 37,6                                      | 62,4                                      | Peneirada                   |
| 12           | 50                | 37,6                                      | 37,2                                      | Peneirada                   |
| 13           | 35                | 37,6                                      | 37,2                                      | Peneirada                   |
| 14           | 50                | 31,8                                      | 62,4                                      | Peneirada                   |
| 15           | 35                | 31,8                                      | 62,4                                      | Peneirada                   |
| 16           | 35                | 31,8                                      | 62,4                                      | Peneirada                   |
| 17           | 50                | 31,8                                      | 37,2                                      | Peneirada                   |
| 18           | 50                | 31,8                                      | 37,2                                      | Peneirada                   |
| 19           | 35                | 31,8                                      | 37,2                                      | Peneirada                   |

Os testes de flotação foram realizados com a mistura de alimentação nova da flotação e carga circulante. Os ensaios nos quais a carga circulante não foi peneirada, a alimentação nova participou com 86,4% da mistura e a carga circulante 13,6%, esses valores correspondem a média percentual dos dois fluxos em um período de seis meses. A segunda condição, ou seja, quando a carga circulante foi peneirada, a mistura foi de 93% de alimentação nova e 7% de carga circulante peneirada, a redução do percentual de carga circulante ocorre devido ao processo de peneiramento, que apresentou uma partição de aproximadamente 50% para o *undersize*, os outros 50% foram para o *oversize*, considerado rejeito. A figura 4.6 representa o fluxograma de testes.

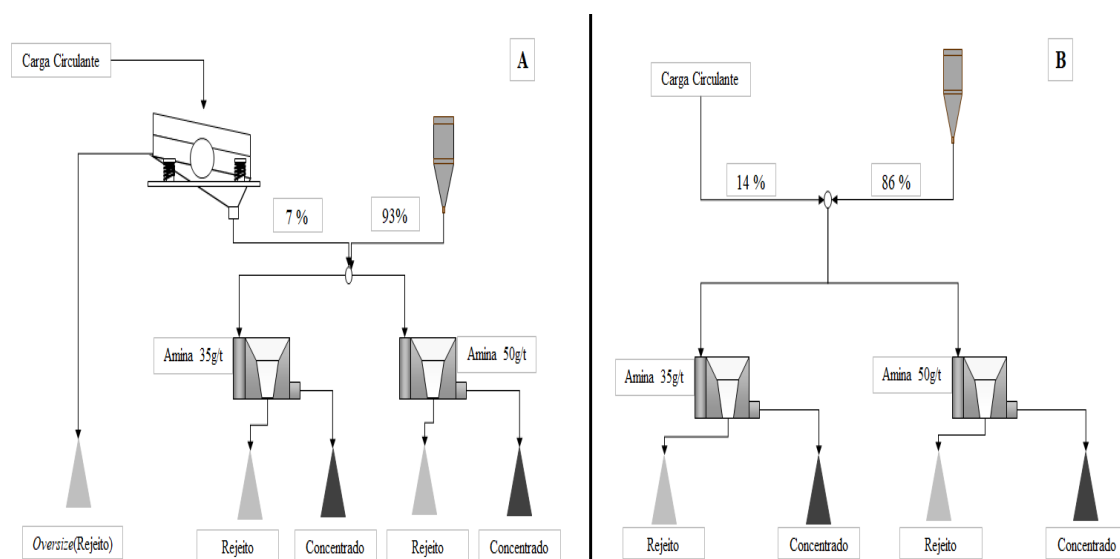


Figura 4.6 - Fluxograma de testes. A carga circulante peneirada. B carga circulante sem peneirar

Nos concentrados dos testes de flotação com dosagem de 50g/t de amina foram realizados granulometria e determinada a composição química da fração  $>150\mu\text{m}$ .

#### 4.4 Testes pilotos em peneira de alta frequência

Os testes pilotos foram conduzidos pelo corpo técnico da Metso Minerals e Derrick Corporation, onde as variáveis de processo foram modificadas de acordo com a observação dos produtos durante os testes.

##### 4.4.1 Teste UFS Metso Minerals

Os testes realizados nas instalações da Metso Minerals em Sorocaba (SP) buscaram obter os melhores resultados, por meio de variações dos principais parâmetros operacionais do equipamento, sendo: densidade, frequência de vibração e abertura da tela. A taxa de alimentação, aumentou à medida que a densidade da polpa foi elevada. A tabela IV.2 resume a sequência de testes. A figura 4.7 apresenta a peneira de testes e a tela de  $150\mu\text{m}$ .

Tabela IV.2 - Sequência de testes UFS

| Tela ( $\mu\text{m}$ ) | Densidade da Polpa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | Rotação (RPM) |
|------------------------|---|---------------|
| 150                    | 1,35 - 1,55 - 1,68                            | 1200 – 1800   |
| 180                    | 1,35 - 1,55 - 1,68                            | 1200 – 1800   |
| 212                    | 1,35 - 1,55 - 1,68                            | 1200 – 1800   |



Figura 4.7 - Peneira UFS Metso e tela

Os primeiros testes foram analisados verificando-se a necessidade da realização de uma nova bateria de testes. Os ensaios foram realizados em circuito fechado, com os produtos *undersize* e *oversize* sendo recombinaados em um tanque de alimentação e novamente bombeados para a tela da peneira, conforme representado na figura 4.8.

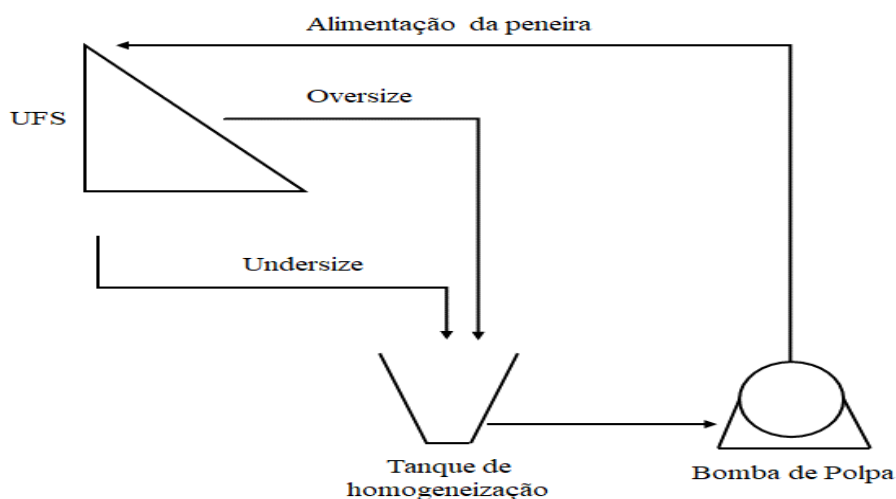


Figura 4.8 - Fluxograma testes UFS Metso

Os testes foram realizados na UFS com 1 deck. A polpa foi extraída dos tambores de 200L com o auxílio de uma empilhadeira e posteriormente inserida na caixa de polpa. O próximo passo foi o acionamento da bomba e recirculação para homogeneização da polpa. Para conferência da densidade da polpa, amostras foram coletadas em proveta de 1 litro e em seguida foram levadas para pesagem em balança analítica, esta operação foi repetida até a densidade atingir os valores indicados na tabela IV.2.

As amostragens de *undersize* e *oversize* foram realizadas assim que o sistema apresentou equilíbrio, as amostras foram coletadas simultaneamente, em seguida as polpas dos fluxos foram pesadas e levadas a estufa para secagem. Após a etapa de secagem foram calculados o percentual de sólidos e realizado análise granulométrica e química.

Para determinação da partição teórica dos fluxos foram realizadas análises de química por faixa de todas as amostras. Os ensaios foram modelados por meio do modelo para peneira de alta frequência Rogers (1982) e em seguida balanceados pelo software de reconciliação Billmat.

#### 4.4.2 Teste Derrick Stack Sizer

Os testes em escala industrial foram realizados em uma peneira *Super Stack Sizer* com somente um deck, cuja dimensões são 1,5 x 1,5m, tamanho idêntico ao equipamento de oito decks. Portanto, o *scale-up* é direto, o fluxo da máquina com um deck é simplesmente multiplicado por oito, a peneira de teste está representada na figura 4.9.



Figura 4.9 - Peneira de testes Super Stack Sizer

Para iniciar os testes água é adicionada no tanque de polpa e a bomba é acionada. Em seguida, parte da amostra é inserida à caixa de polpa. Após bombeamento por alguns minutos para homogeneização da polpa, coletou-se uma amostra para verificação do percentual de sólidos, por meio de uma balança Marcy. O processo é repetido algumas vezes até que a polpa esteja com percentual de sólidos desejados. Após adequação dos sólidos o fluxo é bombeado para a tela. O *oversize* e *undersize* são sucessivamente recombinaados na caixa de polpa e retornam a peneira, conforme representado na figura 4.10.

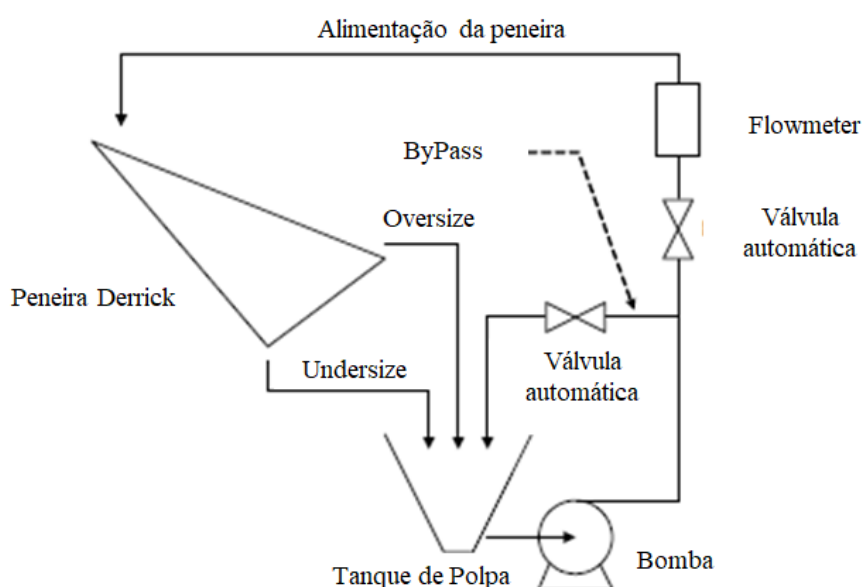


Figura 4.10 - Fluxograma de testes Derrick

A vazão volumétrica é medida através do *flowmeter* e o fluxo é regulado pelas válvulas automáticas. Esse ajuste é feito até que visualmente os fluxos apresentem aspectos desejados. As amostras de *undersize* e *oversize* são coletadas simultaneamente, em seguida passam pelo processo de pesagem e secagem, para determinação do percentual de sólidos, distribuição granulométrica e composição química. Após levantamento dos resultados dos testes as eficiências são calculadas conforme fórmulas 3.2 a 3.6. Os testes foram realizados conforme descrito na tabela IV.3.

Tabela IV.3 - Testes Derrick

| <b>Tela (<math>\mu\text{m}</math>)</b> | <b>Sólidos (%)</b> | <b>Spray (<math>\text{m}^3/\text{h}</math>)</b> | <b>Taxa (t/h)</b>           |
|--|--------------------|---|-----------------------------|
| 150                                    | 35 - 45            | 0 - 64  | 119 - 127 - 136             |
| 180                                    | 35 - 45            | 0 - 40  | 101 - 119 - 136             |
| 212                                    | 35 - 45            | 0 - 40  | 105 - 126 - 146 - 151 - 172 |

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Caracterização carga circulante

Para melhor entendimento das características química, física e mineralógica o estudo contemplou uma caracterização completa da carga circulante da flotação.

#### 5.1.1 Partição

No circuito de flotação do Minas/Rio a carga circulante é composta pelo afundado da *scavenger* que retorna à flotação *rougher*.

A primeira parte do estudo consistiu na verificação de dados do valor percentual da carga circulante em relação a alimentação nova da flotação, o valor foi obtido por meio do PIMS por um período de 6 meses. O valor médio encontrado para as duas linhas de flotação foi utilizado para a composição das amostras para os testes de flotação em bancada. A figura 5.1 representa a partição mássica para a carga circulante.

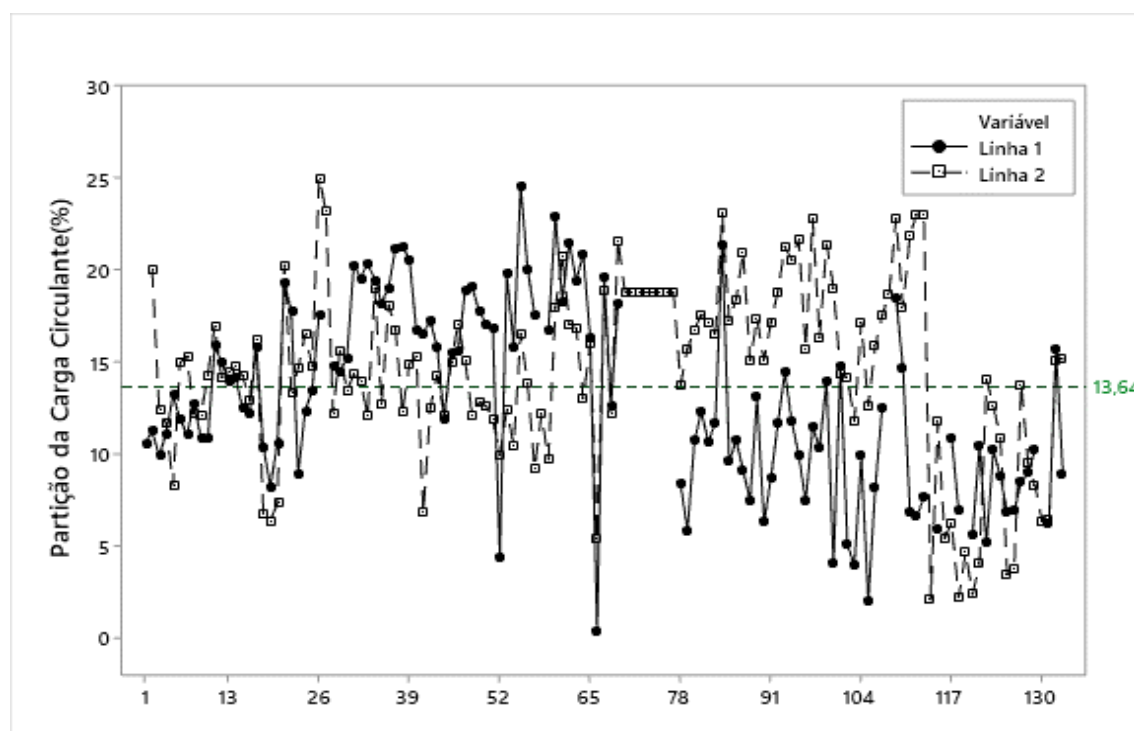


Figura 5.1 - Partição para a carga circulante da flotação

Com base nas informações da figura 5.1 é possível verificar a grande variabilidade da partição em massa presente no fluxo da carga circulante, apresentando grande distância entre o limite inferior e superior. Essa variação pode ser justificada pela configuração do circuito, dreno da *scavenger* ou teor de alimentação do circuito de flotação.

Para os testes de flotação em bancada foi utilizada a partição média entre as linhas 1 e 2, que foi de 13,64%.

### 5.1.2 Teores da Carga Circulante da Flotação

Os teores também apresentam grande variabilidade, sendo mais acentuado para o Fe e SiO<sub>2</sub>, apresentando grande distância da composição química da alimentação nova, o que indica a instabilidade do circuito. As figuras 5.2 e 5.3 respectivamente, representam a variação nos teores de Fe e SiO<sub>2</sub> da alimentação nova da flotação e carga circulante, os dados foram coletados por um período de 30 dias.

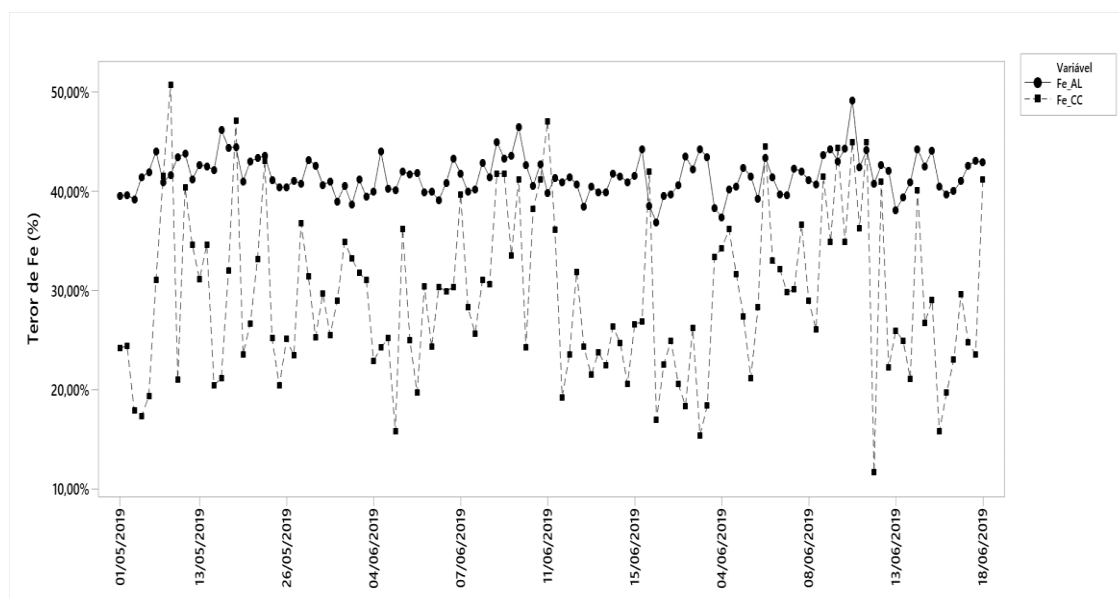


Figura 5.2 - Variação dos teores de Fe (Fe, AL) na alimentação e carga circulante (Fe, CC) da flotação



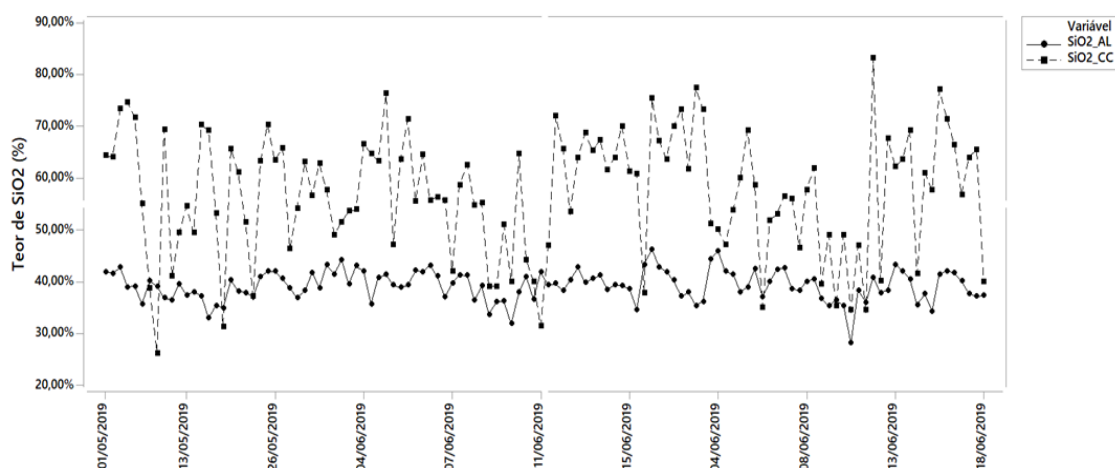


Figura 5.3 - Variação dos teores de  $\text{SiO}_2$  na alimentação ( $\text{SiO}_2$ , AL) e carga circulante da flotação ( $\text{SiO}_2$ , CC)

A carga circulante da flotação está em equilíbrio quando seus teores estão iguais ou próximos aos teores alimentados no circuito de concentração. Dos dados coletados pelo sistema, apenas 23% das amostras apresentou a condição de equilíbrio, mesmo considerando teores de Fe até 5% menor que o alimentado. Utilizando-se o valor de 13,64% em massa para a carga circulante em relação à alimentação nova da flotação e realizando uma média ponderada para a blendagem dos fluxos, o teor de Fe apresentou uma redução média de 1,59% com um aumento de 2,32% no teor de  $\text{SiO}_2$ . Isso implica maiores dosagens de coletores, redução no tempo de residência e conseqüentemente menor seletividade. A figura 5.4 representa a diferença entre os teores de Fe da alimentação e carga circulante da flotação.

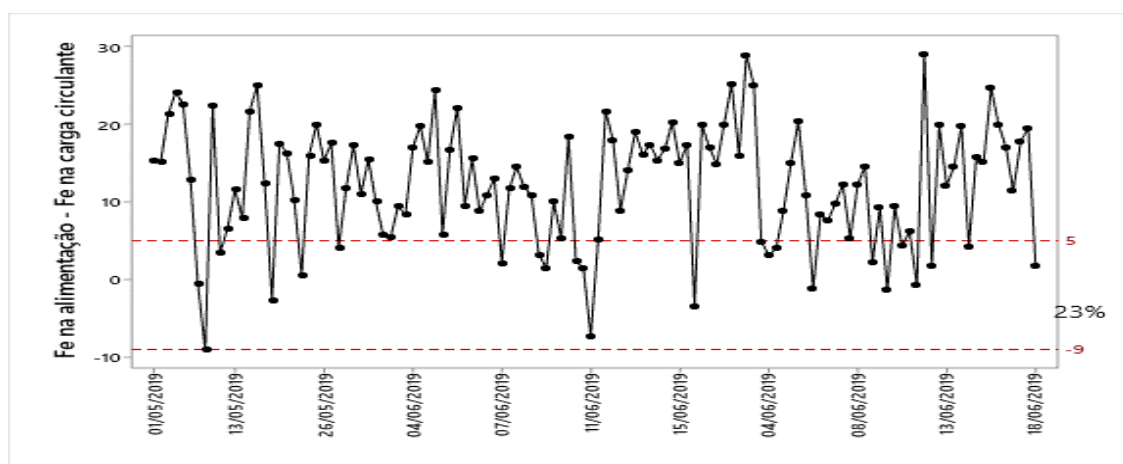


Figura 5.4 - Diferença entre os valores de Fe na alimentação e Fe carga circulante da flotação

### 5.1.3 Análise granulométrica

Foram realizadas análises granulométricas em dois períodos distintos. No primeiro período as prensas eram by passadas e grau de enchimento da moagem era de 27%. Já no segundo período utilizou-se 100% das prensas e aumentou-se o grau de enchimento para 30%. As figuras 5.5 e 5.6 representam as curvas granulométricas antes e depois, respectivamente.

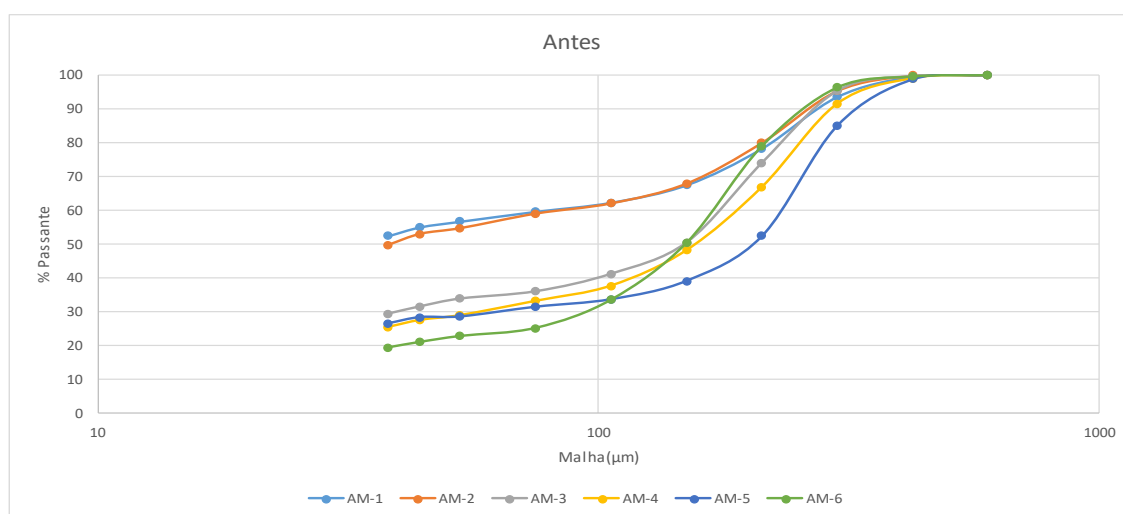


Figura 5.5 - Curvas granulométricas antes utilização das prensas e enchimento do moinho 27%

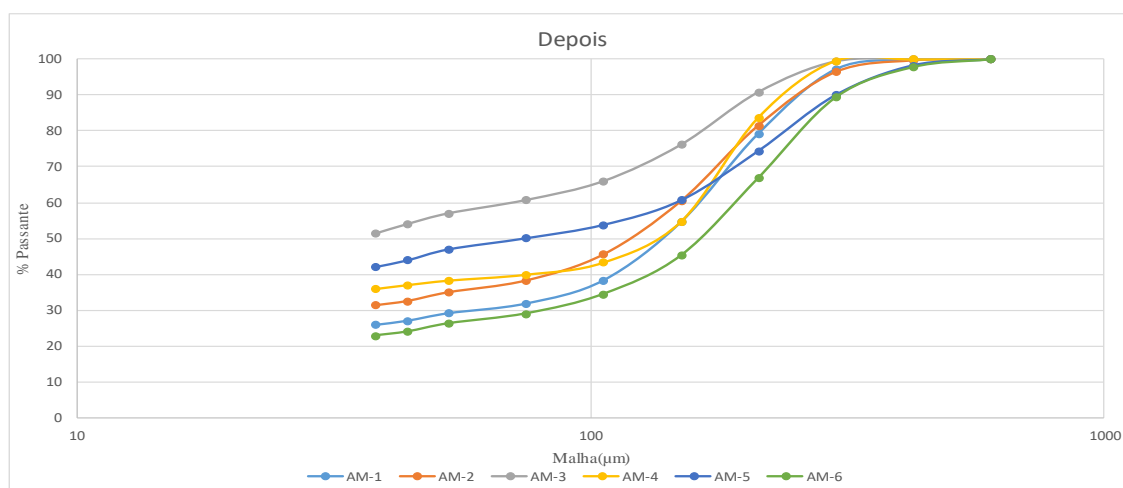


Figura 5.6 - Curvas granulométricas após utilização das prensas e enchimento do moinho 30%

As amostragens da segunda campanha indicaram uma redução do P80 da alimentação da flotação de 118 $\mu$ m para 97 $\mu$ m. Assim, ocorreu a diminuição do P80 da carga circulante. No entanto, os valores permaneceram muito acima do desejado para se obter o equilíbrio do sistema. Essa condição torna a drenagem da *scavenger* necessária para correção da granulometria e teores da carga circulante. Na primeira campanha, a carga circulante apresentou um P80 de 238 $\mu$ m para uma alimentação com 118 $\mu$ m. Já a segunda campanha de amostragens apresentou um P80 de 221 $\mu$ m na carga circulante para uma alimentação de 97 $\mu$ m. Os resultados mostram que há um problema hidrodinâmico nos tanques da *scavenger*, pois mesmo com as alterações da granulometria e química alimentadas no circuito de flotação não obtiveram-se melhoras significativas para o fluxo. As médias de P80 da alimentação e carga circulante da flotação estão representadas na figura 5.7.

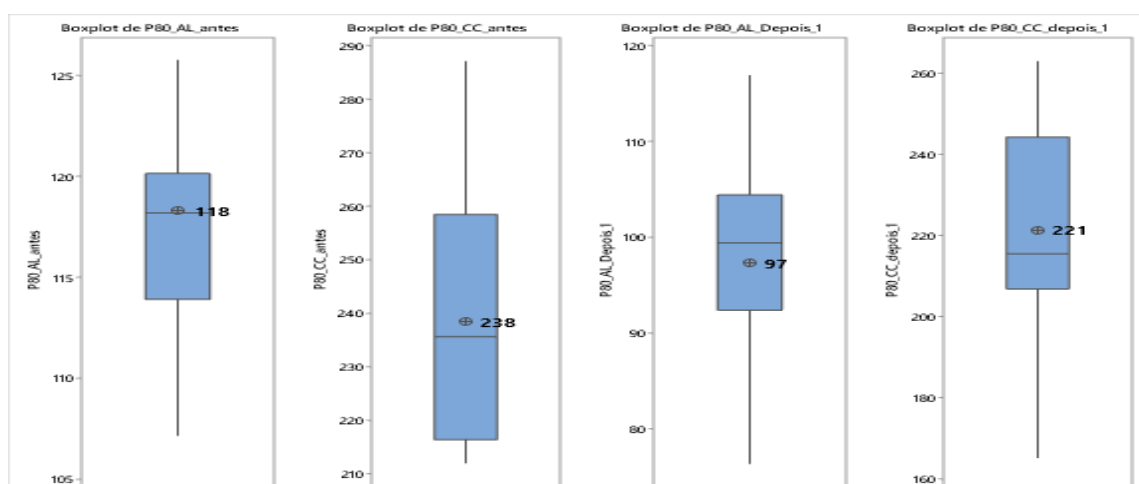


Figura 5.7 - P80 alimentação da flotação e carga circulante

Apesar da diferença, os valores são estatisticamente iguais, pois o teste de hipótese mostra que não há evidências suficientes para concluir que as médias diferem no nível de significância de 0,05. A figura 5.8 representa o teste de hipótese para duas amostras.

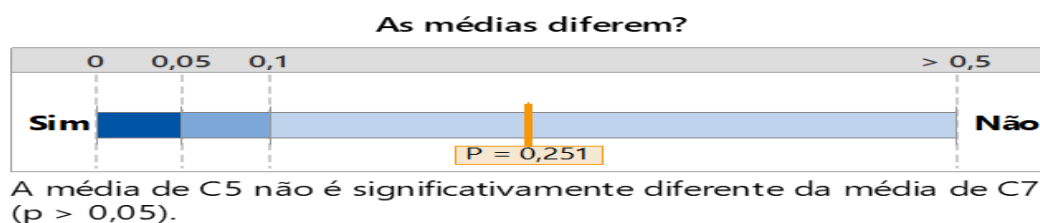


Figura 5.8 - Teste de hipótese para granulometria

### 5.1.4 Análise química por faixa da amostra cabeça

As análises de químicas por faixa da primeira campanha de amostragem mostraram que, 46% do material está retido em 150 $\mu$ m com 80% do quartzo e apenas 4,6% do Fe total presente no fluxo da carga circulante. Essa condição retrata a importância da remoção do quartzo presente na fração retida em 150 $\mu$ m. As figuras 5.9 e 5.10 respectivamente representam os teores médios de Fe e SiO<sub>2</sub> e distribuição dos teores referentes a primeira campanha de amostragem.

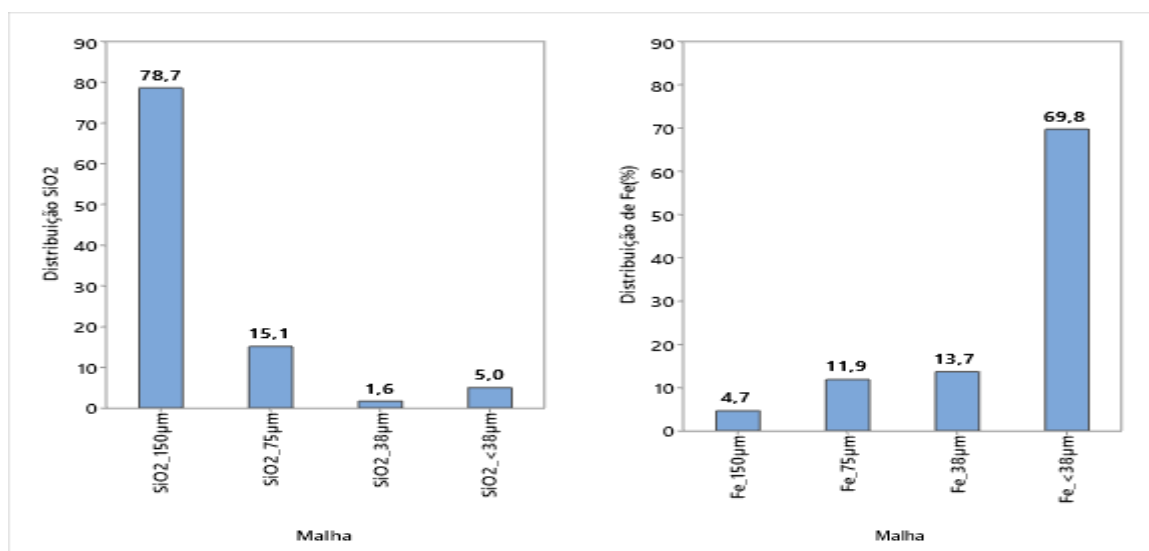


Figura 5.9 - Distribuição de Fe e SiO<sub>2</sub> primeira campanha de amostragem

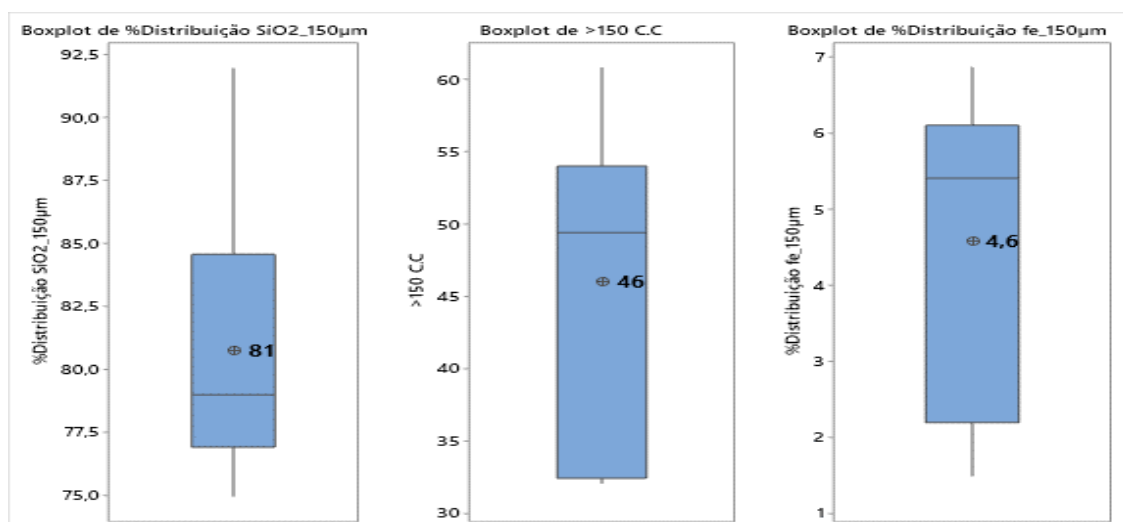


Figura 5.10 - Distribuição de Fe, SiO<sub>2</sub> e retido em 150 $\mu$ m primeira campanha de amostragem

A segunda campanha de amostragens realizada após as alterações no circuito de cominuição, resultou na redução do retido em 150 $\mu$ m: de 46 para 36% na carga circulante da flotação, e num decréscimo na distribuição do quartzo em 150 $\mu$ m: 80,7 para 62,9%. Apesar da otimização da granulometria, o Fe na fração maior que 150 $\mu$ m permaneceu com valor médio inferior a 4%. Com uma maior redução de tamanho do minério nas prensas e na moagem, o Fe que estava melhor distribuído nas frações menor que 150 $\mu$ m e maior que 38 $\mu$ m migrou para o passante em 38 $\mu$ m. Essa migração do Fe pode acarretar perdas por arraste mecânico, reduzindo as recuperações. A figura 5.11 representa a química das amostragens Fe e SiO<sub>2</sub> e a figura 5.12 representa a distribuição de Fe, SiO<sub>2</sub> e percentual retido em 150 $\mu$ m.

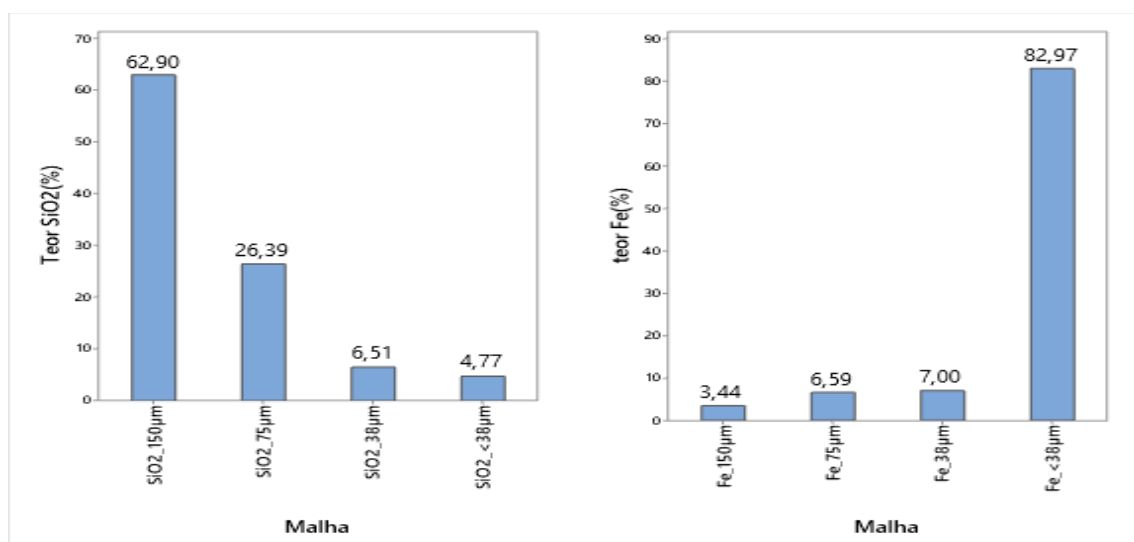


Figura 5.11 - Distribuição de Fe, SiO<sub>2</sub> e retido em 150 $\mu$ m segunda campanha de amostragem

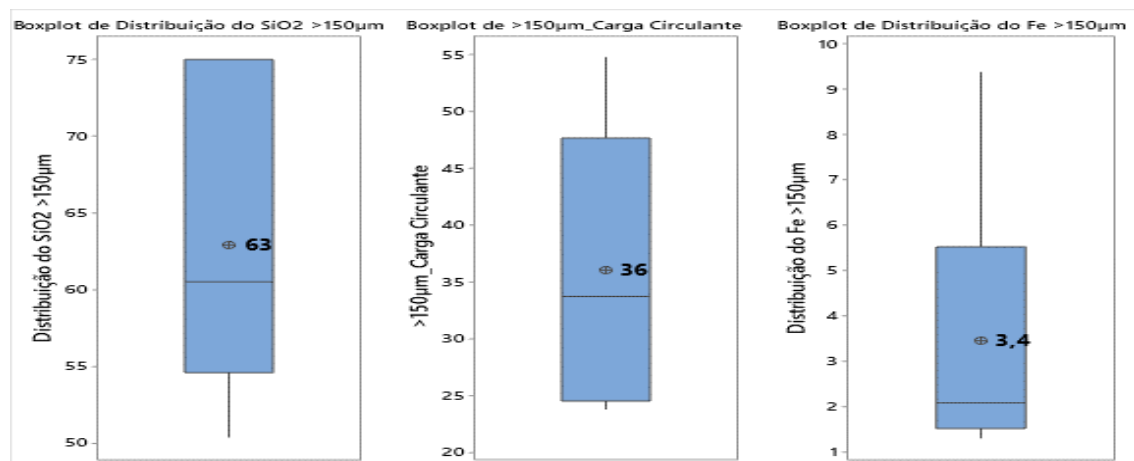


Figura 5.12 - Distribuição de Fe e SiO<sub>2</sub> segunda campanha de amostragem

### 5.1.5 Mineralogia

A amostra de carga circulante enviada para testes em peneira piloto de alta frequência apresentou uma composição mineralógica predominante de hematita e quartzo, sendo : quartzo (62,31% em massa), hematita (36,23% em massa), goethita (0,21% em massa), caulinita (0,58 em massa), muscovita(0,30% em massa) e os outros 0,38% (gibbsita, rutilo, apatita, óxido de manganês, amfibólio, clorita, K-feldespato e outros) a figura 5.13 representa a composição mineralógica da amostra.

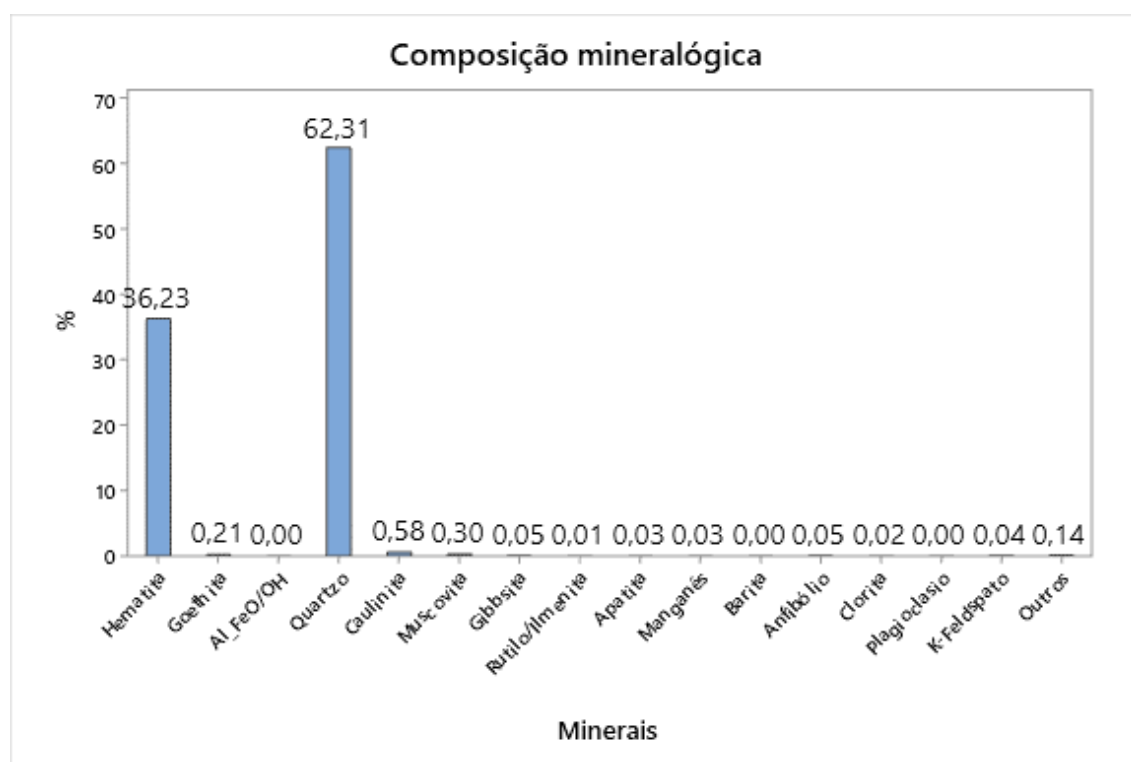


Figura 5.13 - Composição mineralógica da amostra de carga circulante

A hematita possui uma liberação global de 81,0%, normalmente com superfície lisa e homogênea. Algumas partículas apresentam fratura e, quando mistas, se associam essencialmente ao quartzo. Suas formas predominantes são hematita lamelar e a hematita granular representados nas figuras 5.14, 5.15 e 5.16. O quartzo encontra-se com liberação global de 96,0% e, quando misto, ou com inclusões, essa interação ocorre preferencialmente com hematita.

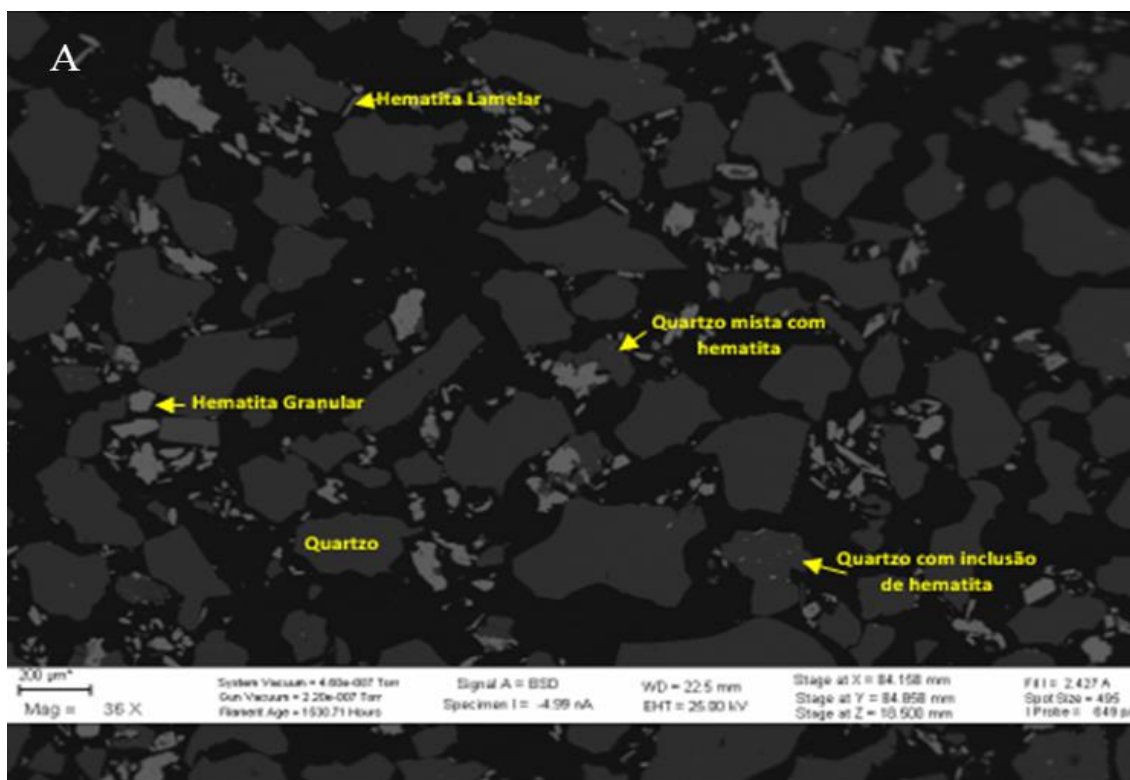


Figura 5.14 - Quartzo com inclusões de hematita

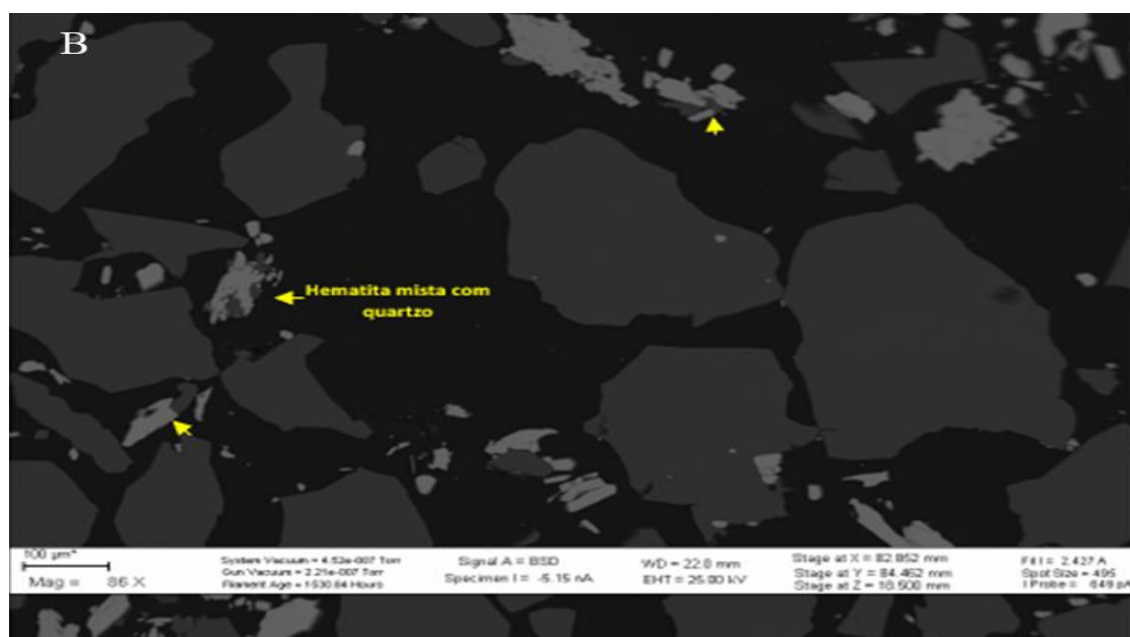


Figura 5.15 - Hematita mista com quartzo

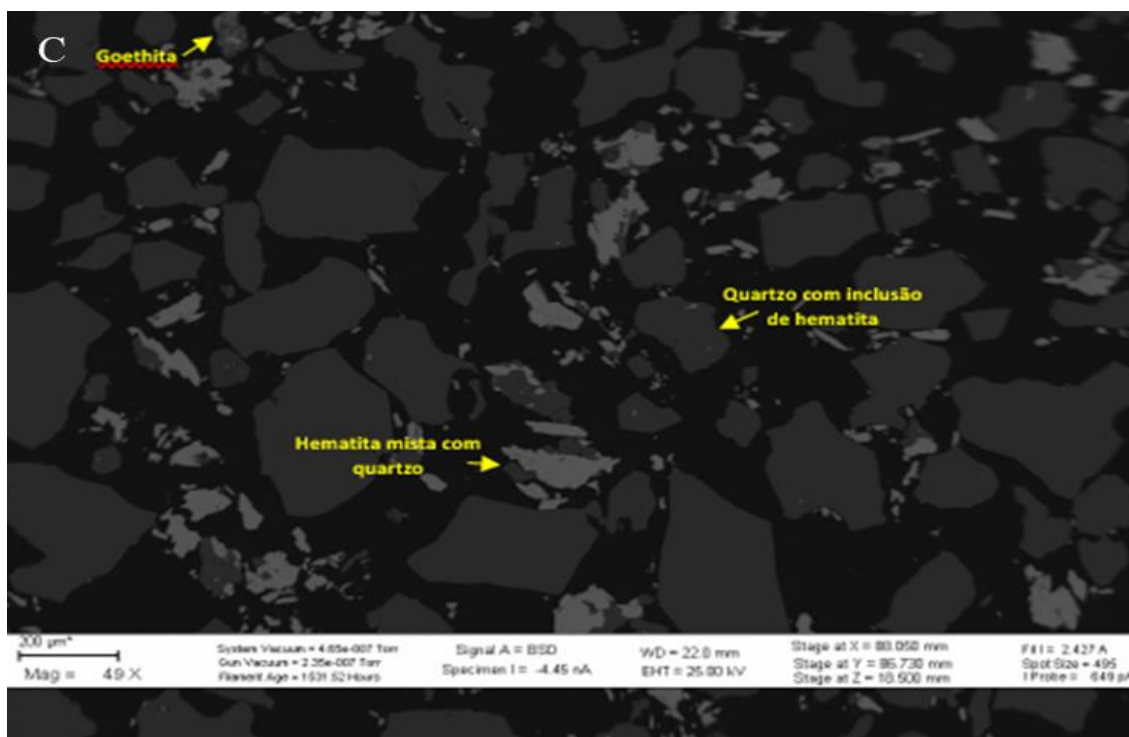


Figura 5.16 – Hematita mista com quartzo, quartzo com inclusão de hematita e presença de goethita

O grau de liberação está representado na figura 5.17 apresenta que 93% das amostras estão com mais de 95% de liberação, evidenciando assim, o baixo percentual de partículas mistas nas frações grosseiras. Isso possibilita uma boa separação pelo método de peneiramento de alta frequência, pois se não houvesse liberação das partículas, a perda metálica para o *oversize* poderia ser maior.

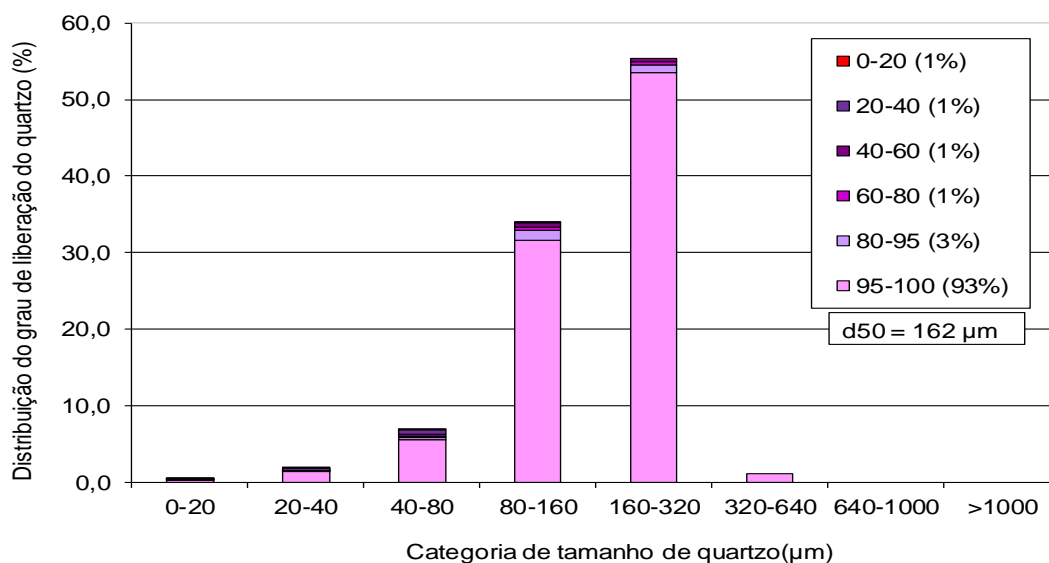


Figura 5.17 - Grau de liberação do quartzo na carga circulante



Por ser um fluxo de grande variabilidade de granulometria e teores, as amostras enviadas para os fornecedores apresentaram características físico-químico distintas. A tabela V.1 representa a composição química da amostra enviada para os testes piloto.

Tabela V.1 - Composição química amostra enviada para testes

| <b>Amostra</b> | <b>Fe (%)</b> | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b> | <b>SiO<sub>2</sub> (%)</b> | <b>P (%)</b> | <b>P80 (μm)</b> | <b>&lt;150 (μm)</b> |
|----------------|---------------|--|----------------------------|--------------|-----------------|---------------------|
| Metso          | 36,28         | 0,51                                   | 47,14                      | 0,017        | 243             | 56,84               |
| Derrick        | 41,50         | 0,51                                   | 42,52                      | 0,017        | 223             | 63,60               |

A figura 5.18 representa a granulometria da amostra enviada para testes piloto.

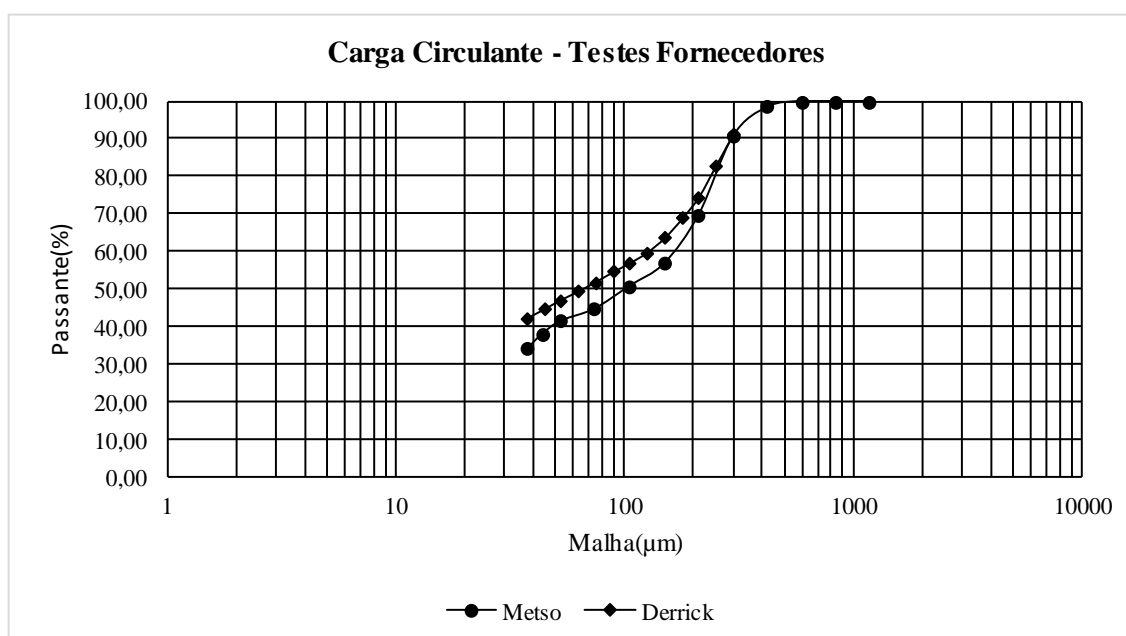


Figura 5.18 - Granulometria carga circulante

A granuloquímica apresentou a mesma característica das demais amostragens: 5,49% do Fe com 86,25% da SiO<sub>2</sub> contidos na fração maior que 150μm. A composição química por faixa da amostra enviada para os fornecedores está representada na figura 5.19.

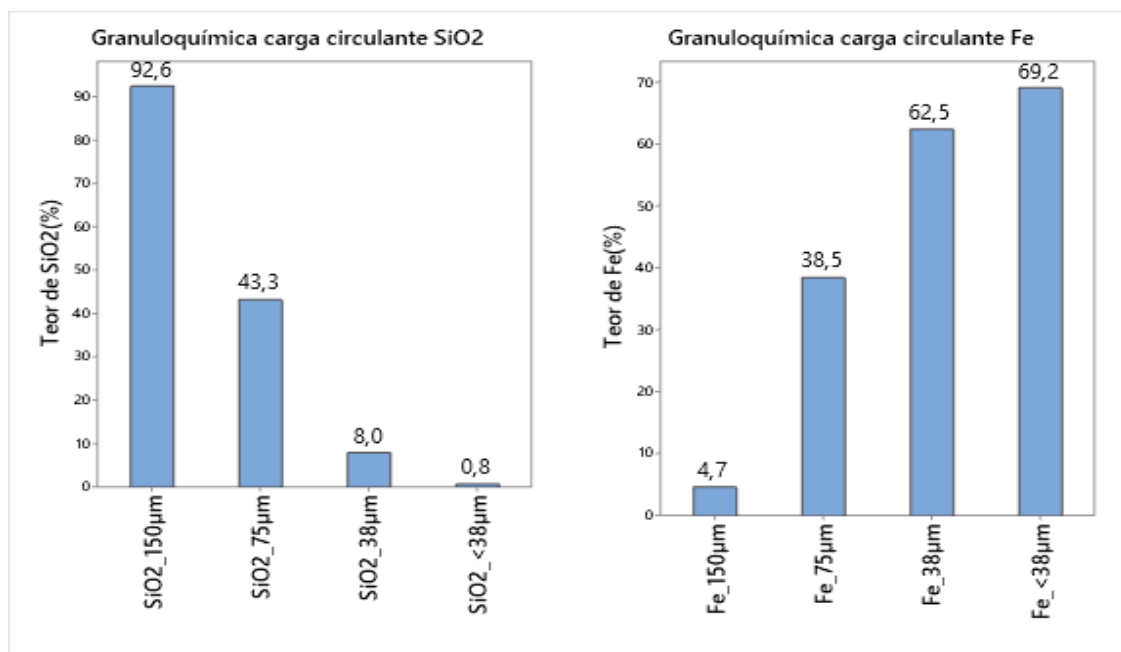


Figura 5.19 - Granuloquímica amostra enviada para fornecedores

Todas as amostragens e análises evidenciaram que o fluxo da carga circulante da flotação, mesmo com as alterações no processo de cominuição, não resultou na redução de granulometria do quartzo de elevado tamanho no fluxo. A figura 5.20 representa a carga circulante separada na fração maior e menor que 150µm.



Figura 5.20 - Carga circulante da flotação >150µm e <150µm

## 5.2 Flotação em Bancada

Foram realizados, ainda, testes de flotação para avaliar o efeito do peneiramento da carga circulante em diferentes condições. Os testes mostraram que o peneiramento da carga circulante resultou em concentrados com melhores qualidades e recuperação metálica igual aos materiais que não foram peneirados. Os principais efeitos do peneiramento da carga circulante apresentaram maior significância para a qualidade do produto final, mesmo diante do grande intervalo de dosagem de amina, de 35 a 50g/t. O peneiramento não apresentou relevância na recuperação metalúrgica. Os testes de flotação e seus principais efeitos estão representados na figura 5.21.

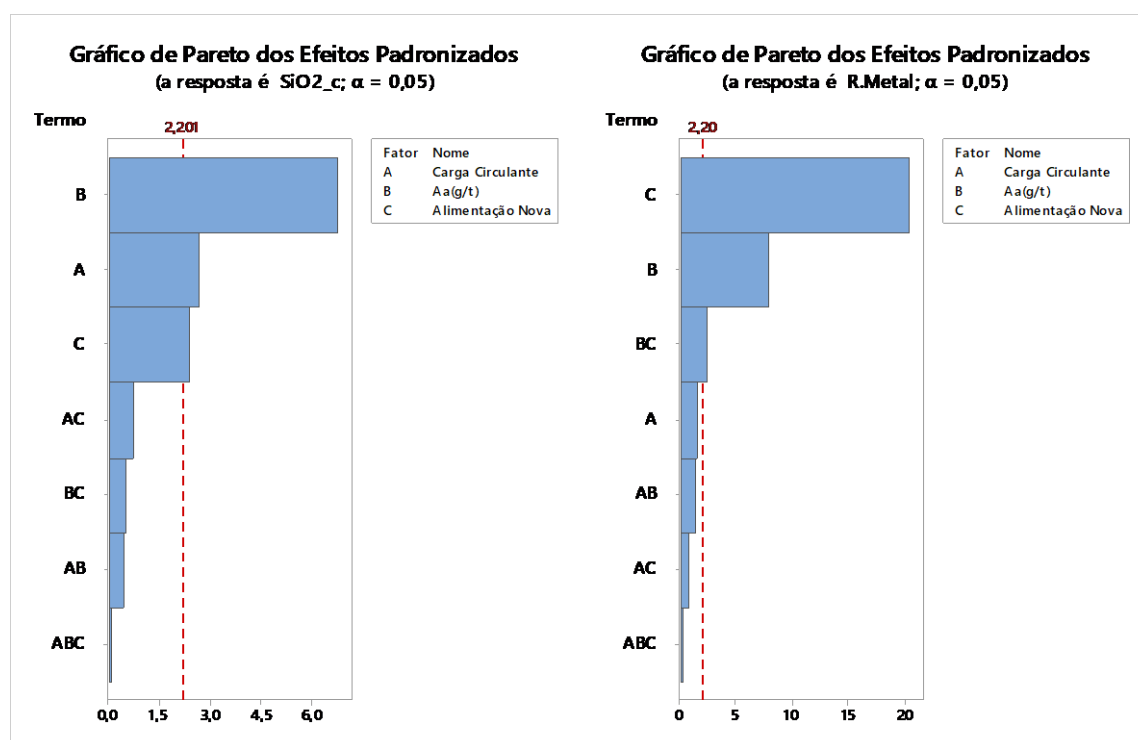


Figura 5.21 - Nível de significância dos testes de flotação

Quando se observa o efeito do peneiramento da carga circulante com o Fe alto na alimentação, o efeito é mais positivo em comparação ao teor de Fe menor na alimentação. Já a carga circulante apresenta um maior efeito positivo do peneiramento para teores de Fe mais baixos. Essa condição é o que acontece atualmente no circuito industrial: Fe alto na alimentação nova da flotação e baixo teor de Fe na carga circulante. As interações entre as variáveis estão representadas na figura 5.22.

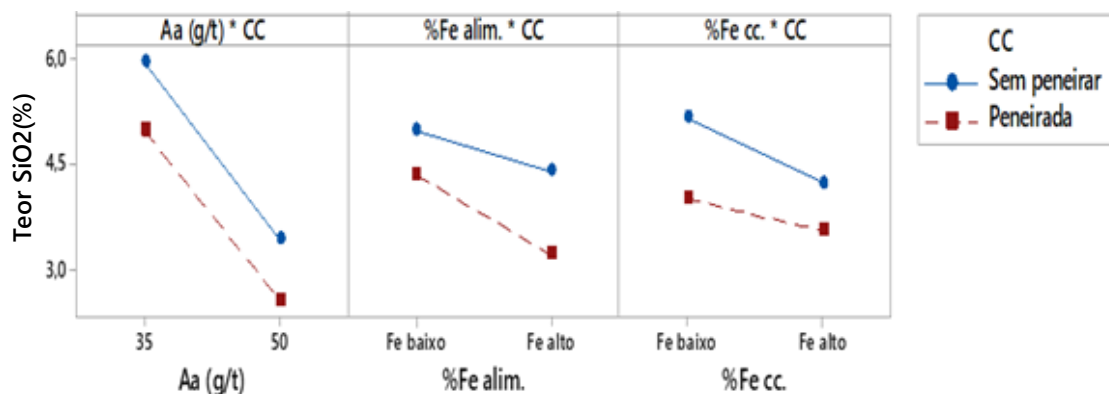


Figura 5.22 - Efeitos das variáveis testadas em todos os níveis no teor de quartzo no concentrado

A análise granulométrica dos concentrados evidenciou que os concentrados nos quais a carga circulante não foi peneirada apresentaram, em média, uma granulometria em 150 $\mu$ m 1% maior e um aumento no teor de SiO<sub>2</sub> de 0,94%. A correlação positiva ( $r=0,94$ ) indica que quando aumenta o retido em 150 $\mu$ m, SiO<sub>2</sub> no concentrado também tende a aumentar. A figura 5.23 representa o gráfico de correlação fração >150 $\mu$ m e SiO<sub>2</sub> no concentrado final.

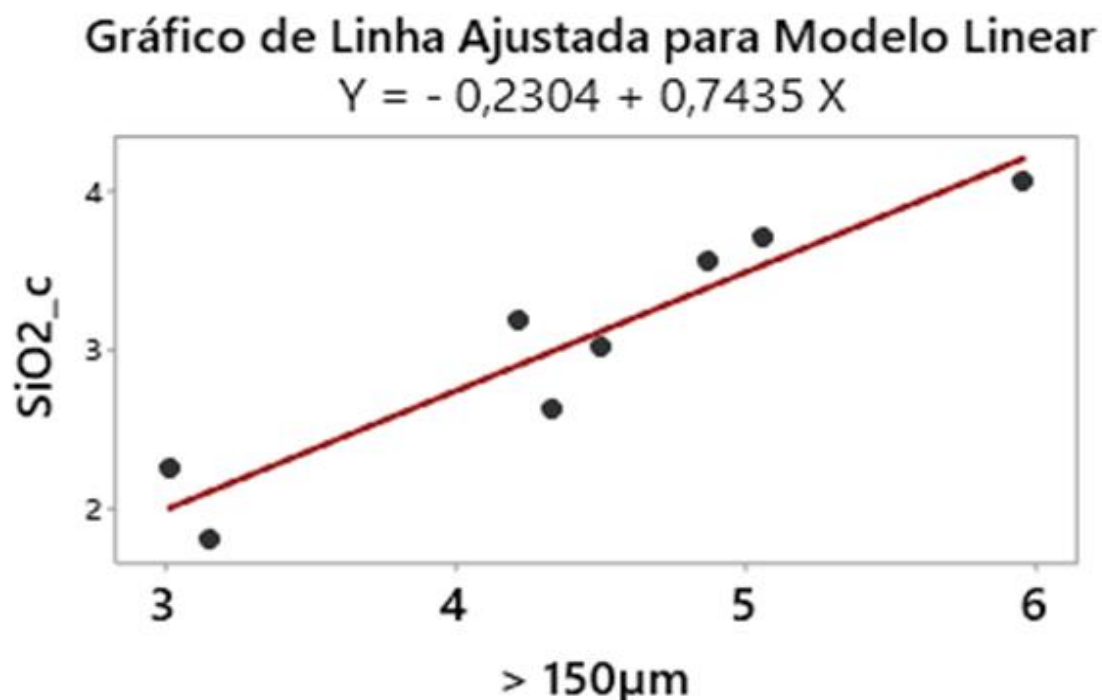


Figura 5.23 - Correlação linear retido em 150 $\mu$ m no concentrado e SiO<sub>2</sub>

## 5.3 Testes Peneiramento Metso

### 5.3.1 Testes na malha de 150 $\mu$ m

Os testes 1 e 2 foram realizados com densidade de polpa de 1,35g/cm<sup>3</sup> que equivale a 37% de sólidos em massa. A frequência foi de 1800 e 1200rpm respectivamente. Os resultados dos testes 1 e 2 estão representados na tabela V.2 e figura 5.24.

Tabela V.2 - Testes 1 e 2, malha 150 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 1     | Alim. | 110   | 100   | 37      | 243        | 36,1 | 47,3             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 76    | 69,0  | 24      | 42         | 65,2 | 5,7              | 55,2 | 3,7                | 52    |
|       | OS    | 34    | 31,0  | 48      | 280        | 23,3 | 65,6             | 44,8 | 96,3               | 100   |
| 2     | US    | 32    | 29,0  | 25      | 40         | 66,0 | 4,3              | 53,0 | 2,6                | 48    |
|       | OS    | 78    | 71,0  | 45      | 278        | 23,8 | 64,8             | 47,0 | 97,4               | 100   |

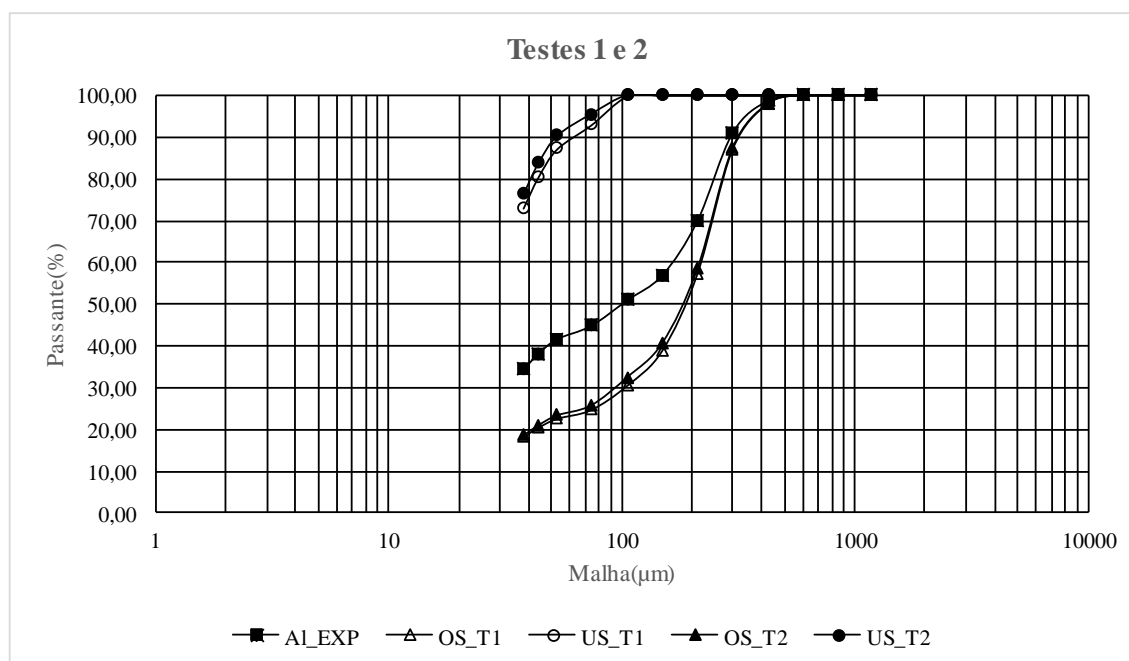


Figura 5.24 - A Curvas granulométricas dos testes 1 e 2

Os testes 3 e 4 foram realizados com densidade de polpa de 1,55g/cm<sup>3</sup> ou 49% de sólidos. A frequência de 1200 e 1800rpm respectivamente. Os resultados dos testes 3 e 4 estão representados na tabela V.3, figura 5.25.

Tabela V.3 - Testes 3 e 4, malha de 150 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 3     | Alim. | 167   | 100   | 49      | 243        | 36,1 | 47,3             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 39    | 24,0  | 32      | 47         | 64,9 | 4,3              | 42,1 | 2,1                | 42    |
|       | OS    | 128   | 76,0  | 59      | 274        | 27,5 | 60,4             | 57,9 | 97,9               | 100   |
| 4     | US    | 38    | 23,0  | 30      | 44         | 65,5 | 3,8              | 53,0 | 1,8                | 40    |
|       | OS    | 129   | 77,0  | 60      | 274        | 27,7 | 60,0             | 47,0 | 98,2               | 100   |

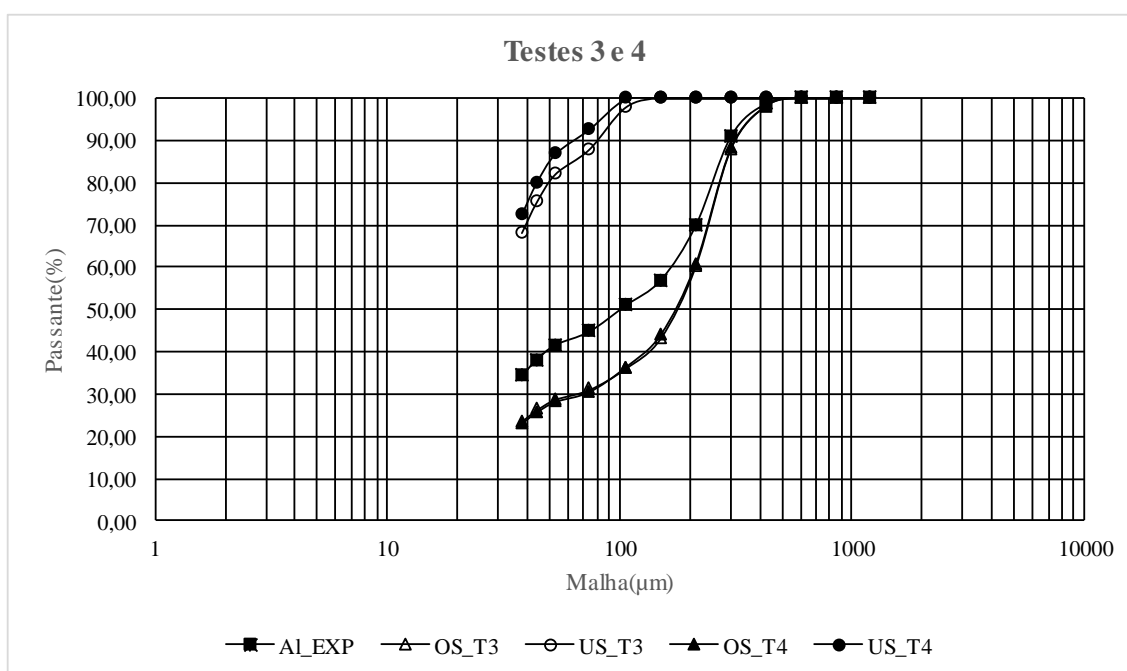


Figura 5.25 - Curvas granulométricas dos testes 3 e 4

Os testes 5 e 6, foram realizados com densidade de polpa de  $1,68\text{g/cm}^3$  que equivale a 57% de sólidos em massa. A frequência de 1800 e 1200rpm respectivamente. Os testes estão representados na tabela V.4 e figura 5.26.

Tabela V.4 - Testes 5 e 6, malha  $150\mu\text{m}$

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80               | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|-------------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu\text{m}$ ) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 5     | Alim. | 211   | 100   | 57      | 243               | 36,3 | 47,2             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 28    | 13,0  | 40      | 42                | 65,8 | 4,2              | 24,3 | 1,2                | 24    |
|       | OS    | 182   | 87,0  | 61      | 266               | 31,7 | 59,3             | 75,7 | 98,8               | 100   |
| 6     | US    | 49    | 23,0  | 40      | 41                | 66,3 | 3,8              | 42,6 | 1,9                | 41    |
|       | OS    | 162   | 77,0  | 65      | 274               | 27,1 | 60,4             | 57,4 | 98,1               | 100   |

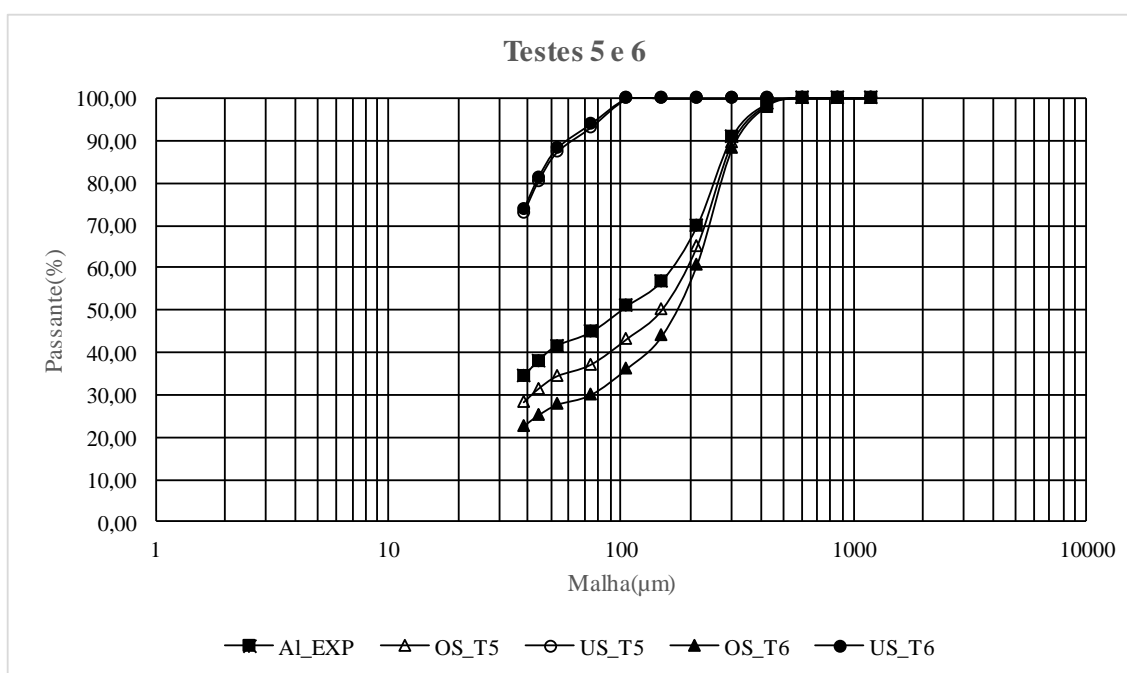


Figura 5.26 - Curvas granulométricas dos testes 5 e 6

A figura 5.27 representa o gráfico de contorno com as regiões para a obtenção das melhores recuperações com a malha de  $150\mu\text{m}$ .

Os testes na malha de  $150\mu\text{m}$  resultaram em *undersizes* de alta qualidade, contudo, os *oversizes* apresentaram elevada perda de Fe. Logo, a malha de  $150\mu\text{m}$  não atendeu ao principal objetivo do estudo, que é produzir *oversizes* com baixo teor de Fe para ser

descartado como rejeito final, e *undersizes* com características físico-químicas mais próximas da alimentação da flotação.

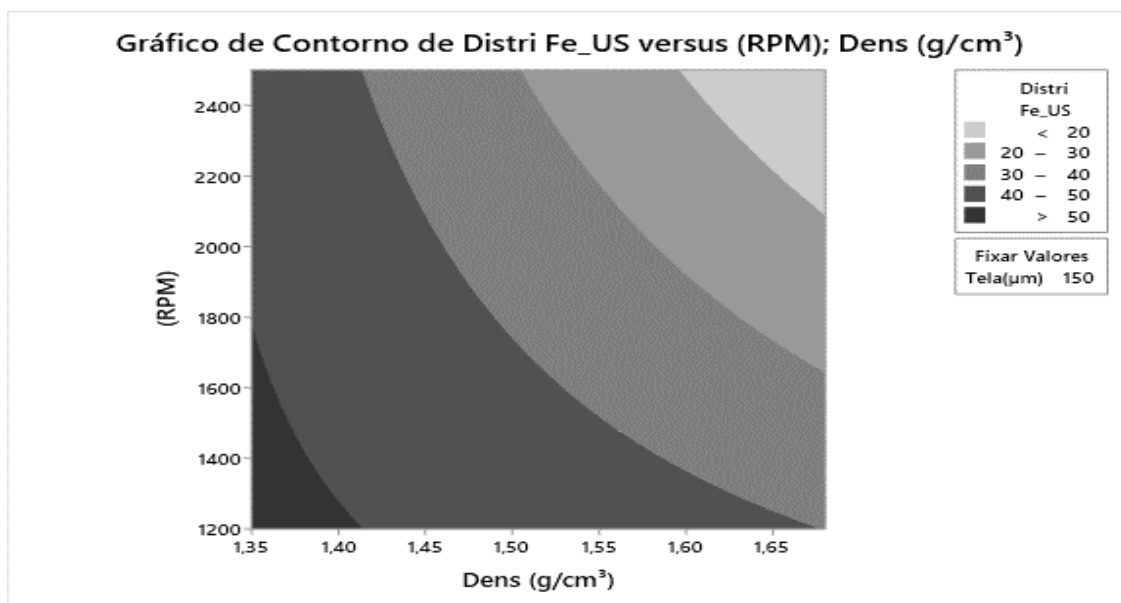


Figura 5.27 - Gráfico de contorno para distribuição do Fe para o *undersize*

O gráfico de contorno indica que para obtenção de maiores recuperações para o *undersize* é necessário a operação com densidade de polpa de 1,35 a 1,42g/cm<sup>3</sup> e frequência de até 1780rpm. A operação da peneira com frequência e densidade mais elevadas resultaria na redução da recuperação metalúrgica e menores eficiência para o *undersize*.

### 5.3.2 Testes na Malha de 180µm

Os testes na malha de 180µm foram realizados seguindo o mesmo padrão para a malha de 150µm.



Os testes 7 e 8 foram realizados com  $1,35\text{g/cm}^3$  de densidade de polpa ou 37% de sólidos em massa e frequência de 1800 e 1200rpm respectivamente. Os resultados estão descritos na tabela V.5 e figura 5.28.

Tabela V.5 - Testes 7 e 8, malha  $180\mu\text{m}$

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80               | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|-------------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu\text{m}$ ) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 7     | Alim. | 109   | 100   | 37      | 243               | 36,3 | 47,2             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 33    | 30    | 17      | 53                | 63,8 | 7,8              | 45,1 | 5,0                | 45    |
|       | OS    | 76    | 70    | 73      | 277               | 22,8 | 64,7             | 54,9 | 95,0               | 99    |
| 8     | US    | 49    | 41,0  | 37      | 55                | 62,6 | 8,8              | 36,3 | 6,9                | 65    |
|       | OS    | 162   | 109   | 63      | 287               | 20,9 | 67,9             | 63,7 | 93,1               | 100   |

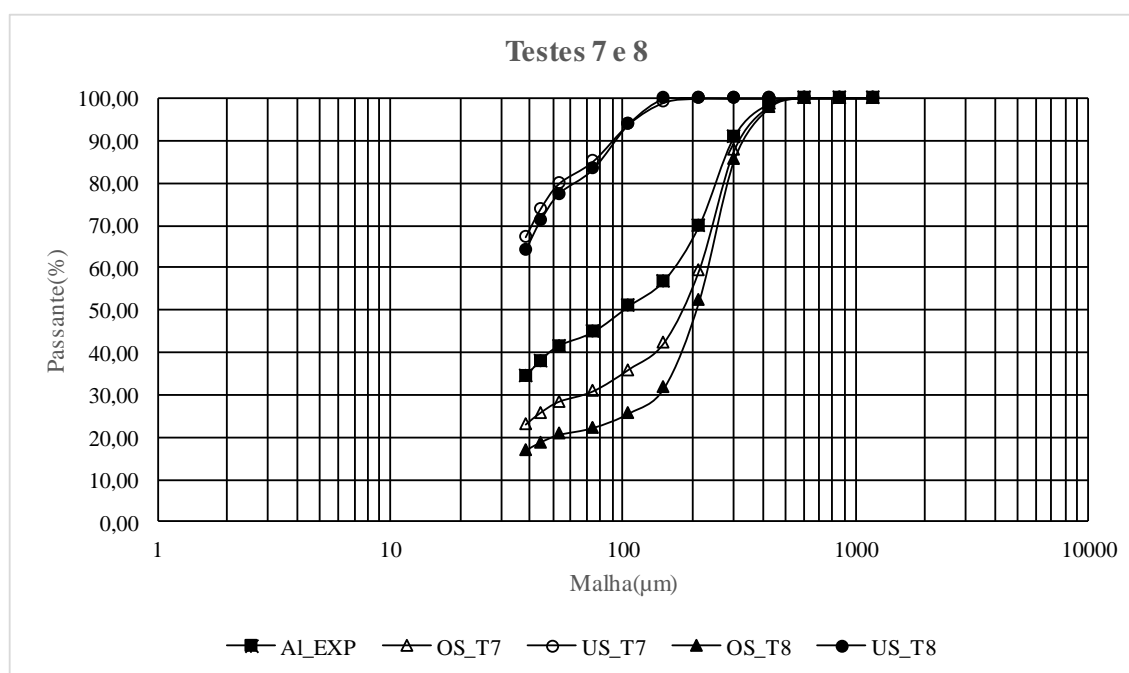


Figura 5.28 - Curvas granulométricas dos testes 7 e 8

Os testes 9 e 10 foram realizados com densidade de polpa de 1,55g/cm<sup>3</sup> ou 49% de sólidos em massa, frequência de 1800 e 1200rpm respectivamente. Os testes 9 e 10 estão representados na tabela V.6 e figura 5.29.

Tabela V.6 - Teste 9 e 10, malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 9     | Alim. | 167           | 100          | 49             | 243               | 36,3      | 47,2                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 46            | 28           | 28             | 53                | 62,2      | 8,9                     | 47,0        | 5,2                       | 48           |
|       | OS    | 121           | 72           | 70             | 288               | 26,4      | 61,9                    | 53,0        | 94,8                      | 99           |
| 10    | US    | 64            | 38,0         | 33             | 53                | 62,2      | 8,6                     | 34,4        | 7,0                       | 66           |
|       | OS    | 103           | 62,0         | 70             | 288               | 20,3      | 71,1                    | 65,6        | 93,0                      | 99           |

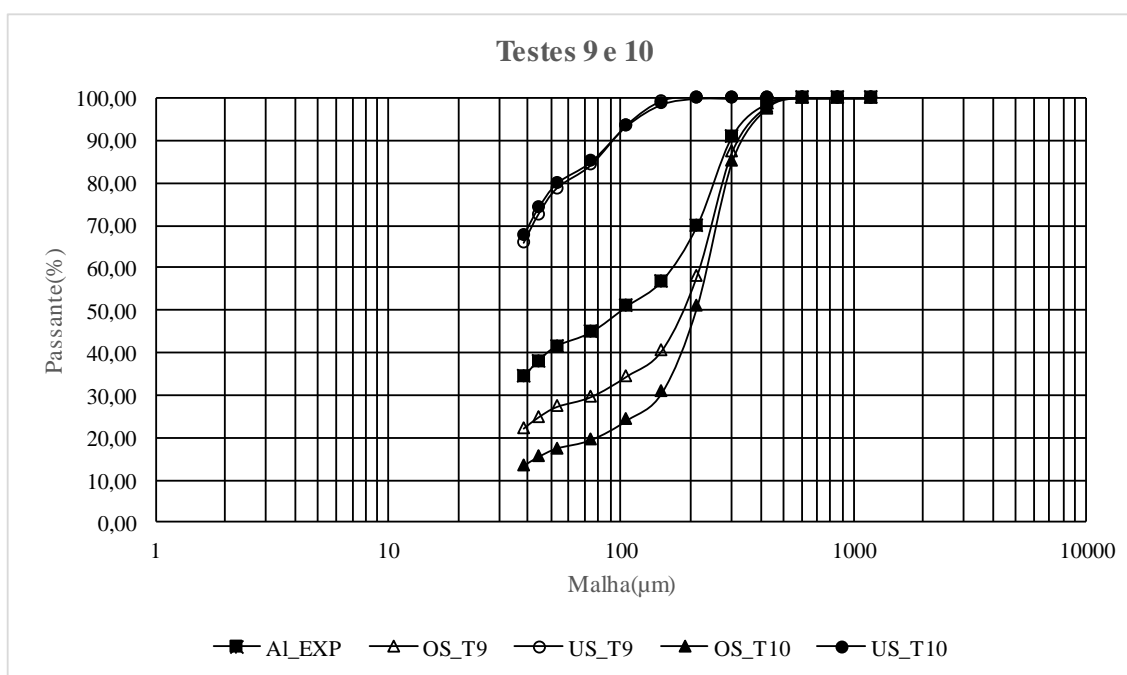


Figura 5.29 - Curvas granulométricas dos testes 9 e 10

Os testes 11 e 12 foram realizados com densidade de polpa de 1,68g/cm<sup>3</sup> ou 57% de sólidos em massa e frequência de 1800 e 1200rpm respectivamente. Os resultados dos testes estão representados na tabela V.7 e figura 5.30.

Tabela V.7 - Testes 11 e 12, malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 11    | Alim. | 211   | 100   | 57      | 243        | 36,3 | 47,2             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 77    | 37    | 44      | 53         | 62,5 | 10,2             | 36,9 | 7,9                | 66    |
|       | OS    | 133   | 63    | 68      | 285        | 21,1 | 68,6             | 63,1 | 92,1               | 100   |
| 12    | US    | 81    | 39,0  | 33      | 53         | 62,5 | 9,4              | 32,6 | 7,7                | 74    |
|       | OS    | 129   | 61,0  | 70      | 285        | 19,1 | 71,2             | 67,4 | 92,3               | 100   |

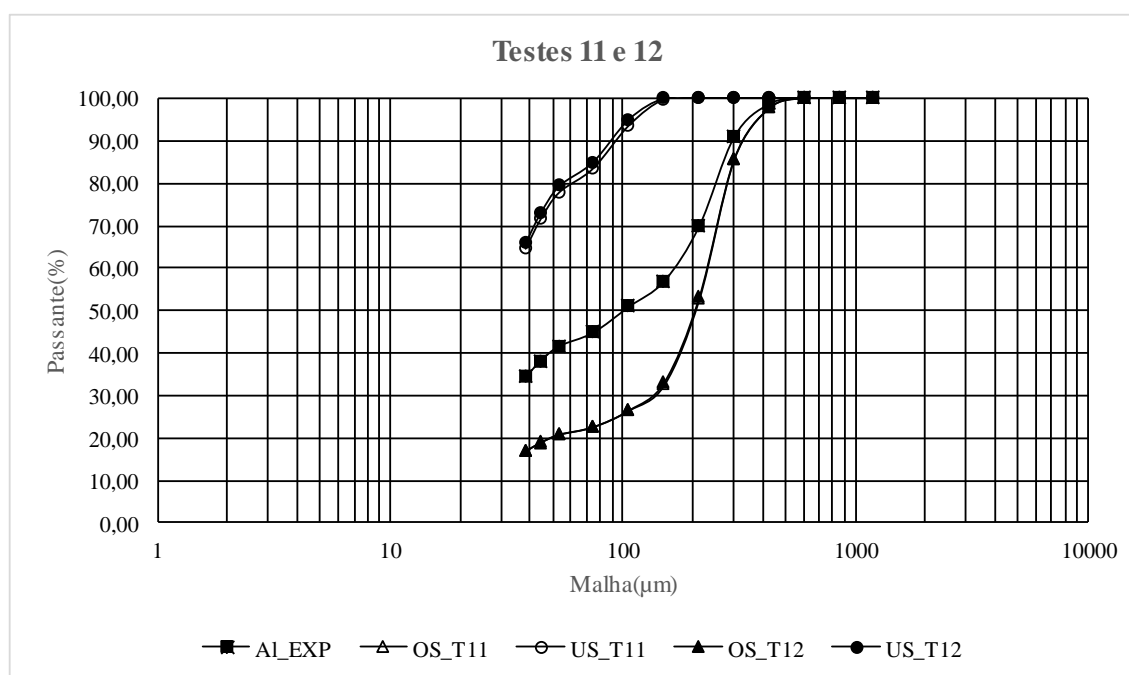


Figura 5.30 - Curvas granulométricas dos testes 11 e 12

A figura 5.31, representa o gráfico de superfície de contorno, que apresenta as regiões para se operar obtendo os melhores resultados de recuperação metalúrgica para o *undersize*.

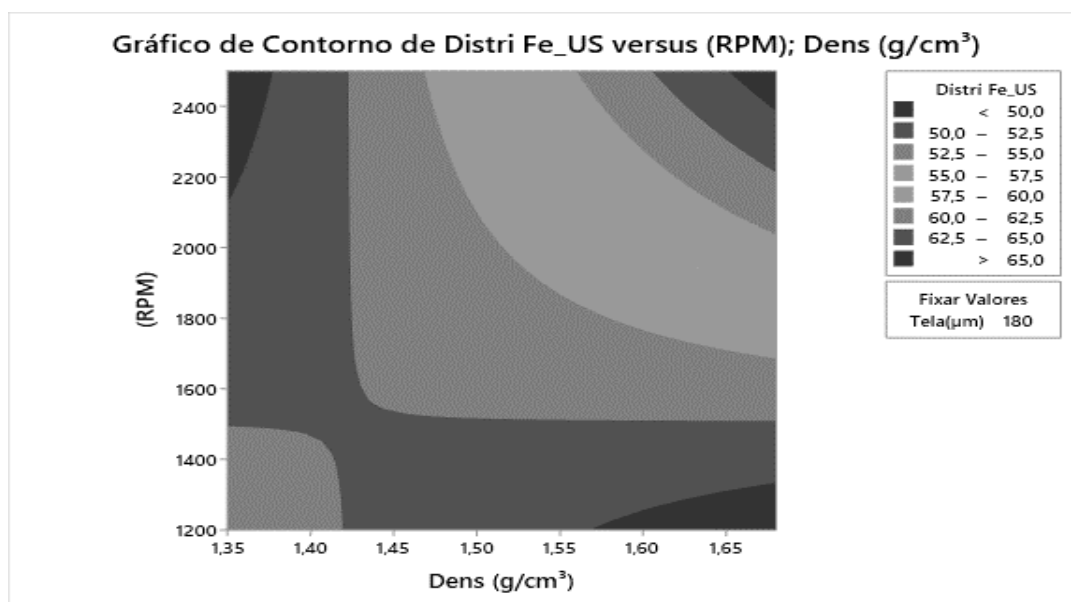


Figura 5.31 - Gráfico de contorno para malha de 180μm

A figura 5.31 indica que para uma densidade de polpa baixa, ou seja, entre 1,35 e 1,40g/cm<sup>3</sup>, a operação deve acontecer com frequências mais altas para obter recuperações maiores que 65% para o *undersize*. A situação é contrária quando se trata de densidades mais elevadas, nesse caso a operação da peneira deve ocorrer com frequências menores para maximizar a recuperação para o *undersize*.

Apesar de resultados melhores para a malha de 180μm, o Fe perdido para o *oversize* ainda é considerado elevado para atender o propósito do estudo. Esse objetivo consiste em obter um *oversize* com baixo teor de Fe para ser descartado e um pré-concentrado para o *undersize*, com valores próximos ou maior ao teor de Fe alimentado na flotação.

### 5.3.3 Testes com a malha de 212μm

Os testes na malha de 212μm foram os mais promissores do ponto de vista de processo, pois atenderam os requisitos principais do estudo.

Os testes 13 e 14 foram realizados com densidade de  $1,35\text{g/cm}^3$  ou percentual de sólidos de 37% em massa e rotação de 1800 e 2500rpm respectivamente. Esses testes apresentaram frequência diferente aos testes anteriores, após avaliação em conjunto das equipes optou-se por operar a peneira dessa forma. Os testes 13 e 14 estão representados na tabela V.8 e figura 5.32.

Tabela V.8 - Testes 13 e 14, malha 212 $\mu\text{m}$

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu\text{m}$ ) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|--------------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 13    | Alim. | 110           | 100          | 37             | 243                      | 36,5      | 47,0                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 71            | 64           | 29             | 168                      | 52,3      | 24,0                    | 92,1        | 32,8                      | 94           |
|       | OS    | 39            | 36           | 73             | 342                      | 8,1       | 88,3                    | 7,9         | 67,2                      | 68           |
| 14    | US    | 81            | 39,0         | 33             | 168                      | 62,5      | 9,4                     | 32,6        | 7,7                       | 82           |
|       | OS    | 129           | 61,0         | 70             | 335                      | 19,1      | 71,2                    | 67,4        | 92,3                      | 57           |

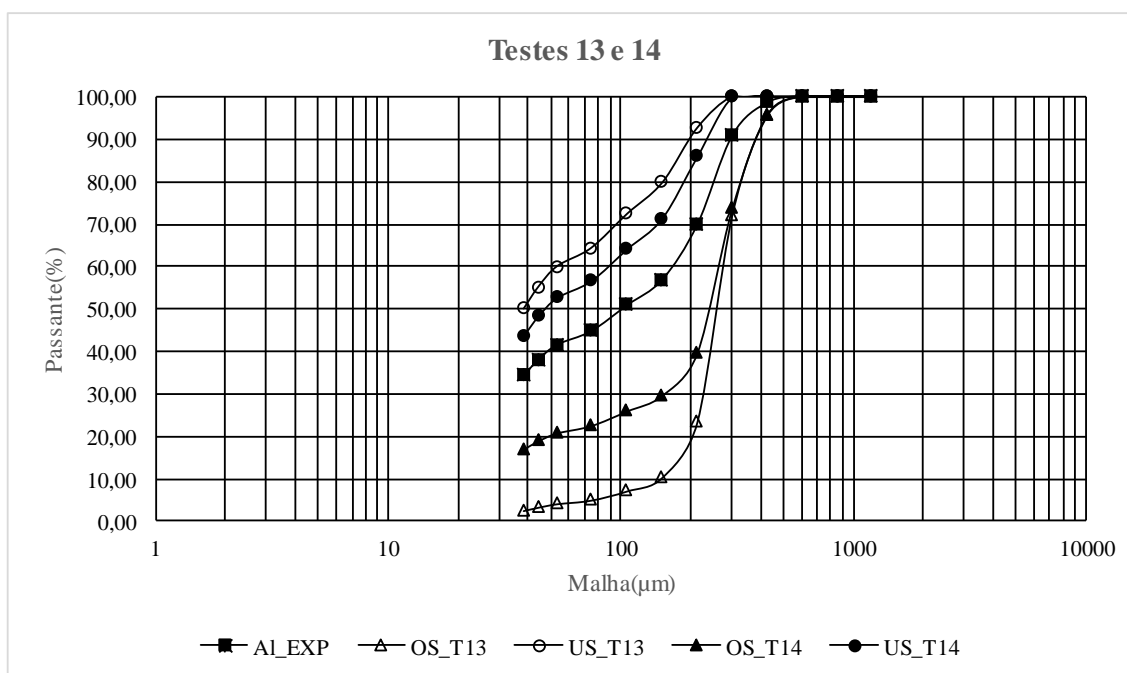


Figura 5.32 - Curvas granulométricas dos testes 13 e 14

Os testes 15 e 16 foram realizados com densidade de 1,55g/cm<sup>3</sup> ou 49% de sólidos em massa, frequência de 1800 e 2500rpm respectivamente. Os testes 15 e 16 estão representados na tabela V.9 e figura 5.33.

Tabela V.9 - Testes 15 e 16, malha 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 15    | Alim. | 167           | 100          | 49             | 243               | 37,0      | 47,0                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 105           | 63           | 40             | 150               | 54,5      | 20,6                    | 94,0        | 27,6                      | 93           |
|       | OS    | 62            | 37           | 77             | 339               | 5,9       | 91,5                    | 6,0         | 72,4                      | 69           |
| 16    | US    | 105           | 37           | 40             | 157               | 48,0      | 32,2                    | 81,7        | 43,4                      | 91           |
|       | OS    | 62            | 63           | 77             | 343               | 18,3      | 71,6                    | 18,3        | 56,6                      | 63           |

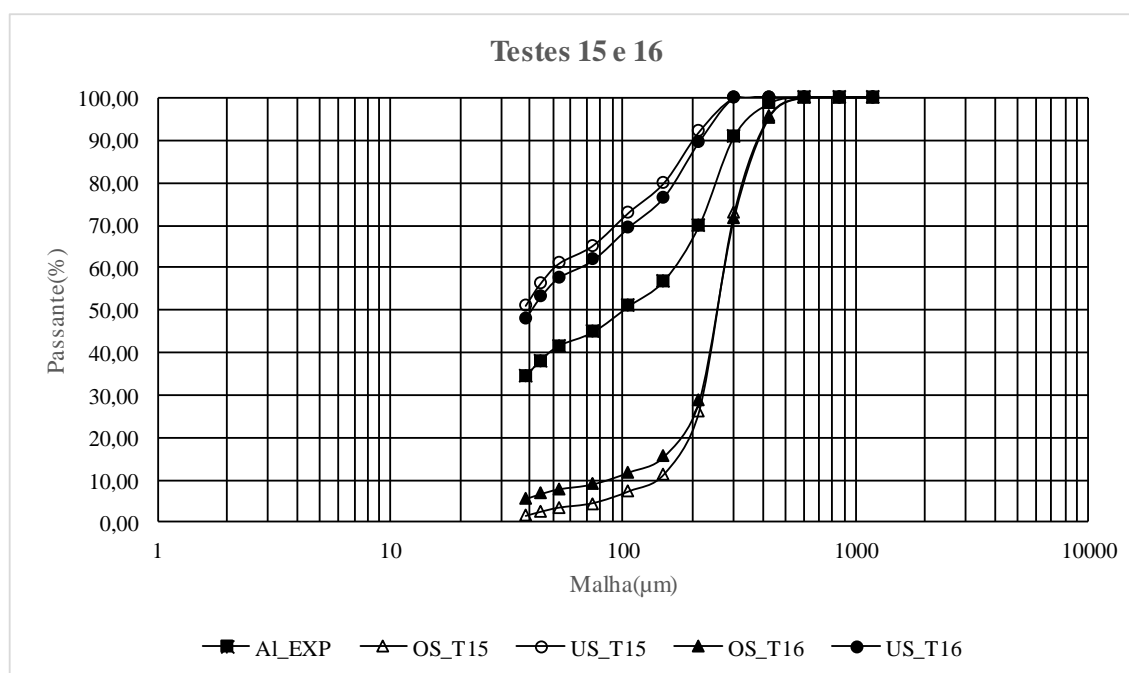


Figura 5.33 - Curvas granulométricas dos testes 15 e 16

Os testes 17 e 18 foram realizados com densidade de 1,68g/cm<sup>3</sup> ou sólidos em 57% em massa, frequência de 1800 e 2500rpm respectivamente. Os resultados estão representados na tabela V.10 e figura 5.34.

Tabela V.10 - Testes 17 e 18, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 17    | Alim. | 211           | 100          | 57             | 243               | 36,5      | 47,0                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 144           | 68           | 51             | 158               | 48,1      | 28,5                    | 90,4        | 41,4                      | 92           |
|       | OS    | 67            | 32           | 78             | 350               | 11,0      | 87,2                    | 9,6         | 58,6                      | 60           |
| 18    | US    | 105           | 37,0         | 40             | 157               | 48,0      | 32,2                    | 81,7        | 43,4                      | 93           |
|       | OS    | 62            | 63,0         | 77             | 343               | 18,3      | 71,6                    | 18,3        | 56,6                      | 61           |

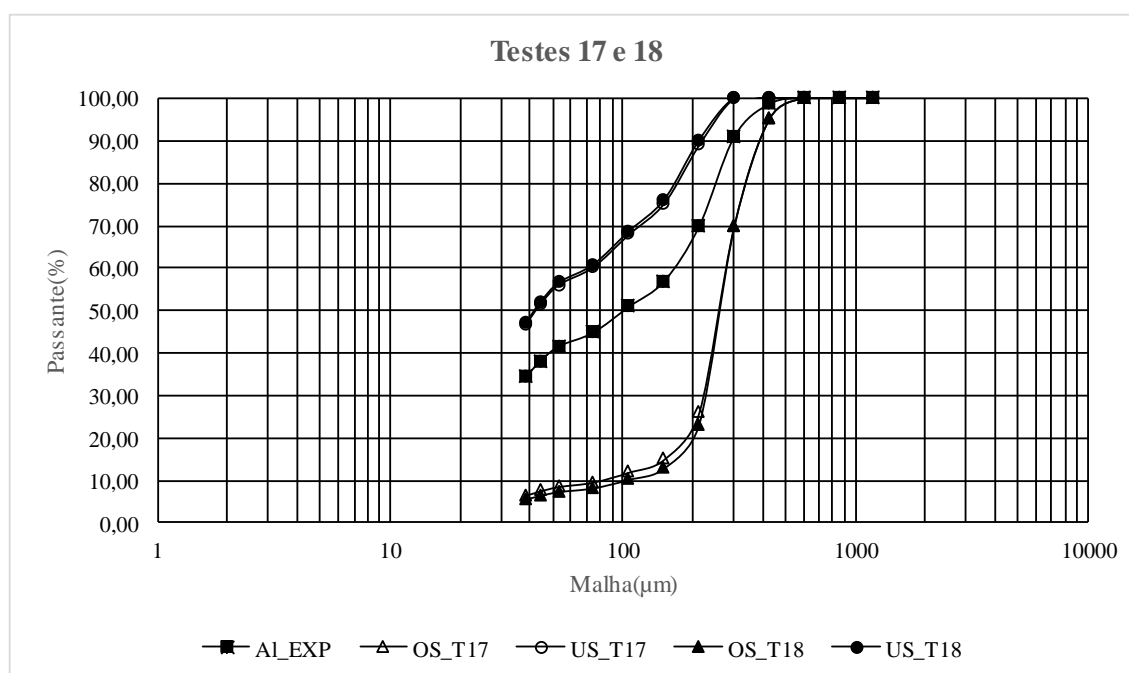


Figura 5.34 - Curvas granulométricas dos testes 17 e 18

Ao elevar a densidade da polpa, ocorreu a redução na eficiência para *undersize* e consequentemente obtiveram-se menores recuperações. O aumento da frequência no teste não resultou em grandes alterações nos produtos.

Os testes na malha de 212 $\mu$ m foram os mais promissores do ponto de vista de processo, pois apresentaram maiores eficiências para o *undersize* e, consequentemente, maiores

recuperações mássica e metálica. O teste 15 com,  $1,55\text{g/cm}^3$  de densidade de polpa e 1800rpm de frequência, foi o melhor teste. Apresentou menor teor de Fe no *oversize* e um *undersize* com características físico-químico adequadas para voltar ao circuito de flotação na etapa *rougher* ou até mesmo na *cleaner* 1. O teste resultou, ainda, na redução de 55% do quartzo total contido no fluxo.

A figura 5.35 representa o gráfico de contorno que indica as melhores regiões para operação da peneira para malha de  $212\mu\text{m}$ .

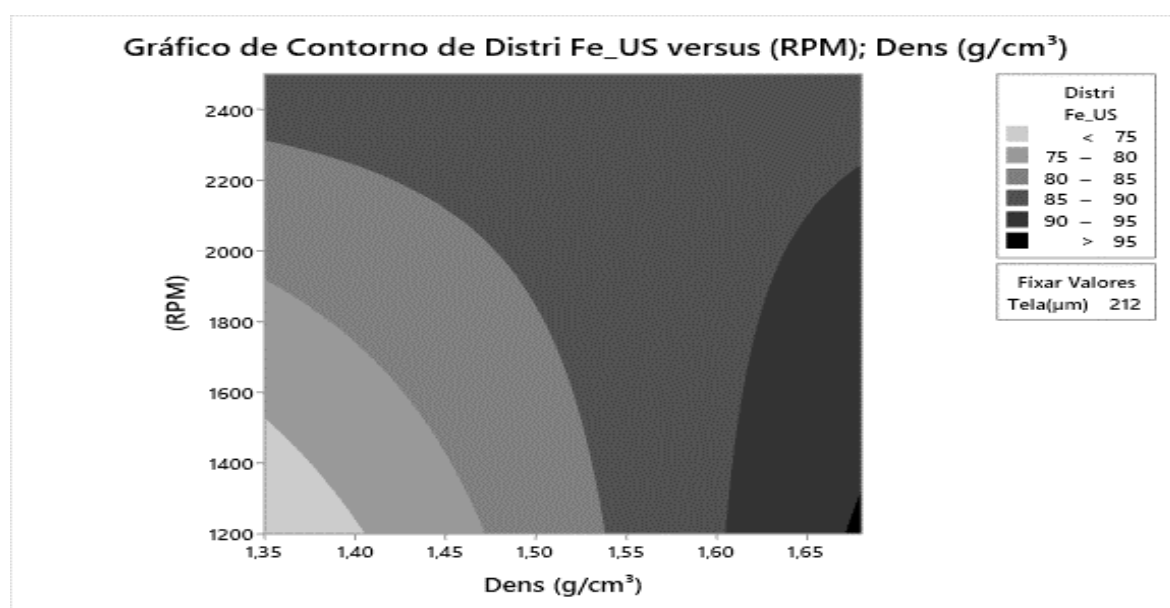


Figura 5.35 - Gráfico de superfície de contorno malha  $212\mu\text{m}$

As análises estatísticas dos ensaios indicaram que o fator mais importante é a abertura da malha, que exerce influência em todas as respostas: teores e recuperações de Fe e  $\text{SiO}_2$  para *undersize* e *oversize*. O percentual de sólidos não representou relevância para os resultados, já a frequência apresentou significância para a  $\text{SiO}_2$  no *undersize* e uma pequena influência para o Fe no *undersize*. O aumento da frequência resulta na elevação da  $\text{SiO}_2$  no *undersize* e reduz no *oversize*. Dessa forma, a operação do equipamento deve ser realizada com frequências menores.



As amplitudes de influências dos fatores e das interações entre as variáveis podem ser observadas pelas inclinações das retas das figuras 5.36. Quanto maior a inclinação maior é a influência do fator.

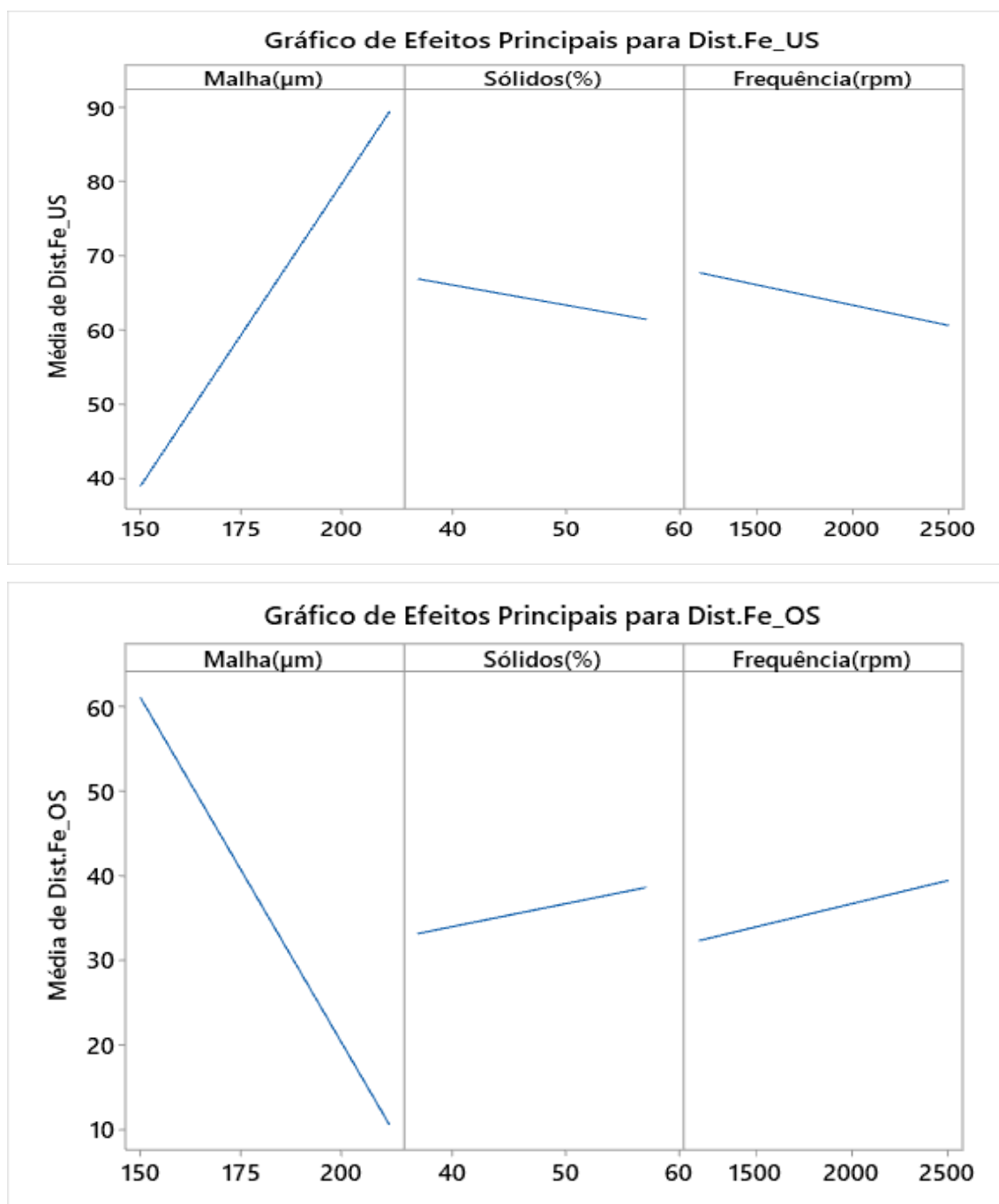


Figura 5.36 - Efeitos principais para a distribuição e teores de Fe e SiO<sub>2</sub>

A figura 5.37 representa as regiões nas quais são possíveis de se obter melhores recuperações.

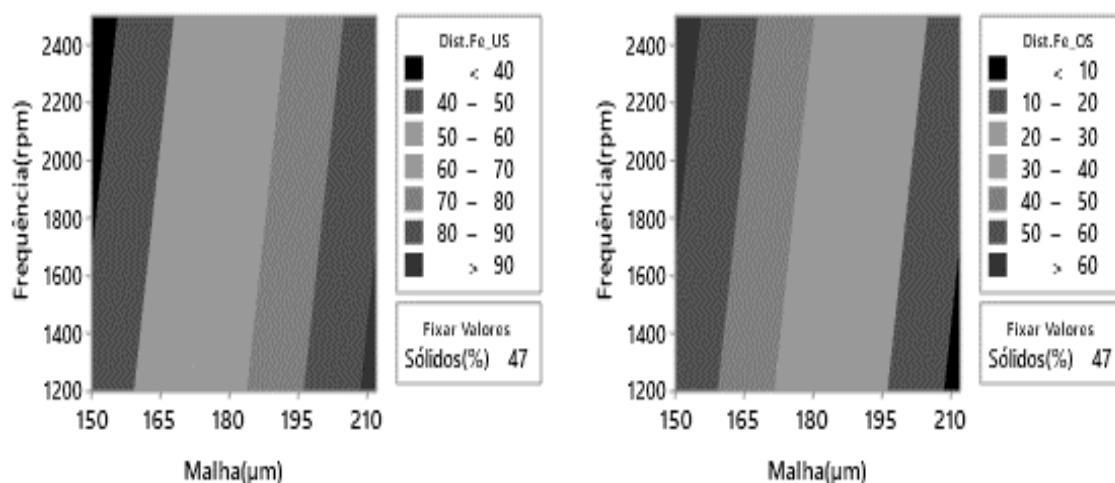


Figura 5.37 - Gráfico de contorno para distribuição de Fe no *undersize* e *oversize*

O gráfico de contorno indica que para se obter melhores resultados a operação da peneira deve ser com 47% de sólidos, malha de 212 $\mu$ m e frequência até 1600rpm.

### 5.3.4 Estabilidade da flotação e balanço de massas com utilização da peneira

Considerando a estabilidade da flotação com a utilização de peneira, o equilíbrio entre a carga circulante e a alimentação nova da flotação foi alcançado para 66% das amostras. Para isso, realizou-se a multiplicação do resultado pela razão de enriquecimento obtida no teste 15 com as amostras contendo teor de Fe abaixo de 40%. Assim, aumentou-se a taxa de equilíbrio do circuito, conforme figura 5.38.

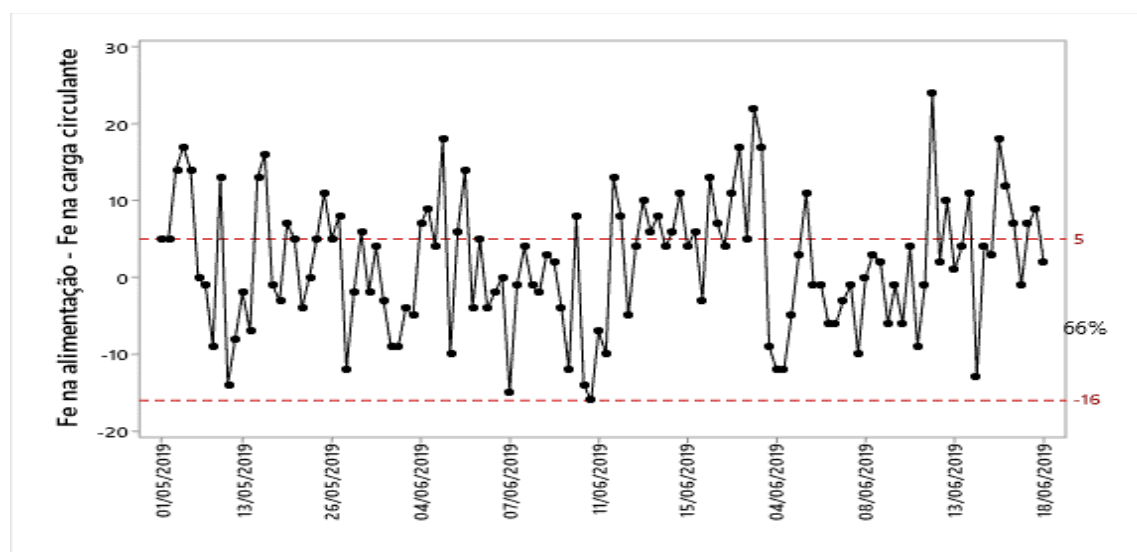


Figura 5.38 - Diferença entre o Fe da alimentação e carga circulante após peneiramento

Com dados reais amostrados, dois balanços de massas foram realizados. O balanço 1 foi feito por meio de uma amostragem de rotina mensal da usina, sem utilização da peneira para a carga circulante. O teor de Fe experimental foi mantido e as vazões mássicas foram calculadas por meio dos teores de Fe dos fluxos. O balanço 2 foi realizado com a utilização da mesma amostragem e simulando a peneira de alta frequência na carga circulante. Para o cálculo dos teores dos fluxos da peneira, utilizou-se a razão de enriquecimento de 1,49, obtida no teste 15 para cálculo do teor de Fe do *undersize* (carga circulante). O *oversize* (rejeito final) foi calculado pela diferença entre os teores de Fe do *undersize* e a alimentação da peneira. As vazões mássicas também foram calculadas pelos teores de Fe. O balanço 1 está representado na figura 5.39. O balanço 2 com o peneiramento está representado na figura 5.40.

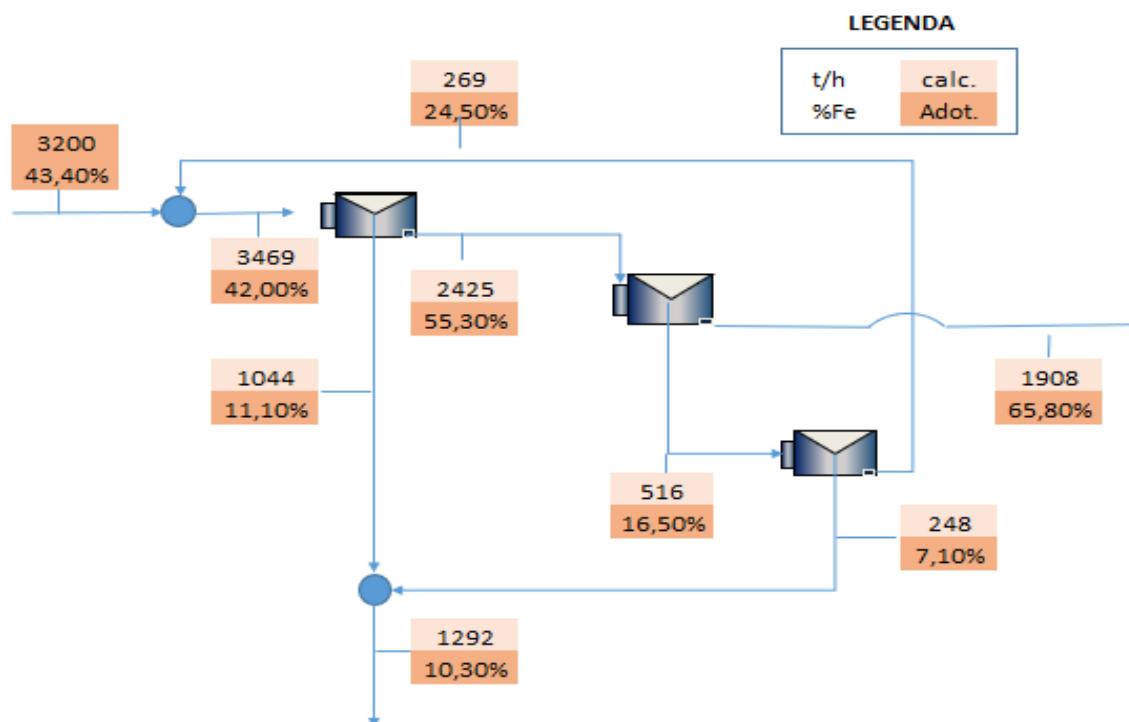


Figura 5.39 - Balanço de Massas sem utilização da peneira na carga circulante

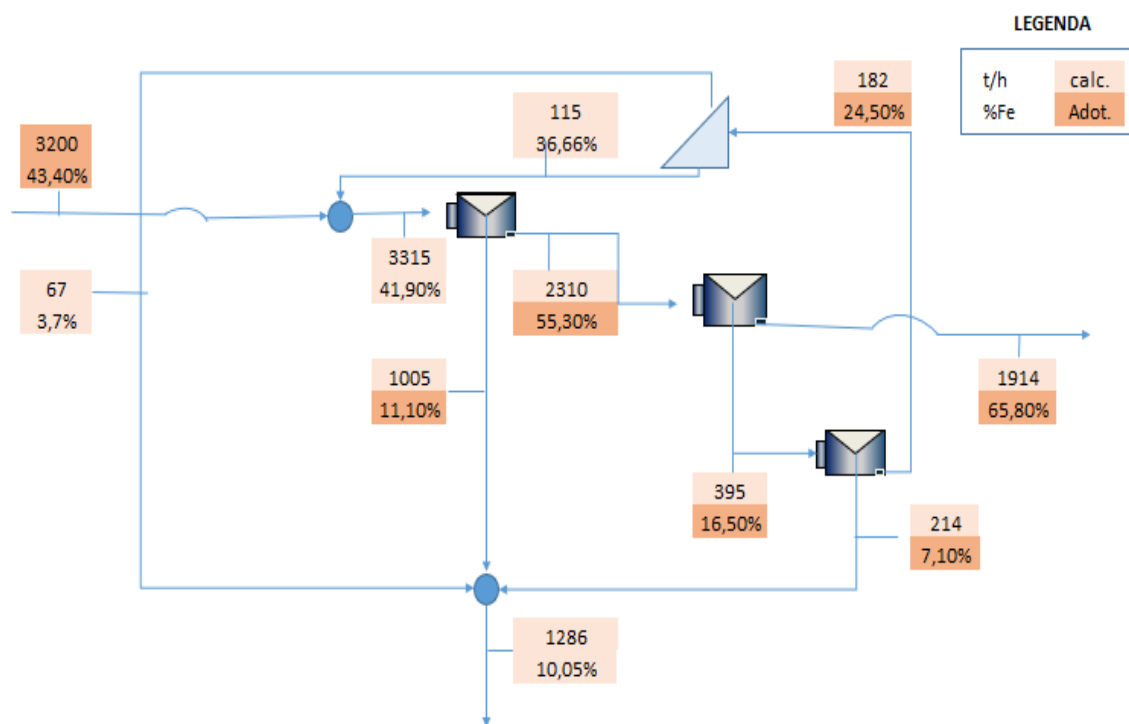


Figura 5.40 - Balanço de Massas utilizando a peneira para remoção de quartzo na carga circulante

No balanço que se utilizou a peneira de alta frequência para remoção do quartzo maior que  $150\mu\text{m}$  observou-se um aumento de 0,18% na recuperação em massa para o concentrado, que corresponde a 6t/h. Quando se multiplica as 6t/h por 24 horas diárias e 365 dias a uma disponibilidade de 92% da usina de beneficiamento, obtém-se o valor de 84.138 toneladas anuais. Esse valor corresponde ao embarque de um navio de produto. Esse é um ganho direto que a utilização da peneira pode trazer ao processo, os ganhos indiretos só serão possíveis de medir com a implantação do equipamento.

#### 5.4 Testes Peneiramento Derrick

Os testes na Super Stack Sizer foram realizados nas mesmas malhas dos testes realizados na Metso, porém, as variáveis operacionais foram diferentes, tais como: percentual de sólidos, utilização do spray de lavagem e taxa.

### 5.4.1 Testes em malha de 150 $\mu$ m

Os testes na malha com abertura de 150 $\mu$ m, foram realizados com e sem utilização do spray, com sólidos de 35% e 45% na alimentação da peneira. Os testes 1 e 2 estão representados na tabela V.11 e figura 5.41

Tabela V.11 - Testes 1 e 2, malha 150 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 1     | Alim. | 127   | 100   | 35      | 246        | 41,5 | 42,9             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 80    | 63,0  | 27      | 105        | 57,8 | 19,4             | 87,5 | 28,4               | 95    |
|       | OS    | 47    | 37,0  | 73      | 325        | 14,0 | 82,6             | 12,5 | 71,6               | 81    |
| 2     | US    | 85    | 67,0  | 24      | 112        | 56,9 | 21,0             | 91,9 | 32,7               | 97    |
|       | OS    | 42    | 33,0  | 58      | 331        | 10,2 | 87,2             | 8,1  | 67,3               | 77    |

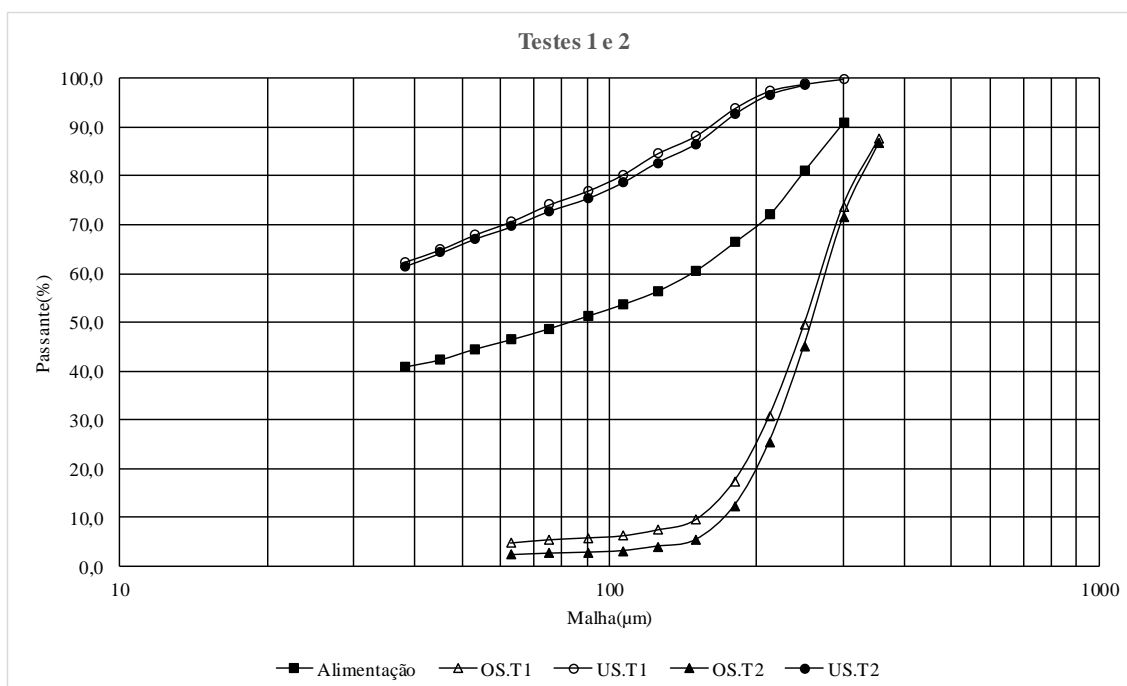


Figura 5.41 - Curvas granulométricas testes 1 e 2, malha 150 $\mu$ m

Os testes 3 e 4 mantiveram os sólidos na alimentação em 35%, mas a taxa de alimentação foi elevada de 127 para 136t/h. Os testes 3 e 4 estão representados na tabela V.12 e figura 5.42.

Tabela V.12 - Testes 3 e 4, malha 150 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 3     | Alim. | 136   | 100   | 35      | 236        | 41,4 | 42,6             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 84    | 62,0  | 26      | 106        | 57,9 | 19,1             | 86,1 | 27,6               | 95    |
|       | OS    | 52    | 38,0  | 74      | 326        | 14,9 | 80,2             | 13,9 | 72,4               | 80    |
| 4     | US    | 91    | 67,0  | 25      | 115        | 56,7 | 21,4             | 91,6 | 33,3               | 96    |
|       | OS    | 45    | 33,0  | 58      | 330        | 10,6 | 86,8             | 8,4  | 66,7               | 77    |

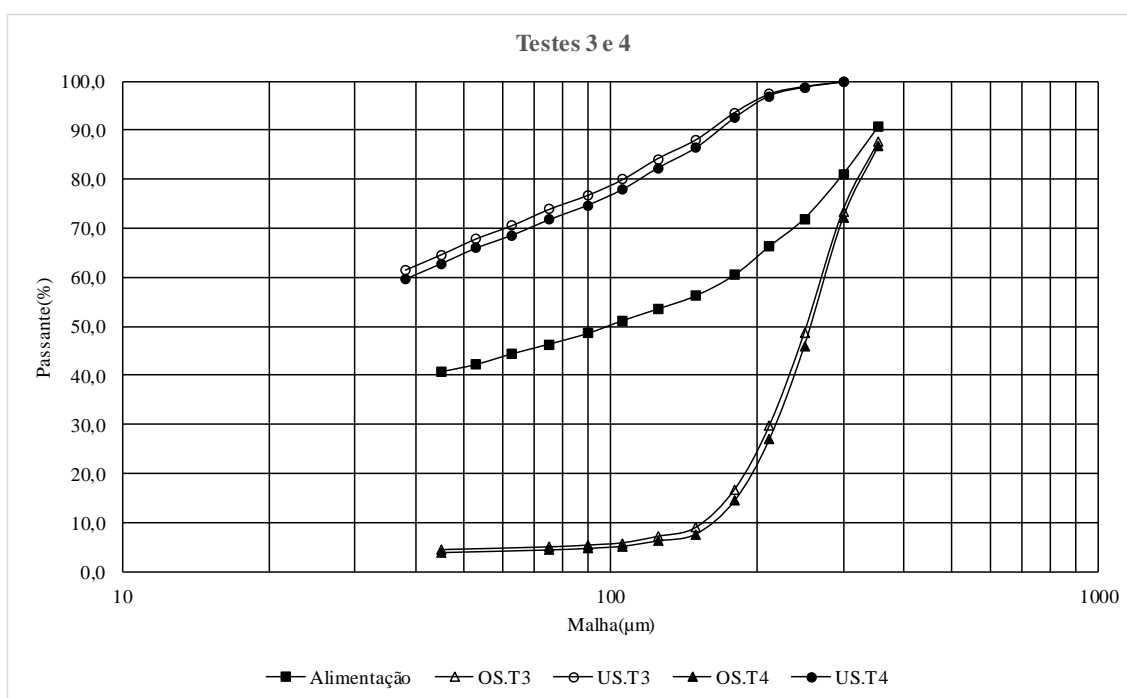
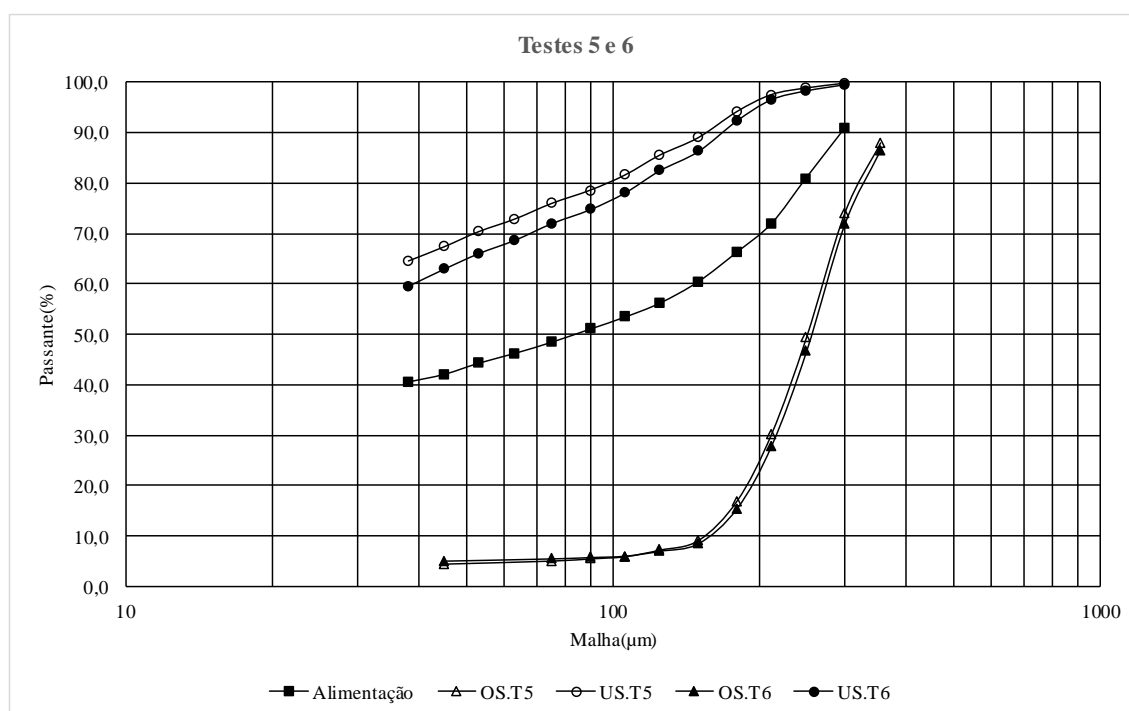


Figura 5.42 - Curvas granulométricas testes 3 e 4, malha 150 $\mu$ m

Os testes 5 e 6 permaneceram com os sólidos na alimentação em 35%, nesses testes optou-se por reduzir a taxa para 119t/h com o objetivo de reduzir a perda metálica para *oversize*. Os testes 5 e 6 estão representados na tabela V.13 e figura 5.43.

Tabela V.13 - Testes 5 e 6, malha 150 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 5     | Alim. | 119   | 100   | 35      | 246        | 41,3 | 43,2             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 73    | 62,0  | 27      | 97         | 58,9 | 18,7             | 87,7 | 26,6               | 96    |
|       | OS    | 46    | 38,0  | 73      | 324        | 13,2 | 82,5             | 12,3 | 73,4               | 82    |
| 6     | US    | 75    | 63,0  | 23      | 114        | 57,8 | 20,2             | 87,2 | 29,7               | 95    |
|       | OS    | 44    | 37,0  | 60      | 330        | 14,4 | 81,5             | 12,8 | 70,3               | 77    |

Figura 5.43 - Curvas granulométricas testes 3 e 4, malha 150 $\mu$ m

A redução da taxa de alimentação não resultou no aumento de recuperações e eficiências. Nem mesmo o acionamento do spray promoveu a redução do teor de Fe do *oversize*. Os menores valores de taxa e percentual de sólidos nesses testes podem ter aumentado a velocidade de escoamento da polpa na peneira, reduzindo o tempo de contato das

partículas menores na superfície da tela, o que resultou no aumento do teor de Fe para o *oversize*.

Os testes 7 e 8 foram realizados com 119t/h de taxa e percentual de sólidos de 45%. Esses testes objetivaram avaliar se a causa do baixo desempenho dos testes 5 e 6 estava associada ao baixo percentual de sólidos, que reduzia o tempo de residência. Os testes 7 e 8 estão representados na tabela V.14 e figura 5.44.

Tabela V.14 - Testes 7 e 8, malha 150 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 7     | Alim. | 119   | 100   | 45      | 240        | 41,8 | 42,7             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 74    | 62,0  | 36      | 88         | 59,4 | 17,6             | 88,6 | 25,8               | 92    |
|       | OS    | 45    | 38,0  | 74      | 315        | 12,7 | 84,4             | 11,4 | 74,2               | 84    |
| 8     | US    | 79    | 66,0  | 30      | 101        | 58,8 | 18,9             | 92,7 | 29,1               | 95    |
|       | OS    | 41    | 34,0  | 59      | 324        | 9,0  | 89,0             | 7,3  | 70,9               | 80    |

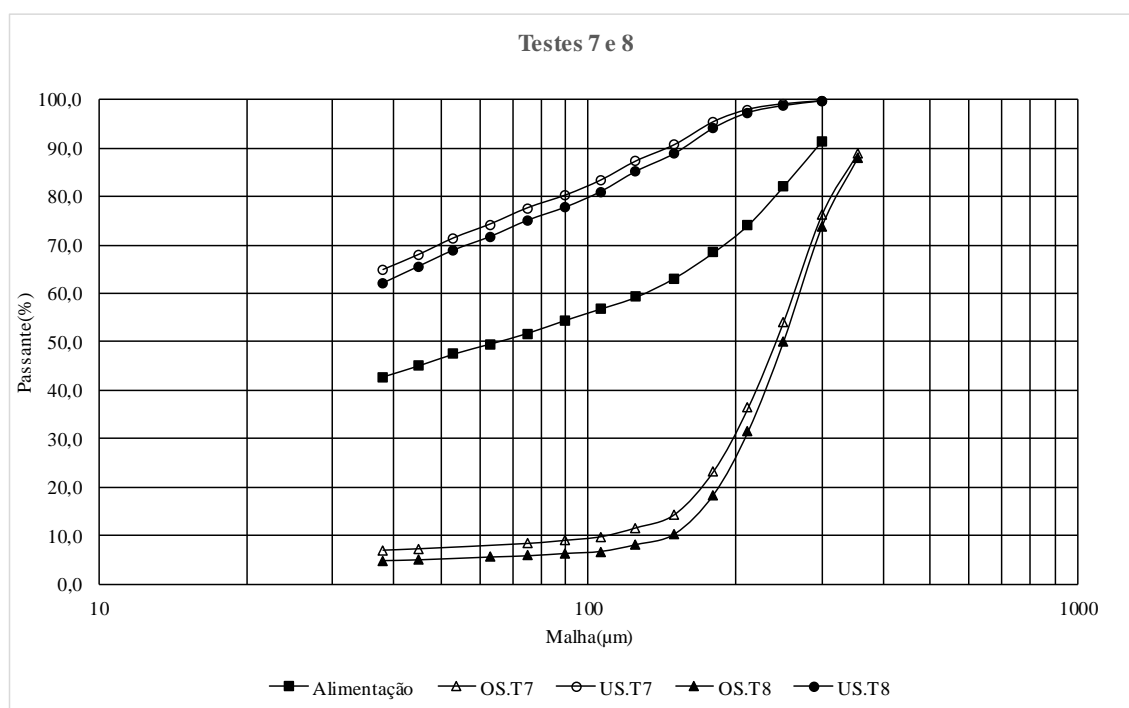


Figura 5.44 - Curvas granulométricas testes 7 e 8, malha 150 $\mu$ m

Ao aumentar o percentual de sólidos de 35 para 45%, mantendo a taxa em 119t/h e acionando o spray, obteve-se um teor de Fe mais baixo para o *oversize*. Ao aumentar o percentual de sólidos, ocorre a redução do volume de polpa, o que aumenta o tempo de



residência. Dessa forma, o percentual de sólido mais elevado resultou em melhor desempenho, mantendo os teores de Fe e SiO<sub>2</sub> para o *undersize* e reduzindo o teor de Fe no *oversize*.

Dentre os 8 testes realizados na malha de 150µm, destacam-se os testes 2, 4 e 8, todos estes com a utilização do spray. Os testes citados apresentaram alto rendimento e resultaram em *oversizes* de baixo teor de Fe. Para os *undersizes*, ocorreu uma redução média de 56% do teor de SiO<sub>2</sub> com razão de enriquecimento média de 1,38, com uma perda metalúrgica média de 7,9%. A figura 5.45 representa o gráfico de contorno para as melhores regiões de operação para a malha de 150µm, fixando os sólidos em 35%.

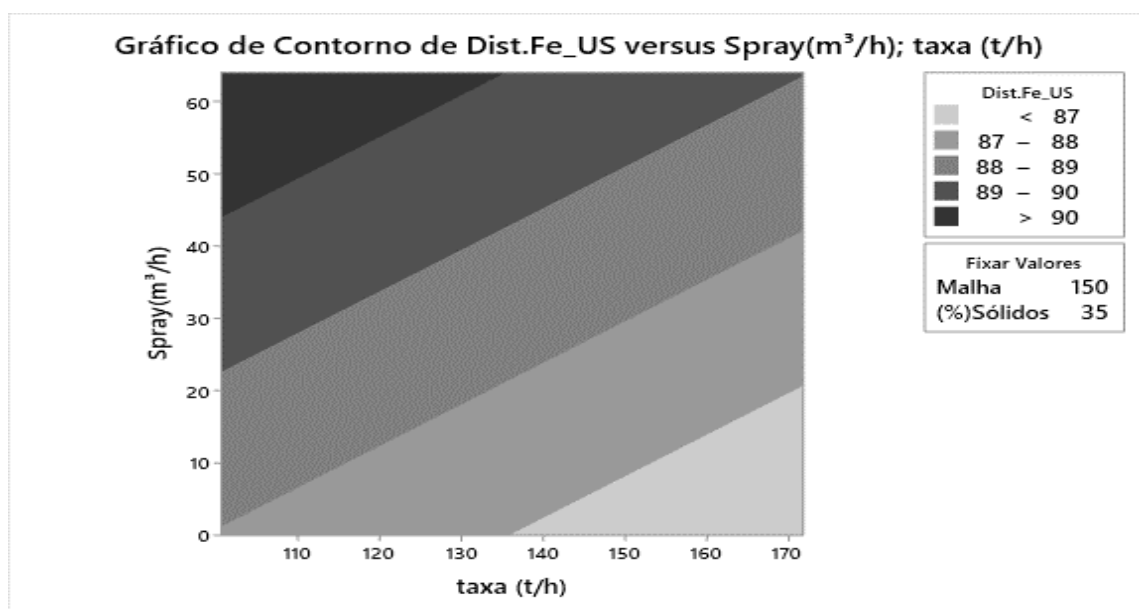


Figura 5.45 - Gráfico de contorno testes na malha de 150µm

A figura 5.45 indica que a utilização do spray é necessária para maximizar a recuperação de Fe para o *undersize* e a taxa deve estar no máximo em 130t/h.

### 5.4.2 Testes na malha de 180 $\mu$ m

Os testes na malha com abertura de 180 $\mu$ m, foram realizados com e sem utilização do spray, com sólidos de 35% e 45% na alimentação da peneira. Os testes 9 e 10 com taxa de 101t/h estão representados na tabela V.15 e figura 5.46

Tabela V.15 - Testes 9 e 10 malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 9     | Alim. | 101   | 100   | 35      | 223        | 41,5 | 42,0             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 66    | 66,0  | 29      | 108        | 58,7 | 17,3             | 92,6 | 27,1               | 95    |
|       | OS    | 35    | 34,0  | 61      | 316        | 9,0  | 88,8             | 7,4  | 72,9               | 81    |
| 10    | US    | 67    | 66,0  | 25      | 99         | 58,8 | 17,4             | 93,7 | 27,5               | 95    |
|       | OS    | 34    | 34,0  | 51      | 311        | 7,7  | 90,1             | 6,3  | 72,5               | 78    |

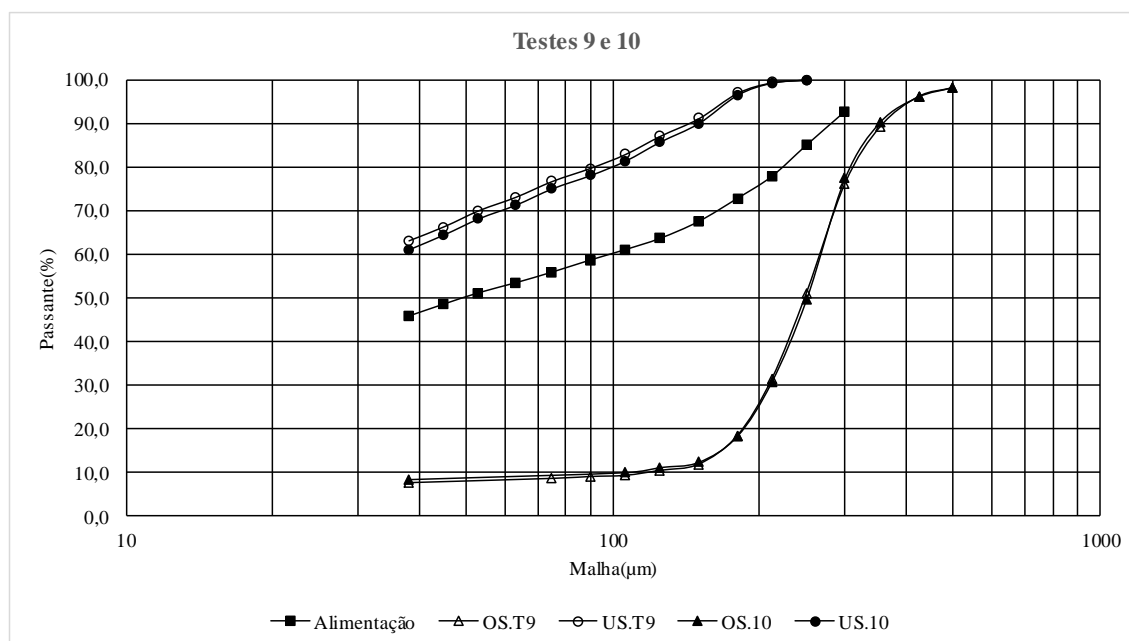


Figura 5.46 - Curvas granulométricas testes 9 e 10, malha 180 $\mu$ m

Os testes 11 e 12 com taxa de 118t/h estão representados na tabela V.16 e figura 5.47

Tabela V.16 - Testes 11 e 12 malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 11    | Alim. | 118           | 100          | 35             | 223               | 41,5      | 42,2                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 76            | 64,0         | 29             | 107               | 58,2      | 18,2                    | 90,4        | 27,8                      | 92           |
|       | OS    | 42            | 36,0         | 58             | 312               | 11,2      | 85,7                    | 9,6         | 72,2                      | 81           |
| 12    | US    | 77            | 66,0         | 26             | 102               | 58,3      | 17,7                    | 92,1        | 27,8                      | 94           |
|       | OS    | 40            | 34,0         | 54             | 314               | 9,7       | 88,1                    | 7,9         | 72,8                      | 78           |

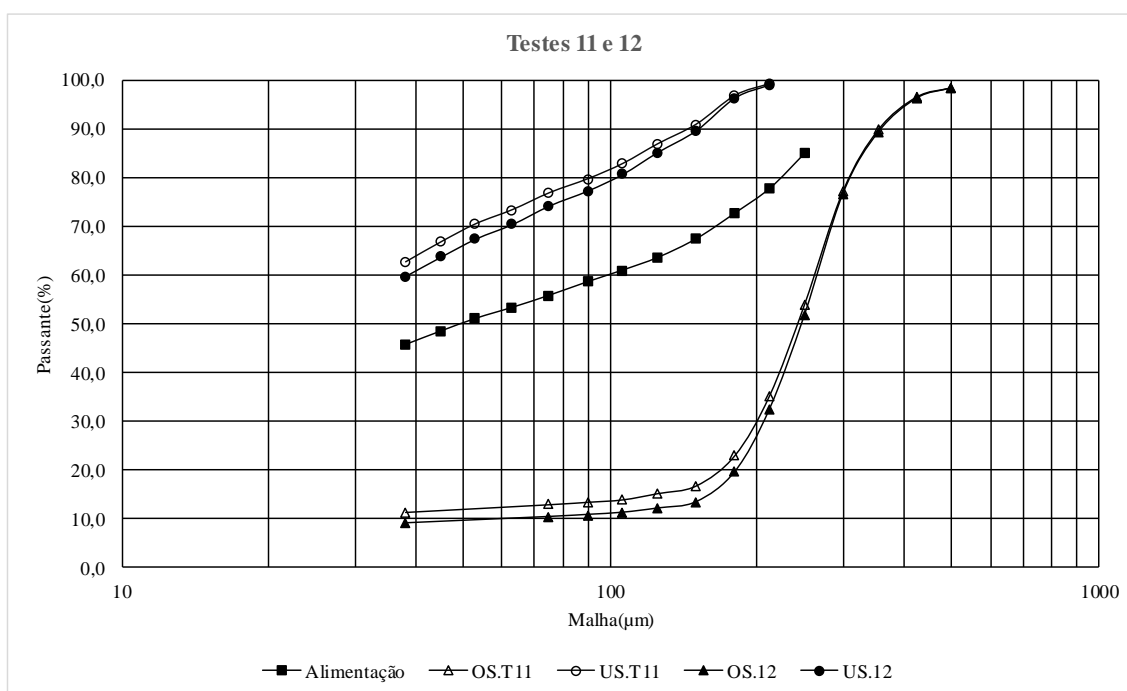


Figura 5.47 - Curvas granulométricas testes 11 e 12, malha 180 $\mu$ m

Os testes 13 e 14 com taxa de 134t/h estão representados na tabela V.17 e figura 5.48

Tabela V.17 - Testes 13 e 14 malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 13    | Alim. | 134           | 100          | 35             | 223               | 41,5      | 42,2                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 86            | 65,0         | 29             | 101               | 58,1      | 17,9                    | 90,0        | 27,7                      | 93           |
|       | OS    | 48            | 35,0         | 56             | 309               | 11,8      | 85,3                    | 10,0        | 72,3                      | 78           |
| 14    | US    | 86            | 65,0         | 25             | 114               | 57,6      | 17,8                    | 91,3        | 27,4                      | 93           |
|       | OS    | 47            | 35,0         | 56             | 306               | 10,2      | 87,2                    | 8,7         | 72,6                      | 80           |

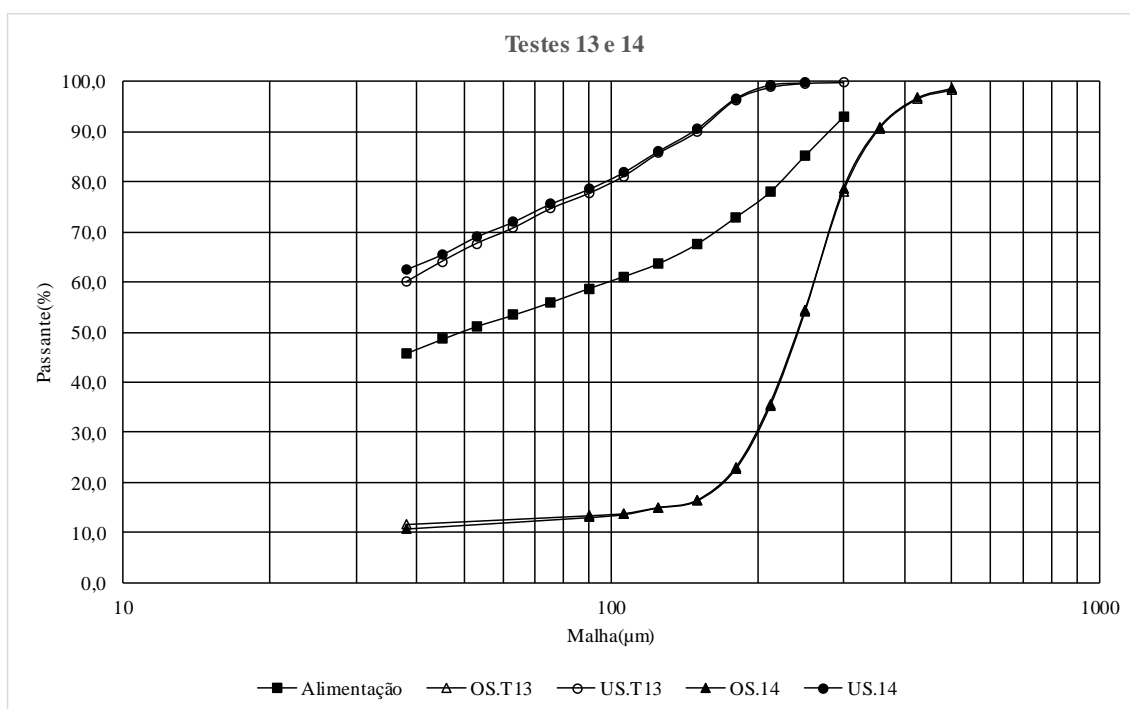


Figura 5.48 - Curvas granulométricas testes 13 e 14, malha 180 $\mu$ m

Os testes 15 e 16 com taxa de 102t/h e sólidos de 45%. Os testes estão representados na tabela V.18 e figura 5.49.

Tabela V.18 - Testes 15 e 16 malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 15    | Alim. | 102           | 100          | 45             | 226               | 41,2      | 42,4                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 61            | 60,0         | 37             | 71                | 60,0      | 15,2                    | 86,9        | 21,3                      | 87           |
|       | OS    | 41            | 40,0         | 64             | 296               | 13,3      | 82,7                    | 13,1        | 78,7                      | 87           |
| 16    | US    | 63            | 62,0         | 31             | 81                | 59,3      | 16,7                    | 88,4        | 24,4                      | 92           |
|       | OS    | 39            | 38,0         | 59             | 312               | 12,5      | 83,5                    | 11,6        | 75,6                      | 83           |

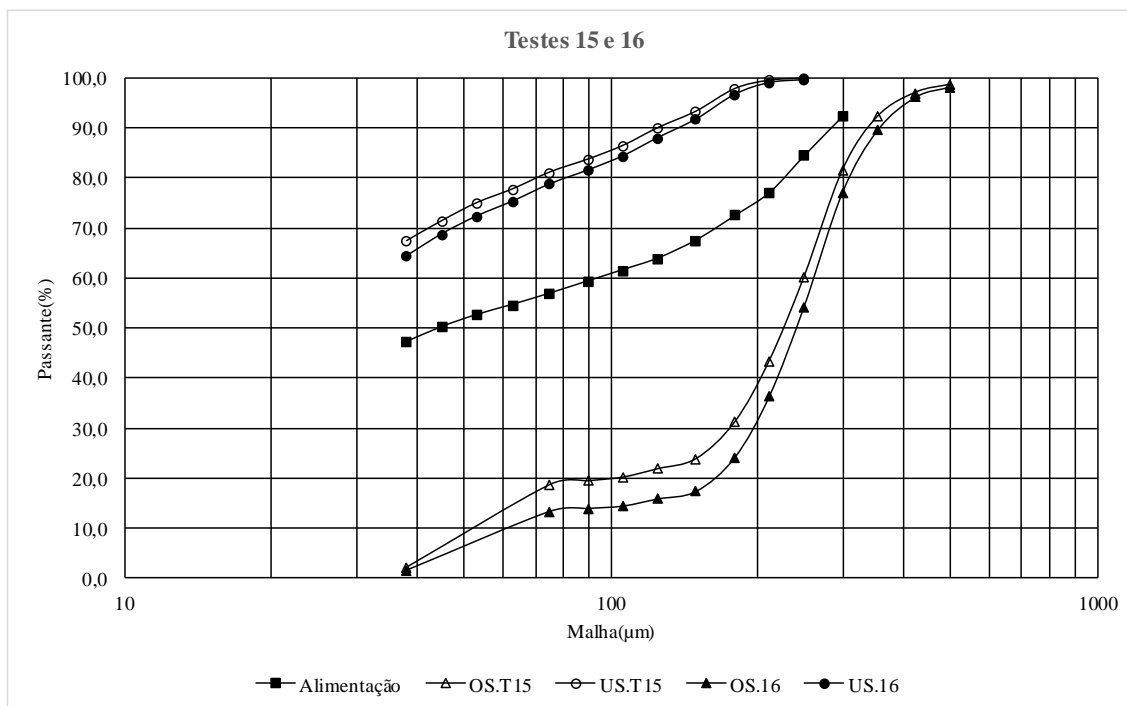


Figura 5.49 - Curvas granulométricas testes 15 e 16, malha 180 $\mu$ m

Os testes 17 e 18 com taxa de 119t/h e sólidos de 45%. Os testes estão representados na tabela V.19 e figura 5.50.

Tabela V.19 - Testes 17 e 18, malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 17    | Alim. | 119           | 100          | 45             | 226               | 41,2      | 42,4                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 70            | 59,0         | 37             | 72                | 59,7      | 15,9                    | 85,8        | 22,2                      | 88           |
|       | OS    | 48            | 41,0         | 63             | 298               | 14,4      | 80,8                    | 14,2        | 77,8                      | 86           |
| 18    | US    | 71            | 60,0         | 34             | 87                | 60,1      | 15,5                    | 87,2        | 21,8                      | 90           |
|       | OS    | 48            | 40,0         | 44             | 306               | 13,1      | 82,5                    | 12,8        | 78,2                      | 83           |

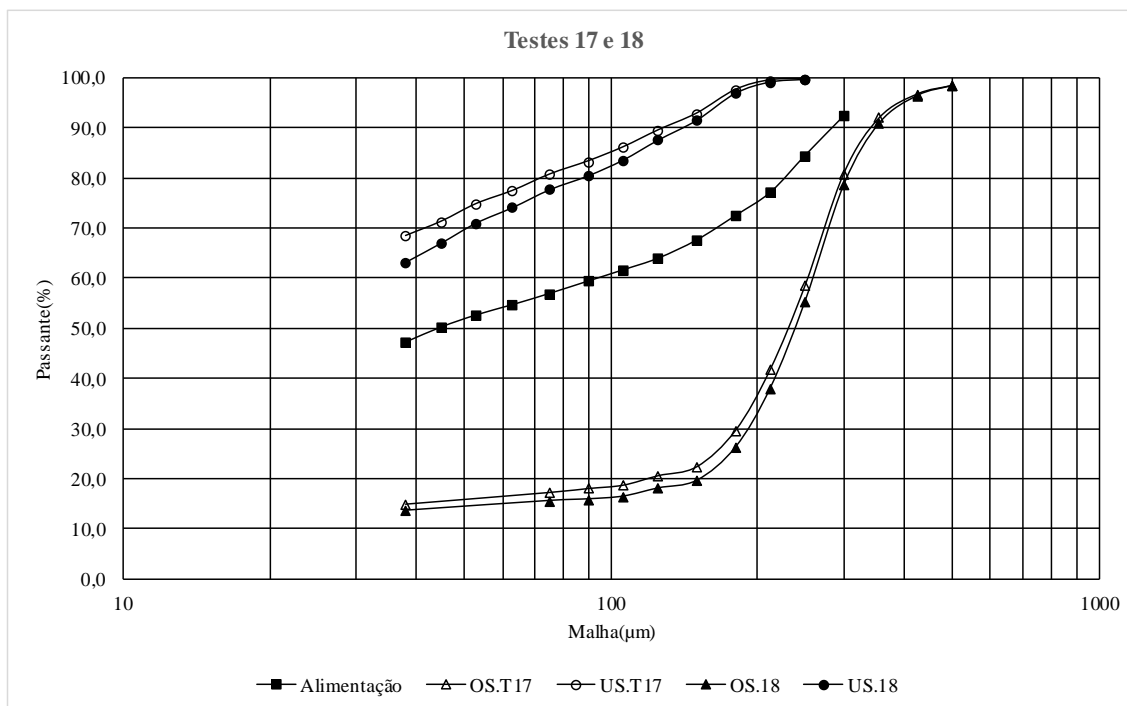


Figura 5.50 - Curvas granulométricas testes 17 e 18, malha 180 $\mu$ m

Os testes 19 e 20 com taxa de 136t/h e sólidos de 45%. Os testes estão representados na tabela V.20 e figura 5.51.

Tabela V.20 - Testes 19 e 20, malha de 180 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 19    | Alim. | 136   | 100   | 45      | 226        | 41,0 | 42,4             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 77    | 56,0  | 37      | 78         | 59,5 | 14,8             | 82,7 | 19,7               | 87    |
|       | OS    | 60    | 44,0  | 61      | 298        | 16,0 | 78,0             | 17,3 | 80,3               | 86    |
| 20    | US    | 81    | 59,0  | 33      | 80         | 59,1 | 17,2             | 84,5 | 24,2               | 89    |
|       | OS    | 55    | 41,0  | 57      | 306        | 15,9 | 79,0             | 15,5 | 75,8               | 84    |

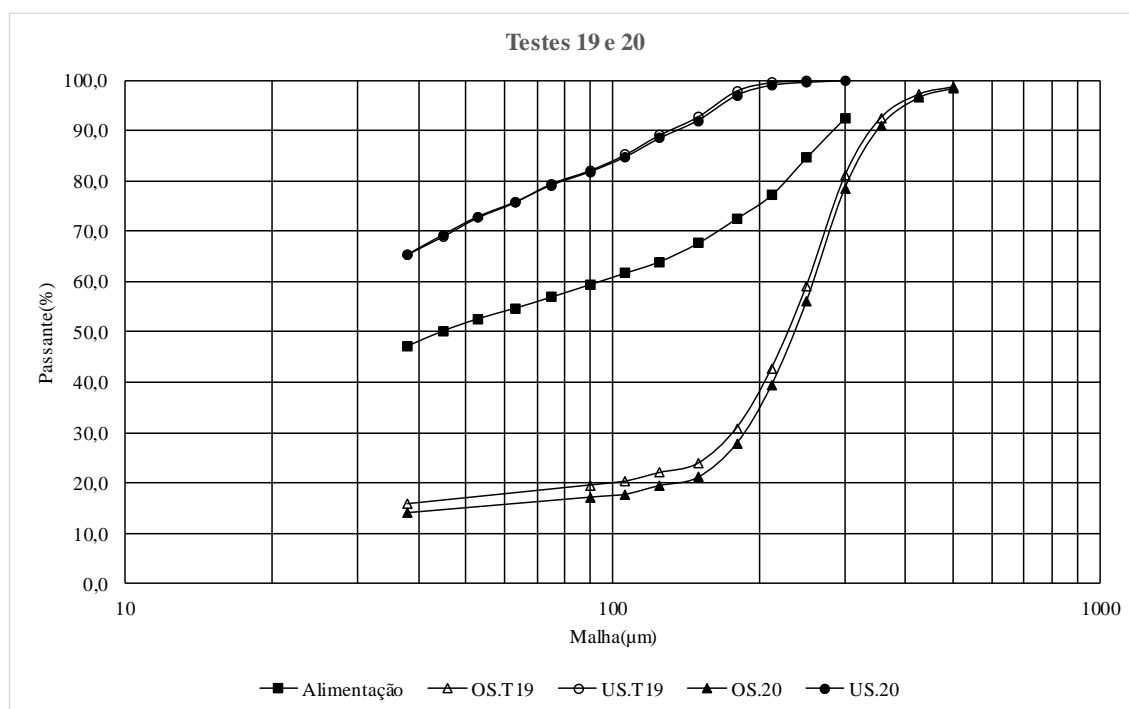


Figura 5.51 - Curvas granulométricas testes 19 e 20, malha 180 $\mu$ m

Na realização dos testes da malha de 180 $\mu$ m ocorreu formação de espuma na polpa, o que limitou um pouco a taxa de alimentação. Dentre todos os testes pode se destacar o teste 14, pois apresentou uma taxa de 134t/h, uma redução de 58% do teor de SiO<sub>2</sub> para o *undersize* e recuperação metalúrgica de 91,3%. A figura 5.52 apresenta o gráfico de contorno com as regiões para obtenção de melhores recuperações para o *undersize*.

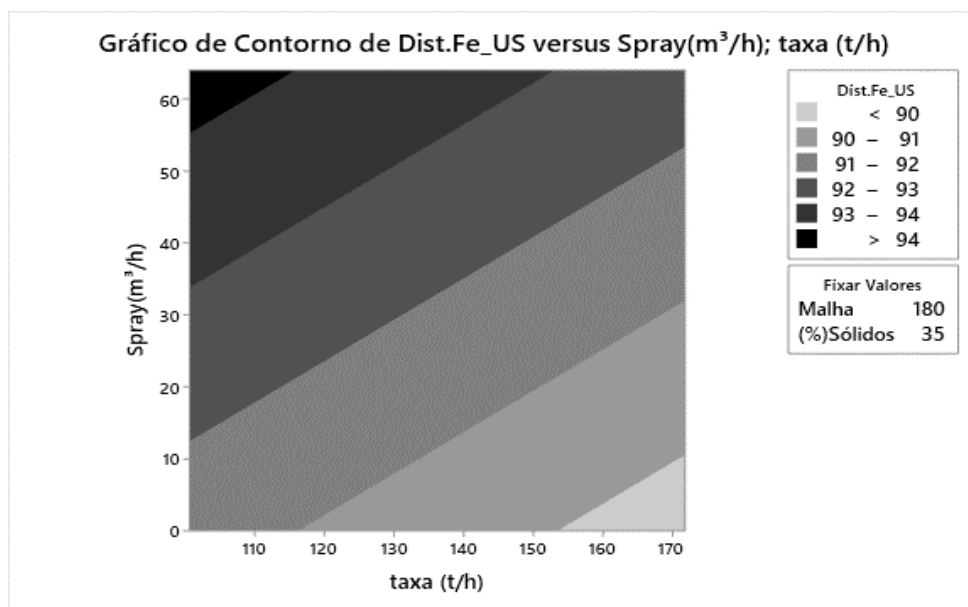


Figura 5.52 - Gráfico de contorno malha 180μm, testes Derrick

O gráfico de contorno da malha de 180μm indica que, para obter maiores recuperações para o *undersize* a 35% de sólidos, deve-se utilizar o spray e taxa de até 150t/h.



### 5.4.3 Testes na malha de 212 $\mu$ m

Os testes na malha de 212 $\mu$ m também foram os mais promissores. Apresentaram maiores taxas de alimentação e recuperações mais elevadas para o *undersize*, sem grandes alterações na qualidade do passante da peneira, quando comparado aos testes em 150 e 180 $\mu$ m. Os testes na malha com abertura de 212 $\mu$ m foram realizados com e sem utilização do spray, com sólidos de 35% e 45% na alimentação da peneira. Os testes 21 e 22 com taxa de 105t/h estão representados na tabela V.21 e figura 5.53.

Tabela V.21 - Testes 21 e 22, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa  | Massa | Sólidos | P80        | Fe   | SiO <sub>2</sub> | D_Fe | D_SiO <sub>2</sub> | Efic. |
|-------|-------|-------|-------|---------|------------|------|------------------|------|--------------------|-------|
|       |       | (t/h) | (%)   | (%)     | ( $\mu$ m) | (%)  | (%)              | (%)  | (%)                | (%)   |
| 21    | Alim. | 105   | 100   | 35      | 237        | 41,4 | 43,0             | 100  | 100                | -     |
|       | US    | 74    | 70,0  | 28      | 111        | 56,2 | 21,5             | 95,7 | 35,3               | 96    |
|       | OS    | 31    | 30,0  | 72      | 332        | 5,9  | 92,3             | 4,3  | 64,7               | 75    |
| 22    | US    | 73    | 70,0  | 25      | 115        | 57,9 | 20,7             | 96,5 | 33,3               | 96    |
|       | OS    | 32    | 30,0  | 66      | 331        | 4,9  | 94,8             | 3,5  | 66,7               | 72    |

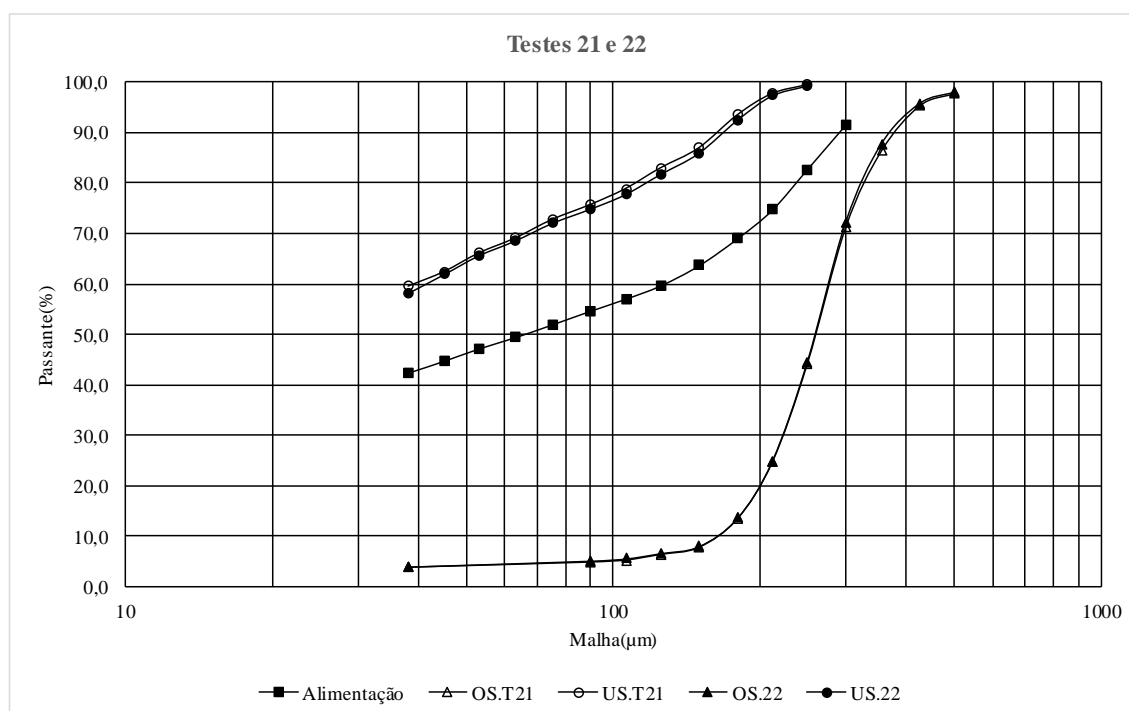


Figura 5.53 - Curvas granulométricas testes 21 e 22, malha 212 $\mu$ m

Os testes 23 e 24 com taxa de 126t/h estão representados na tabela V.22 e figura 5.54.

Tabela V.22 - Testes 23 e 24, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 23    | Alim. | 126           | 100          | 35             | 237               | 41,2      | 42,7                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 88            | 70,0         | 28             | 112               | 56,4      | 21,6                    | 95,3        | 35,4                      | 98           |
|       | OS    | 38            | 30,0         | 71             | 339               | 6,4       | 91,2                    | 4,7         | 64,6                      | 74           |
| 24    | US    | 89            | 71,0         | 26             | 115               | 55,8      | 22,1                    | 95,9        | 36,5                      | 96           |
|       | OS    | 37            | 29,0         | 64             | 331               | 5,7       | 92,5                    | 4,1         | 63,5                      | 73           |

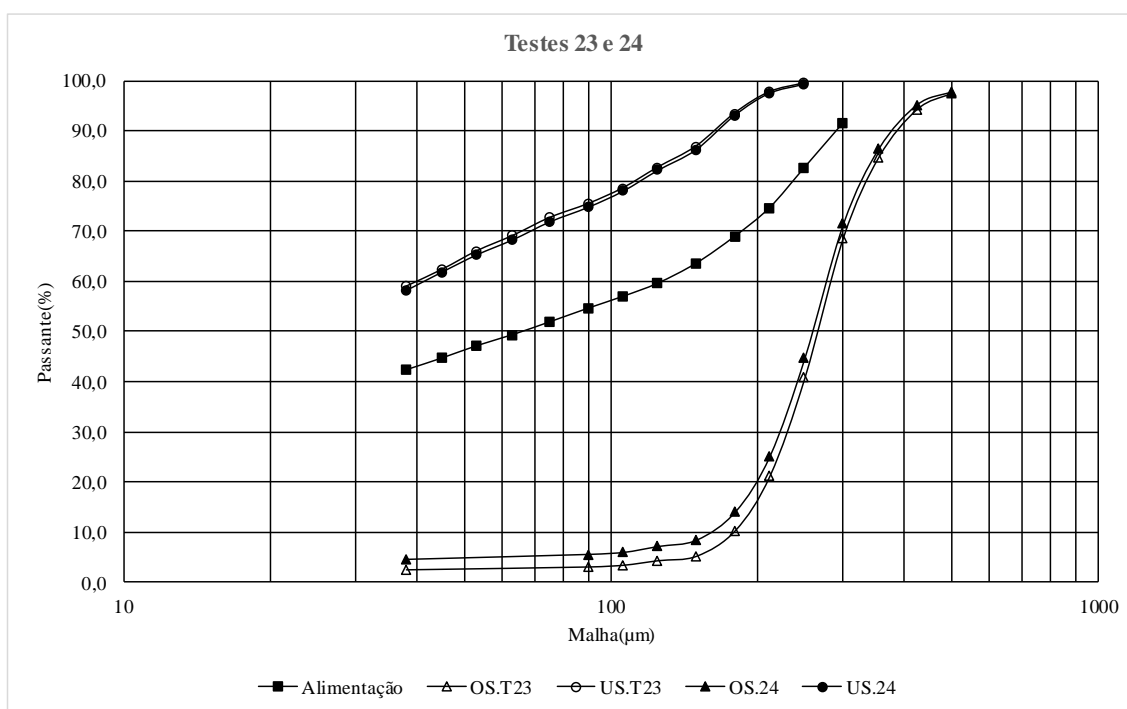


Figura 5.54 - Curvas granulométricas testes 23 e 24, malha 212 $\mu$ m

Os testes 25 e 26 com taxa de 151t/h estão representados na tabela V.23 e figura 5.55.

Tabela V.23 - Testes 25 e 26, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 25    | Alim. | 151           | 100          | 35             | 237               | 41,1      | 42,7                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 104           | 69,0         | 28             | 115               | 56,6      | 21,5                    | 94,6        | 34,6                      | 94           |
|       | OS    | 47            | 31,0         | 68             | 327               | 7,1       | 89,4                    | 5,4         | 65,4                      | 75           |
| 26    | US    | 106           | 70,0         | 26             | 138               | 56,1      | 21,9                    | 95,6        | 36,0                      | 96           |
|       | OS    | 45            | 30,0         | 63             | 333               | 6,1       | 91,6                    | 4,4         | 64,0                      | 73           |

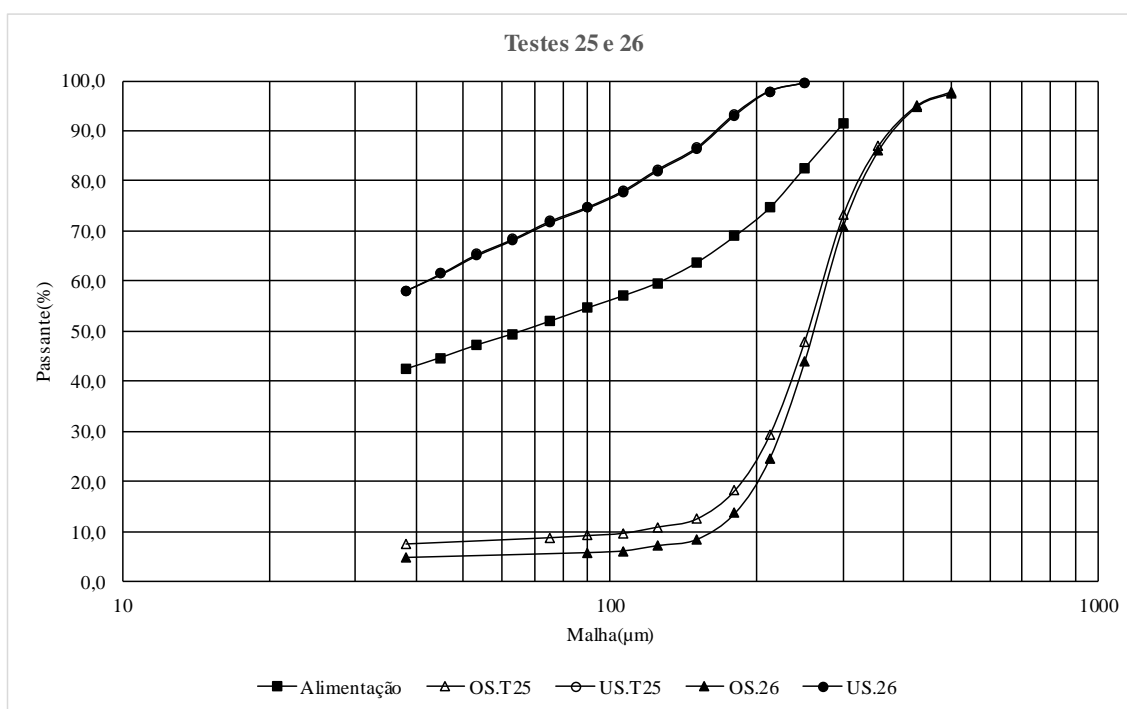


Figura 5.55 - Curvas granulométricas testes 25 e 26, malha 212 $\mu$ m

Os testes 27 e 28 com taxa de 172t/h estão representados na tabela V.24 e figura 5.56.

Tabela V.24 - Testes 27 e 28, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 27    | Alim. | 172           | 100          | 35             | 237               | 41,2      | 42,6                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 118           | 69,0         | 28             | 116               | 56,1      | 21,8                    | 93,4        | 35,0                      | 95           |
|       | OS    | 54            | 31,0         | 65             | 328               | 8,6       | 81,8                    | 6,6         | 65,0                      | 74           |
| 28    | US    | 120           | 70,0         | 26             | 116               | 55,9      | 21,8                    | 95,4        | 35,6                      | 96           |
|       | OS    | 52            | 30,0         | 62             | 331               | 6,4       | 91,7                    | 4,6         | 64,4                      | 73           |

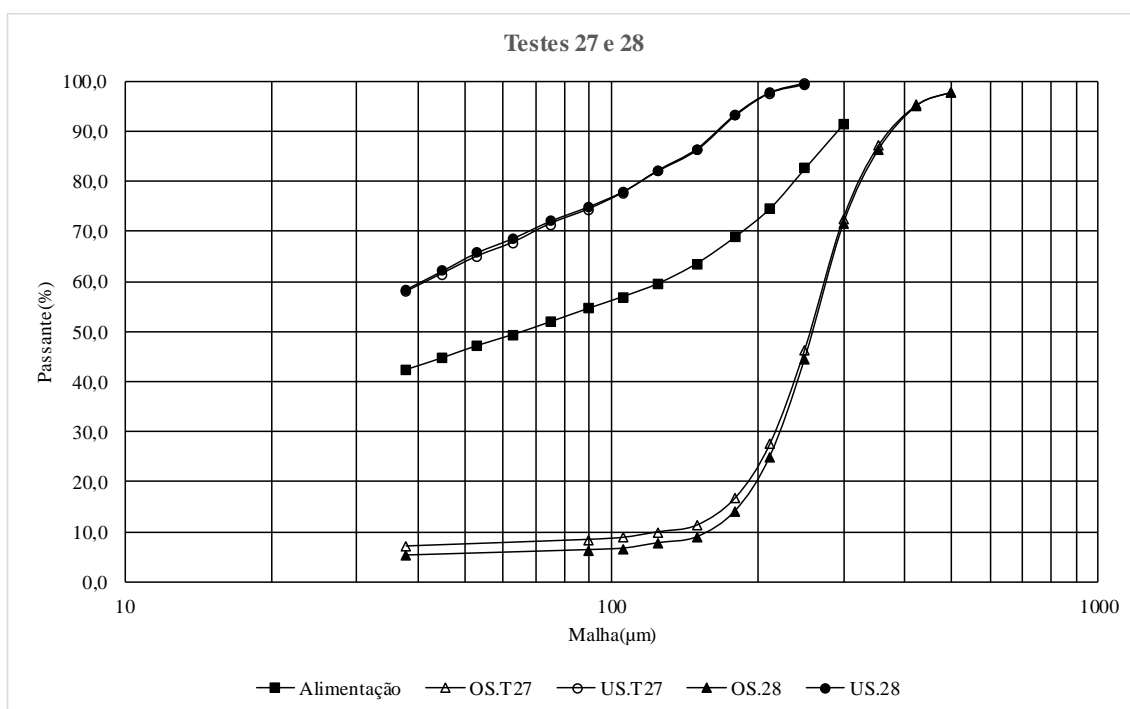


Figura 5.56 - Curvas granulométricas testes 27 e 28, malha 212 $\mu$ m

Os testes de 29 ao 36 foram realizados elevando o percentual de sólidos da polpa de 35 para 45% na alimentação de peneira. Os testes 29 e 30 foram realizados com taxa de 105t/h, estão representados na tabela V.25 e figura 5.57.

Tabela V.25 - Testes 29 e 30, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 29    | Alim. | 105           | 100          | 35             | 223               | 41,2      | 42,6                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 69            | 66,0         | 37             | 103               | 58,9      | 17,8                    | 93,3        | 28,0                      | 95           |
|       | OS    | 36            | 34,0         | 70             | 325               | 8,3       | 89,7                    | 6,7         | 72,0                      | 72           |
| 30    | US    | 74            | 70,0         | 32             | 119               | 55,6      | 22,5                    | 94,3        | 37,3                      | 96           |
|       | OS    | 31            | 30,0         | 63             | 329               | 7,9       | 89,5                    | 5,7         | 63,7                      | 71           |

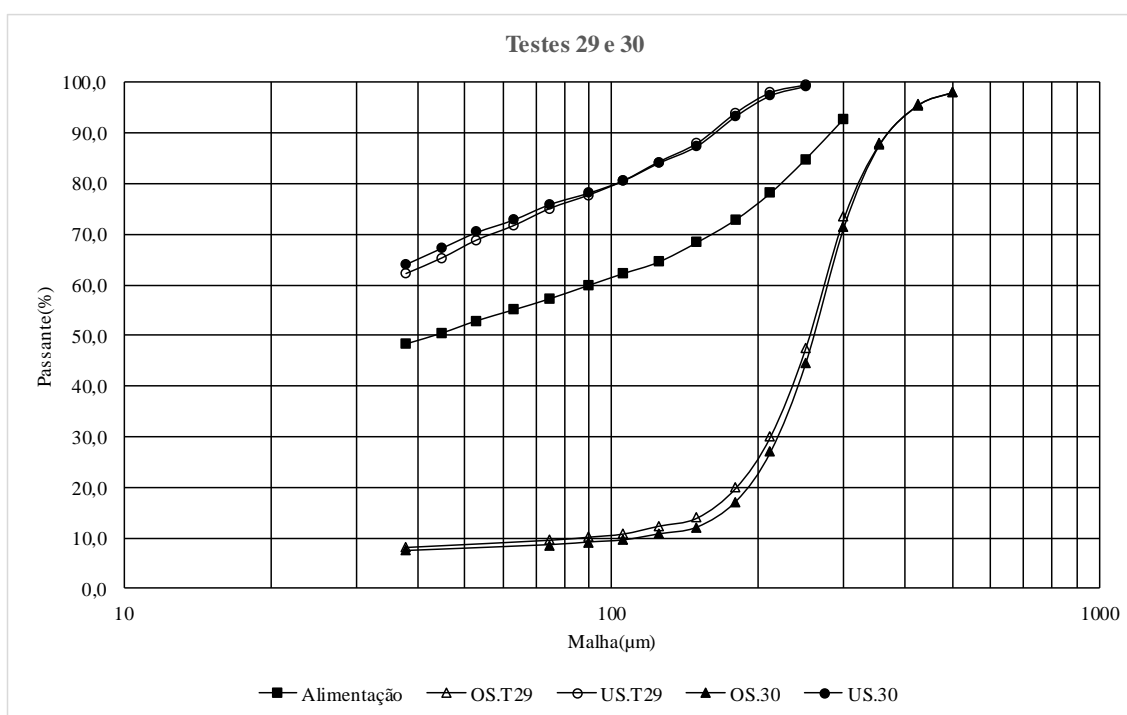


Figura 5.57 - Curvas granulométricas testes 29 e 30, malha 212 $\mu$ m

Os testes 31 e 32 foram realizados com taxa de 122t/h, estão representados na tabela V.26 e figura 5.58.

Tabela V.26 - Testes 31 e 32, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 31    | Alim. | 122           | 100          | 35             | 223               | 41,8      | 42,4                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 81            | 67,0         | 39             | 101               | 58,7      | 18,5                    | 93,7        | 29,1                      | 96           |
|       | OS    | 41            | 33,0         | 63             | 332               | 7,9       | 89,8                    | 6,3         | 70,9                      | 72           |
| 32    | US    | 86            | 70,0         | 33             | 106               | 56,9      | 21,4                    | 94,9        | 35,2                      | 96           |
|       | OS    | 37            | 30,0         | 67             | 325               | 7,1       | 91,0                    | 5,1         | 64,8                      | 70           |

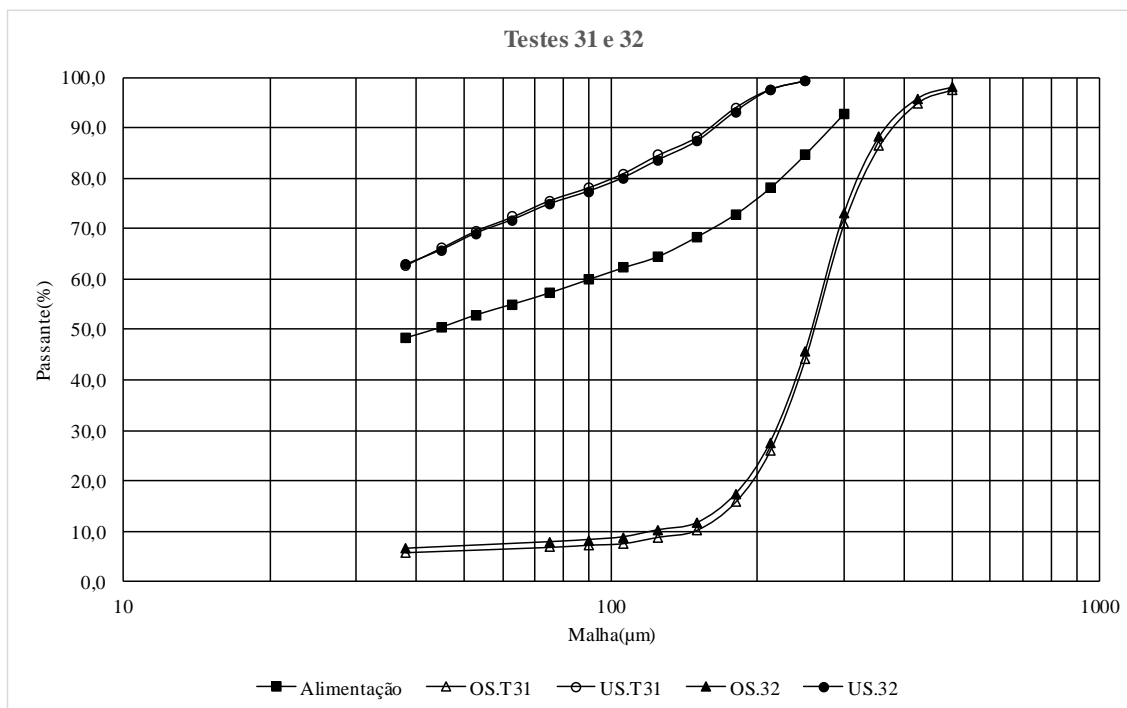


Figura 5.58 - Curvas granulométricas testes 31 e 32, malha 212 $\mu$ m

Os testes 33 e 34 foram realizados com taxa de 146t/h, estão representados na tabela V.27 e figura 5.59.

Tabela V.27 - Testes 33 e 34, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 33    | Alim. | 146           | 100          | 45             | 223               | 41,9      | 42,3                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 99            | 68,0         | 38             | 110               | 56,9      | 21,3                    | 92,0        | 34,1                      | 94           |
|       | OS    | 47            | 32,0         | 69             | 321               | 10,3      | 86,0                    | 8,0         | 65,9                      | 69           |
| 34    | US    | 99            | 68,0         | 34             | 103               | 57,1      | 21,4                    | 92,7        | 34,3                      | 95           |
|       | OS    | 47            | 32,0         | 64             | 326               | 9,6       | 86,7                    | 7,3         | 65,7                      | 71           |

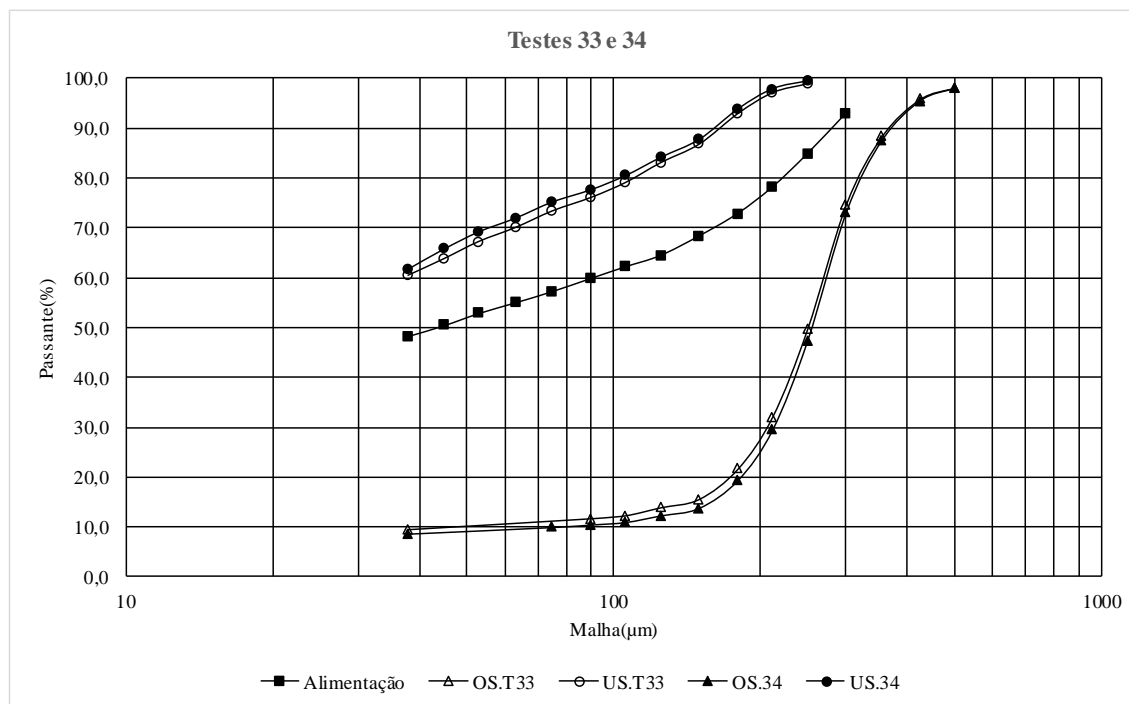


Figura 5.59 - Curvas granulométricas testes 33 e 34, malha 212 $\mu$ m

Os testes 35 e 36 foram realizados com taxa de 169t/h, estão representados na tabela 5.28 e figura 5.60.

Tabela V.28 - Testes 35 e 36, malha de 212 $\mu$ m

| Teste | Fluxo | Taxa<br>(t/h) | Massa<br>(%) | Sólidos<br>(%) | P80<br>( $\mu$ m) | Fe<br>(%) | SiO <sub>2</sub><br>(%) | D_Fe<br>(%) | D_SiO <sub>2</sub><br>(%) | Efic.<br>(%) |
|-------|-------|---------------|--------------|----------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------|---------------------------|--------------|
| 35    | Alim. | 169           | 100          | 45             | 223               | 41,9      | 42,3                    | 100         | 100                       | -            |
|       | US    | 114           | 67,0         | 38             | 110               | 56,7      | 21,4                    | 91,0        | 34,2                      | 94           |
|       | OS    | 55            | 33,0         | 66             | 322               | 11,5      | 84,5                    | 9,0         | 65,8                      | 70           |
| 36    | US    | 113           | 67,0         | 34             | 125               | 58,4      | 19,0                    | 93,1        | 30,0                      | 95           |
|       | OS    | 56            | 33,0         | 60             | 327               | 8,6       | 88,3                    | 6,9         | 70,0                      | 71           |

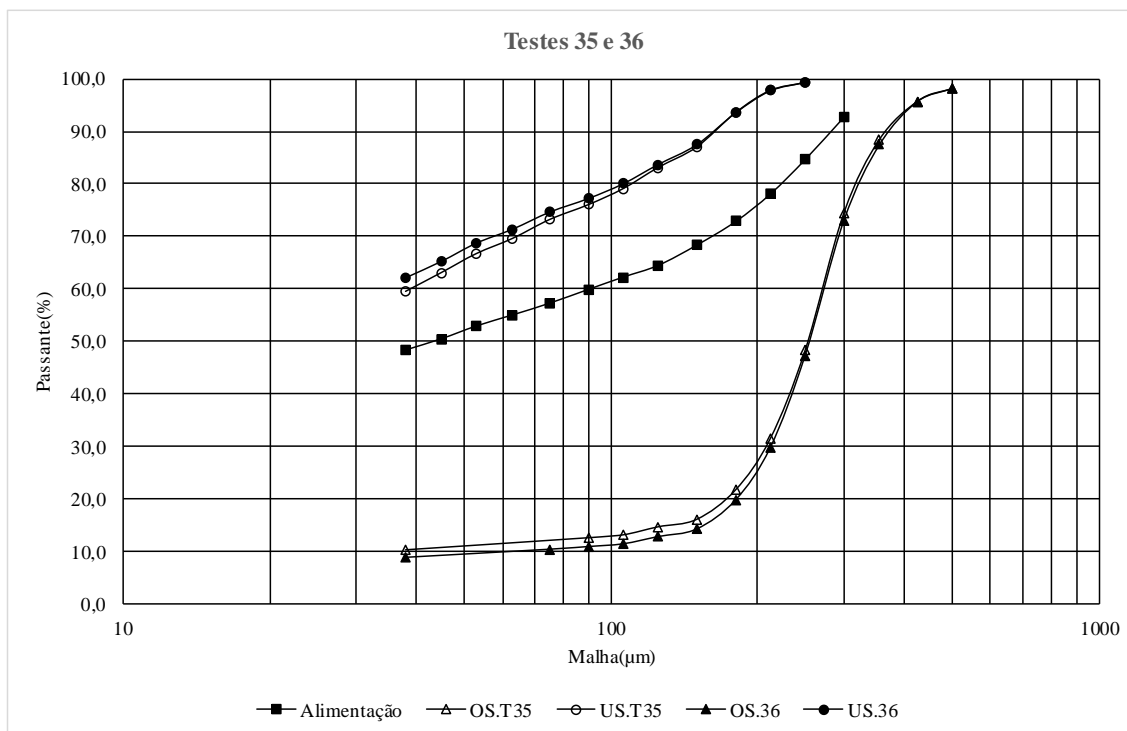


Figura 5.60 - Curvas granulométricas testes 35 e 36, malha 212 $\mu$ m

Para os testes em 212 $\mu$ m, o melhor resultado foi o 28, pois apresentou uma taxa de 172t/h com uma redução de SiO<sub>2</sub> de 49% e recuperação metalúrgica de 95,4% para o *undersize*. A granulometria também apresentou resultado de P80 de 116 $\mu$ m, muito próximo ao P80 de 118 $\mu$ m, contemplado em projeto para a alimentação da flotação. A figura 5.61 representa o gráfico de contorno para a malha de 212 $\mu$ m.



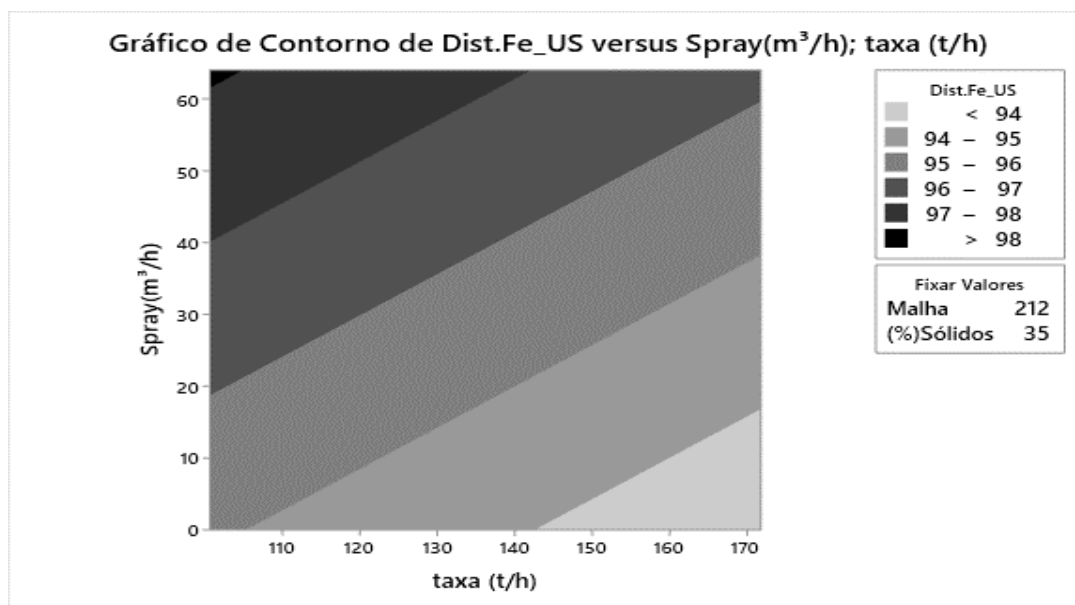


Figura 5.61 - Gráfico de contorno para a malha de 212 $\mu$ m

O gráfico de contorno indica que a operação a uma taxa de 170t/h e utilização do spray de 20 a 60m<sup>3</sup>/h resulta em recuperações superiores a 96% para o *undersize*.

Assim como os testes da Metso, a principal variável foi a abertura da malha. A malha de 212 $\mu$ m resultou em produtos *undersizes* com características adequadas para retornar para a flotação nos estágios *rougher* ou *cleaner*. Além disso, a malha apresentou alta capacidade, podendo reduzir o número de peneiras para o projeto.

As malhas de 150 e 180 $\mu$ m também apresentaram resultados satisfatórios, tendo como desvantagem a capacidade menor.

A figura 5.62 representa os gráficos de principais efeitos contemplando as principais variáveis.

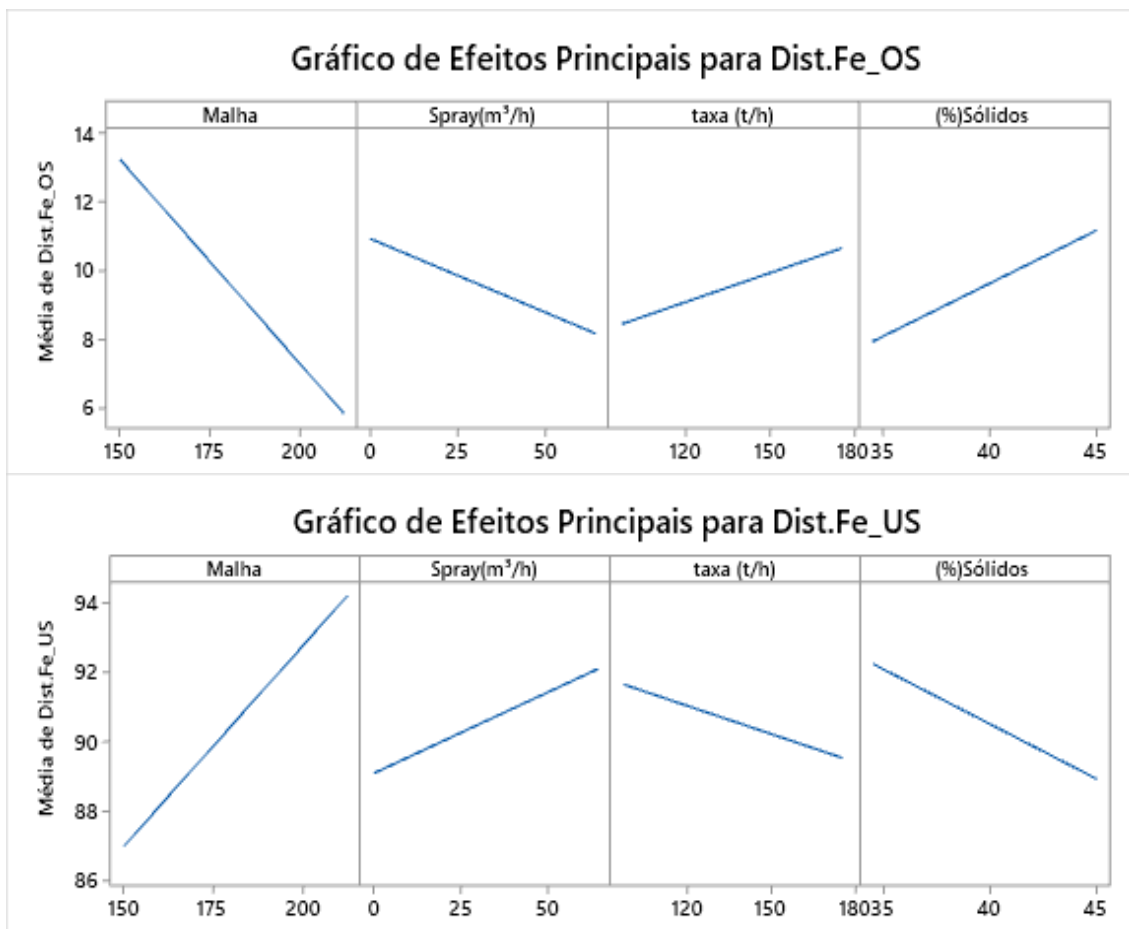


Figura 5.62 - Gráficos de principais efeitos distribuição de Fe para *oversize* e *undersize* dos testes na *Super Stack Sizer*

A figura 5.63 representa os gráficos de contorno para os testes na *Super Stack Sizer*.

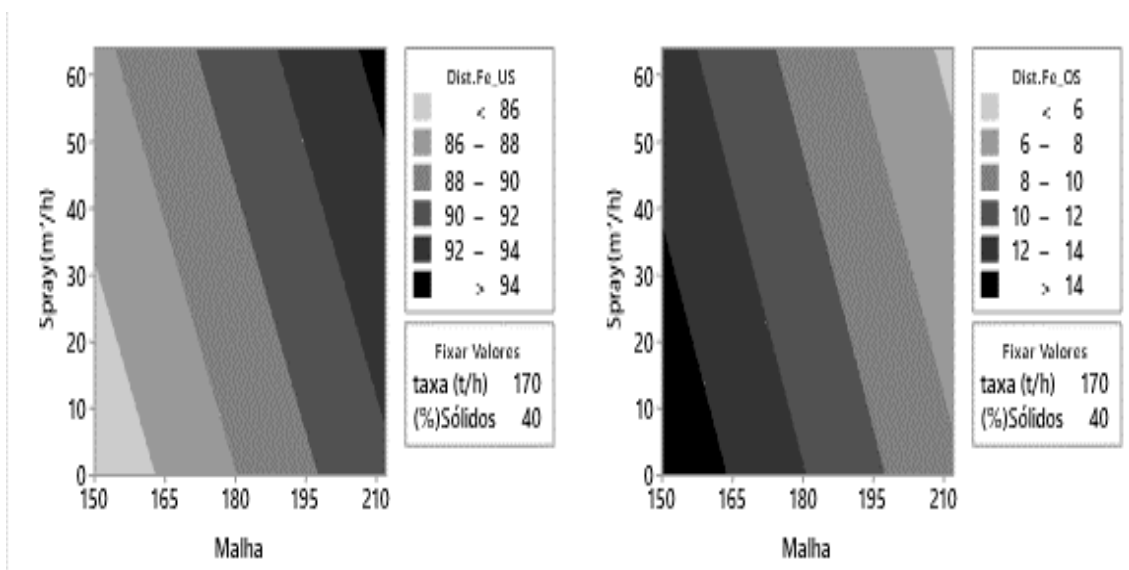


Figura 5.63 - Gráficos contorno para os testes na *Super Stack Sizer*

Os gráficos de contorno que apresentam o percentual da distribuição de Fe para *undersize* e *oversize* indicam que a peneira de 212 $\mu$ m é a mais eficiente. A utilização da malha de 212 $\mu$ m resultou em baixa perda metálica para o *oversize* e elevada recuperação de Fe para o *undersize*, além de apresentar maior capacidade.

Com dados reais de amostragens da planta, foi realizado um balanço de massas com o melhor teste com a peneira Derrick, utilizando a razão de enriquecimento de 1,36 encontrada no teste 28, com uma carga circulante com teor de Fe próximo ao dos testes de peneiramento. Com o balanço, obteve-se um ganho em recuperação de massa de 0,93%. As figuras 5.64 e 5.65 apresentam os balanços sem e com a utilização da peneira no circuito.

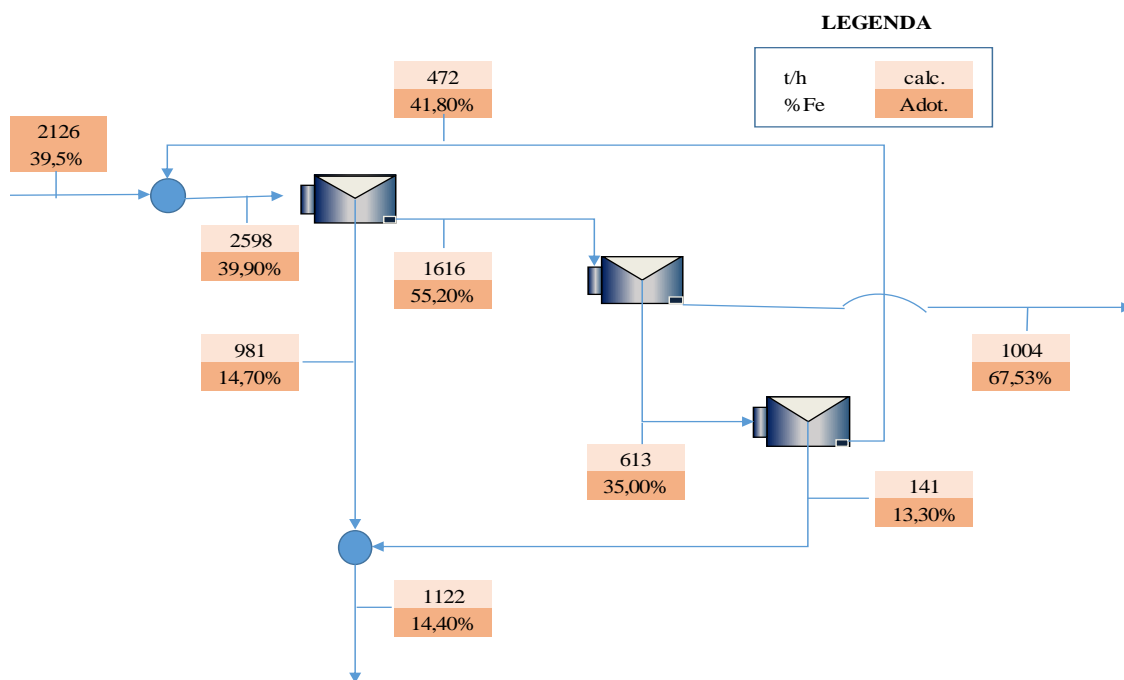


Figura 5.64 - Balanço de massas para os testes com a Derrick sem a utilização das peneiras

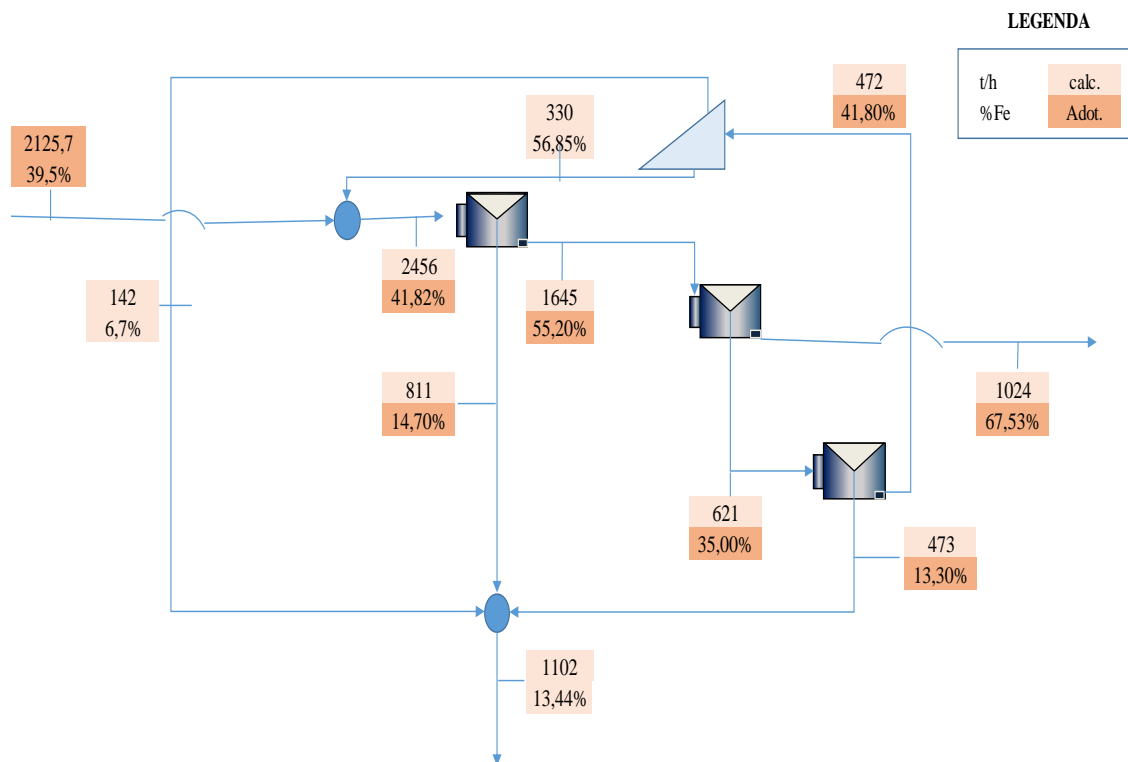


Figura 5.65 - Balanço de massas para os testes com a Derrick com a utilização das peneiras

A elevação na recuperação mássica de 0,93% corresponde a 20t/h por linha, considerando uma disponibilidade de 92% da planta de beneficiamento. Essa elevação resulta, ao final do ano, no aumento de aproximadamente 322.000 toneladas de produto, ou 3 navios de concentrado.

## 6 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostraram evidências do benefício da remoção do quartzo maior que  $>150\mu\text{m}$  da carga circulante;

As análises químicas por faixa indicaram que em média 72% da  $\text{SiO}_2$  do fluxo está presente na fração  $>150\mu\text{m}$  com apenas 4% do Fe total;

Por meio das análises e testes realizados em escala laboratorial, observa-se uma tendência significativa de melhora na qualidade do produto final: redução de 1% no teor de  $\text{SiO}_2$ , ao realizar o peneiramento da carga circulante;

Ao multiplicar os teores da carga circulante de Fe pela razão de enriquecimento de 1,45, o número de vezes que o circuito de flotação está em equilíbrio passa de 23 para 66%;

Com os testes na UFS da Metso, concluiu-se que a malha que apresentou os melhores resultados foi a de  $212\mu\text{m}$ , apresentando elevada capacidade 167t/h e produtos dentro das especificações desejadas;

O peneiramento na peneira UFS da Metso resultou na redução de 56% da  $\text{SiO}_2$  total. O *undersize* (carga circulante) passou de 36% para 55% de Fe, com uma recuperação metalúrgica de 94%. O *oversize* apresentou um teor de Fe de 5,9%, podendo ser direcionado para o espessador de rejeitos.

Nos testes na *Super Stack Sizer*, a malha que apresentou taxas mais elevadas e produtos dentro das especificações desejadas foi a de  $212\mu\text{m}$ . Por sua vez, as malhas de 150 e  $180\mu\text{m}$  também apresentaram bons resultados, mas com menores capacidades.

Os testes na *Super Stack Sizer* da Derrick com a malha de  $212\mu\text{m}$  resultaram na redução de 49% da  $\text{SiO}_2$  total e recuperação de metalúrgica de 95,4%. O teor de Fe do *undersize* (carga circulante) passou de 41,2% para 56% de Fe, a taxa de 172t/h;

O rejeito de flotação do Minas/Rio apresenta em média um teor de 12% de Fe. Os *oversizes* dos testes na malha de 212 $\mu$ m apresentaram um teor de Fe de aproximadamente 6%, não sendo necessário reprocessar esse material;

Utilizando-se a razão de enriquecimento de 1,45 encontrada no teste 15 da UFS Metso para o fechamento de um balanço de massas com peneiramento e com carga circulante com teor de 25% de Fe, obteve-se um ganho de produção anual. Observou-se uma elevação de 0,18% na recuperação mássica total, resultando em um ganho de produção anual de 84.138 toneladas de concentrado por ano;

Para um teor de carga circulante de 41% de Fe, utilizando-se a razão de enriquecimento de 1,39 encontrada no teste 28 da Derrick e fechando um balanço de massas, obteve-se um ganho de 0,93% de recuperação mássica. Isso equivale a uma elevação anual da ordem de 322.000 toneladas de concentrado.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Realização de amostragens da carga circulante da flotação, com o objetivo de determinar nova partição do fluxo após elevação do teor de Fe alimentado na planta de beneficiamento.

Utilizando o software JKSimMet realizar simulações de peneiramento de alta frequência, com os modelos disponíveis, para determinar partição, granulometria e teores dos produtos da peneira.

## 8 REFERÊNCIAS

AMORIM, I.B.S.F. *Influência do Tamanho das Partículas na Flotação*, Góias, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Góias, 2013.

AHMED N, JAMESON. *The Effect of Bubble Size on the Rate of Flotation Fine Particles*. International Journal of Mineral Processing, pp. 195-215, 1985.

BRAGA, J.M.M. *Efeito do scalping de Quartzo Grosso na Flotação Catiônica Reversa de Minério de Ferro*, Belo Horizonte, Tese de Mestrado, CPGEM, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

CARVALHO, W.R., MARTINS, J. *Análise do Efeito da Granulometria da Quartzo na Flotação Convencional Reversa de Minério de Ferro*, Ouro Preto, Revista da Escola de Minas, vol 58 n° 3, 2005.

CARVALHO, M.A. *Avaliação da Disposição de Moinhos em Circuitos de Moagem de Minério de Ferro*, Ouro Preto, Tese de Mestrado, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2015.

CASSIMIRO, A.S. *Limpeza de Telas de Peneiras de Alta Frequência, Seleção do Melhor Reagente e Concentração com Aplicação Industrial*, Góias, Monografia, Universidade Federal de Góias, 2015.

CATÁLOGO METSO MINERALS, *Peneira de Alta Frequência*, Sorocaba, 2017.

CLARK, B. H. *The Derrick Stack Sizer™ Revolutionary Advancements in Wet Screening Technology*, Canada, 39th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, 2007.

CORREIA, J.C.G. *Peneiramento e Classificação*. In: LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. (ED). *Tratamento de Minérios Ed 5*. Cap. 6. Pp 197 a 297. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.



CRUZ, M.R.; *Flotação Fracionada: Aumento do Rendimento da Flotação Através da Divisão da Alimentação em Duas Frações Granulométricas*, Belo Horizonte, Tese de Mestrado, CPGEM, Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

ESTEVES, G.Q., CABRAL, M.T.S., MAZON, R., JESUS, W. *Peneiras de Alta Frequência no Beneficiamento Mineral*, Belo Horizonte, 44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 10p. 2014.

FERREIRA, V.M.; DONDA, J.D.; PEREZ, A.E.C. *Avaliação da Produção de um Super-Concentrado de Minério de Ferro*, Ouro Preto, Revista Escola de Minas, vol 56, nº 3, 2003.

GALERY, R., VALADÃO, G.E.S., MONTENEGRO, L.C.M. *Introdução ao Tratamento de Minérios*, Cap 6, ed. 1, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2012.

GONÇALVES, T.A.R. *Técnicas de Microscopia Ótica, Microscopia Eletrônica de Varredura Automatizada (QEMSCAN®) e Análise de Imagens Aplicadas a Diferentes Tipologias de Minério de Ferro*, Belo Horizonte, Tese de Mestrado, CPGEM, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

GUPTA, A.; YAN, D. S. Classification. In. *Mineral Processing Design na Operations: An Introduction*. Cap 12, 1st ed (SL) Elsevier Science, 2006.

HERNÁNIZ, F., CALERO, M. Froth Flotation: *Kinetic Models Based on Chemical Analogy*. Chem. Eng. and Process (40): 269-275, 2001.

LEJA, J. *Surface Chemistry of Froth Flotation*, New York, Plenum Press, 758p.,1982.

LUZ, J.A.M.; CARVALHO, S.C.; *Modelamento Matemático de Peneiramento Vibratório (parte I): Dimensionamento Clássico*, Ouro Preto, Revista Escola de Minas, volume 58, no 1, 2005.

MULAR, A.L. Size Separation. In: FURSTERNAU, M.C.; NAN, K.N. (ED). *Principles of Mineral Processing*. Cap 4, ed 1. Colorado: SME Society for Mining Metallurgy e Exploration, 2003.

PEREZ, A.E.C., SALUM, J.G., VALADÃO, G.E.S., ARAÚJO, A.C., Introdução ao Tratamento de Minérios, Cap 6, ed 1. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2012.

PIMENTEL, D.A., RUSSO, J.F.C., MAZZINGHY, D.B., TURRER, H.D.G. *Efeitos da Granulometria e da Dosagem de Amina na Flotação de Itabiritos*. Revista, Holos, ano 30, vol 4, pp. 118 – 125, 2014.

REVISTA BRASIL MINERAL, São Paulo: Ed. 382. 92p. ISSN 0102-4728, julho 2018.

RODRIGUES, W.J., FILHO, LSL. *A Importância da Hidrodinâmica na Cinética de Flotação de Partículas Grossas*, Ouro Preto, Revista Escola de Minas, volume 63, nº 4, 2010.

ROGERS, R.S.C. *A Classification Function for Vibrating Screens*, Powder Technology, pp.135-137, 1982.

ROSIN, P.R. *Distribuição do Tamanho de Partículas*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Printed in The Netherlands, Resource Recovery and Conservation, 5, 275 – 277, 1980.

VARGAS, F., NUNAN, T., FERREIRA, M. *Redução do Teor de Zinco no Rejeito a Partir do Uso de Ciclones e Peneiras de Alta Frequência*, Belo Horizonte, Revista Minérios & Minerais, 21º Prêmio de Excelência da Indústria Minerometalúrgica Brasileira, 2019.

VALINE, S.B.; WHELLER, J.E.; ALBUQUERQUE, L.G. *Improved Grinding Circuit Performance with the Derrick Stack Sizer Screen*. Contribuição técnica para o 41º simpósio de redução de minério de ferro e tecnologia mineral. 595:60, 2011.

VIEIRA, A.M. *Efeito da Granulometria na Flotação de Quartzo*, Belo Horizonte. Tese de Doutorado, CPGEM, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

WILLS, B.A; NAPIER MUNN, T.J. Classification. In.; *Mineral Processing Technology*. Capítulo 8. 7th ed. (SL): Butterworth-Heinemann, 2006.

## ANEXOS

### Anexo 1 – Resultados dos Testes de Flotação em Bancada

| Teste | Aa(g/t) | Alimentação Nova | Teor Carga circulante | Carga Circulante | SiO <sub>2</sub> _c | I.S   | RM    | R.Metal |
|-------|---------|------------------|-----------------------|------------------|---------------------|-------|-------|---------|
| 1     | 50      | 37,6             | 43,6                  | Sem peneirar     | 3,02                | 11,66 | 47,08 | 82,03   |
| 2     | 35      | 37,6             | 43,6                  | Sem peneirar     | 5,23                | 8,83  | 48,68 | 82,85   |
| 3     | 50      | 37,6             | 25,8                  | Sem peneirar     | 3,19                | 10,71 | 42,18 | 77,27   |
| 4     | 35      | 37,6             | 25,8                  | Sem peneirar     | 6,26                | 8,73  | 47,29 | 83,71   |
| 5     | 50      | 31,8             | 43,6                  | Sem peneirar     | 3,72                | 8,34  | 30,46 | 61,01   |
| 6     | 35      | 31,8             | 43,6                  | Sem peneirar     | 5,01                | 7,72  | 33,94 | 66,94   |
| 7     | 50      | 31,8             | 25,8                  | Sem peneirar     | 3,67                | 8,39  | 26,82 | 56,57   |
| 8     | 50      | 31,8             | 25,8                  | Sem peneirar     | 4,07                | 8,01  | 26,01 | 55,76   |
| 9     | 35      | 31,8             | 25,8                  | Sem peneirar     | 7,38                | 6,51  | 32,14 | 65,68   |
| 10    | 50      | 37,6             | 62,4                  | Peneirada        | 1,8                 | 13,70 | 45,50 | 78,62   |
| 11    | 35      | 37,6             | 62,4                  | Peneirada        | 4,95                | 9,60  | 50,65 | 85,14   |
| 12    | 50      | 37,6             | 37,2                  | Peneirada        | 2,25                | 12,97 | 43,93 | 78,98   |
| 13    | 35      | 37,6             | 37,2                  | Peneirada        | 3,92                | 11,53 | 49,05 | 85,76   |
| 14    | 50      | 31,8             | 62,4                  | Peneirada        | 2,63                | 9,90  | 30,36 | 60,84   |
| 15    | 35      | 31,8             | 62,4                  | Peneirada        | 4,73                | 8,42  | 33,82 | 68,75   |
| 16    | 35      | 31,8             | 62,4                  | Peneirada        | 5,02                | 7,55  | 36,48 | 68,63   |
| 17    | 50      | 31,8             | 37,2                  | Peneirada        | 3,56                | 8,36  | 27,12 | 56,37   |
| 18    | 50      | 31,8             | 37,2                  | Peneirada        | 3,77                | 8,45  | 28,98 | 59,88   |
| 19    | 35      | 31,8             | 37,2                  | Peneirada        | 6,26                | 7,47  | 34,98 | 70,49   |

### SiO<sub>2</sub> no concentrado

| Termo            | Coef   | EP de |         | Valor-T | Valor-P | VIF |
|------------------|--------|-------|---------|---------|---------|-----|
|                  |        | Coef  | Valor-T |         |         |     |
| Constante        | 4,252  | 0,156 | 27,32   | 0,000   |         |     |
| Aa(g/t)          | -1,169 | 0,154 | -7,59   | 0,000   | 1,01    |     |
| Alimentação Nova | -0,424 | 0,156 | -2,73   | 0,016   | 1,00    |     |
| Carga Circulante | -0,448 | 0,154 | -2,91   | 0,011   | 1,01    |     |

### Sumário do Modelo

| S        | R2     | R2(aj) | R2(pred) |
|----------|--------|--------|----------|
| 0,668404 | 82,11% | 78,53% | 71,04%   |

## Anexo 2 – Resultados dos Testes de Peneiramento na Metso

| Teste | Malha(µm) | Sólidos(%) | Frequência(rpm) | % Massa_US | % Massa_OS | Fe_US | Fe_OS | SiO2_US | SiO2_OS | Dist.Fe_US | Dist.Fe_OS | Dist.SiO2_US | Dist.SiO2_OS |
|-------|-----------|------------|-----------------|------------|------------|-------|-------|---------|---------|------------|------------|--------------|--------------|
| 1     | 150       | 37         | 1800            | 30,6       | 69,4       | 65,2  | 23,3  | 5,7     | 65,6    | 55,2       | 44,8       | 3,7          | 96,3         |
| 2     | 150       | 37         | 1200            | 29,0       | 71,0       | 66,0  | 23,8  | 4,3     | 64,8    | 53,0       | 47,0       | 2,6          | 97,4         |
| 3     | 150       | 49         | 1800            | 22,8       | 77,2       | 64,9  | 27,5  | 4,3     | 60,4    | 42,1       | 57,9       | 2,1          | 97,9         |
| 4     | 150       | 49         | 1200            | 22,8       | 77,2       | 65,5  | 27,7  | 3,8     | 60,0    | 41,1       | 58,9       | 1,8          | 98,2         |
| 5     | 150       | 57         | 1800            | 13,4       | 86,6       | 65,8  | 31,7  | 4,2     | 53,9    | 24,3       | 75,7       | 1,2          | 98,8         |
| 6     | 150       | 57         | 1200            | 76,7       | 23,3       | 66,3  | 27,1  | 3,8     | 60,4    | 42,6       | 57,4       | 1,9          | 98,1         |
| 7     | 180       | 37         | 1800            | 63,1       | 36,9       | 63,8  | 22,8  | 7,8     | 64,7    | 54,9       | 45,1       | 5,0          | 95,0         |
| 8     | 180       | 37         | 1200            | 36,9       | 63,1       | 62,6  | 20,9  | 8,8     | 69,7    | 63,7       | 36,3       | 6,9          | 93,1         |
| 9     | 180       | 49         | 1800            | 72,3       | 27,7       | 62,2  | 26,4  | 8,9     | 61,9    | 47,4       | 52,6       | 5,2          | 94,8         |
| 10    | 180       | 49         | 1200            | 38,3       | 61,7       | 62,2  | 20,3  | 8,6     | 71,1    | 65,6       | 34,4       | 7,0          | 93,0         |
| 11    | 180       | 57         | 1800            | 36,6       | 63,4       | 62,5  | 21,1  | 10,2    | 68,6    | 63,1       | 36,9       | 7,9          | 92,1         |
| 12    | 180       | 57         | 1200            | 38,8       | 61,2       | 62,5  | 19,1  | 9,4     | 71,2    | 67,4       | 32,6       | 7,7          | 92,3         |
| 13    | 212       | 37         | 1800            | 64,3       | 35,7       | 52,3  | 8,1   | 24,0    | 88,3    | 92,1       | 7,9        | 32,8         | 67,2         |
| 14    | 212       | 37         | 2500            | 64,4       | 35,6       | 50,7  | 10,3  | 24,9    | 87,2    | 89,9       | 10,1       | 34,1         | 65,9         |
| 15    | 212       | 49         | 1800            | 62,9       | 37,1       | 54,5  | 5,9   | 20,6    | 91,5    | 94,0       | 6,0        | 27,6         | 72,4         |
| 16    | 212       | 49         | 2500            | 63,0       | 37,0       | 48,0  | 18,3  | 32,2    | 71,6    | 81,7       | 18,3       | 43,4         | 56,6         |
| 17    | 212       | 57         | 1800            | 68,4       | 31,6       | 48,1  | 11,0  | 28,5    | 87,2    | 90,4       | 9,6        | 41,4         | 58,6         |
| 18    | 212       | 57         | 2500            | 65,8       | 34,2       | 50,6  | 9,8   | 27,3    | 84,9    | 90,9       | 9,1        | 38,2         | 61,8         |

### Coefficientes Codificados Distribuição de Fe no *Undersize*

| Termo           | EP de |      |         |         |      |
|-----------------|-------|------|---------|---------|------|
|                 | Coef  | Coef | Valor-T | Valor-P | VIF  |
| Constante       | 64,14 | 2,07 | 31,04   | 0,000   |      |
| Malha(µm)       | 25,24 | 2,98 | 8,47    | 0,000   | 1,59 |
| Sólidos (%)     | -2,72 | 2,35 | -1,16   | 0,266   | 1,00 |
| Frequência(rpm) | -3,56 | 3,58 | -0,99   | 0,338   | 1,59 |

### Sumário do Modelo

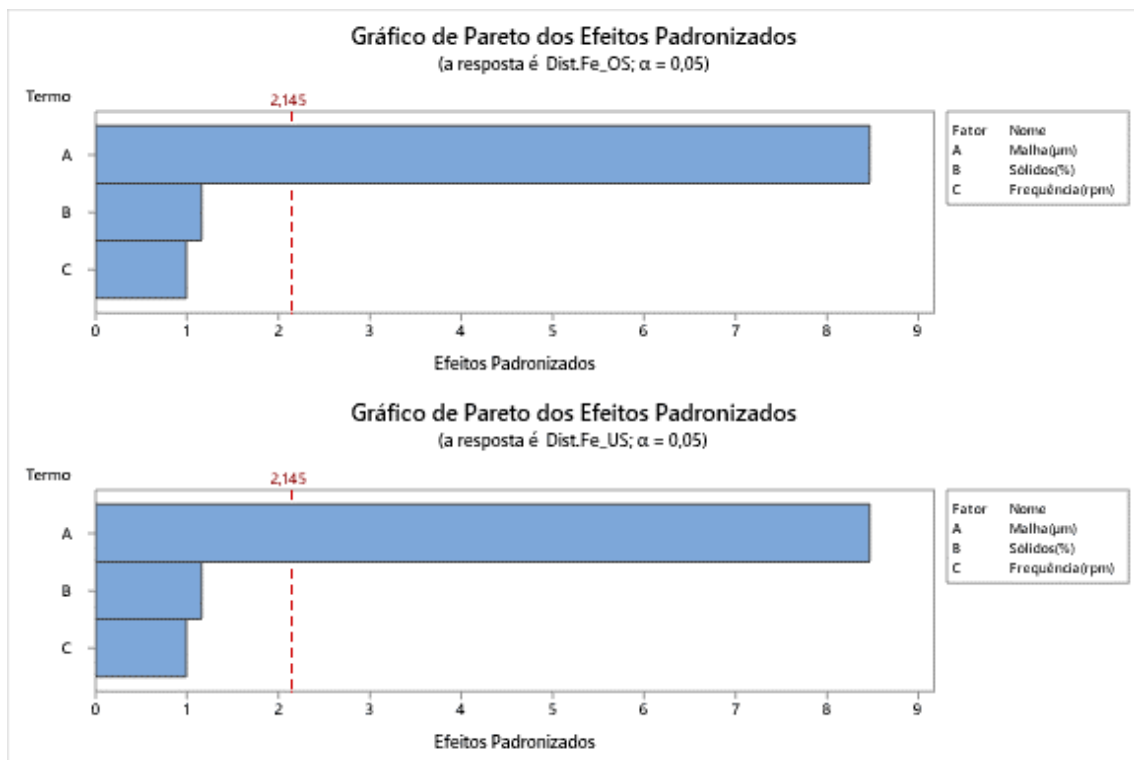
| S       | R2     | R2(aj) | R2(pred) |
|---------|--------|--------|----------|
| 8,19597 | 87,78% | 85,16% | 79,88%   |

### Coefficientes Codificados Distribuição de Fe no *Oversize*

| Termo           | EP de  |      |         |         |      |
|-----------------|--------|------|---------|---------|------|
|                 | Coef   | Coef | Valor-T | Valor-P | VIF  |
| Constante       | 35,86  | 2,07 | 17,35   | 0,000   |      |
| Malha(µm)       | -25,24 | 2,98 | -8,47   | 0,000   | 1,59 |
| Sólidos (%)     | 2,72   | 2,35 | 1,16    | 0,266   | 1,00 |
| Frequência(rpm) | 3,56   | 3,58 | 0,99    | 0,338   | 1,59 |

### Sumário do Modelo

| S       | R2     | R2(aj) | R2(pred) |
|---------|--------|--------|----------|
| 8,19597 | 87,78% | 85,16% | 79,88%   |



### Anexo 3 – Resultados dos Testes de Peneiramento na Derrick

| Malha | Teste | Spray(m <sup>3</sup> /h) | taxa (t/h) | (%Sólidos) | Oversize |            |         | Undersize |            |         | Eficiência |      |      | Teores(%) |         |       |         |
|-------|-------|--------------------------|------------|------------|----------|------------|---------|-----------|------------|---------|------------|------|------|-----------|---------|-------|---------|
|       |       |                          |            |            | Massa(%) | Sólidos(%) | > 150µm | Massa(%)  | Sólidos(%) | > 150µm | EO         | EU   | EG   | Fe_US     | SiO2_US | Fe_OS | SiO2_OS |
| 150   | 5     | 0                        | 119        | 35         | 38       | 73         | 90,8    | 62        | 27         | 11      | 82,2       | 94,6 | 89,7 | 58,9      | 18,7    | 13,2  | 82,5    |
|       | 6     | 64                       | 119        | 35         | 37       | 60         | 91,5    | 63        | 23         | 14      | 77         | 95,3 | 88,1 | 57,8      | 20,2    | 14,4  | 81,5    |
|       | 1     | 0                        | 127        | 35         | 37       | 73         | 90,5    | 63        | 27         | 12      | 80,6       | 94,5 | 89   | 57,8      | 19,4    | 14,0  | 82,6    |
|       | 2     | 64                       | 127        | 35         | 33       | 58         | 94,7    | 67        | 24         | 14      | 76,8       | 97,2 | 89,1 | 56,9      | 21,0    | 10,2  | 87,2    |
|       | 3     | 0                        | 136        | 35         | 38       | 74         | 91,1    | 62        | 26         | 12      | 80,3       | 94,9 | 89,1 | 57,9      | 19,1    | 14,9  | 72,4    |
|       | 4     | 64                       | 136        | 35         | 33       | 58         | 92,4    | 67        | 25         | 14      | 77         | 95,9 | 88,4 | 56,7      | 21,4    | 10,6  | 86,8    |
|       | 7     | 0                        | 119        | 45         | 62       | 74         | 85,5    | 62        | 36         | 9       | 84         | 91,7 | 88,9 | 59,4      | 17,6    | 12,7  | 84,4    |
|       | 8     | 64                       | 119        | 45         | 34       | 59         | 89,6    | 66        | 30         | 11      | 79,7       | 94,6 | 89,1 | 58,8      | 18,9    | 9,0   | 89,0    |
| 180   | 9     | 0                        | 101        | 35         | 34       | 61         | 88,2    | 66        | 29         | 9       | 80,8       | 94,8 | 90,3 | 58,7      | 17,3    | 9,0   | 88,8    |
|       | 10    | 40                       | 101        | 35         | 34       | 51         | 87,6    | 66        | 25         | 10      | 77,9       | 94,7 | 89,2 | 58,2      | 18,2    | 11,2  | 85,7    |
|       | 11    | 0                        | 118        | 35         | 36       | 58         | 83,2    | 64        | 29         | 9       | 81,1       | 92,1 | 88,5 | 58,2      | 18,2    | 11,2  | 85,7    |
|       | 12    | 40                       | 118        | 35         | 34       | 56         | 86,6    | 66        | 26         | 10      | 77,6       | 94,2 | 88,8 | 58,3      | 17,7    | 9,7   | 88,1    |
|       | 13    | 0                        | 134        | 35         | 35       | 56         | 83,7    | 65        | 29         | 10      | 78,4       | 92,6 | 88   | 58,1      | 17,9    | 11,8  | 85,3    |
|       | 14    | 40                       | 133        | 35         | 35       | 56         | 83,7    | 65        | 25         | 10      | 79,7       | 92,5 | 88,3 | 57,6      | 17,8    | 10,2  | 87,2    |
|       | 15    | 0                        | 102        | 45         | 40       | 64         | 76      | 60        | 37         | 7       | 87,2       | 86,8 | 86,9 | 60,0      | 15,2    | 13,3  | 82,7    |
|       | 16    | 40                       | 102        | 45         | 38       | 59         | 82,5    | 62        | 31         | 8       | 82,9       | 91,6 | 88,8 | 59,3      | 16,7    | 12,5  | 83,5    |
|       | 17    | 0                        | 119        | 45         | 41       | 63         | 77,6    | 59        | 37         | 7       | 85,9       | 88,1 | 87,4 | 59,7      | 15,9    | 14,4  | 80,8    |
|       | 18    | 40                       | 119        | 45         | 40       | 34         | 80,4    | 60        | 44         | 8       | 82,7       | 90,3 | 87,9 | 60,1      | 15,5    | 13,1  | 82,5    |
|       | 19    | 0                        | 137        | 45         | 44       | 61         | 76,2    | 56        | 37         | 7       | 85,8       | 87,1 | 86,7 | 59,5      | 14,8    | 16,0  | 78,0    |
| 20    | 40    | 137                      | 45         | 41         | 57       | 78,9       | 59      | 33        | 8          | 83,7    | 89,3       | 87,5 | 59,1 | 17,2      | 15,5    | 75,8  |         |
| 212   | 21    | 0                        | 105        | 35         | 30       | 72         | 92,3    | 70        | 28         | 13      | 74,6       | 96,4 | 88,5 | 56,2      | 21,5    | 5,9   | 92,3    |
|       | 22    | 40                       | 104        | 35         | 30       | 66         | 92,1    | 70        | 25         | 14      | 72,4       | 96,4 | 87,7 | 57,9      | 20,7    | 4,9   | 94,8    |
|       | 23    | 0                        | 126        | 35         | 30       | 71         | 94,9    | 70        | 28         | 13      | 74,2       | 97,7 | 89,2 | 56,4      | 21,6    | 6,4   | 91,2    |
|       | 24    | 40                       | 126        | 35         | 29       | 64         | 91,6    | 71        | 26         | 14      | 73,3       | 96,2 | 87,9 | 55,8      | 22,1    | 5,7   | 92,5    |
|       | 25    | 0                        | 151        | 35         | 31       | 68         | 87,6    | 69        | 28         | 13      | 74,5       | 94,0 | 86,9 | 56,6      | 21,5    | 7,1   | 89,4    |
|       | 26    | 40                       | 151        | 35         | 30       | 63         | 91,7    | 70        | 26         | 14      | 73,4       | 96,2 | 87,9 | 56,1      | 21,9    | 4,4   | 64,0    |
|       | 27    | 0                        | 172        | 35         | 31       | 65         | 88,7    | 69        | 28         | 14      | 73,9       | 94,6 | 87,1 | 56,1      | 21,8    | 8,6   | 88,1    |
|       | 28    | 40                       | 172        | 35         | 30       | 62         | 91,1    | 70        | 26         | 14      | 73,4       | 95,9 | 87,7 | 55,9      | 21,8    | 6,4   | 91,7    |
|       | 29    | 0                        | 106        | 44         | 34       | 70         | 86      | 66        | 37         | 12      | 72,1       | 94,6 | 87,5 | 58,9      | 17,8    | 8,3   | 89,7    |
|       | 30    | 40                       | 106        | 44         | 30       | 63         | 88      | 70        | 32         | 12      | 70,6       | 95,5 | 87,6 | 55,6      | 22,5    | 7,9   | 89,5    |
|       | 31    | 0                        | 123        | 44         | 33       | 63         | 89,8    | 67        | 39         | 12      | 72,0       | 96,2 | 88,5 | 58,7      | 18,5    | 7,9   | 70,9    |
|       | 32    | 40                       | 123        | 44         | 30       | 39         | 88,4    | 70        | 33         | 13      | 69,8       | 95,8 | 87,5 | 56,9      | 21,4    | 7,1   | 64,8    |
|       | 33    | 0                        | 147        | 44         | 32       | 69         | 84,5    | 68        | 38         | 13      | 69,0       | 94,1 | 86,2 | 56,9      | 21,3    | 10,3  | 86,0    |
|       | 34    | 40                       | 147        | 44         | 32       | 64         | 86,2    | 32        | 34         | 12      | 71,4       | 94,7 | 87,3 | 57,1      | 21,4    | 9,6   | 86,7    |
|       | 35    | 0                        | 170        | 44         | 33       | 66         | 84      | 67        | 38         | 13      | 69,8       | 93,8 | 86,2 | 56,7      | 21,4    | 11,5  | 84,5    |
|       | 36    | 40                       | 170        | 44         | 33       | 60         | 85,8    | 67        | 34         | 13      | 70,7       | 94,6 | 87,0 | 58,4      | 19,0    | 8,6   | 88,3    |

### Análise de Variância Distribuição de Fe no *undersize*

| Fonte                    | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|--------------------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Modelo                   | 4  | 319,777  | 79,944   | 17,98   | 0,000   |
| Linear                   | 4  | 319,777  | 79,944   | 17,98   | 0,000   |
| Malha                    | 1  | 250,184  | 250,184  | 56,28   | 0,000   |
| Spray(m <sup>3</sup> /h) | 1  | 42,820   | 42,820   | 9,63    | 0,004   |
| taxa (t/h)               | 1  | 9,918    | 9,918    | 2,23    | 0,145   |
| (%) Sólidos              | 1  | 82,453   | 82,453   | 18,55   | 0,000   |
| Erro                     | 31 | 137,816  | 4,446    |         |         |
| Total                    | 35 | 457,593  |          |         |         |

### Sumário do Modelo

| S       | R2     | R2(aj) | R2(pred) |
|---------|--------|--------|----------|
| 2,10848 | 69,88% | 66,00% | 58,37%   |

### Análise de Variância Distribuição de Fe no oversize

| Fonte                    | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|--------------------------|----|----------|----------|---------|---------|
| Modelo                   | 4  | 323,92   | 80,980   | 18,69   | 0,000   |
| Linear                   | 4  | 323,92   | 80,980   | 18,69   | 0,000   |
| Malha                    | 1  | 262,85   | 262,849  | 60,68   | 0,000   |
| Spray(m <sup>3</sup> /h) | 1  | 36,31    | 36,306   | 8,38    | 0,007   |
| taxa (t/h)               | 1  | 10,85    | 10,846   | 2,50    | 0,124   |
| (%) Sólidos              | 1  | 78,51    | 78,510   | 18,12   | 0,000   |
| Erro                     | 31 | 134,28   | 4,332    |         |         |
| Total                    | 35 | 458,20   |          |         |         |

### Sumário do Modelo

| S       | R2     | R2(aj) | R2(pred) |
|---------|--------|--------|----------|
| 2,08127 | 70,69% | 66,91% | 59,29%   |

