

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Dissertação de Mestrado

**Comportamento de minérios de ferro na
concentração por flotação na presença de lamas**

Autora: Michelle Lacerda Sales Marques

Orientador: Antônio Eduardo Clark Peres

Fevereiro / 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas

Michelle Lacerda Sales Marques

**Comportamento de minérios de ferro na
concentração por flotação na presença de lamas**

Área de Concentração: Tecnologia Mineral

Orientador: Antônio Eduardo Clark Peres

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho e, em especial:

A minha persistência, resiliência e paciência.

A Marco Túlio Santiago Ferreira por ter propiciado condições para a realização deste trabalho.

Ao professor Antônio Eduardo Clark Peres, pela orientação e amizade.

A toda equipe do CPT – Centro de Pesquisas Tecnológicas da Vale, em especial a Rodrigo Fina, Cleber Paula, William dos Santos Maciel, Luiz Claudio Monteiro e Jones Faria.

As equipes do CTF – Centro Tecnológico de Ferrosos da Vale e do CDM – Centro de Desenvolvimento Mineral da Vale e ao Gilberto Rodrigues Silva da UFMG pelas caracterizações adicionais necessárias ao trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Objetivo..... | 1 |
| 3. Revisão Bibliográfica..... | 2 |
| 3.1. Aspectos Gerais..... | 2 |
| 3.2. Mineralogia do Minério de Ferro..... | 2 |
| 3.3. Flotação..... | 12 |
| 3.4. Trabalhos Relacionados..... | 18 |
| 4. Metodologia..... | 26 |
| 4.1. Caracterização da Amostra de Minério..... | 28 |
| 4.2. Caracterização da Amostra de Lama..... | 30 |
| 4.3. Caracterização das Amostras Individuais..... | 31 |
| 4.4. Experimentos..... | 33 |
| 5. Resultados..... | 37 |
| 5.1. Resultados da Caracterização das Amostras de Minério..... | 37 |
| 5.2. Resultados da Caracterização das Amostras de Lama..... | 43 |
| 5.3. Resultados da Caracterização das Amostras Individuais..... | 50 |
| 5.4. Resultados dos Ensaios das Amostras de Minério..... | 53 |
| 5.5. Amostra de Minério 1..... | 54 |
| 5.6. Amostra de Minério 2..... | 58 |

| | |
|---|----|
| 5.7. Amostra de Minério 3 | 61 |
| 5.8. Resultados dos Ensaios das Amostras Individuais..... | 64 |
| 6. Conclusões | 71 |
| 7. Sugestões Trabalhos Futuros | 73 |
| 8. Referências Bibliográficas..... | 73 |
| 9. Anexos..... | 76 |
| 9.1. Quantificação mineralógica das amostras de minério..... | 76 |
| 9.2. Amostras de Minério – distribuição granulométrica. | 77 |
| 9.3. Amostra 1 – resultados dos ensaios de flotação. | 78 |
| 9.4. Amostra 2 – resultados dos ensaios de flotação. | 79 |
| 9.5. Amostra 3 – resultados dos ensaios de flotação. | 80 |
| 9.6. Amostras Minerai s de Ferro – distribuição granulométrica. | 81 |
| 9.7. Amostras Minerai s de Quartzo – distribuição granulométrica. | 82 |
| 9.8. Amostra Minerai s Ferro – resultados de flotação da amostra -0,15 mm..... | 83 |
| 9.9. Amostra Minerai s Ferro – resultados de flotação da amostra +0,075mm | 84 |
| 9.10. Amostra Minerai s Ferro – resultados de flotação da amostra -0,075mm ... | 85 |
| 9.11. Amostra de Quartzo – resultados de flotação da amostra - 0,21 mm..... | 86 |
| 9.12. Amostra de Quartzo – resultados de flotação da amostra +0,075 mm..... | 87 |
| 9.13. Amostra de Quartzo – resultados de flotação da amostra -0,075 mm..... | 88 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 3.1 - Hematita microcristalina (*). | 4 |
| Figura 3.2 - Hematita especular (*). | 4 |
| Figura 3.3 - Hematita lamelar (*). | 5 |
| Figura 3.4 - Hematita granular (*). | 5 |
| Figura 3.5 - Hematita sinuosa (*). | 6 |
| Figura 3.6 - Hematita martítica (*). | 6 |
| Figura 3.7 - Magnetita relictual em hematita (*). | 7 |
| Figura 3.8 - Tipos morfológicos de goethita compacta (maciça à esquerda, anfibolítica ao centro e alveolar a direita) (*). | 8 |
| Figura 3.9 - Goethita terrosa (*). | 8 |
| Figura 3.10 - Quartzo (*). | 9 |
| Figura 3.11 - Gibbsita (*). | 10 |
| Figura 3.12 - Caulinita (*). | 10 |
| Figura 3.13 - Mineral manganosífero (*). | 11 |
| Figura 3.14 - Mica (*). | 12 |
| Figura 3.15 - Sulfeto e carbonato (*). | 12 |
| Figura 3.16 - Desenho esquemático da molécula de amina. | 15 |
| Figura 3.17 - Desenho esquemático da adsorção de íons individuais (esquerda), formação hemimicelas (centro) e multicamada (direita) (adaptado de Smith & Akhtar, 1976). | 15 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.18 - Desenho esquemático da formação de micelas (adaptado de LEJA (1982)..... | 16 |
| Figura 3.19 - Diagrama esquemático das probabilidades de trajetória de diferentes tamanhos de partículas de quartzo na flotação. | 17 |
| Figura 3.20 - Ilustração do tamanho do mineral versus flotabilidade (Pease et al., 2005)..... | 18 |
| Figura 3.21 - Efeito do <i>by pass</i> de lama na qualidade do concentrado e recuperação metálica (LIMA, 2001). | 20 |
| Figura 3.22 - Carta de verificação de flotação de calamina sem e com deslamagem – recuperação de zinco. (MARTINS, 2007). | 20 |
| Figura 3.23 - Carta de verificação de flotação de calamina sem e com deslamagem – teor de zinco no concentrado (MARTINS, 2007). | 21 |
| Figura 3.24 - Influência de lamas de caolinita na flutuabilidade do quartzo em função do pH (ARAUJO, 1982)..... | 23 |
| Figura 3.25 - Influência de lamas de minério de ferro na flutuabilidade do quartzo em função do pH (ARAUJO, 1992). | 23 |
| Figura 3.26 - Micrografias do quartzo em diferentes frações granulométricas (SOMASUNDARAN 1984). | 25 |
| Figura 4.1 - Fluxograma esquemático da preparação das amostras de minério..... | 29 |
| Figura 4.2 - Fluxograma esquemático da preparação das amostras de lama..... | 31 |
| Figura 4.3 - Fluxograma esquemático da preparação das amostras de Quartzo e Minerais de Ferro..... | 32 |
| Figura 4.4 - Fluxograma esquemático de caracterização tecnológica das amostras de minério. | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.5 - Fluxograma esquemático da caracterização tecnológica das amostras individuais. | 35 |
| Figura 5.1 - Quantificação mineralógica das amostras de minério 1, 2 e 3 via microscopia ótica. | 38 |
| Figura 5.2 - Fotomicrografias da amostra 1 obtidas via microscopia ótica com os principais minerais identificados. | 39 |
| Figura 5.3 - Fotomicrografias da amostra 2 obtidas via microscopia ótica com os principais minerais identificados. | 40 |
| Figura 5.4 - Fotomicrografias da amostra 3 obtidas via microscopia ótica com os principais minerais identificados. | 41 |
| Figura 5.5 - Fotos das amostras 1, 2 e 3 obtidas via microscopia eletrônica de varredura. | 43 |
| Figura 5.6 - Distribuição granulométrica das amostras de lama obtida através de análise em granulômetro a laser (Cilas). | 44 |
| Figura 5.7 - Ddifratogramas das amostras de lamas. | 46 |
| Figura 5.8 - Ddifratogramas das amostras de lamas com os principais picos identificados. | 46 |
| Figura 5.9 - Ddifratograma da amostra de lama 1. | 48 |
| Figura 5.10 - Ddifratograma da amostra de lama 2. | 48 |
| Figura 5.11 - Ddifratograma da amostra de lama 3. | 49 |
| Figura 5.12 - Ddifratograma da amostra de lama 4. | 49 |
| Figura 5.13 - Potencial Zeta das lamas versus pH. | 50 |
| Figura 5.14 - Quantificação mineralógica das amostras individuais via microscopia ótica. | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.15 - Fotos da amostra de quartzo obtidas via microscopia eletrônica de varredura: +0,075 mm (esquerda); -0,075 mm (meio); aspecto quartzo (direita). | 51 |
| Figura 5.16 - Fotos da amostra de minerais de ferro obtidas via microscopia eletrônica de varredura: +0,075 mm (esquerda); -0,075 mm (direita). | 52 |
| Figura 5.17 - Potencial Zeta das frações das amostras individuais. | 52 |
| Figura 5.18 - Amostras de Minério 1, 2 e 3 - percentual inferior 0,010 mm na alimentação da flotação | 53 |
| Figura 5.19 - Amostra 1 – Teor SiO ₂ no pellet feed na presença da Lama 1. | 55 |
| Figura 5.20 - Amostra 1 – Teor de Ferro no rejeito na presença da Lama 1..... | 55 |
| Figura 5.21 - Amostra 1 – Tempo de flotação na presença da Lama 1..... | 56 |
| Figura 5.22 - Amostra 1 – Efeito das Lamas 2, 3 e 4 no teor SiO ₂ do pellet feed..... | 57 |
| Figura 5.23 - Amostra 1 – Superfície específica..... | 57 |
| Figura 5.24 - Amostra 2 – Teor SiO ₂ no pellet feed na presença da Lama 2. | 59 |
| Figura 5.25 - Amostra 2 – Teor de Ferro no rejeito na presença da Lama 2..... | 59 |
| Figura 5.26 - Amostra 2 – Tempo de flotação na presença da Lama 2..... | 59 |
| Figura 5.27 - Amostra 2 – Efeito das Lamas 1 e 3 no teor SiO ₂ do pellet feed. | 60 |
| Figura 5.28 - Amostra 2 – Superfície específica. | 61 |
| Figura 5.29 - Amostra 3 – Teor SiO ₂ no pellet feed na presença da Lama 3. | 62 |
| Figura 5.30 - Amostra 3 – Teor Fe no rejeito na presença da Lama 3..... | 62 |
| Figura 5.31 - Amostra 3 – Tempo de flotação na presença da Lama 3..... | 63 |
| Figura 5.32 - Amostra 3 – Efeito das Lamas 1 e 2 no teor SiO ₂ do pellet feed. | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.33 - Amostra 3 – Superfície específica. | 64 |
| Figura 5.34 - Amostras Individuais - Percentual inferior a 0,010mm na alimentação da flotação | 65 |
| Figura 5.35 - Flotabilidade Amostras Individuais sem presença de lamas..... | 66 |
| Figura 5.36 - Amostras de minerais de ferro - flotabilidade com e sem dispersante. | 67 |
| Figura 5.37 - Amostra de minerais de ferro – superfície específica. | 68 |
| Figura 5.38 - Amostras minerais de quartzo - flotabilidade com e sem dispersante..... | 69 |
| Figura 5.39 - Amostras de minerais de quartzo – superfície específica. | 70 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 - Resultados testes de laboratório e piloto com lamas (ROCHA, 2008) | 19 |
| Tabela 3.2 - Resumo resultados dos estudos de FERREIRA (2002)..... | 22 |
| Tabela 3.3 - Resultados dos estudos de SILVA (1994) | 24 |
| Tabela 3.4 - Resumo resultados dos estudos de QUEIROZ (2003) | 25 |
| Tabela 4.1 - Dosagens adotadas..... | 36 |
| Tabela 5.1 - Quantificação mineralógica global e análise química das amostras de minério | 37 |
| Tabela 5.2 - Análise química das amostras de lama | 44 |
| Tabela 5.3 - Distribuição granulométrica e superfícies específicas das amostras de lama | 45 |
| Tabela 5.4 - Alturas dos picos principais ou secundários dos minerais presentes nas amostras estudadas..... | 47 |
| Tabela 5.5 - Quantificação mineralógica e análise química das amostras individuais .. | 51 |
| Tabela 5.6 - Amostra 1 – Resultados flotação sem lama: média da triplicata | 54 |
| Tabela 5.7 - Amostra 2 – Resultados flotação sem lama em triplicata..... | 58 |
| Tabela 5.8 - Amostra 3 – Resultados flotação sem lama em triplicata..... | 61 |

RESUMO

O efeito nocivo da lama é bastante difundido, porém entender o mecanismo de interação das mesmas com o minério é bastante complexo. Assim, foram realizados ensaios na presença de diferentes quantidades de lamas com composições mineralógicas distintas, na tentativa de explicar o efeito das mesmas no processo de flotação. Buscaram-se condições físico-químicas similares às condições industriais, ou seja, na presença de todos os reagentes envolvidos. Foram realizadas diversas caracterizações a fim de tentar explicar o mecanismo de interação das lamas com o minério.

Foram selecionadas três amostras de minérios itabiríticos, sendo uma da mina de Conceição, uma da mina de Fábrica Nova e outra composta por um *blend* da mina de Sapecado com a de Galinheiro, todas com características mineralógicas distintas. Foram escolhidas quatro amostras de lamas também distintas que foram geradas a partir dessas três amostras de minério e uma quarta amostra gerada a partir de um Itabirito Goethítico da mina de Alegria. A segunda fase do estudo avaliou o efeito destas mesmas lamas sobre duas amostras sendo uma composta essencialmente por minerais de ferro e outra composta por quartzo.

As lamas oriundas das amostras das minas de Fábrica Nova e Alegria são as que apresentaram maiores participações de goethita, mas as que menos influenciaram nos resultados da flotação com os minérios estudados. A lama oriunda da amostra de Conceição foi a que causou maior impacto especialmente na flotação de seu próprio minério. Para a amostra composta essencialmente por minerais de ferro ficou evidenciado que o aumento de dosagem promove maior flotabilidade das partículas finas e para a amostra composta essencialmente por quartzo observou-se um comportamento bastante distinto da fração acima de 0,075 mm quando do aumento da dosagem do coletor ou adição de dispersante reduziu-se a flotabilidade deste mineral.

Analisando-se a superfície específica das amostras, o potencial zeta das lamas e os resultados da flotação é possível concluir que essas características não foram os fatores responsáveis pelas alterações nos teores de sílica nos concentrados uma vez que para todos os ensaios com quantidades similares de lama os valores obtidos para a superfície específica foram semelhantes e o potencial zeta das quatro lamas estudadas possuem valores similares no pH de flotação.

ABSTRACT

The deleterious effect of slimes on the flotation performance is recognized, but the understanding of the interaction mechanism between the slimes and the ore is complex. Thus, tests were carried out in the presence of different amounts of slimes with different mineralogical compositions to explain the effect promoted by the slimes in the flotation process. Physico-chemical conditions similar to those used in the industry were aimed, regarding the reagents utilized. Various characterizations were performed to try to explain the mechanism of interaction of the slime with the ore

Flotation experiments were performed with three samples of itabirite ores, one of them from Conceição mine, other from Fábrica Nova mine and another composed of a blend between Sapecado and Galinheiro mines, all with distinct mineralogical characteristics. Four samples were selected from distinct slurries which also were generated from three of these ore samples and a fourth sample from a goethitic itabirite from Alegria mine. The second phase of the study evaluated the effect of these same slimes on two samples being one composed mainly of iron minerals and other consist of quartz.

The slimes samples originating from the mines of Fábrica Nova and Alegria are the ones that had higher contents of goethite, but less influence on the results of flotation ores studied. The slime coming from the sample Conceição was the one that caused the greatest impact particularly on flotation of its own ore. For a sample consisting essentially of iron minerals was shown that the increase in dosage causes greater flotability of the fine particles and the sample composed mainly of quartz was observed a distinct result from the fraction above 0,075 mm when increasing the dosage of the collector or addition of dispersant reduced to flotability this mineral

From the analysis of the samples specific surface area, zeta potencial and the flotation results it is possible to conclude that those characteristics were not the factors responsible for the variations in the silica contents in the concentrate. For all tests with similar amounts of slimes the measured values of specific surface area were similar and the zeta potencial for those slimes was similar in the pH's flotation.

1. Introdução

O teor de ferro nos depósitos tem reduzido a cada dia e cominuições em malhas cada vez mais finas se farão necessárias, pois concomitante ao empobrecimento do minério está presente o quartzo misto em tamanhos reduzidos. Arelada a isso, a geração de lama tende a ser elevada e a necessidade de otimizar a recuperação mássica dessas novas plantas torna-se um item importante para a viabilidade econômica do negócio. Desta forma, entender os limites da quantidade de lama que cada tipo de minério “aceita” no processo de concentração por flotação e sua interação com o minério é fundamental para aumentar as recuperações mássica e metálica.

Existem importantes trabalhos que procuraram entender o efeito nocivo da lama no processo de concentração por flotação. Lima (2001) comprovou o efeito da lama para diferentes minérios das minas de Alegria e Fábrica Nova, estabelecendo como limite de *by pass* o valor de 4,5% para que a qualidade do *pellet feed* não fosse prejudicada. Outro trabalho relevante foi o de Queiroz (2003), que mostrou a ação efetiva da atrição conjugada com deslamagem para remoção de ultrafinos presentes na polpa e, assim, melhorar a qualidade do produto e a recuperação metálica dos minérios.

O efeito nocivo da lama é bastante difundido e diferentes tipos de lamas, com composições mineralógicas distintas já foram estudadas na presença de minerais puros. Contribuindo com os estudos já realizados, buscou-se avaliar o efeito de lamas com composições mineralógicas distintas, porém não só avaliando os minerais de quartzo e ferro individualmente, mas também em condições físico-químicas similares às condições industriais, ou seja, na presença de todos os reagentes envolvidos no processo de concentração e de uma polpa de minério com toda sua assembleia mineralógica presente.

2. Objetivo

Investigar o comportamento de duas amostras, sendo uma composta essencialmente apenas por quartzo e outra composta essencialmente por minerais de ferro, na flotação quando na presença de lamas com características mineralógicas distintas, bem como, o comportamento de três diferentes minérios na presença dessas mesmas lamas.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Aspectos Gerais

A concentração do minério de ferro em geral explora as principais características diferenciadoras entre as associações minerais dentre as quais destacam-se a força gravitacional, a susceptibilidade magnética, as características de superfícies minerais, entre outras. No que se refere à concentração de minérios de baixo teor de ferro, a concentração por flotação é o método mais clássico utilizado na atualidade.

A rota de processo para tratar minérios de baixo teor é composta por cominuição através das etapas de britagem e moagem até se atingir a malha de liberação do quartzo, seguida das etapas de deslamagem e concentração proporcionando a geração de um produto único denominado *pellet feed*.

O rejeito gerado nesse processo representa de 60% a 70% do rejeito total da usina e de uma forma geral apresenta uma limitação para o teor mínimo de ferro encontrado neste fluxo. Essa limitação na maioria das vezes está relacionada a uma série de fatores tais como, características mineralógicas, características físicas, hidrodinâmica dos processos e variáveis operacionais.

A flotação é indicada para tratar minérios cuja granulometria está compreendida entre 0,3 mm e 0,010 mm (Pease et al., 2005). A flotação explora as diferenças nas características de superfície dos minerais presentes na polpa. Para que ocorra a separação no processo são utilizados reagentes químicos que atuam sobre estas características de superfície, tornando alguns minerais (quartzo) hidrofóbicos e aumentando a hidrofiliabilidade de outros (minerais de ferro).

3.2. Mineralogia do Minério de Ferro

Na quantificação dos minerais via microscopia ótica de luz refletida são avaliadas propriedades essencialmente qualitativas, tais como:

- Cor: sob luz refletida a maioria dos minerais apresenta cores que vão do branco a diversos tons de cinza sendo que apenas poucos apresentam colorações distintas como amarelo ou rosa.
- Reflexões internas: alguns minerais opacos e, mais comumente, translúcidos ou transparentes apresentam reflexões internas quando observados sob luz refletida que ocorrem quando parte da luz penetra no mineral sendo refletida devido a falhas na estrutura, defeitos cristalinos, fraturas ou inclusões presentes no mineral. As reflexões internas apresentam diversas cores, o que pode ser uma característica diagnóstica do mineral (FAULSTICH, 2008).
- Morfologia (habitus e texturas típicas): o habitus caracteriza a forma típica dos cristais de determinada espécie mineral, resultante do arranjo atômico presente. É, portanto, característico de cada mineral. Alguns tipos de textura são também diagnósticos para identificação.

Os principais minerais presentes nos minérios de ferro podem ser classificadas da seguinte forma:

- Hematita (grupo dos óxidos - óxido de ferro - Fe_2O_3): Densidade 5,26 g/cm³ (DANA, 1969). Mineral do sistema hexagonal. No microscópio ótico de luz refletida apresenta cor cinza-esbranquiçada, por vezes com tonalidade azulada, havendo possibilidade de ocorrência de reflexões internas de cor vermelha. Dureza alta e polimento bom. A hematita pode ocorrer sob diversos tipos morfológicos. A classificação utilizada subdivide o mineral da seguinte forma:
 - Hematita Microcristalina (HMic), ilustrada na figura 3.1: típica de minérios não metamorfizados, é o primeiro óxido de ferro a se formar, sendo que sua gênese ocorre com a sedimentação química de íons em suspensão. Geralmente o metamorfismo desse mineral dá origem, inicialmente, à magnetita, que posteriormente se altera para maghemita e hematita (sinuosa, granular, lamelar ou especular), dependendo da intensidade da alteração metamórfica e das condições do meio. Apresenta cristais de granulação inferior a 0,010 mm, de aspecto granular, formando partículas porosas com poros muito pequenos e contatos irregulares entre os cristais, por vezes imperceptíveis devido à granulação muito fina dos mesmos.

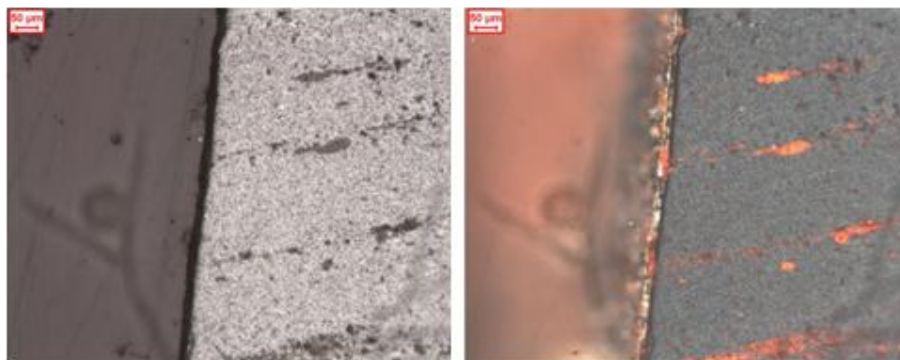


Figura 3.1 - Hematita microcristalina (*).

- Hematita Especular (HE), ilustrada na figura 3.2: típica de minérios com alto grau de metamorfismo. Cristais compactos (pouco porosos), lateralmente retilíneos, com relação entre comprimento e largura maior que 5:1 (cristais inequidimensionais).

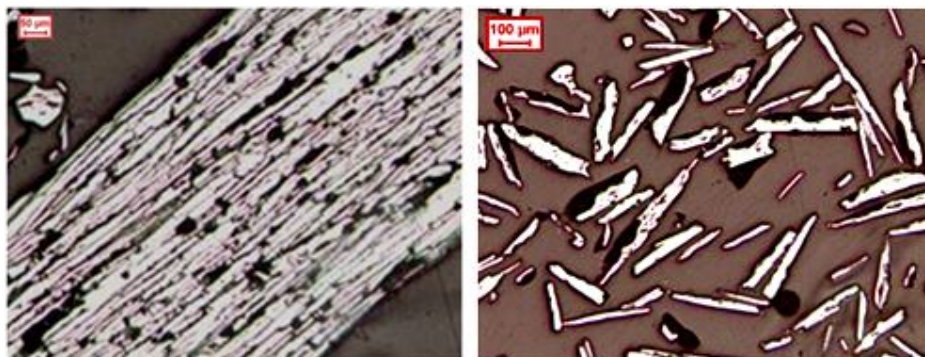


Figura 3.2 - Hematita especular (*).

- Hematita Lamelar (HL), ilustrada na figura 3.3: semelhante à hematita especular, porém os cristais apresentam relação entre comprimento e largura menor que 5:1.

(*). Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

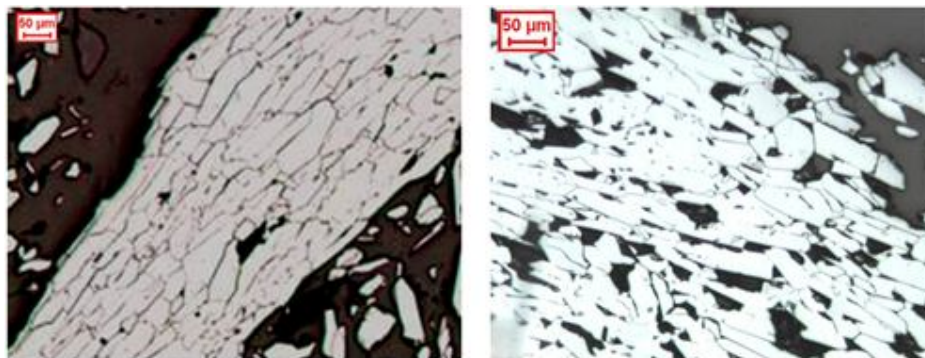


Figura 3.3 - Hematita lamelar (*).

- Hematita Granular (HG), ilustrada na figura 3.4: cristais de aspecto granular, equidimensionais e geralmente compactos (pouco porosos). Nas partículas policristalinas, os diversos cristais de hematita granular apresentam contatos retilíneos e junções tríplexes entre si. Para distinção dos cristais ao microscópio ótico é necessária aplicação de nicois cruzados.

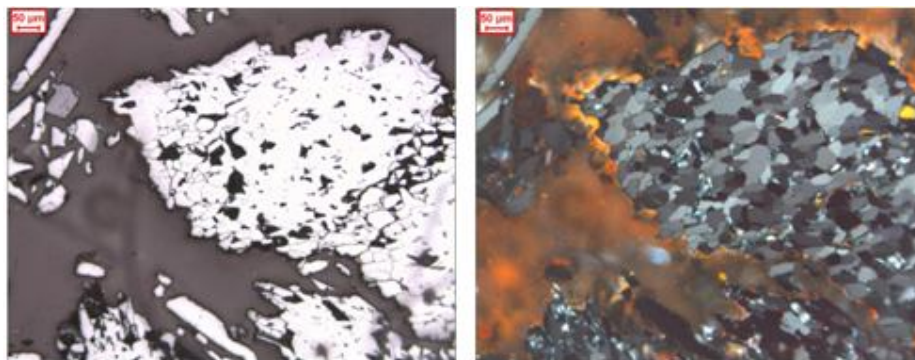


Figura 3.4 - Hematita granular (*).

- Hematita Sinuosa (HS), ilustrada na figura 3.5: também chamada hematita recristalizada. Apresenta cristais compactos de aspecto granular, inequidimensionais e irregulares (forma ameboide). Nas partículas policristalinas os contatos entre os mesmos são sinuosos, imbricados, entrelaçados. Para distinção dos cristais ao microscópio ótico é necessária aplicação de nicois cruzados.

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

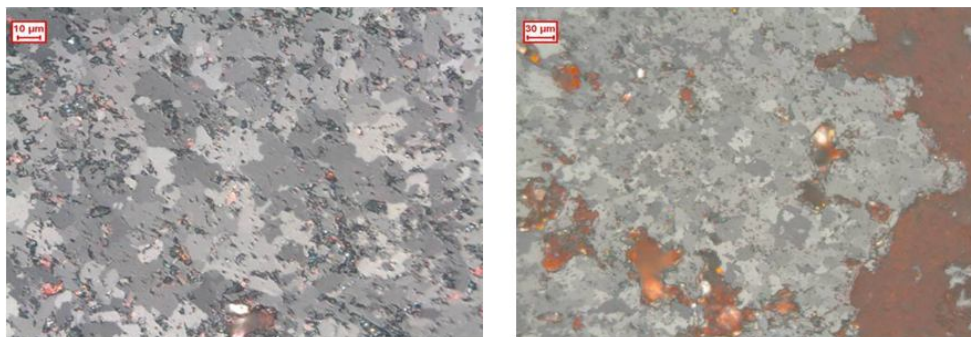


Figura 3.5 - Hematita sinuosa (*).

- Hematita Martítica (HM), ilustrada na figura 3.6: formada pela oxidação da magnetita segundo os planos cristalográficos da mesma. Apresenta microporosidade característica e, geralmente, preserva relictos de magnetita. Pode apresentar estrutura em treliça, vestígios dos planos de cristalização da magnetita (observada com nicois cruzados). Os cristais apresentam aspecto granular e, por vezes, preservam o habitus da magnetita (cristais euédricos de habitus octaédrico). Podem ocorrer, também, de forma totalmente irregular (cristais anédricos). Nas partículas policristalinas, os contatos entre os cristais são laterais retilíneos quando o habitus da magnetita é preservado, ou irregulares caso o habitus não seja preservado.

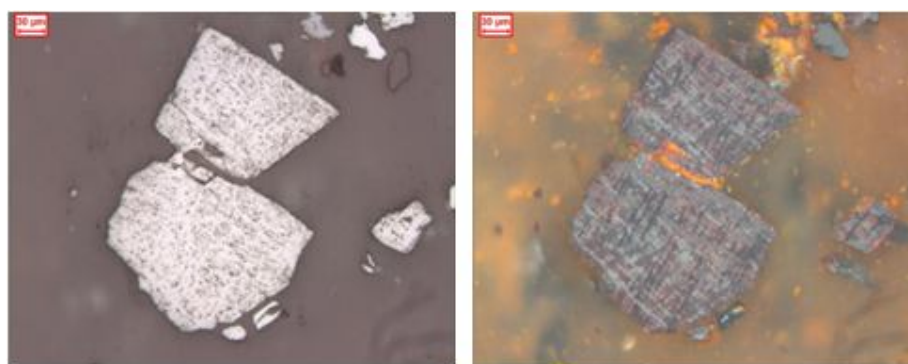


Figura 3.6 - Hematita martítica (*).

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

- Magnetita (MA - grupo dos óxidos - óxido de ferro – Fe_3O_4), ilustrada na figura 3.7: Densidade $5,18 \text{ g/cm}^3$ (DANA, 1969). Mineral do sistema cúbico. Ao microscópio ótico apresenta cor rósea a cinza-amarronzado, e não apresenta reflexões internas. Pode ocorrer na forma de cristais de habitus octaédrico, ou na forma de relictos em hematitas, sendo que os cristais podem ser compactos ou porosos, com aspecto granular quando euédricos, ou às vezes totalmente irregulares, principalmente quando a porosidade é elevada. E um mineral de alta dureza e com alta susceptibilidade magnética.

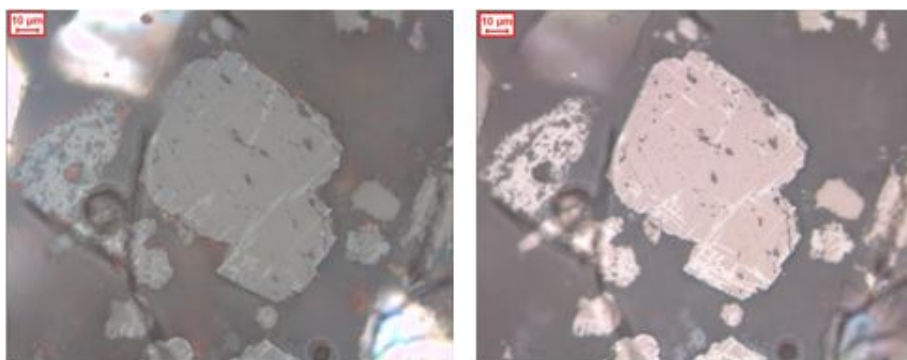


Figura 3.7 - Magnetita relictual em hematita (*).

- Goethita Compacta (GO - grupo dos óxidos - hidróxido de ferro – FeO.OH), ilustrada na figura 3.8: Considera-se densidade de $3,8 \text{ g/cm}^3$ (DANA considera um intervalo de densidade entre $3,3$ e $4,8 \text{ g/cm}^3$, devido às variações na composição química do mineral). Ao microscópio ótico apresenta cor cinza azulada, por vezes mais escuro, havendo possibilidade de ocorrência de reflexão interna nas cores laranja, vermelho ou amarelo. Habitus muito variado (maciça, botrioidal, alveolar, fibrosa – anfíbolítica). Pode conter quantidades variáveis de água adsorvida, assim como outros elementos (P, Al_2O_3 , SiO_2 , etc). Ocorre comumente como produto de intemperismo de outros minerais de ferro.

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

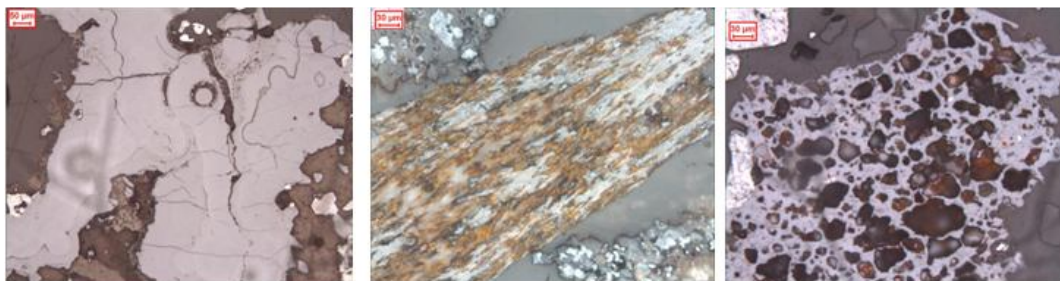


Figura 3.8 - Tipos morfológicos de goethita compacta (maciça à esquerda, anfibolítica ao centro e alveolar a direita) (*).

- Goethita Terrosa (GT - grupo dos óxidos - hidróxido de ferro - $\text{FeO.OH.nH}_2\text{O}$), ilustrada na figura 3.9: Considera-se densidade de $3,6 \text{ g/cm}^3$ (DANA (1969) considera um intervalo de densidade entre $3,6$ e $4,0 \text{ g/cm}^3$, devido às variações na composição química do mineral). Ao microscópio ótico apresenta cores variadas: marrom claro, amarelado, avermelhado, etc., e pode apresentar reflexão interna em vermelho, laranja ou amarelo. Goethita com grau de hidratação mais elevado e consistência terrosa, com granulometria muito fina ($< 0,010 \text{ mm}$), podendo ocorrer como material amorfo e/ou criptocristalino, com porosidade variável. Apresenta conteúdo variável de água. Comparando-se com a goethita compacta, geralmente apresenta maiores teores de contaminantes.

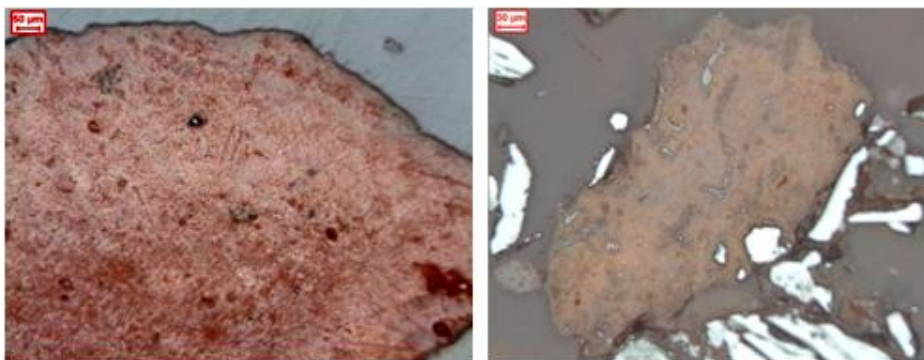


Figura 3.9 - Goethita terrosa (*).

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

- Quartzo (QM e QL - grupo dos tectosilicatos – dióxido de silício – SiO_2), ilustrado na figura 3.10: Densidade $2,65 \text{ g/cm}^3$ (DANA, 1969). Mineral do sistema hexagonal. Transparente, incolor, dureza alta e bordas facilmente distinguíveis. Cristais geralmente compactos (pouco porosos), com contatos irregulares e bordas variando de pouco rugosa (lisa) a muito rugosa e com cavidades. Não apresenta clivagem, mas apresenta fratura conchoidal. Aspecto granular com cristais equidimensionais e inequidimensionais de granulação muito variável.

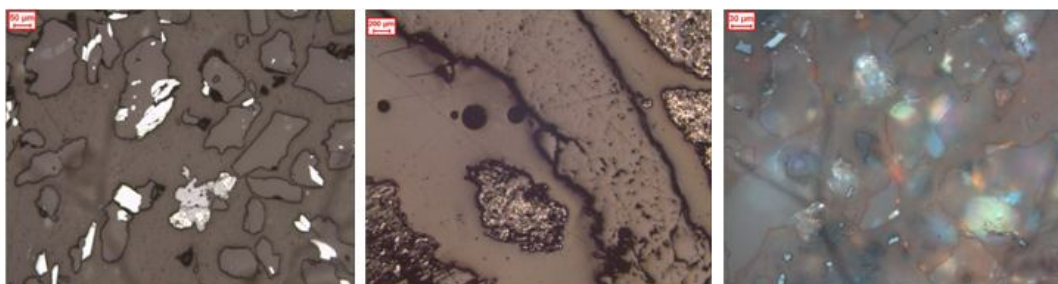


Figura 3.10 - Quartzo (*).

- Gibbsita (GB – grupo dos óxidos – hidróxido de alumínio - $\text{Al}(\text{OH}_3)$), ilustrada na figura 3.11: Considera-se densidade de $2,35 \text{ g/cm}^3$ (DANA, 1969) consideram um intervalo de densidade entre $2,30$ e $2,40 \text{ g/cm}^3$, devido às variações na composição química do mineral). Mineral do sistema monoclinico. Transparente, incolor a marrom pálido, de aspecto sacaroide (grãos semelhantes a açúcar), sendo necessário cruzarem-se os nicois para distinção dos cristais. Mineral macio, com porosidade não detectável ao microscópio ótico. Geralmente os cristais assumem a forma das partículas que os circundam, sendo comum ocorrer nos interstícios ou poros de outros minerais. Pode ocorrer como massa terrosa, associada à goethita terrosa e caulinita, geralmente.

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

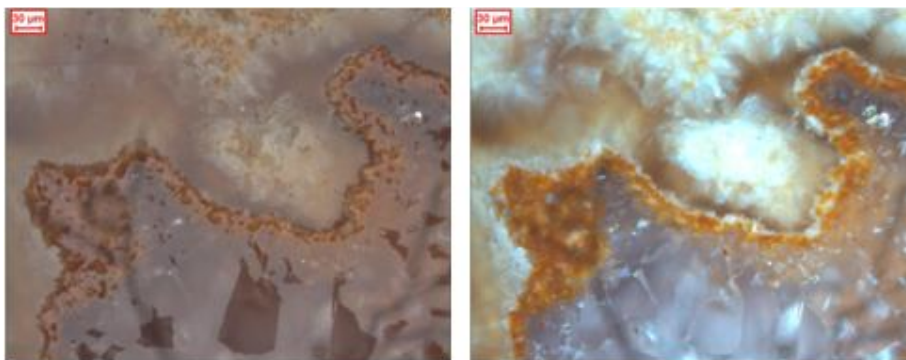


Figura 3.11 - Gibbsita (*).

- Caulinita (CA - grupo dos filossilicatos (minerais argilosos) – silicato de alumínio hidratado – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), ilustrada na figura 3.12: Densidade 2,60 g/cm³ (DANA 1969 considera um intervalo de densidade entre 2,60 e 2,63 g/cm³, devido às variações na composição química do mineral). Mineral do sistema triclinico, argiloso, transparente, incolor a amarelo pálido. Apresenta aspecto terroso, não sendo possível a distinção de cristais. Macio, e os contatos entre cristais são irregulares, e estes geralmente assumem a forma das partículas que os circundam, sendo comum ocorrerem como massa terrosa nos interstícios ou poros de outros minerais. Granulação muito fina (< 0,010 mm).

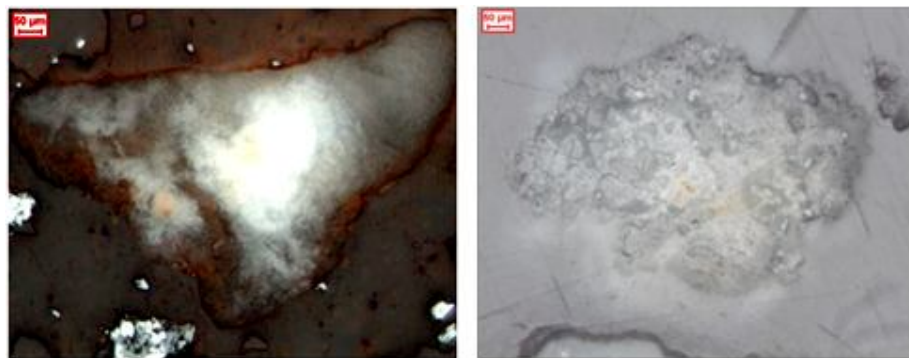


Figura 3.12 - Caulinita (*).

(*). Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

- Minerais de Manganês (MN - óxidos e hidróxidos), ilustrados na figura 3.13: Considera-se densidade de 4,3 g/cm³ (densidade da manganita, segundo DANA (1969)). Abrange uma lista de diversos minerais manganésiferos, opacos ou transparentes, de cores variadas. Apresentam aspecto terroso, não sendo possível, geralmente, a distinção de cristais. São minerais macios e com ocorrência de microporos (criptomelana e pirolusita) a macroporos (psilomelana) em agregados terrosos. Os contatos entre cristais são irregulares, sendo que os mesmos geralmente assumem a forma das partículas que os circundam. Comum ocorrerem como massa terrosa nos interstícios ou poros de outros minerais. Granulação geralmente muito fina (< 0,010 mm).

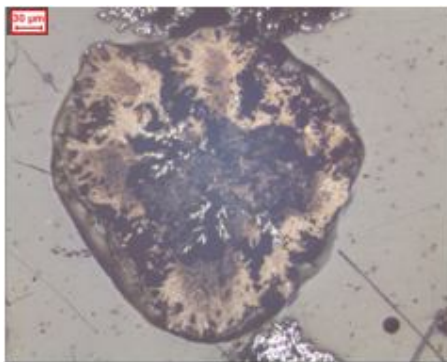


Figura 3.13 - Mineral manganésífero (*).

- Mica (MI - minerais do grupo dos filossilicatos), ilustrada na figura 3.14: neste campo são quantificados diversos minerais do grupo das micas (usualmente moscovita). Apesar de não pertencerem ao grupo das micas, são quantificados também o talco e minerais do grupo da clorita, devido ao habitus tabular e diferenciação por vezes difícil ao microscópio ótico de luz refletida. Considera-se densidade de 2,80 g/cm³, valor que se encontra dentro dos intervalos de densidade dos principais minerais considerados.

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

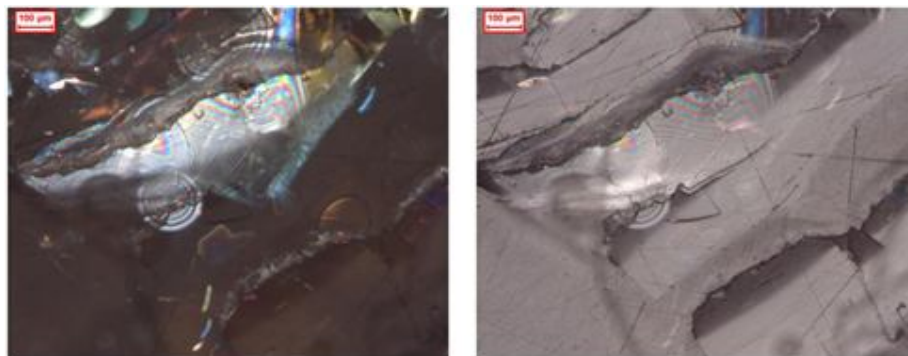


Figura 3.14 - Mica (*).

- Outros (OT), ilustrados na figura 3.15: outros minerais que podem ocorrer no minério de ferro são sulfetos, carbonatos, outros silicatos e óxidos, etc.

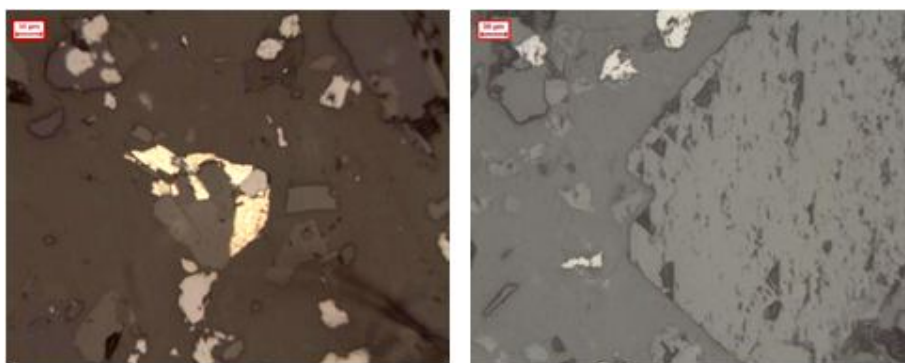


Figura 3.15 - Sulfeto e carbonato (*).

3.3. Flotação

A flotação é um processo que explora as diferenças nas propriedades de superfície dos minerais presentes na polpa. Para que ocorra a separação no processo são utilizados reagentes químicos que atuam sobre estas características de superfície, tornando alguns minerais (quartzo) hidrofóbicos e aumentando a hidrofiliabilidade de outros (minerais de ferro).

(*) Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas.

Em termos de polaridade os compostos químicos se dividem em polares e apolares, em função de apresentarem ou não um dipolo permanente. Devido à polaridade, as moléculas de água se organizam através da atração mantida entre polos opostos de moléculas distintas. Isso permite uma forte atração, denominada coesão molecular, que no estado líquido desta substância promove alta tensão superficial. A polarização ocorre na maioria dos minerais, sendo devida a seu arranjo atômico, que por sua vez é determinado pelo ângulo das ligações. Essa polaridade é designada como dipolo permanente. É preciso conhecer a geometria da molécula para definir sua polaridade. No metano e no gás carbônico, por exemplo, os dipolos internos se anulam devido à simetria molecular, e as moléculas são chamadas de apolares. Assim, os minerais polares possuem afinidade pela água (hematita, quartzo e a maioria dos demais minerais) e os minerais apolares afinidade pelo ar (grafita, molibdenita, talco, carvão e ouro livre).

Nos sistemas de flotação a fase líquida é sempre a água, uma espécie polar e a fase gasosa é o ar, constituído basicamente por moléculas apolares. Uma substância hidrofóbica pode agora ser melhor caracterizada como aquela cuja superfície é essencialmente apolar, tendo maior afinidade com o ar que com a água. Por outro lado, substância hidrofílica é aquela cuja superfície é polar, indicando maior afinidade com a água que com o ar. Porém, a propriedade diferenciadora pode ser induzida.

O depressor tem a função de elevar a afinidade dos minerais de ferro com a água. Ele adsorve preferencialmente nos minerais de ferro tornando-os hidrofílicos. Assim, é possível flotar as partículas de quartzo e deixar os minerais de ferro no interior da polpa.

Na flotação do minério de ferro são utilizados principalmente amidos de milho ou de mandioca. O amido é um polímero natural de peso molecular que pode variar de acordo com a quantidade de monômeros (n) e com a proporção das cadeias maiores ramificadas/amilopectinas (~75%) e das menores lineares/amilose (25%). Sua fórmula aproximada é $(C_6H_{10}O_5)_n$.

O grão de milho é formado por quatro principais estruturas físicas: endosperma, gérmen, pericarpo (casca) e ponta, as quais diferem em composição química. O gérmen é rico em óleo e proteína (zeína que possui mesmo efeito depressor que a

amilopectina) e por isso na fabricação do depressor deve ser removido. Além disso uma fina película que envolve o milho também deve ser removida.

Além de substância amilácea (amilose + amilopectina), os depressores a base de milho possuem óleo, proteínas, umidade, fibras e matéria mineral. O óleo é inibidor de espuma, sendo recomendável que seu teor não ultrapasse 1,5%. Em comparação com amidos de milho, amidos de mandioca apresentam gomas com maior viscosidade, indicativo de maior peso molecular, e teor de óleo desprezível, reduzindo o risco de inibição da ação espumante.

Os amidos são insolúveis em água fria e sua solubilização ou gelatinização requer a adição de reagentes (NaOH é o mais comum) ou submeter os grãos ao calor. Assim, a gelatinização é o processo de “abertura” das moléculas ou quebra de suas forças de atração. Normalmente, a relação mássica amido/soda é de 4:1 a 6:1. O tempo necessário para o processo é cerca de 30 minutos (média). O processo de gelatinização consiste na absorção de parte do álcali da solução diluída de hidróxido de sódio pelas moléculas da suspensão do amido.

A elevada afinidade pelas partículas de hematita e adsorção de OH^- conferem um caráter levemente negativo às moléculas de amido, aumentando a repulsão entre este e o quartzo.

A adsorção tem o efeito de amplificar a hidrofiliabilidade e evitar a ação do coletor sobre os minerais de ferro. Além de depressor o amido atua na seletividade da flotação e como estabilizador da espuma.

A amina tem a função de modificar a superfície do mineral de hidrofílico para hidrofóbico. As aminas são moléculas que possuem uma parte hidrofílica e outra hidrofóbica, sendo a primeira composta por um hidrocarboneto e a segunda por uma parte iônica ou polar. O quartzo tem sua característica superficial modificada tornando-se apolar e, assim, com afinidade pelo ar. A figura 3.16 apresenta um desenho esquemático da amina.

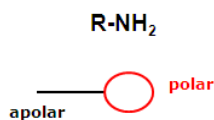


Figura 3.16 - Desenho esquemático da molécula de amina.

O mecanismo de adsorção da amina é atração eletrostática inicial entre a cabeça polar ionizada do coletor e a superfície mineral com carga oposta, seguida da formação de hemimicelas por ligações de van der Waals entre os radicais do coletor. A adsorção de íons individuais (esquerda) não hidrofobiza a partícula. A formação de hemimicelas (centro) imobiliza o coletor adsorvido. A adsorção em multicamadas (direita) traz de volta a partícula à sua condição hidrofílica, conforme ilustrado na figura 3.17.

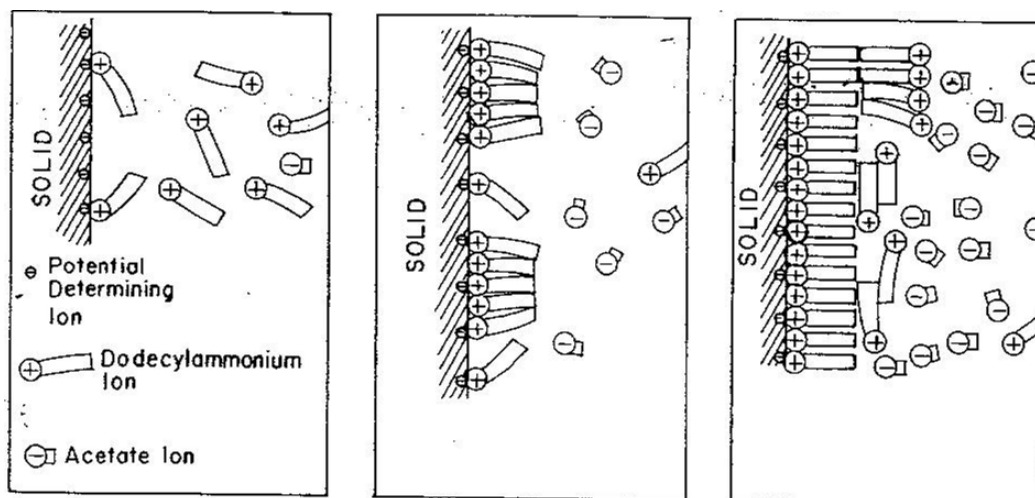


Figura 3.17 - Desenho esquemático da adsorção de íons individuais (esquerda), formação hemimicelas (centro) e multicamada (direita) (adaptado de Smith & Akhtar, 1976).

Um excesso de coletor pode induzir à formação de micelas (indesejável), apresentada na figura 3.18, aprisionando os coletores e/ou causando a reversão de carga do quartzo.

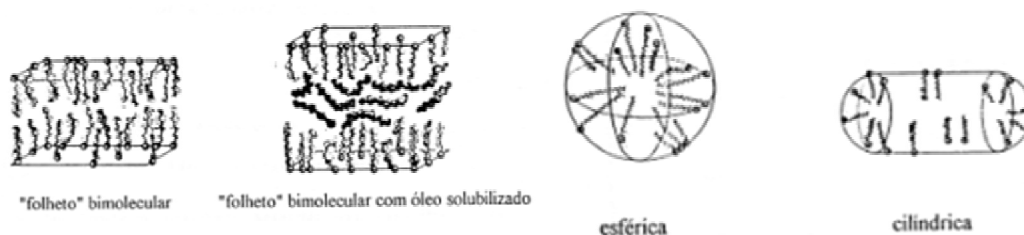


Figura 3.18 - Desenho esquemático da formação de micelas (adaptado de LEJA (1982)).

Em geral, a mera passagem de um fluxo de ar não é suficiente para carrear as partículas hidrofóbicas. Faz-se necessária a formação de uma espuma estável, que é obtida através da ação de reagentes conhecidos como espumantes, os quais abaixam a tensão superficial na interface líquido/ar e têm ainda a importante função de atuar na cinética da interação partícula-bolha, fazendo com que o afinamento e a ruptura do filme líquido ocorram dentro do tempo de colisão.

A estabilidade da espuma requer a presença de mecanismos para retardar a perda de líquido e gás e para evitar a ruptura da lamela quando submetida a mecanismos de choque ou quando uma certa espessura crítica é atingida (50 a 100 Å), ou seja, a bolha não pode estourar durante a colisão com as partículas e/ou devido ao adelgaçamento do filme líquido.

Segundo BALTAR (2010), o processo de concentração por flotação pode ser representado por uma sequência de três mecanismos principais, primeiramente colisão, onde há interações hidrodinâmicas, adesão, que ocorre através de interações interfaciais e o transporte, que só será possibilitado quando houver estabilidade da adesão.

Os mecanismos ocorrem quando as bolhas de ar ascendentes colidem com as partículas de minério. A partícula colide em determinado ângulo com a bolha, e desliza sobre sua superfície. O tempo em que ela entra em contato com a bolha e desliza sobre ela, chama-se de tempo de contato. A adesão ocorre quando o tempo de indução (tempo necessário para romper o filme líquido) é menor que o tempo de contato.

As partículas predominantemente hidrofóbicas aderem à superfície das bolhas. Caso estes agregados aderidos, bolha-partícula, sejam estáveis, eles são transportados para a superfície do equipamento onde formam uma espuma que transborda para uma calha.

A partícula pode simplesmente seguir o fluxo de água, como acontece com as partículas finas. Estas também têm menor probabilidade de colidir com a bolha. Uma partícula muito grande e pesada desliza muito rápido sobre a superfície da bolha e o tempo de contato não é suficiente para ter adesão. Mesmo se aderida, a resultante das forças hidrodinâmicas não é suficiente para transportar o conjunto bolha-partícula para a superfície. Em resumo, o agregado bolha-partícula é susceptível à destruição por efeito da turbulência existente nas células de flotação. A figura 3.19 apresenta as probabilidades de trajetória das partículas.

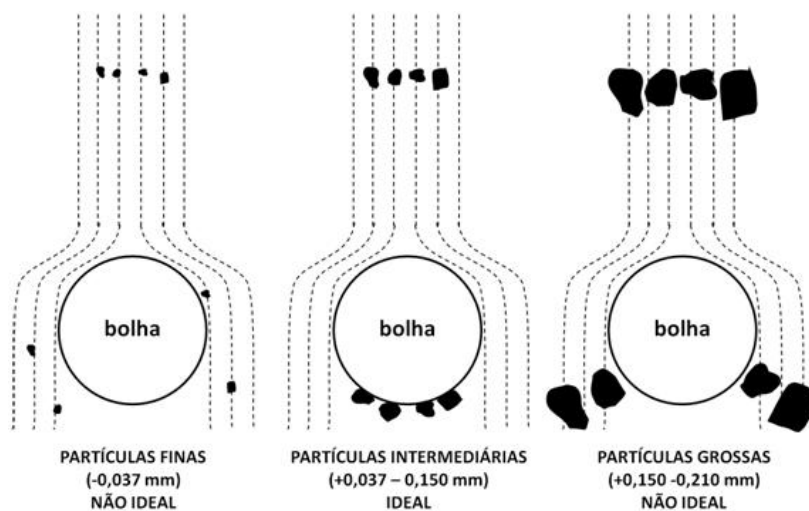


Figura 3.19 - Diagrama esquemático das probabilidades de trajetória de diferentes tamanhos de partículas de quartzo na flotação.

Após a partícula ser coletada na zona de coleta, segue para a camada de espuma, de onde é retirada para a calha de flotação. A estabilidade da camada de espuma é de fundamental importância para o bom desempenho do sistema como um todo. Em espumas pouco estáveis, a bolha se rompe e a partícula volta para a polpa.

Classicamente a flotação é indicada para tamanhos entre 0,3 mm e 0,010 mm (Pease et al., 2005). Porém, PEASE et al. (2005) afirmam que a razão das partículas finas não flotarem se deve ao fato de estarem misturadas com as partículas grossas. Assim, desde que se estreite a faixa de tamanho, é possível adequar melhor as condições da polpa como dosagem de reagentes, percentual de sólidos etc., para otimizar o desempenho dessa operação unitária. A figura 3.20 abaixo ilustra o exposto.

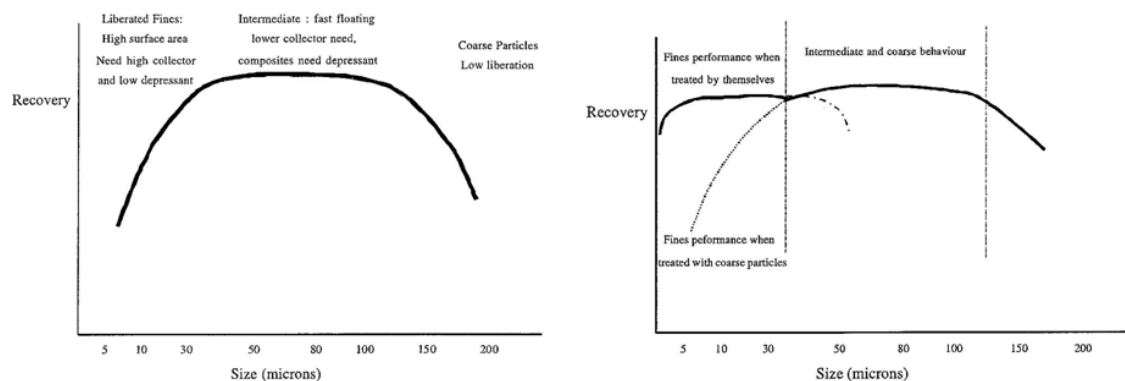


Figura 3.20 - Ilustração do tamanho do mineral versus flotabilidade (Pease et al., 2005).

3.4. Trabalhos Relacionados

Diversos são os estudos que procuram investigar o efeito das variáveis no processo no processo de concentração por flotação. A distribuição granulométrica do minério associada a sua composição mineralógica tem sido alvo de alguns estudos. ROCHA (2008) caracterizou em escala de laboratório uma amostra de lama cuja distribuição granulométrica apresenta apenas 14% de material retido na malha de 0,071 mm e área superficial medida pelo método de Blaine de 2.768 cm²/g. Após a deslamagem do material houve significativa redução no teor de Al₂O₃, Mn e P e os resultados de qualidade e recuperação, considerando apenas as etapas *rougher* e *cleaner*, foram bastante satisfatórios com teor de SiO₂ inferior a 1% e ferro acima de 67%. O teor de ferro no rejeito ficou próximo a 25% em laboratório, sendo reduzido a patamares de 12% na piloto. Apesar de não haver caracterização da área superficial do material que efetivamente alimentou a flotação, tomando-se como base o valor da amostra global, o mesmo é bastante alto e aparentemente não impactou no desempenho da

concentração o que foi confirmado em escala piloto. A tabela 3.1 abaixo ilustra os resultados em escala de laboratório e piloto.

Tabela 3.1 - Resultados testes de laboratório e piloto com lamas (ROCHA, 2008)

| Ensaio Laboratório | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------|------------------|--------------------------------|------|------|------|
| Fluxo | Recuperação Mássica (%) | Fe | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Mn | P | |
| Alimentação | 100,00 | 47,23 | 15,81 | 5,35 | 2,33 | 0,15 | |
| Underflow | 29,05 | 52,78 | 21,00 | 0,81 | 0,22 | 0,03 | |
| Overflow | 70,95 | 44,96 | 13,68 | 7,21 | 3,19 | 0,20 | |
| Alimentação | 100,00 | 55,65 | 18,26 | 0,76 | 0,25 | 0,03 | |
| Concentrado | 72,19 | 67,88 | 0,76 | 0,50 | 0,31 | 0,04 | |
| Rejeito | 27,81 | 23,90 | 63,68 | 1,42 | 0,11 | 0,01 | |
| Recuperação Mássica Global | | 20,97 | | | | | |
| Recuperação Mássica Metálica | | 30,14 | | | | | |
| Teste Piloto | | | | | | | |
| Fluxo | Recuperação Mássica (%) | Fe | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Mn | P | PPC |
| Alimentação | 100,00 | 47,84 | 22,40 | 2,97 | 0,10 | 0,07 | 5,95 |
| Underflow | 39,29 | 42,88 | 33,70 | 0,96 | 0,07 | 0,04 | 3,85 |
| Overflow | 60,71 | 51,06 | 15,08 | 4,26 | 0,11 | 0,09 | 7,30 |
| Alimentação | 100,00 | 42,88 | 33,70 | 0,96 | 0,07 | 0,04 | 3,85 |
| Concentrado | 58,02 | 65,09 | 0,91 | 0,91 | 0,09 | 0,06 | 4,94 |
| Rejeito | 41,98 | 12,18 | 79,03 | 1,08 | 0,05 | 0,02 | 2,35 |
| Recuperação Mássica Global | | 22,80 | | | | | |
| Recuperação Mássica Metálica | | 31,02 | | | | | |

O efeito nocivo da presença de lamas no processo de flotação é notoriamente sabido e comprovado conforme o estudo de LIMA (2001), que mostrou a influência da quantidade de lama (material inferior a 0,010 mm) no processo de flotação. Ele demonstra que este parâmetro afeta de forma diferente a seletividade de cada uma das amostras estudadas, mas estabelece a quantidade de 4,5% como limite para a concentração por flotação para o minério das minas de Alegria e Fábrica Nova. Porém, não explica porque alguns litotipos toleram maior presença de lamas do que outros. A figura 3.21 abaixo apresenta o efeito do *by pass* de lama sobre a qualidade do produto e a recuperação metálica.

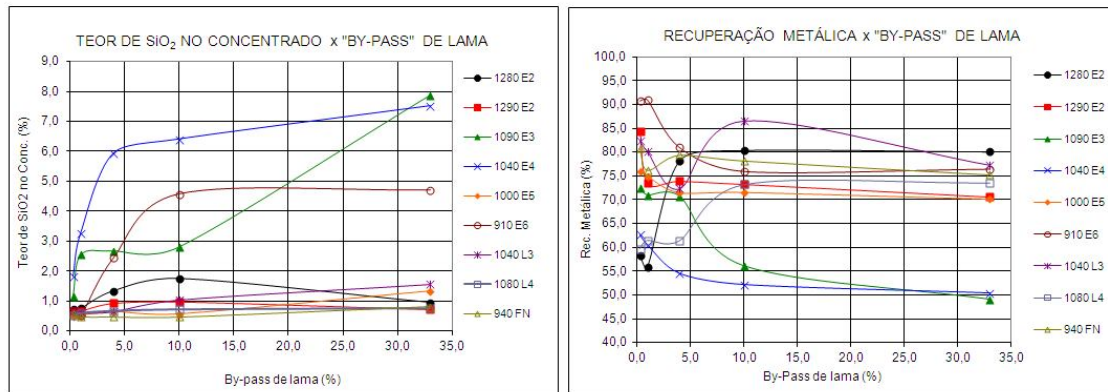


Figura 3.21 - Efeito do *by pass* de lama na qualidade do concentrado e recuperação metálica (LIMA, 2001).

Porém, outro estudo interessante desenvolvido com minério calamínico (mineral fonte de zinco) por MARTINS (2007) evidencia através de testes em escala de laboratório, piloto e industrial ser possível obter um produto dentro das especificações e com aumento na recuperação mássica mesmo sem aplicar a etapa de deslamagem. Para tanto é necessário o uso de dispersantes. O aumento de recuperação de zinco na flotação foi de 14% em relação à obtida na prática industrial com deslamagem prévia. Os resultados são apresentados nas figuras 3.22 e 3.23..

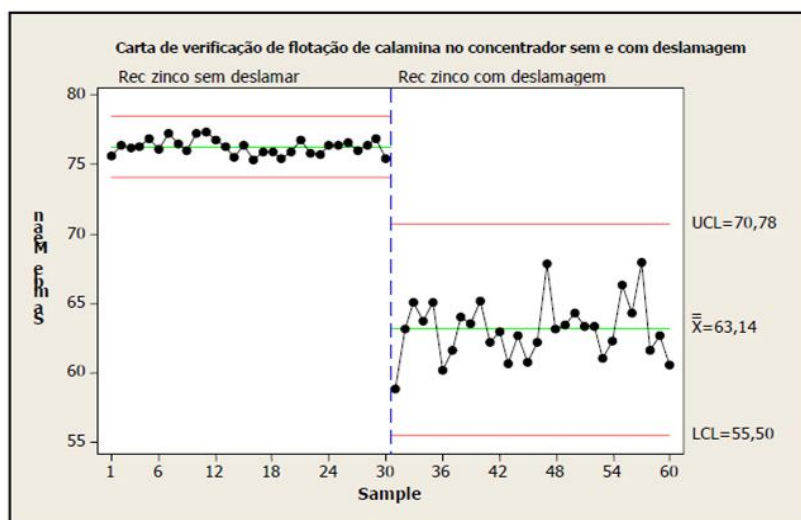


Figura 3.22 - Carta de verificação de flotação de calamina sem e com deslamagem – recuperação de zinco. (MARTINS, 2007).

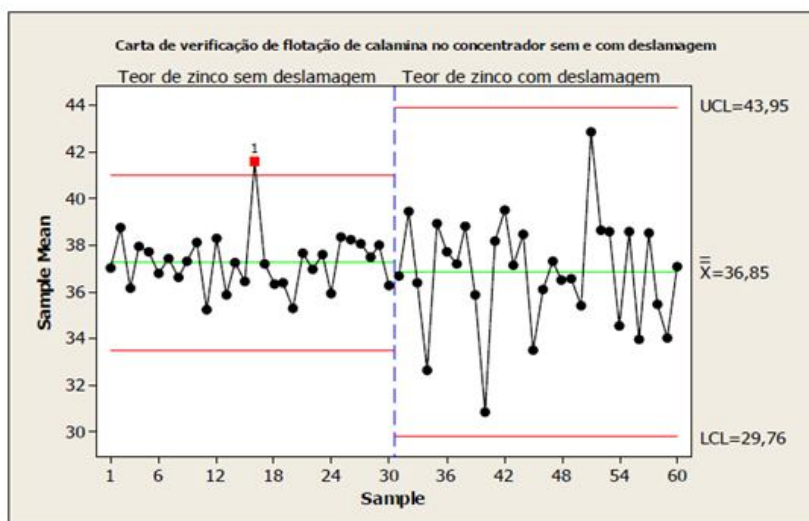


Figura 3.23 - Carta de verificação de flotação de calamina sem e com deslamagem – teor de zinco no concentrado (MARTINS, 2007).

A flotação por faixas de tamanhos também tem se mostrado interessante, pois concentrar o minério dentro de uma faixa de tamanhos mais restrita parece promover condições físico-químicas mais estáveis. O trabalho de OLIVEIRA (2006) mostrou que a flotação de material fino (inferior a 0,045 mm e acima de 0,010 mm) ainda contido nas lamaz de uma usina de beneficiamento de minério de ferro é viável. Foram realizados testes piloto para diferentes rotas de concentração mostrando ser possível produzir um produto com teor de ferro acima de 66% com concentração magnética e acima de 68% com deslamagem e flotação.

O limite de tamanho da partícula do mineral a ser flotado também consiste num parâmetro importante no processo de concentração. FERREIRA (2002) comparou a flotação das frações de um *pellet feed*. Neste foi efetuado um corte em 0,105 mm e as frações processadas individualmente, sendo a fração acima de 0,105 mm tratada naturalmente e após cominuição. Os resultados evidenciaram a influência negativa do quartzo grosso na flotação reversa de minério de ferro na medida que o material fino, após flotação, alcançou 0,61% SiO₂ no concentrado e para a fração grossa natural obteve-se 3,84%. Esta após cominuída atingiu 0,9% de SiO₂. Porém, o material retido após cominuição em malha inferior a 0,105 mm apresentou teor de SiO₂ no concentrado da ordem de 0,9%. A tabela 3.2 abaixo apresenta os resultados.

Tabela 3.2 - Resumo resultados dos estudos de FERREIRA (2002)

| Fração | pH | Amina g/t | Amido g/t | SiO ₂ Alimentação | SiO ₂ Concentrado |
|-------------------|-------|--------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| +0,105 mm Natural | 10,20 | 60 | 450 | 8,64 | 3,84 |
| +0,105 mm moído | 10,20 | 60 | 450 | 8,64 | 0,90 |
| -0,105 mm Natural | 10,20 | 60 | 450 | 1,20 | 0,61 |

CASTRO (2002) em sua revisão bibliográfica traz algumas definições importantes no que tange ao efeito da lama na flotação catiônica de minério de ferro, a saber: as lamas podem alterar o comportamento cinético, provocando recobrimento das partículas maiores; alterar o comportamento hidrodinâmico atingindo o tempo de residência similar ao da fase líquida, podendo ser arrastado hidraulicamente para o afundado ou flutuado; possui alta reatividade podendo reagir quimicamente com os reagentes presentes e, assim, aumentar seu consumo; e, podem aumentar a solubilização em especial da classe dos argilo-minerais contidos no minério de ferro.

ARAUJO (1982) demonstrou em seu estudo a influência da presença de lama no processo de flotação do quartzo e hematita. Esse efeito é avaliado tanto no que tange à distribuição granulométrica, quanto à composição mineralógica. A lama caulínica (inferior a 0,002 mm) consome todo o coletor e, assim, reduz a flotabilidade do quartzo no processo de flotação na faixa de pH entre 6 e 7, fato que o autor atribui à superfície específica da caulinita ser superior à quartzo e o pH 6 ser o pH de maior adsorção da amina sobre esse mineral. A figura 3.24 abaixo apresenta os resultados obtidos.

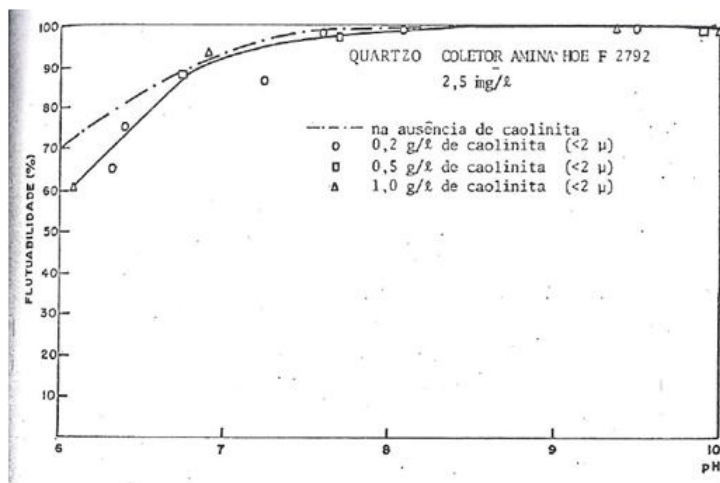


Figura 3.24 - Influência de lamelas de caulinita na flutuabilidade do quartzo em função do pH (ARAUJO, 1982).

Além disso, o estudo mostra ainda que lamelas de minério de ferro (com granulometria inferior a 0,001 mm) quando no sistema envolvendo apenas quartzo e amina deprimem a flotação catiônica do quartzo no intervalo de pH 6 a 10 devido ao fenômeno de *slimes coating*. A figura 3.25 abaixo apresenta os resultados obtidos.

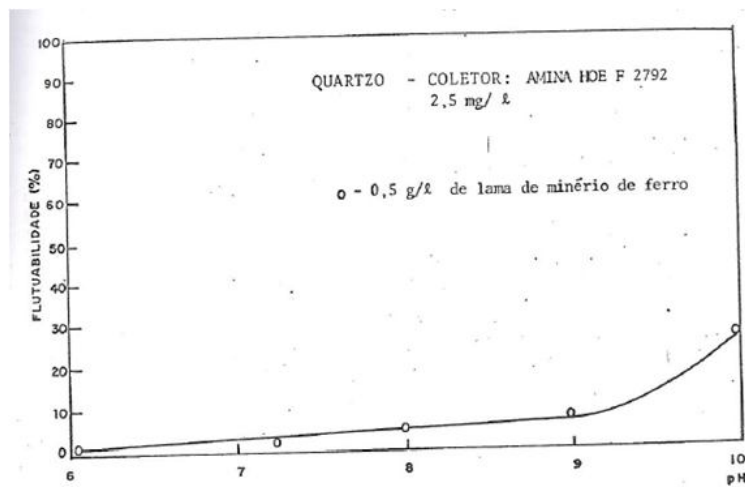


Figura 3.25 - Influência de lamelas de minério de ferro na flutuabilidade do quartzo em função do pH (ARAUJO, 1992).

Tentativas de dispersar a polpa de modo a remover os ultrafinos e coloides e aumentar em módulo o potencial zeta dos minerais foram relatadas por SILVA (1994), que estudou em escala de laboratório uma amostra de minério de ferro moído a 0,15 mm que foi peneirada em 0,045 mm e o passante nesta malha foi utilizado, possuindo 80% de material passante em 0,023 mm. Foram testados diferentes tipos de dispersantes (inorgânicos e orgânicos), alguns reagentes coagulantes e amido de milho. Para todos o melhor desempenho ocorre em pH mas alcalino. O potencial zeta dos minerais presentes aumenta bastante em módulo, tendendo a ter o mesmo valor para os minerais presentes à medida que se aumenta o pH. A tabela 3.3 abaixo apresenta o exposto.

Tabela 3.3 - Resultados dos estudos de SILVA (1994)

| Mineral | Dispersante | Potencial Zeta | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | pH 4 | pH 5 | pH 6 | pH 7 | pH 8 | pH 9 | pH 10 | pH 11 |
| Quartzo | Cloreto de Potássio | -25,62 | -42,06 | -46,91 | -55,73 | -57,29 | -61,70 | -66,70 | -65,65 |
| | Hexametáfosfato de Sódio | - | - | -46,00 | -66,20 | -69,49 | -71,46 | -77,06 | -78,66 |
| | Ácido Cítrico | - | - | -45,49 | -55,72 | -58,10 | -64,38 | -69,59 | -76,10 |
| Minerais de Ferro | Cloreto de Potássio | 33,54 | 27,22 | -14,08 | -14,82 | -32,12 | -44,88 | -54,23 | -58,59 |
| | Hexametáfosfato de Sódio | - | - | -34,66 | -32,85 | -37,71 | -51,88 | -65,91 | -70,82 |
| | Ácido Cítrico | - | - | -13,71 | -18,60 | -33,07 | -51,72 | -56,04 | -67,06 |

QUEIROZ (2003), que estudou em escala de laboratório amostras de minério de ferro com diferentes composições mineralógicas, deixa claro o efeito benéfico da atribuição em todos os parâmetros importantes da flotação: melhor qualidade do concentrado, menor teor de ferro no rejeito, menor tempo de flotação (o que implica em menores tempos de residência necessários ao processo), entre outros. Os resultados são resumidos na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Resumo resultados dos estudos de QUEIROZ (2003)

| Parâmetro | Amostra | Alimentação Flotação | | Condições Atrição / Deslamagem | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|-------|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| | | %MC | %MP | 0min, pH Nat. | 5min, pH Nat. | 20min, pH Nat. | 0min, pH 9,80 | 5min, pH 9,80 | 20min, pH 9,80 |
| % SiO ₂ nos Concentrados de Flotação | FN 950 - IP | 76,92 | 6,91 | 2,47 | 1,86 | 1,04 | 0,87 | 0,79 | 0,46 |
| | FN 960 - SP | 63,15 | 12,09 | 6,30 | 5,66 | 3,57 | 1,01 | 0,83 | 0,73 |
| | FN 960 - IP | 62,56 | 15,80 | 5,02 | 5,00 | 5,03 | 0,88 | 0,67 | 0,54 |
| | AL 1250 E2 - SP | 31,93 | 38,99 | 11,78 | 12,28 | 16,03 | 2,06 | 1,85 | 1,61 |
| | AL 1240 E2 - Anf R/P | 7,73 | 59,35 | N.A. (*) | N.A. (*) | N.A. (*) | 1,63 | 1,54 | 1,30 |
| | AL 1040 E3 - Anf | 0,36 | 78,29 | 9,14 | 8,62 | 8,76 | 1,72 | 1,38 | 0,93 |
| % Fe no Rejeito Final de Flotação em Bancada | FN 950 - IP | 76,92 | 6,91 | 43,57 | 38,87 | 28,30 | 31,88 | 27,49 | 25,70 |
| | FN 960 - SP | 63,15 | 12,09 | 39,20 | 38,57 | 37,73 | 29,77 | 27,58 | 25,74 |
| | FN 960 - IP | 62,56 | 15,80 | 42,85 | 42,57 | 42,43 | 32,97 | 30,05 | 29,29 |
| | AL 1250 E2 - SP | 31,93 | 38,99 | 34,36 | 34,70 | 39,37 | 35,91 | 36,61 | 36,58 |
| | AL 1240 E2 - Anf R/P | 7,73 | 59,35 | N.A. (*) | N.A. (*) | N.A. (*) | 21,96 | 20,76 | 17,96 |
| | AL1040 E3 - Anf | 0,36 | 78,29 | 30,98 | 30,94 | 31,14 | 22,88 | 22,64 | 15,11 |
| Recuperação em Massa | FN 950 - IP | 76,92 | 6,91 | 57,96 | 64,15 | 73,73 | 70,52 | 73,94 | 73,76 |
| | FN 960 - SP | 63,15 | 12,09 | 41,60 | 43,24 | 41,76 | 53,57 | 55,91 | 58,46 |
| | FN 960 - IP | 62,56 | 15,80 | 49,53 | 49,92 | 48,74 | 60,84 | 64,57 | 65,27 |
| | AL 1250 E2 - SP | 31,93 | 38,99 | 55,33 | 55,15 | 57,58 | 44,51 | 43,68 | 44,03 |
| | AL 1240 E2 - Anf R/P | 7,73 | 59,35 | (*)N.A. | (*)N.A. | (*)N.A. | 47,79 | 48,66 | 51,18 |
| | AL 1040 E3 - Anf | 0,36 | 78,29 | 72,68 | 72,39 | 71,65 | 70,21 | 69,74 | 73,40 |

%MC = percentual minerais de ferro compactos
 %MP = percentual minerais de ferro porosos

SOMASUNDARAN (1984) afirma que aumentar a área superficial não implica apenas em aumentar a dosagem de reagentes, a morfologia e a química da superfície são importantes no comportamento das partículas finas. A forma de cominuição e o tamanho das partículas influenciam na morfologia e rugosidade e, por consequência, na molhabilidade das mesmas. Quanto maior a rugosidade, maior a característica hidrofílica. A figura 3.26 abaixo apresenta as diferenças de morfologia para o quartzo em dois tamanhos distintos.

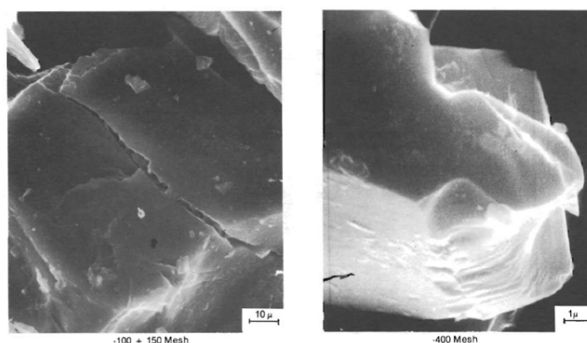


Figura 3.26 - Micrografias do quartzo em diferentes frações granulométricas (SOMASUNDARAN 1984).

4. Metodologia

O estudo possui basicamente duas fases, a primeira que envolve o estudo do efeito de lamas distintas sobre três minérios de ferro que efetivamente serão as futuras alimentações de projetos que visam o aproveitamento de itabiritos pobres do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais. A segunda fase avalia o efeito destas mesmas lamas sobre duas amostras sendo uma composta essencialmente por minerais de ferro e outra composta essencialmente por quartzo, que foram obtidas de fluxos amostrados em usinas atualmente em operação e neste estudo denominadas como amostras individuais.

Selecionaram-se três amostras de minérios itabiríticos, sendo uma da mina de Conceição, uma da mina de Fábrica Nova e outra composta por um *blend* da mina de Sapecado com a mina do Galinheiro, todas com características mineralógicas distintas. Além disso, foram escolhidas quatro amostras de lamas também distintas que foram geradas a partir dessas três amostras de minério e uma quarta amostra gerada a partir de um Itabirito Goethítico da mina de Alegria. As amostras foram identificadas da seguinte forma:

- Amostra 1: amostra de itabirito compacto da mina de Conceição.
- Amostra 2: amostra de itabirito friável da mina de Fábrica Nova.
- Amostra 3: amostra de itabirito friável das minas de Sapecado e Galinheiro.
- Lama 1: amostra gerada a partir do itabirito compacto da mina de Conceição.
- Lama 2: amostra gerada a partir do itabirito friável da mina de Fábrica Nova.
- Lama 3: amostra gerada a partir do *blend* do itabirito friável das minas de Sapecado e Galinheiro.
- Lama 4: amostra gerada a partir do itabirito goethítico da mina de Alegria.

Para as amostras de minerais de ferro e quartzo individuais foram amostrados fluxos da usina do Cauê atualmente em operação. Um *pellet feed* foi utilizado como amostra de mineral de ferro e o rejeito da concentração magnética foi utilizado como amostra de mineral de quartzo. As amostras foram identificadas da seguinte forma:

- Amostra 5: amostra de mineral de ferro global
- Amostra 5A: amostra de mineral de ferro fração +0,075 mm
- Amostra 5B: amostra de mineral de ferro fração -0,075 mm

- Amostra 6: amostra de mineral de quartzo global
- Amostra 6A: amostra de mineral quartzo fração +0,075 mm
- Amostra 6B: amostra de mineral quartzo fração -0,075 mm

A maior parte das caracterizações e todos os ensaios foram realizados no Centro de Pesquisas Tecnológicas da Gerência de Desenvolvimento de Processo de Tratamento de Minério (GADMF) da Vale que conta com uma estrutura laboratorial de preparação de amostras, caracterizações físicas e com equipamentos de processo para ensaios em escala de laboratório e piloto. Todos os procedimentos de preparação de amostras e análises físicas foram realizados conforme procedimentos internos do laboratório que se baseiam em normas ISO e ABNT.

Todas as análises químicas foram realizadas no laboratório químico da Gerência de Laboratórios da Vale (GALBS), unidade de Alegria, pelo método de fluorescência de raios X e utilizando-se pastilhas fundidas, sendo analisados os seguintes elementos e compostos: Fe, SiO₂, P, Al₂O₃, Mn, TiO₂, CaO, MgO. O teor de PPC foi obtido por calcinação.

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X foram realizadas no CDM – Centro de Desenvolvimento Mineral da Vale. A difração foi realizada pelo método do pó, sendo utilizado um difratômetro modelo X'PERT PRO MPD (PW 1775) da PANalytical, equipado com tubo de raios X cerâmico e anodos de Co ($K\alpha_1=1,78901 \text{ \AA}$), filtro $K\beta$ de ferro e detector X'celerator. As condições instrumentais utilizadas foram: varredura de 6° a 100° em 2θ ; voltagem de 40 kV e corrente de 40 mA; tamanho do passo de 0,02°, tempo de contagem de 99 segundos por passo. A interpretação qualitativa foi efetuada com padrões contidos no banco de dados do CDM. O tempo total de aquisição do espectro foi de aproximadamente uma hora. O MEV foi utilizado na caracterização das três amostras de minérios, amostras de minerais de ferro e nas amostras de minerais de quartzo. A difração foi utilizada para caracterização das lamelas.

O permeabilímetro de *Blaine* foi usado para determinação de todas as superfícies específicas e foram realizadas no CTF – Centro Tecnológico de Ferrosos da Vale.

4.1. Caracterização da Amostra de Minério

As amostras de minério foram inicialmente pesadas, sendo posteriormente homogeneizadas e quarteadas através de divisor tipo carrossel. O procedimento consiste basicamente nas seguintes etapas: acionamento do tambor e posteriormente da correia mantendo a rotação de ambos, que já deve estar ajustada para no mínimo 20 voltas do carrossel; regula-se a comporta para alimentação do carrossel na abertura de 70,0 mm para amostras com granulometria na faixa -50,0 + 10,0 mm, ou abertura de 15,0 mm para amostras com granulometria inferior a 10,0 mm; alimenta-se o silo com a amostra e, após o mesmo estar vazio, desliga-se o equipamento. É realizada, então, a recomposição da amostra de todos os coletores, sendo estas reprocessadas no equipamento. Este procedimento é efetuado por três vezes para garantir homogeneização. Finalmente, retiram-se as massas dos coletores diametralmente opostos até completar a massa necessária ao processo subsequente. Deste modo, são obtidas alíquotas para determinação de densidade real, química global, granulometria e granuloquímica nas malhas, -12,5+8,0 mm, -8,0 + 6,3mm, -6,3+1,0mm, -1,0+0,15 mm, -0,15 + 0,045 mm e -0,045 mm, além das alíquotas para execução dos ensaios de moagem.

A alíquota retirada do divisor carrossel para análise de granulometria é primeiramente submetida a um corte a seco na malha de 6,35 mm e o retido nesse peneiramento é submetido a análise série macro a úmido nas malhas de 12,5 mm, 10,0 mm, 8,0 mm e 6,35 mm, utilizando um vibrador de peneira. Posteriormente os passantes em 6,35 mm do corte e da análise granulométrica do material da série macro são submetidos a um peneirador série micro a úmido nas malhas 1,0 mm, 0,150 mm e 0,045 mm. Cada uma das frações foi secada em estufa a 105°C de temperatura, exceto a massa passante na malha de 0,045 mm que é calculada por diferença devido à necessidade de caracterização granulométrica. Esse material passante em 0,045 mm é então submetido a agitação mecânica, sendo sifonada uma alíquota para realização da análise granulométrica utilizando um granulômetro a laser (CILAS modelo 920).

A alíquota para análise química foi britada em 2,0 mm através de britador de rolos de bancada (quando necessário) e posteriormente realizada a homogeneização e quarteamento em quarteador tipo Rifles, retirando-se uma alíquota de

aproximadamente 30 g, sendo esta posteriormente pulverizada via moinho pulverizador Herzog HSM 100-D e encaminhada ao laboratório químico.

Cada uma das amostras foi moída até que o material estivesse com 5% de material retido em 0,15 mm e o produto moído (após homogeneização e quarteamento em polpa) foi submetido a distribuição granulométrica (peneiramento e difração a laser – Cilas). Em seguida o material foi deslamado buscando-se reduzir ao máximo a quantidade de lama (tamanho inferior a 0,010 mm) no *underflow*. Todos os *underflows* gerados foram filtrados, homogeneizados e quarteados pelo método de torta e separado alíquotas para realização dos ensaios de flotação sem e com adição das lamas e para as seguintes caracterizações: granulometria, química global, superfície específica e mineralogia.

A quantificação da composição mineralógica das amostras foi realizada por meio de microscopia ótica de luz refletida, sendo confeccionadas seções polidas das frações granulométricas. As análises foram quantitativas e qualitativas, avaliando-se as características morfológicas e texturais das partículas, bem como a identificação das principais associações minerais presentes em cada amostra.

A figura 4.1 ilustra a preparação das amostras.

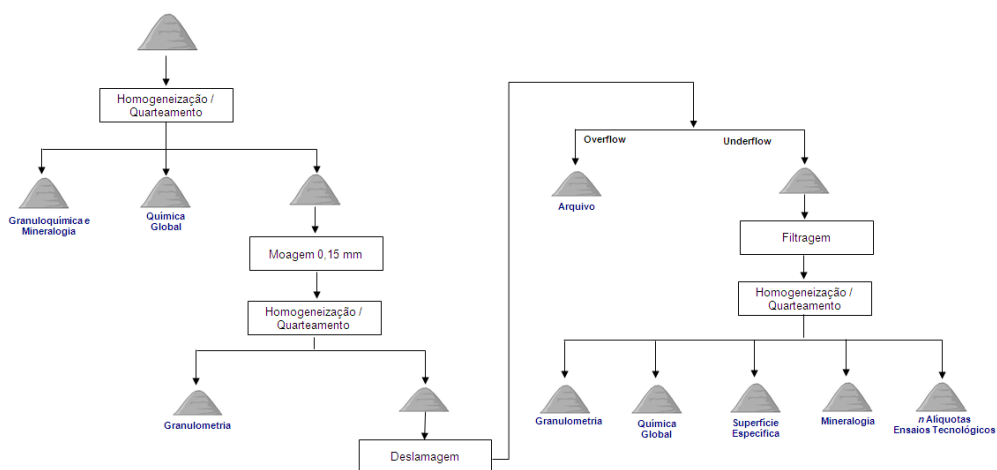


Figura 4.1 - Fluxograma esquemático da preparação das amostras de minério.

4.2. Caracterização da Amostra de Lama

Conforme mencionado anteriormente, foram selecionados 4 minérios com características mineralógicas distintas para obtenção da lama a ser utilizada nas duas fases do estudo. As amostras foram homogeneizadas e quarteadas de forma similar ao descrito no item anterior. Cada uma das amostras foi moída até que o material estivesse com 5% de material retido em 0,15 mm e o produto moído (após homogeneização e quarteamento em polpa) foi submetido a distribuição granulométrica (peneiramento e difração a laser – Cilas). Em seguida o material foi deslamado com d95 em 0,010 mm.

O *overflow* gerado foi submetido a homogeneização e quarteamento em polpa, onde o material foi acondicionado num recipiente próprio (balde) e posicionadas haletas diametralmente opostas e um agitador eletromecânico com o eixo de forma que a hélice fique próxima ao fundo do balde, sem tocar no mesmo. Em seguida, ajustou-se a rotação do eixo de forma a garantir a homogeneidade da polpa. A mesma permaneceu em agitação por no mínimo 1 minuto, em seguida, tomou-se uma mangueira com água e iniciou-se a divisão de polpa através do sifonamento.

Desse quarteamento, retiraram-se as alíquotas para as seguintes caracterizações: densidade real, química global, granulometria, superfície específica, potencial zeta e mineralogia (realizada por meio de difração de raios-X, buscando-se identificar os principais minerais presentes). A figura 4.2 lustra a caracterização das amostras de lama.

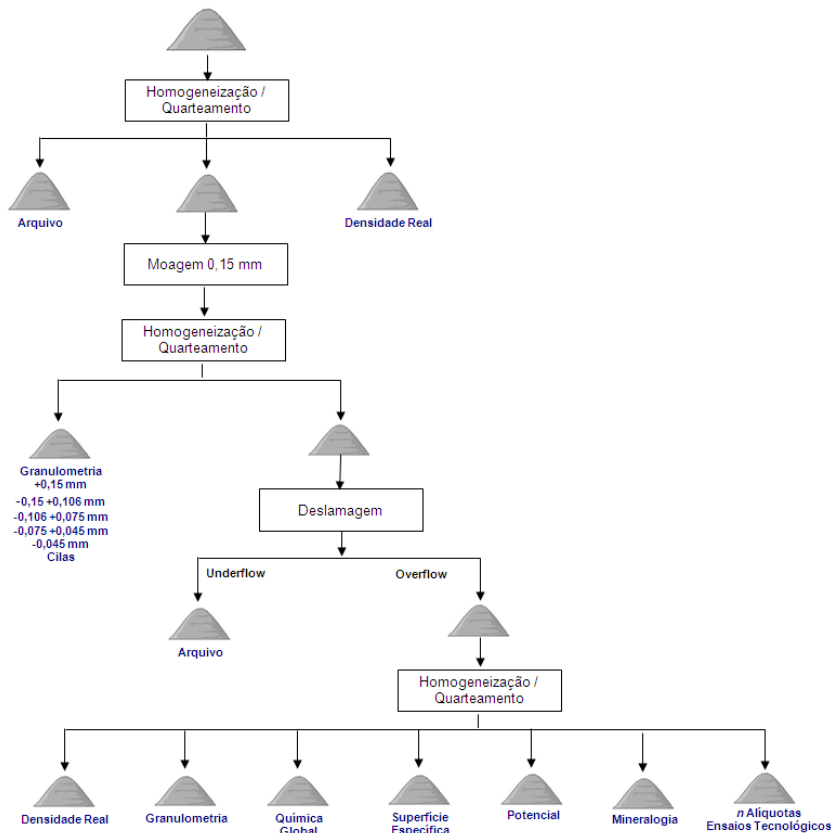


Figura 4.2 - Fluxograma esquemático da preparação das amostras de lama.

4.3. Caracterização das Amostras Individuais

A amostra composta essencialmente por minerais de quartzo foi homogeneizada e quarteada através de divisor tipo carrossel, cujo procedimento é similar ao descrito nos itens anteriores. Assim, foram obtidas alíquotas para determinação de densidade real, química global e alíquotas para os testes de moagem. A amostra de quartzo foi moída até que todo material estivesse com 5% retido em 0,21 mm, sendo seu produto homogeneizado e quarteado para obtenção de alíquotas para os testes de flotação sem e com adição de lamas. Além disso, foram retiradas alíquotas para separação do material em duas frações granulométricas: acima de 0,075 mm e abaixo de 0,075 mm que também foram submetidas aos ensaios de flotação.

As três amostras de quartzo foram submetidas às seguintes caracterizações: química global, granulometria completa (peneiramento e difração a laser quando for o caso), densidade real, mineralogia e superfície específica.

A amostra composta por minerais de ferro foi obtida por meio de amostragem industrial de um *pellet feed*, sendo lavado com ácido em pH 5 e posteriormente com água. A caracterização efetuada foi similar a amostra de quartzo, exceto pela não necessidade de moagem, uma vez que a granulometria do material já estava adequada para o estudo.

A análise mineralógica das amostras foi realizada por meio de microscopias ótica e eletrônica de varredura. As análises foram quantitativas e qualitativas, avaliando-se as características morfológicas e texturais das partículas, bem como a identificação das principais associações minerais presentes em cada amostra. Realizou-se ainda o potencial zeta das frações acima e abaixo de 0,075 mm de ambas as amostras. A figura 4.3 ilustra a caracterização dessas amostras.

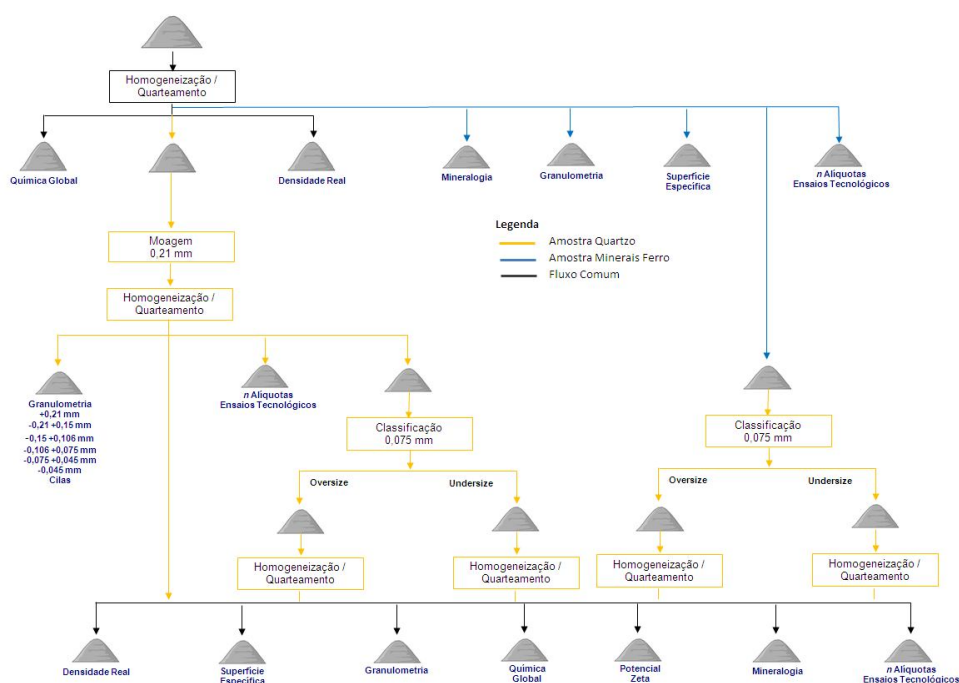


Figura 4.3 - Fluxograma esquemático da preparação das amostras de Quartzo e Minerais de Ferro.

4.4. Experimentos

Conforme mencionado em itens anteriores, as amostras de minério (1, 2 e 3) foram cominuídas até que todo o material ficasse abaixo de 0,15 mm de modo a garantir a liberação do quartzo das associações com os demais minerais presentes. Realizou-se a deslamagem de modo a se obter pelo menos quatro níveis diferentes de percentuais de lama (material inferior a 0,010 mm) no *underflow* para posterior concentração por flotação. A amostra 4 também foi moída da mesma forma, porém apenas para obtenção de lama.

Homogeneizou-se e quarteou-se o produto da moagem e deslamagem e foram caracterizados granulometricamente o produto moído e o *underflow*, sendo cada uma das frações secadas em estufa a 105°C de temperatura. A massa passante na malha de 0,045 mm é calculada por diferença devido à necessidade de caracterização granulométrica no granulômetro a laser. Utilizou-se o *overflow* da deslamagem dessas amostras para constituir as lamas objeto de estudo deste trabalho.

Além dos testes acima, foram realizados ensaios com o *underflow* dos três tipos de minérios incorporando-se lamas distintas em diferentes proporções. As amostras foram filtradas, homogeneizadas e quarteadas para ajuste da massa a ser submetida ao ensaio de flotação. Todos os *underflows* gerados (com e sem adição de lama) e as lamas foram submetidas a análise de superfície específica pelo método *Blaine* tanto da amostra tal qual quanto do passante na malha 0,045 mm. A figura 4.4 apresenta um fluxograma dessa caracterização e dos ensaios.

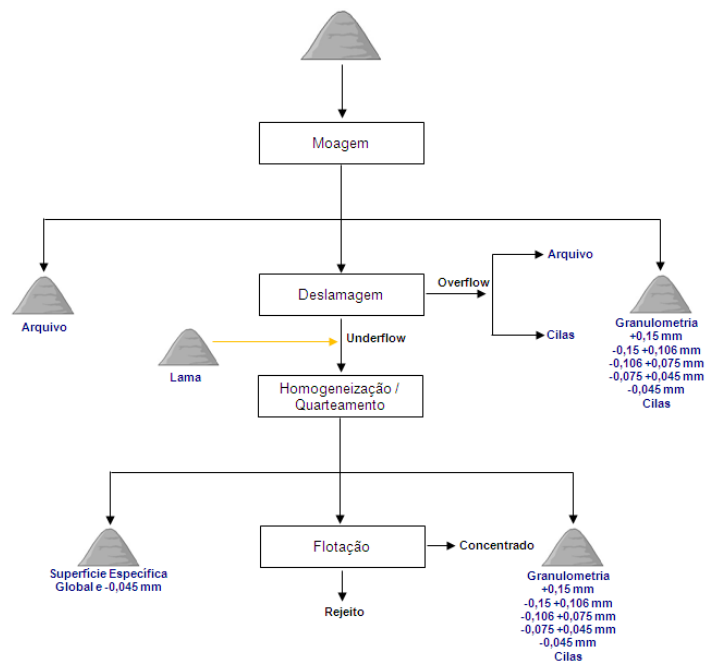


Figura 4.4 - Fluxograma esquemático de caracterização tecnológica das amostras de minério.

As alíquotas das amostras denominadas individuais (compostas essencialmente por minerais de ferro e outra por minerais de quartzo) foram homogeneizadas com quantidades de lamas previamente estabelecidas e, em seguida, efetuados ensaios de flotação para avaliar a influência das lamas sobre a superfície dos minerais. A figura 4.5 apresenta um fluxograma dos ensaios.

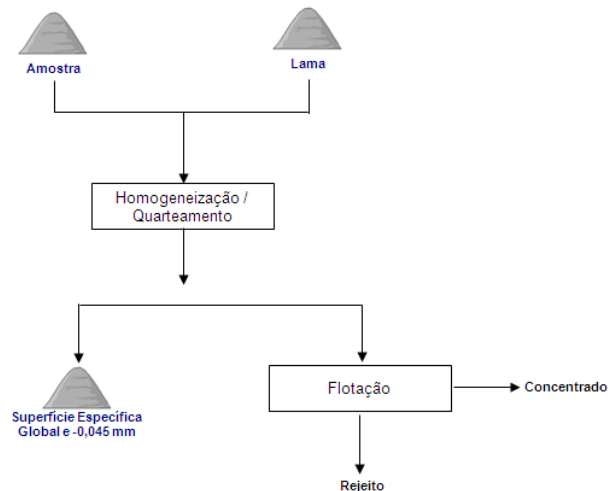


Figura 4.5 - Fluxograma esquemático da caracterização tecnológica das amostras individuais.

Os ensaios que envolvem a caracterização tecnológica são descritos abaixo.

- **Moagem:** os ensaios de moagem foram realizados em moinho de jarro com diâmetro de 8" (20,32 cm) e comprimento de 12" (30,48 cm), com carga de bolas distribuída em 38,1 mm (11,007 kg); 25,4 mm (3,430 kg); 19,1 mm (1,527 kg) e 12,7 mm (0,913 kg), e polpa a 65% de sólidos. O minério foi inicialmente britado a 2,0 mm para efeito de adequação às dimensões do moinho. A rotação foi de 72 RPM. Os ensaios foram realizados até se obter 95% do material passante na malha de 0,15 mm.
- **Deslamagem:** para realização dos ensaios, as amostras provenientes da moagem foram acondicionadas em recipientes próprios e seu percentual de sólidos ajustado para 25%. A polpa foi mantida em suspensão por meio de agitador mecânico para dispersão das partículas durante 5 minutos. O pH da polpa foi ajustado para um valor pré-determinado via ensaio de dispersão em bequer, por meio de adição de NaOH (soda cáustica, a 5% de concentração), para se obter maior grau de dispersão das partículas. Posteriormente, a polpa foi colocada em repouso durante um intervalo de tempo variável, para que ocorra a sedimentação das partículas. O tempo de sedimentação é dimensionado de acordo com os objetivos do ensaio com relação à granulometria dos produtos. Decorrido este intervalo de tempo, é efetuado o sifonamento do material sobrenadante (*overflow*). Esta sequência foi repetida,

com adição de água e posterior sifonamento do *overflow*, até que fossem atingidos os parâmetros especificados.

- **Flotação:** os ensaios de flotação foram realizados em cuba CDC de 1,5 litros sendo a rotação aplicada de 1200 rpm e o tempo de flotação foi consequência da exaustão da espuma. O coletor utilizado foi a amina EDA-C da Clariant numa solução a 1% de concentração, o pH foi controlado com adição de soda cáustica numa solução a 5% de concentração para 10,5. O depressor utilizado foi o gritz de milho gelatinizado com soda cáustica, exceto para a Amostra de Minério 1 onde utilizou-se fécula de mandioca. Os mesmos testes de flotação também foram realizados na presença de dispersante, sendo aplicado o hexameta fosfato de sódio. As dosagens dos reagentes são apresentadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Dosagens adotadas

| Amostra | Depressor g/t _{alimentada} | Coletor g/t SiO ₂ _{alimentada} | Dispersante |
|---------|--|---|-------------|
| 1 | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |
| 2 | 1000 | 250 / 400 | sem / 50g/t |
| 3 | 800 | 350 / 500 | sem / 50g/t |
| 5 | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |
| 5A | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |
| 5B | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |
| 6 | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |
| 6A | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |
| 6B | 600 | 200 / 400 | sem / 50g/t |

- Quantificação mineralógica via microscopia ótica: foi utilizada uma determinada lente objetiva que permite visualização de pelo menos 20 partículas por campo visual (objetivas de 50x, 100x, 200x ou 500x), sendo analisados 25 campos. Este número abrange uma parcela estatisticamente representativa da seção polida analisada. Para quantificação utilizou-se o método de estimativa de área, ou seja, em cada campo visual foram estimados os percentuais em área ocupados pelas diversas espécies minerais. A partir dos valores de área encontrou-se a massa de cada mineral multiplicando-se a área obtida em cada campo pela densidade do mineral e recalculado o fechamento das análises na forma percentual. O percentual de participação de cada mineral é a média dos valores obtidos nos 25 campos visuais analisados.

5. Resultados

5.1. Resultados da Caracterização das Amostras de Minério

A tabela 5.1 apresenta a quantificação mineralógica e química global das três amostras de minério estudadas e o anexo 9.1 apresenta o resultado por fração granulométrica. Observa-se que as amostras 1 e 3 apresentam teores de ferro e sílica próximos, enquanto a amostra 2 possui um teor de ferro mais elevado. Exceto pelo teor de P e PPC os demais contaminantes das três amostras são próximos.

Tabela 5.1 - Quantificação mineralógica global e análise química das amostras de minério

| Amostra | HC's | HM | MA | GO | GT | QZ | MN | CA | GB | OT |
|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 1 | 50,97 | 2,62 | 3,31 | 2,05 | 1,77 | 35,58 | 0,45 | 0,20 | 0,57 | 2,48 |
| 2 | 25,67 | 19,65 | 14,35 | 8,29 | 1,91 | 29,88 | 0,00 | 0,08 | 0,16 | 0,00 |
| 3 | 24,76 | 26,31 | 1,26 | 9,44 | 3,58 | 34,08 | 0,00 | 0,06 | 0,51 | 0,00 |

| Legenda | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|---------------|
| HC's = Hematitas compactas | GO = Goethita | MN = Óxido de manganês | GB = Gibbsita |
| HM = Hematita martítica | GT = Goethita terrosa | CA = Caulinita | |
| MA = Magnetita | QZ = Quartzo | OT = Outros minerais | |

| Amostra | Fe | SiO ₂ | P | Al ₂ O ₃ | Mn | TiO ₂ | CaO | MgO | PPC |
|---------|------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|-------|-----|
| 1 | 42,8 | 37,0 | 0,019 | 0,53 | 0,086 | 0,050 | 0,018 | 0,039 | 0,7 |
| 2 | 47,6 | 29,6 | 0,044 | 0,63 | 0,028 | 0,035 | 0,006 | 0,016 | 1,5 |
| 3 | 43,8 | 34,5 | 0,038 | 1,05 | 0,011 | 0,033 | 0,003 | 0,011 | 2,1 |

O gráfico da figura 5.1 apresenta graficamente a quantificação mineralógica global.

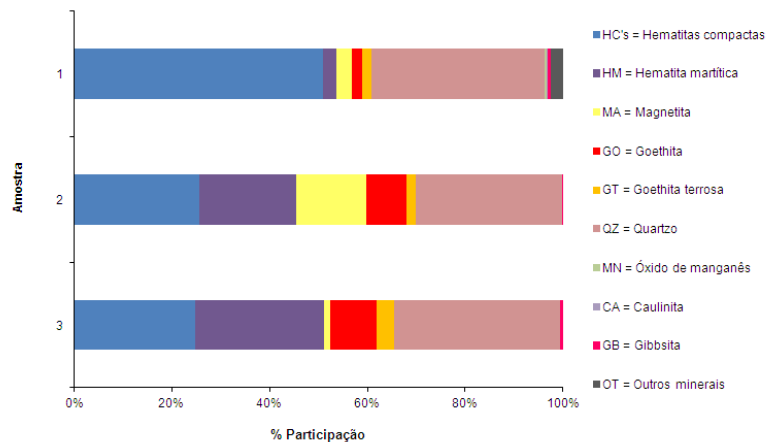


Figura 5.1 - Quantificação mineralógica das amostras de minério 1, 2 e 3 via microscopia ótica.

Em seguida será descrito as principais características observadas em cada amostra.

- Amostra 1: amostra com predominância de hematitas compactas, com participação majoritária de cristais de morfologia lamelar. Pequena participação de hematitas martíticas e magnetita, sendo que esta última ocorre na forma relictual nos cristais de hematita. Minério pouco hidratado, com participação pouco significativa de hidróxidos de ferro (goethitas). O principal mineral contaminante é o quartzo, em cristais grandes e de rugosidade bastante variável. Inclusões de minerais ferrosos no quartzo são frequentes. Há traços de minerais manganésiferos, caulinita, gibbsita, micas e outros minerais não identificados por microscopia ótica de luz refletida. A figura 5.2 apresenta fotomicrografias das frações.

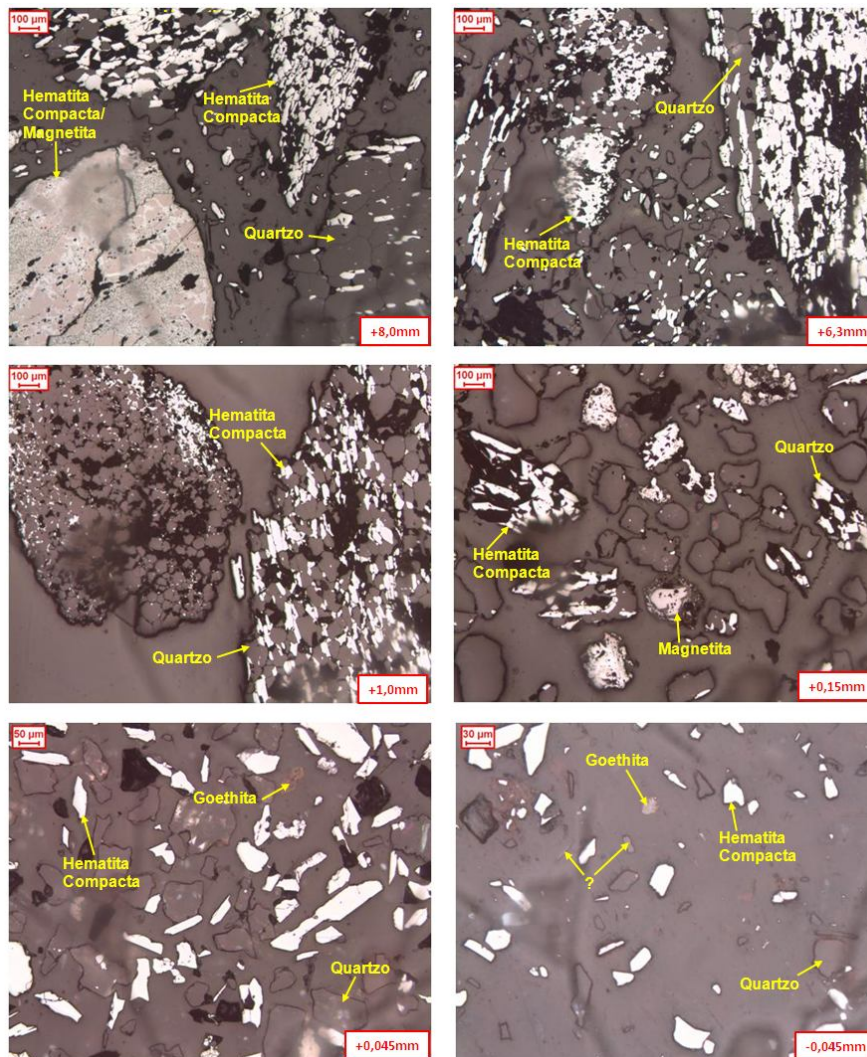


Figura 5.2 - Fotomicrografias da amostra 1 obtidas via microscopia ótica com os principais minerais identificados.

- Amostra 2: a ocorrência de minerais ferrosos é maior nas extremidades da curva granulométrica (frações mais finas e mais grossas). Com relação ao mineral-minério predominam as hematitas compactas (lamelar, especular, granular e sinuosa), havendo, porém, considerável participação de hematitas martíticas. Há ocorrência de magnetita, que ocorre na forma de relictos esparsamente distribuídos nas hematitas. Verifica-se ocorrência de hidróxidos de ferro, predominando a goethita compacta de morfologia maciça, sendo menor a participação de goethita terrosa. O principal mineral contaminante é o

quartzo, sendo que caulinita e gibbsita ocorrem como traços. A figura 5.3 apresenta fotomicrografias das frações.

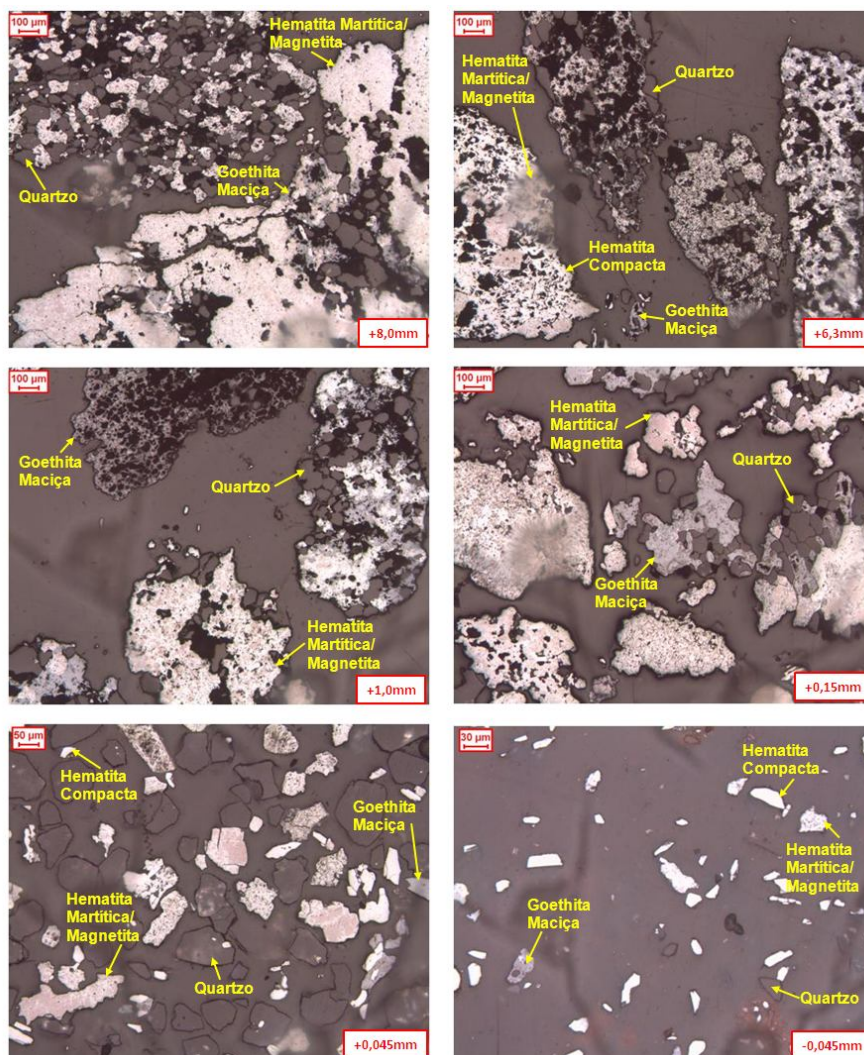


Figura 5.3 - Fotomicrografias da amostra 2 obtidas via microscopia ótica com os principais minerais identificados.

- Amostra 3: com relação aos minerais ferrosos há participação de hematitas compactas (lamelar, especular, granular e sinuosa) e martíticas em proporções similares. A participação de magnetita é pouco significativa, sendo que a mesma ocorre na forma de relictos principalmente nas hematitas martíticas. Há ocorrência de hidróxidos de ferro, predominando a goethita compacta de morfologia maciça, que ocorre tanto livre quanto associada a outros minerais

ferrosos e também aos minerais de ganga. O principal mineral contaminante é o quartzo, havendo traços de caulinita e gibbsita. A figura 5.4 apresenta fotomicrografias das frações.

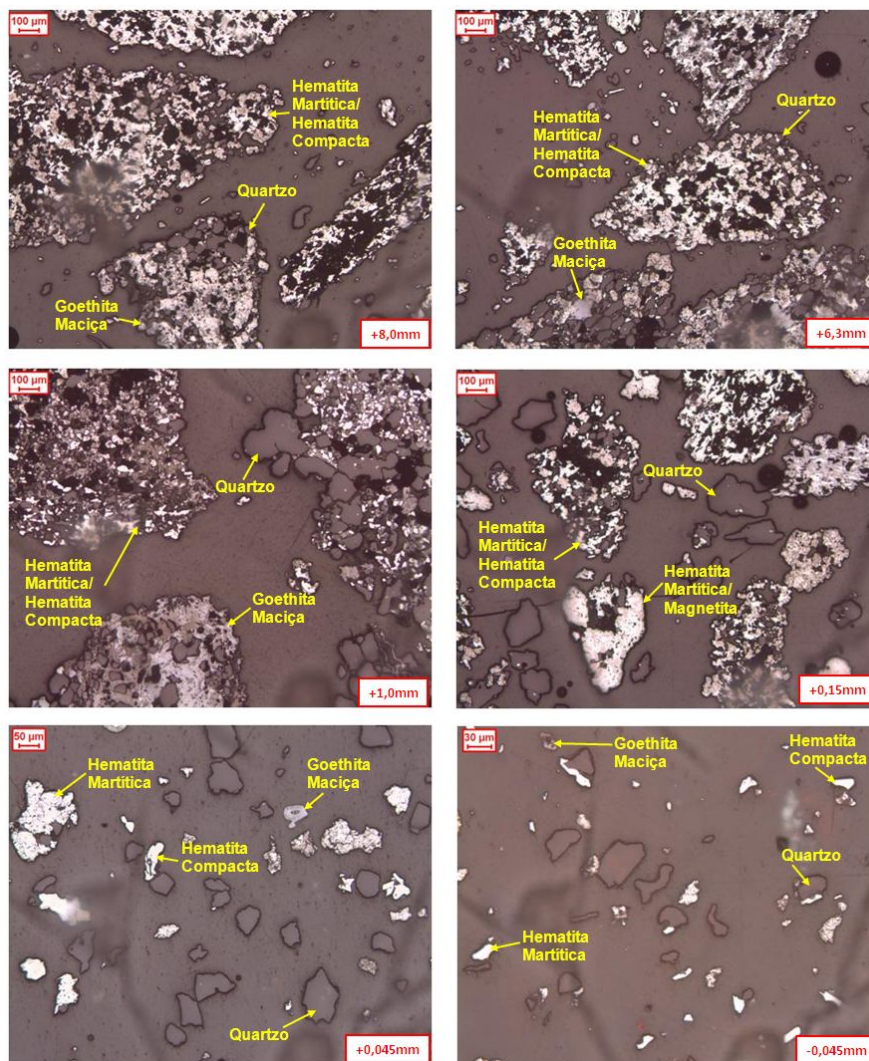


Figura 5.4 - Fotomicrografias da amostra 3 obtidas via microscopia ótica com os principais minerais identificados.

Por meio de análise qualitativa realizada no MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) é possível afirmar:

- amostra 1: os minerais de ferro presentes são em geral lamelares e há pequena participação de martita. O quartzo apresenta-se em granulometria variada e com aspecto predominantemente tabular. A figura 5.5 evidencia o exposto
- amostra 2: aspecto cúbico do quartzo que se apresenta, em geral, em tamanhos maiores que os minerais de ferro e com tamanho mais homogêneo quando comparado com os demais minerais presentes. É nítida a presença de magnetita e pequena participação de minerais de ferro com poros de diâmetro pequeno caracterizando a martita. As fotos da figura 5.5 evidenciam o exposto
- amostra 3: os minerais de ferro se apresentam em tamanhos mais homogêneos e inferiores aos minerais de quartzo que se apresentam ligeiramente alongados quando comparada com a amostra anterior. Também ocorre a participação de martita evidenciada pelos poros diminutos nos minerais de ferro. As fotos da figura 5.5 evidenciam o exposto

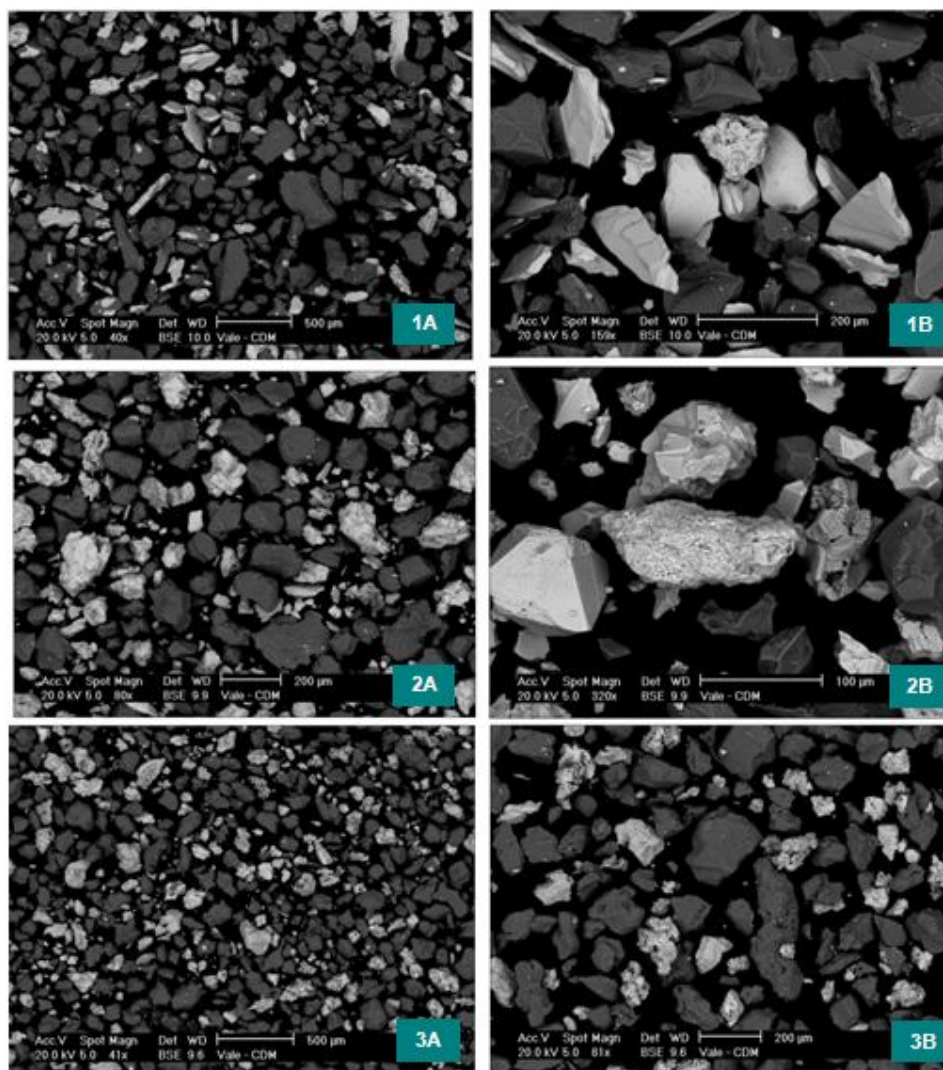


Figura 5.5 - Fotos das amostras 1, 2 e 3 obtidas via microscopia eletrônica de varredura.

5.2. Resultados da Caracterização das Amostras de Lama

A tabela 5.2 apresenta a análise química das amostras, onde se observa que a amostra 1 é bastante pobre em ferro em relação às demais e possui teores de Al_2O_3 , Mn, TiO_2 e CaO bastante elevados. As demais amostras são bastante ricas em ferro e com teores variados de Al_2O_3 . Os valores de PPC são similares para todas as amostras.

Tabela 5.2 - Análise química das amostras de lama

| Amostra | Fe | SiO ₂ | P | Al ₂ O ₃ | Mn | TiO ₂ | CaO | MgO | PPC |
|---------|------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|-------|-----|
| 1 | 27,8 | 36,4 | 0,185 | 13,34 | 1,478 | 0,292 | 0,118 | 0,001 | 8,1 |
| 2 | 45,2 | 18,7 | 0,243 | 6,34 | 0,263 | 0,050 | 0,045 | 0,201 | 8,4 |
| 3 | 43,6 | 20,2 | 0,164 | 9,05 | 0,035 | 0,027 | 0,016 | 0,045 | 7,3 |
| 4 | 53,4 | 12,4 | 0,071 | 1,93 | 0,142 | 0,038 | 0,014 | 0,080 | 8,9 |

O gráfico da figura 5.6 apresenta graficamente a distribuição granulométrica e a tabela 5.3 as superfícies específicas das lamaz e suas distribuições granulométricas.

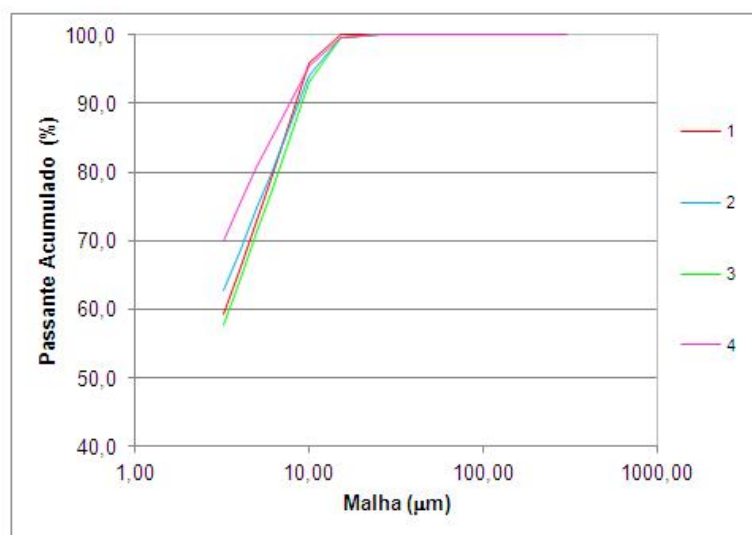


Figura 5.6 - Distribuição granulométrica das amostras de lama obtida através de análise em granulômetro a laser (Cilas).

Tabela 5.3 - Distribuição granulométrica e superfícies específicas das amostras de lama

| Malha μm | Amostra | | | |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 300,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 210,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 150,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 106,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 74,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 45,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 37,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 25,00 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| 15,00 | 100,0 | 99,6 | 99,5 | 99,7 |
| 10,00 | 95,9 | 94,0 | 93,0 | 95,5 |
| 6,00 | 78,9 | 79,7 | 76,9 | 84,7 |
| 5,00 | 72,9 | 74,7 | 71,3 | 80,8 |
| 4,00 | 66,2 | 68,9 | 64,6 | 75,8 |
| 3,20 | 59,3 | 62,7 | 57,6 | 70,0 |
| cm²/g | 22.938 | 21.397 | 22.096 | 20.643 |

Três das amostras analisadas apresentam padrões difratométricos semelhantes (2, 3 e 4), como pode ser observado nas figuras 5.7 e 5.8, que apresentam duas diferentes formas de superposição de todos os difratogramas. A goethita e a hematita são as fases dominantes, com valores de goethita mais significativos para a amostra 4 e de hematita para a amostra 3, enquanto os teores de quartzo apresentam, aparentemente, menor variabilidade nas três amostras citadas.

A amostra 1 se difere das demais no seu padrão difratométrico devido à presença de outros minerais não identificados nas restantes, como clorita, mica e talco. E a partir do seu difratograma nota-se uma maior presença de quartzo e menor de goethita, quando comparada às demais.

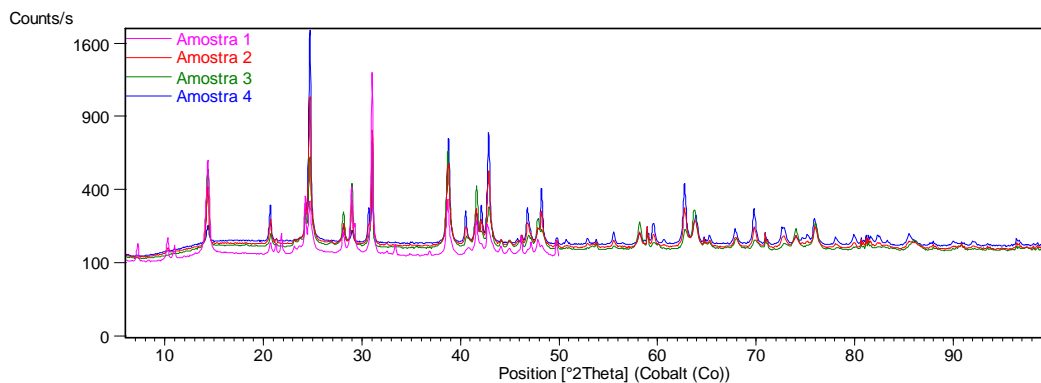


Figura 5.7 - Ddifratogramas das amostras de lamaz.

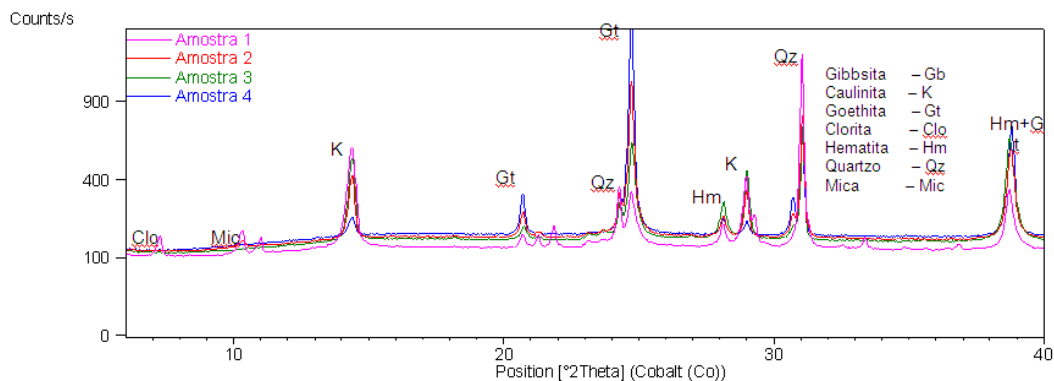


Figura 5.8 - Ddifratogramas das amostras de lamaz com os principais picos identificados.

A seguir serão apresentados os resultados da caracterização das quatro amostras analisadas. Para cada amostra, será apresentado um difratograma com a posição dos principais picos dos minerais identificados. Em função das intensidades dos picos, é apresentada ainda uma avaliação “semi-quantitativa”, com a ordem de abundância relativa das fases presentes, com a seguinte convenção:

- XX - Dominante (>50%);
- X - Presente (5-50%);
- tr - traço (< 5%, dependendo do grau de cristalinidade do mineral);

- pp - possível presença (se suspeita da presença da fase apenas pela presença do seu pico principal).

As escalas X ($o2\theta$) e Y (cps) de todos os difratogramas foram padronizadas para melhor comparação dos resultados, principalmente em termos da avaliação “semi-quantitativa”. As intensidades dos picos principais de cada mineral são apresentados na tabela 5.4, a fim de auxiliar na avaliação semi-quantitativa.

Tabela 5.4 - Alturas dos picos principais ou secundários dos minerais presentes nas amostras estudadas

| Amostras | Caulinita 7,14Å (1º Pico) | Goethita 4,18Å (1º Pico) | Quartzo 3,34Å (1º Pico) | Hematita (*) 2,52Å (2º Pico) |
|----------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 58.251 | 33.074 | 129.622 | 23.600 |
| 2 | 40.140 | 103.064 | 80.181 | 30.271 |
| 3 | 57.355 | 104.774 | 70.148 | 43.317 |
| 4 | 21.953 | 171.510 | 68.543 | 27.695 |

(*) Neste caso é utilizado o 2º pico da hematita, pois o 1º (2,69 Å) interfere com o 3º mais intenso da Gt

A amostra 1 é a menos ferruginosa (menor teor de hematita e goethita), o que pode ser observado nas figuras 5.7 e 5.8, pelo background (linha base) mais reduzido do difratograma (rosa) desta amostra. A seguir serão apresentados os difratogramas, da amostra 1 (figura 5.9), amostra 2 (figura 5.10) amostra 3 (figura 5.11), amostra 4 (figura 5.12), com destaque para as características mineralógicas específicas de cada amostra.

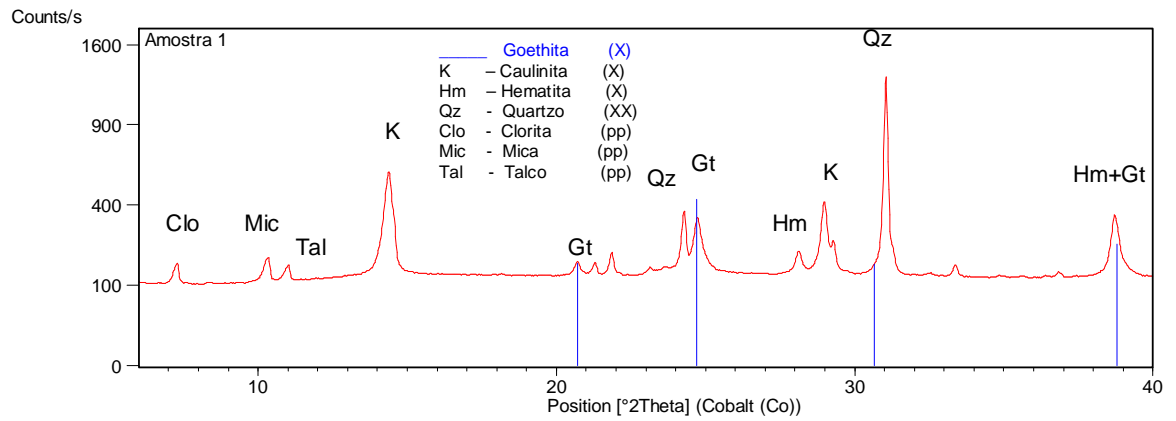


Figura 5.9 - Difratoograma da amostra de lama 1.

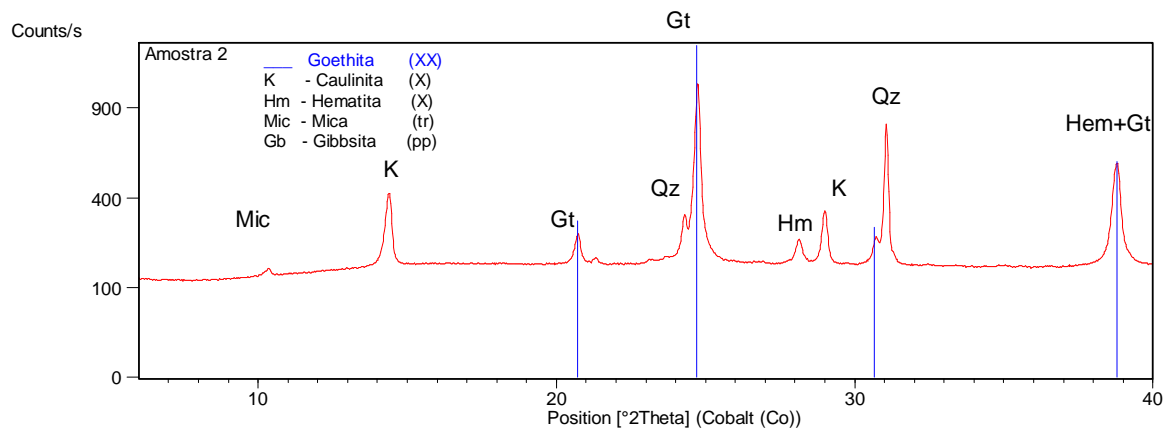


Figura 5.10 - Difratoograma da amostra de lama 2.

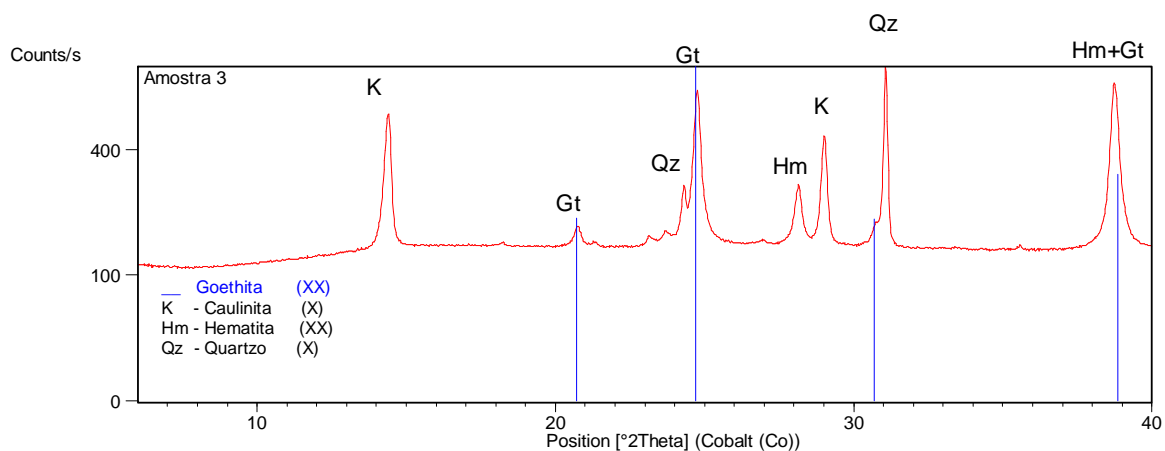


Figura 5.11 - Difratoograma da amostra de lama 3.

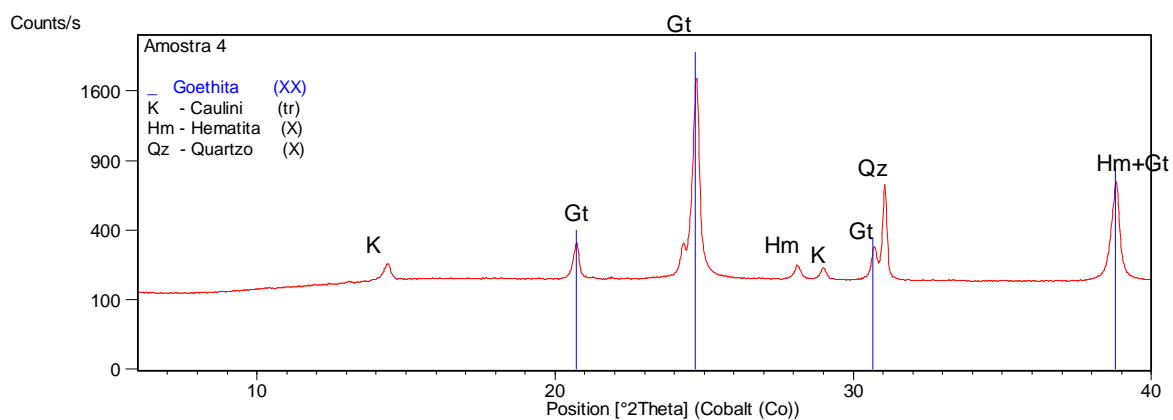


Figura 5.12 - Difratoograma da amostra de lama 4.

Realizou-se o potencial zeta das lamaz a fim de avaliar se as mesmas teriam cargas elétricas distintas uma vez que a composição mineralógica das mesmas e consequentemente seus níveis de contaminantes são distintos. O que se observou é que para o pH adotado nas flotações as cargas elétricas das lamaz são bastante próximas. A figura 5.13 evidencia o exposto.

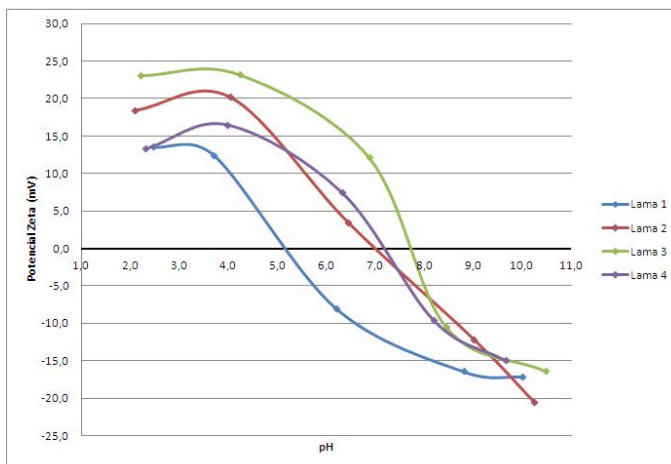


Figura 5.13 - Potencial Zeta das lamas versus pH.

5.3. Resultados da Caracterização das Amostras Individuais

As amostras 5 e 6 se referem, respectivamente, às amostras compostas essencialmente de minerais de ferro e quartzo. Observa-se que o nível de contaminantes é bastante reduzido, tendo-se obtido amostras praticamente puras. A figura 5.14 e a tabela 5.5 apresentam a mineralogia dessas amostras.

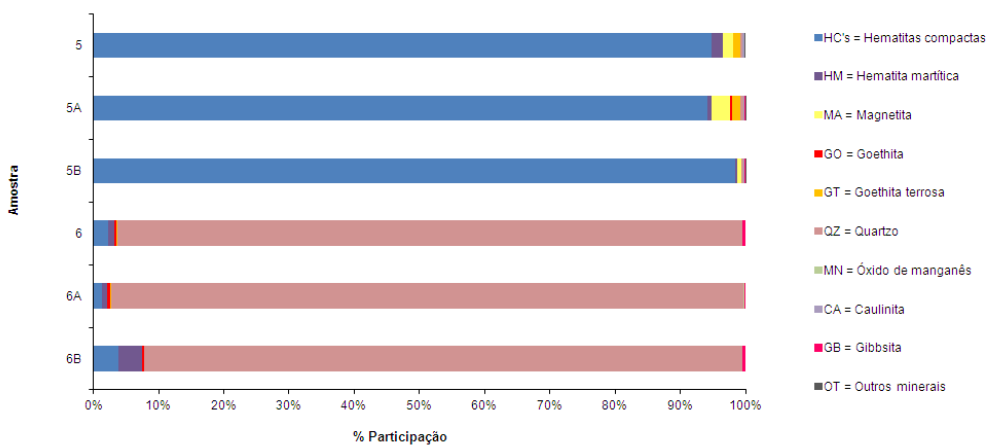


Figura 5.14 - Quantificação mineralógica das amostras individuais via microscopia ótica.

Tabela 5.5 - Quantificação mineralógica e análise química das amostras individuais

| Amostra | HC's | HM | MA | GO | GT | QZ | MN | CA | GB | OT |
|---------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| 5 | 94,71 | 1,84 | 1,49 | 0,00 | 1,20 | 0,18 | 0,10 | 0,22 | 0,11 | 0,16 |
| 5A | 94,16 | 0,54 | 2,82 | 0,42 | 1,17 | 0,46 | 0,05 | 0,22 | 0,10 | 0,06 |
| 5B | 98,40 | 0,31 | 0,55 | 0,07 | 0,00 | 0,23 | 0,04 | 0,15 | 0,17 | 0,08 |
| 6 | 2,26 | 0,93 | 0,00 | 0,41 | 0,14 | 95,66 | 0,11 | 0,00 | 0,49 | 0,00 |
| 6A | 1,38 | 0,67 | 0,00 | 0,48 | 0,16 | 96,96 | 0,10 | 0,05 | 0,21 | 0,00 |
| 6B | 3,86 | 3,57 | 0,00 | 0,35 | 0,07 | 91,57 | 0,11 | 0,00 | 0,45 | 0,00 |

| Legenda | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------------|---------------|
| HC's = Hematitas compactas | GO = Goethita | MN = Óxido de manganês | GB = Gibbsita |
| HM = Hematita martítica | GT = Goethita terrosa | CA = Caulinita | |
| MA = Magnetita | QZ = Quartzo | OT = Outros minerais | |

| Amostra | Fe | SiO ₂ | P | Al ₂ O ₃ | Mn | TiO ₂ | CaO | MgO | PPC |
|---------|------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|-------|-----|
| 5 | 69,4 | 0,2 | 0,011 | 0,23 | 0,052 | 0,088 | 0,008 | 0,002 | 0,2 |
| 5A | 69,7 | 0,6 | 0,012 | 0,24 | 0,038 | 0,132 | 0,006 | 0,001 | 0,2 |
| 5B | 69,3 | 0,2 | 0,010 | 0,23 | 0,051 | 0,082 | 0,009 | 0,001 | 0,2 |
| 6 | 2,8 | 95,3 | 0,007 | 0,42 | 0,053 | 0,022 | 0,006 | 0,097 | 0,3 |
| 6A | 1,9 | 96,9 | 0,007 | 0,28 | 0,019 | 0,001 | 0,012 | 0,109 | 0,2 |
| 6B | 5,6 | 91,4 | 0,008 | 0,56 | 0,048 | 0,092 | 0,009 | 0,094 | 0,3 |

Análise qualitativa realizada no MEV (microscópio eletrônico de varredura) sugere uma distribuição homogênea no tamanho dos grãos em ambas as frações das amostras de quartzo. Outro aspecto importante é que o quartzo se apresenta em ambas as frações basicamente de duas formas: a primeira num aspecto tabular com superfície lisa (setas vermelhas) e outra em uma forma mais romboédrica com a superfície “deformada” (setas amarelas). A figura 5.15 evidencia o exposto

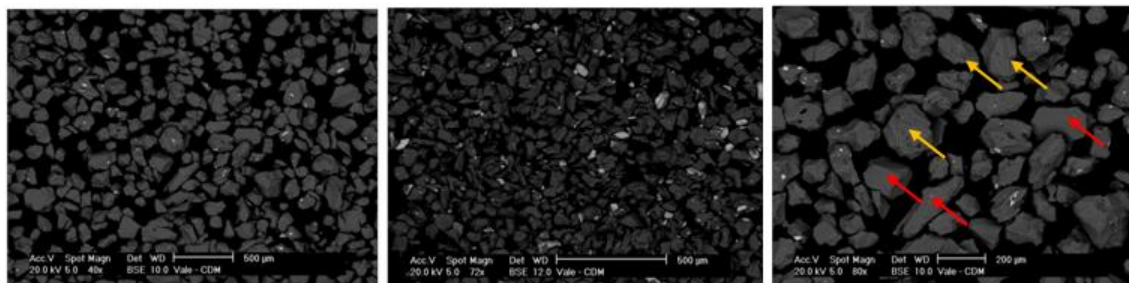


Figura 5.15 - Fotos da amostra de quartzo obtidas via microscopia eletrônica de varredura: +0,075 mm (esquerda); -0,075 mm (meio); aspecto quartzo (direita).

Para a amostra de minério de ferro há basicamente duas formas de partículas na fração +0,075 mm: uma tabular perfazendo algo em torno de 70% da massa e outra romboédrica perfazendo cerca de 30% da amostra. Para a fração -0,075 mm este último aspecto ocorre apenas em cerca de 5% das partículas. A figura 5.16 evidencia o exposto.

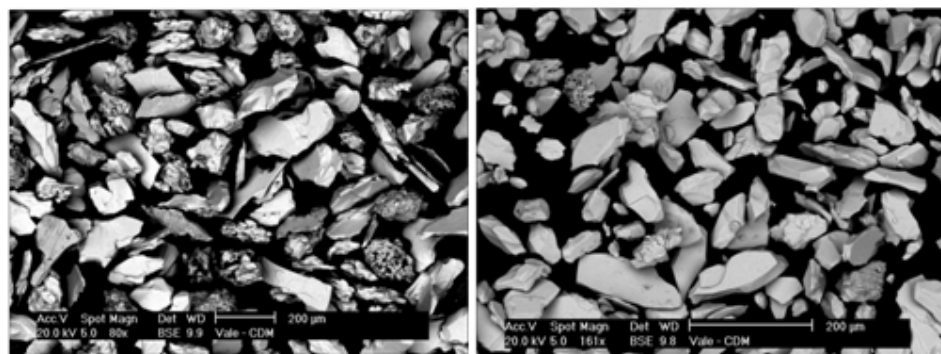


Figura 5.16 - Fotos da amostra de minerais de ferro obtidas via microscopia eletrônica de varredura: +0,075 mm (esquerda); -0,075 mm (direita).

Realizou-se o potencial zeta das frações das amostras individuais a fim de avaliar se as mesmas teriam cargas elétricas distintas devido ao tamanho das partículas. O que se observou é que para o pH adotado nas flotações as cargas elétricas são bastante próximas. A figura 5.17 evidencia o exposto.

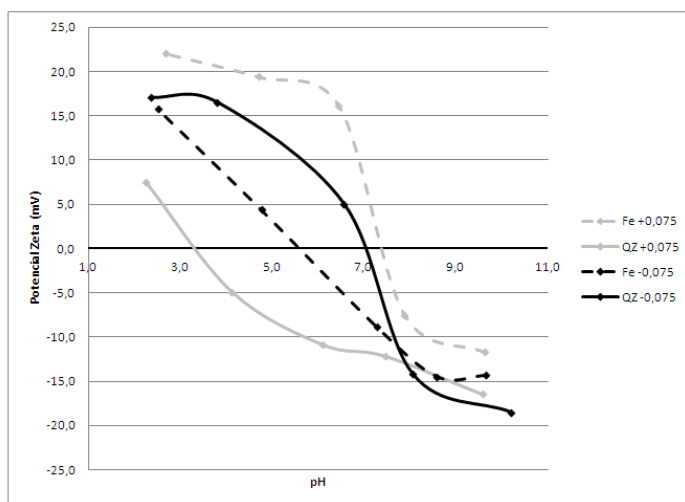


Figura 5.17 - Potencial Zeta das frações das amostras individuais.

5.4. Resultados dos Ensaio das Amostras de Minério

Conforme apresentado na metodologia, as amostras de minério foram submetidas a flotação sem e com presença lamas distintas (material inferior a 0,010 mm). Buscou-se avaliar o efeito de alguns níveis de percentuais de lama. A figura 5.18 apresenta graficamente o valor obtido para cada amostra e para cada quantidade de lama adicionada, sendo que para a amostra 1 foi avaliado a influência de 4 lamas distintas e para as demais amostras foi avaliado a influência de apenas 3 lamas. O anexo 2 apresenta os resultados granulométricos completos.

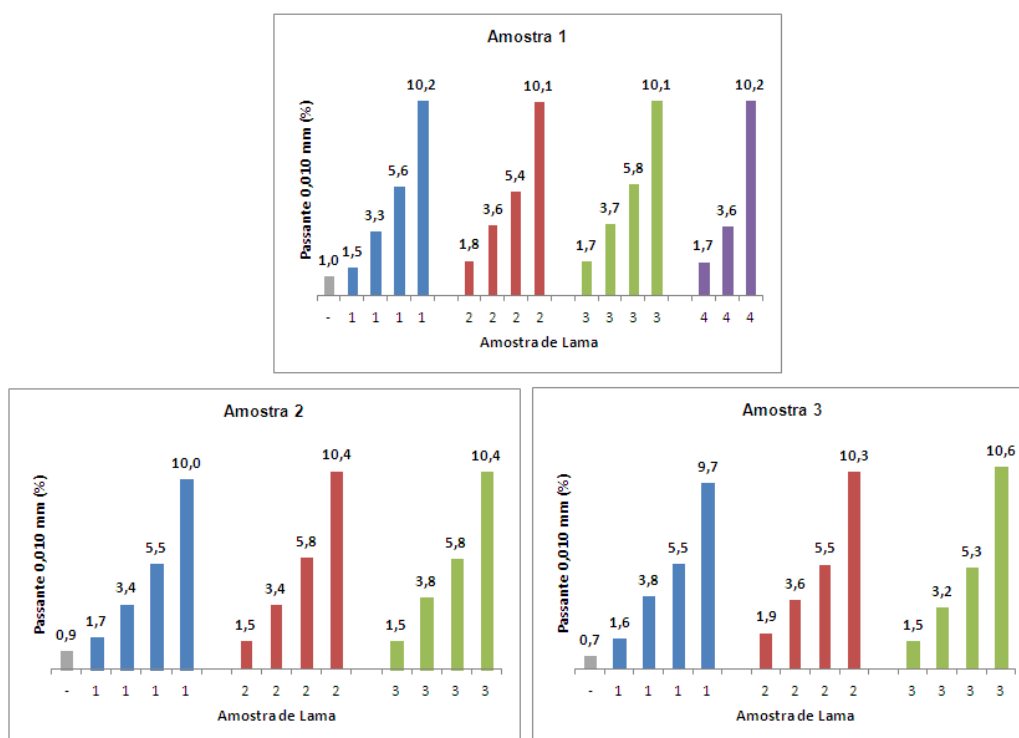


Figura 5.18 - Amostras de Minério 1, 2 e 3 - percentual inferior 0,010 mm na alimentação da flotação

A seguir serão descritos os principais resultados obtidos com as amostras de minério. O anexo 3 apresenta os resultados completos da Amostra 1, o anexo 4 da Amostra 2 e o anexo 5 da Amostra 3.

5.5. Amostra de Minério 1

Os ensaios realizados sem adição de lama evidenciam a possibilidade de produção de *pellet feed* com teores de SiO₂ inferiores a 0,8% para ambos os níveis de dosagem estudados com ou sem adição de dispersante. Esses ensaios foram realizados em triplicata e a média dos mesmos é apresentada na tabela 5.6. É interessante notar que o aumento da dosagem de coletor não promoveu aumento no teor de ferro do rejeito.

Tabela 5.6 - Amostra 1 – Resultados flotação sem lama: média da triplicata

| Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante (g/t) | Fluxo | Recuperação Mássica (%) | Análise Química (%) | | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------------|-------------|----------------------------|---------------------|------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------|-------|-----|
| | | | | Fe | SiO ₂ | P | Al ₂ O ₃ | Mn | TiO ₂ | CaO | MgO | PPC |
| 200 | - | Alimentação | 100,00 | 42,9 | 37,0 | 0,008 | 0,38 | 0,062 | 0,023 | 0,034 | 0,050 | 0,4 |
| | | Concentrado | 54,07 | 68,8 | 0,8 | 0,012 | 0,27 | 0,100 | 0,051 | 0,055 | 0,046 | 0,5 |
| | | Rejeito | 45,93 | 12,6 | 80,8 | 0,006 | 0,59 | 0,012 | 0,043 | 0,029 | 0,118 | 0,3 |
| 400 | - | Alimentação | 100,00 | 42,9 | 37,0 | 0,008 | 0,38 | 0,062 | 0,023 | 0,034 | 0,050 | 0,4 |
| | | Concentrado | 52,43 | 68,8 | 0,5 | 0,015 | 0,30 | 0,109 | 0,057 | 0,049 | 0,036 | 0,5 |
| | | Rejeito | 47,57 | 14,3 | 77,2 | 0,007 | 1,11 | 0,003 | 0,085 | 0,180 | 0,191 | 0,2 |
| 200 | 50 | Alimentação | 100,00 | 42,9 | 37,0 | 0,008 | 0,38 | 0,062 | 0,023 | 0,034 | 0,050 | 0,4 |
| | | Concentrado | 53,86 | 68,9 | 0,8 | 0,018 | 0,28 | 0,105 | 0,083 | 0,044 | 0,020 | 0,5 |
| | | Rejeito | 46,14 | 13,4 | 79,6 | 0,006 | 0,50 | 0,001 | 0,029 | 0,036 | 0,088 | 0,2 |
| 400 | 50 | Alimentação | 100,00 | 42,9 | 37,0 | 0,008 | 0,38 | 0,062 | 0,023 | 0,034 | 0,050 | 0,4 |
| | | Concentrado | 52,83 | 69,1 | 0,6 | 0,018 | 0,28 | 0,109 | 0,089 | 0,045 | 0,020 | 0,6 |
| | | Rejeito | 47,17 | 15,8 | 76,8 | 0,014 | 0,45 | 0,010 | 0,040 | 0,058 | 0,159 | 0,2 |

Os resultados foram bastante sensíveis para obtenção de qualidade no concentrado quando na presença da lama oriunda do próprio minério de Conceição, obtendo-se teores de SiO₂ maiores que 3,5% para todos os ensaios onde se dosou 200 g/t SiO₂ de coletor. Mesmo com o aumento da dosagem para 400 g/t SiO₂, os ensaios com quantidade de lama superior a 3,5% continuaram gerando concentrados com teores de sílica elevados. A adição do dispersante promoveu melhora significativa na qualidade do *pellet feed* porém, alcançar valores próximos a 1% de SiO₂ foi possível apenas para o nível de lama em torno de 1,5% para menor dosagem de coletor. Os gráficos da figura 5.19 evidenciam o exposto.

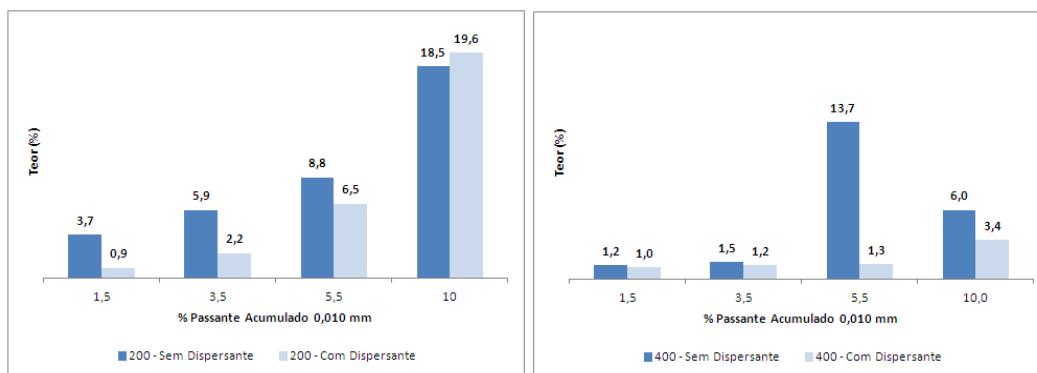


Figura 5.19 - Amostra 1 – Teor SiO₂ no pellet feed na presença da Lama 1.

Conseqüentemente, com a redução da sílica no concentrado os teores de ferro no rejeito elevaram-se para ambas as dosagens estudadas na presença de dispersante. Os gráficos da figura 5.20 evidencia o exposto.

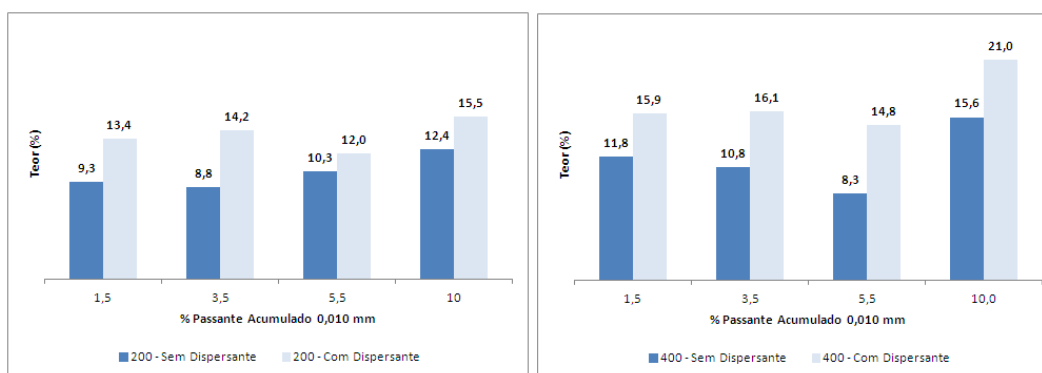


Figura 5.20 - Amostra 1 – Teor de Ferro no rejeito na presença da Lama 1.

O aumento da quantidade de lama influencia na cinética de flotação uma vez que o tempo do ensaio aumenta a medida que se eleva a participação de lama no minério. A figura 5.21 ilustra graficamente o exposto.

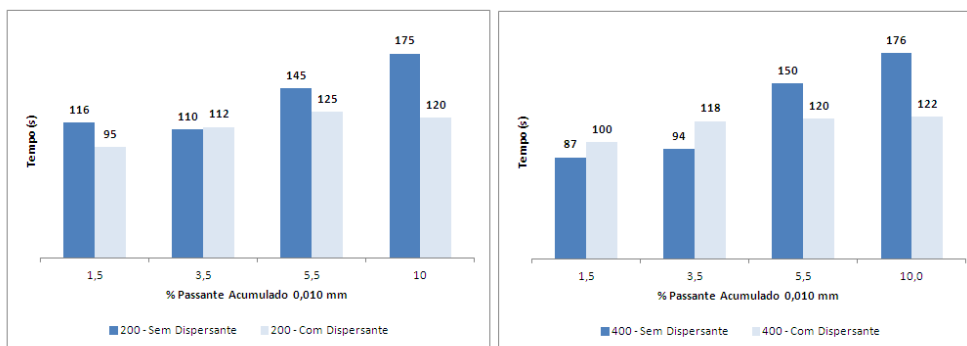


Figura 5.21 - Amostra 1 – Tempo de flotação na presença da Lama 1.

O comportamento desse minério frente às demais lamas estudadas é bastante interessante. A lama 4 que é oriunda da mina de Alegria e é constituída essencialmente por goethita não influenciou a flotação do quartzo, sendo o teor de SiO₂ no pellet feed muito próximo para a grande maioria das condições de flotação estudadas. Essa lama é a que apresenta menor teor P e Al₂O₃ (0,071% e 1,93%, respectivamente) quando comparada com as demais. Com a lama 2 oriunda da mina de Fábrica Nova, que também possui em sua composição uma parcela de participação de goethita, mas com teores de P e Al₂O₃ da ordem de 0,243% e 6,34%, respectivamente, não houve dificuldade para obtenção de qualidade no concentrado quando se dosaram 400 g/t SiO₂ com ou sem dispersante (este reagente não influenciou nesses resultados).

Já para a dosagem de 200 g/t SiO₂, a adição do dispersante reduziu o teor de SiO₂ para próximo de 1%, exceto quando se trabalhou com 5,5% de lama. A lama 3 oriunda das minas de Sapecado e Galinheiro, constituída essencialmente por hematita, foi a que mais influenciou negativamente sendo a lama que apresenta elevado teor de Al₂O₃ (9,05%), porém com a utilização de dispersante ou elevação da dosagem de coletor foi possível obter teores de SiO₂ no pellet feed inferiores a 1%. A figura 5.22 evidencia graficamente o exposto.

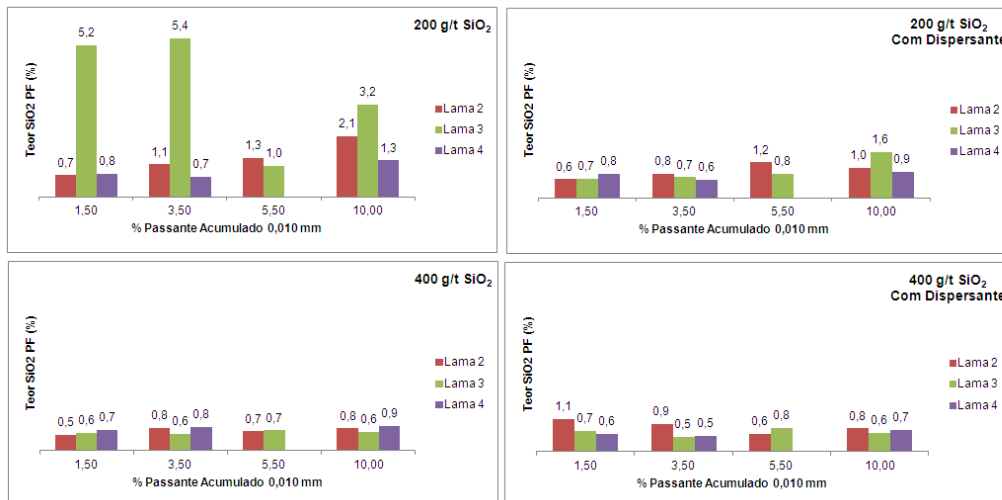


Figura 5.22 - Amostra 1 – Efeito das Lamas 2, 3 e 4 no teor SiO₂ do pellet feed.

A figura 5.23 apresenta graficamente as superfícies específicas da amostra global e da fração inferior a 0,045 mm. As superfícies específicas foram próximas para todas as lamas estudadas, sendo a lama oriunda da amostra 3 a que apresentou valores ligeiramente mais altos. A amostra sem adição de lama apresenta valores em patamares semelhantes quando se misturaram as lamas para se atingir 1,5%. Isso evidencia que as grandes áreas superficiais promovidas pela presença de lamas não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação do quartzo presente na amostra.

1.

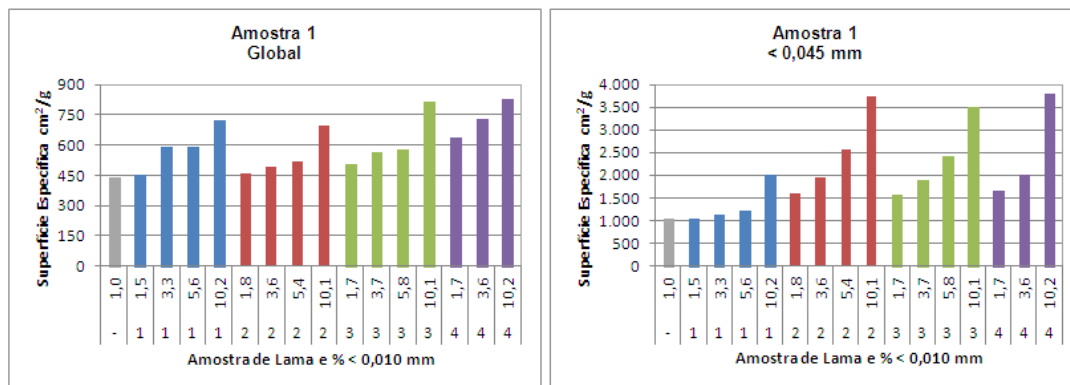


Figura 5.23 - Amostra 1 – Superfície específica.

5.6. Amostra de Minério 2

Os ensaios realizados sem adição de lama evidenciam a possibilidade de produção de pellet feed com teores de SiO_2 inferiores a 0,8% para ambos os níveis de dosagem estudados com ou sem adição de dispersante. Estes ensaios foram realizados em triplicata e a média dos mesmos é apresentada na tabela 5.7. É interessante notar que o aumento da dosagem de coletor não promoveu aumento significativo no teor de ferro do rejeito.

Tabela 5.7 - Amostra 2 – Resultados flotação sem lama em triplicata

| Coletor g/t SiO_2 | Dispersante (g/t) | Fluxo | Recuperação Mássica (%) | Análise Química (%) | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------|----------------------------|---------------------|----------------|-------|-------------------------|-------|----------------|-------|-------|-----|
| | | | | Fe | SiO_2 | P | Al_2O_3 | Mn | TiO_2 | CaO | MgO | PPC |
| 250 | - | Alimentação | 100,00 | 47,7 | 29,6 | 0,034 | 0,30 | 0,014 | 0,011 | 0,001 | 0,011 | 1,2 |
| | | Concentrado | 63,47 | 67,4 | 0,8 | 0,053 | 0,33 | 0,033 | 0,024 | 0,009 | 0,032 | 1,7 |
| | | Rejeito | 36,53 | 12,4 | 81,1 | 0,006 | 0,28 | 0,001 | 0,001 | 0,007 | 0,004 | 0,6 |
| 400 | - | Alimentação | 100,00 | 47,7 | 29,6 | 0,034 | 0,30 | 0,014 | 0,011 | 0,001 | 0,011 | 1,2 |
| | | Concentrado | 63,38 | 67,4 | 0,7 | 0,052 | 0,37 | 0,030 | 0,026 | 0,004 | 0,021 | 1,7 |
| | | Rejeito | 36,62 | 12,6 | 80,9 | 0,004 | 0,27 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,018 | 0,3 |
| 250 | 50 | Alimentação | 100,00 | 47,7 | 29,6 | 0,034 | 0,30 | 0,014 | 0,011 | 0,001 | 0,011 | 1,2 |
| | | Concentrado | 62,62 | 67,8 | 0,9 | 0,056 | 0,32 | 0,035 | 0,022 | 0,010 | 0,011 | 1,8 |
| | | Rejeito | 37,38 | 14,3 | 78,7 | 0,008 | 0,31 | 0,001 | 0,018 | 0,010 | 0,029 | 0,4 |
| 400 | 50 | Alimentação | 100,00 | 47,7 | 29,6 | 0,034 | 0,30 | 0,014 | 0,011 | 0,001 | 0,011 | 1,2 |
| | | Concentrado | 61,84 | 68,2 | 0,8 | 0,055 | 0,30 | 0,040 | 0,028 | 0,012 | 0,020 | 1,8 |
| | | Rejeito | 38,16 | 15,7 | 76,9 | 0,008 | 0,34 | 0,001 | 0,027 | 0,006 | 0,001 | 0,4 |

Os resultados não foram significativamente sensíveis quando na presença da lama oriunda do próprio minério, obtendo-se teor de SiO_2 inferior a 1% para todos os ensaios onde se adicionou dispersante, exceto quando se trabalhou com 10% de lama. Os teores de ferro no rejeito, conseqüentemente, não sofreram alteração significativa. Sem adição desse reagente o teor de SiO_2 no pellet feed ficou acima de 1% apenas quando se trabalhou com 5,5% de lama. Os gráficos das figuras 5.24 e 5.25 evidenciam o exposto.

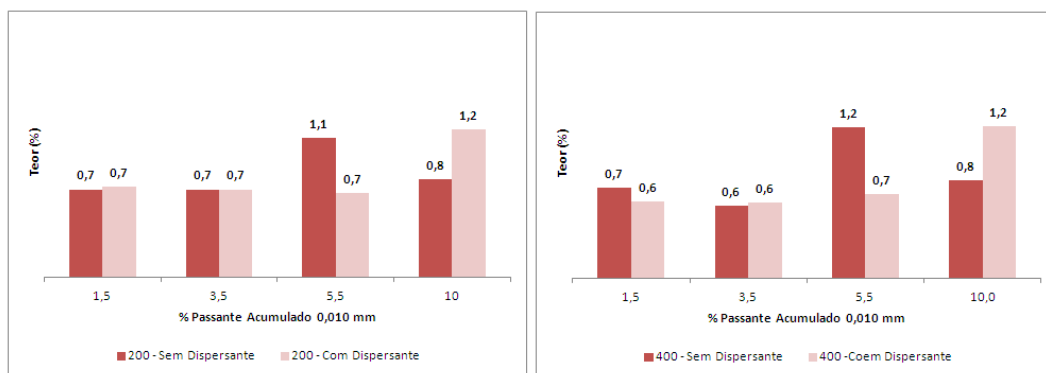


Figura 5.24 - Amostra 2 – Teor SiO₂ no pellet feed na presença da Lama 2.

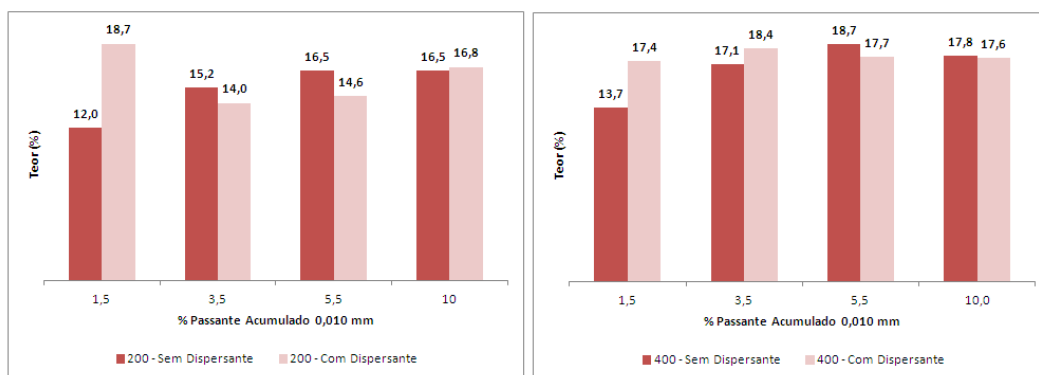


Figura 5.25 - Amostra 2 – Teor de Ferro no rejeito na presença da Lama 2.

O aumento da quantidade de lama influencia na cinética de flotação uma vez que o tempo do ensaio aumenta a medida que se eleva a participação de lama no minério. A figura 5.26 ilustra graficamente o exposto.

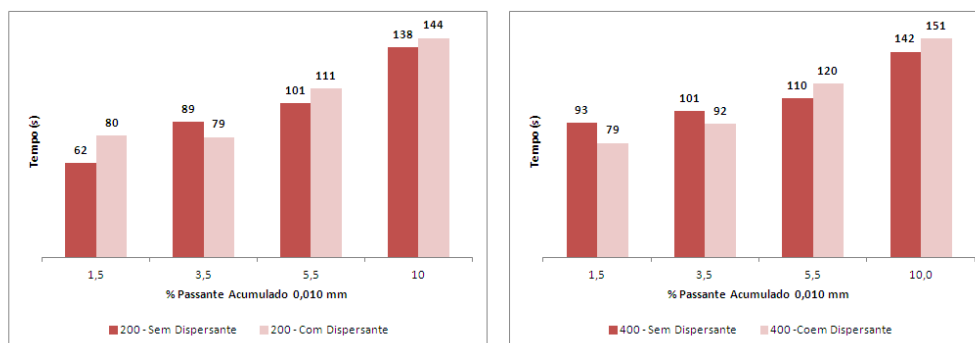


Figura 5.26 - Amostra 2 – Tempo de flotação na presença da Lama 2.

O comportamento desse minério frente às demais lamas estudadas é bastante semelhante quando se estudou o efeito de sua própria lama. Isto é, apenas para elevadas quantidades de lama não se é possível obter um teor de SiO_2 no pellet feed inferior a 1%. O gráfico da figura 5.27 evidencia o exposto.

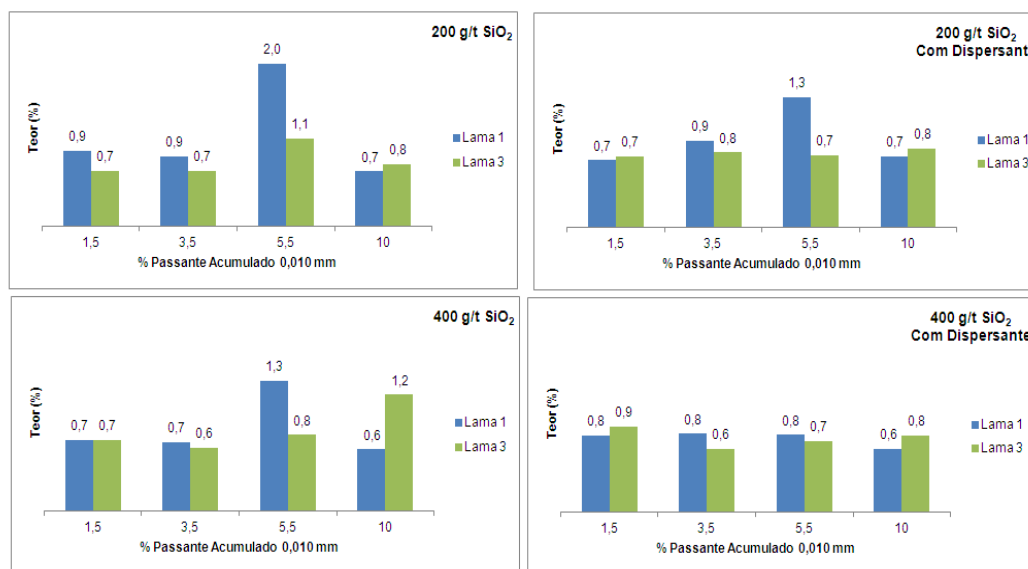


Figura 5.27 - Amostra 2 – Efeito das Lamas 1 e 3 no teor SiO_2 do pellet feed.

O gráfico da figura 5.28 apresenta as superfícies específicas da amostra global e da fração inferior a 0,045 mm. As superfícies específicas foram próximas para todas as lamas estudadas, sendo a lama oriunda da amostra 3 a que apresentou valores ligeiramente mais altos quando se analisa a superfície específica global da amostra e da lama 2 quando se analisa apenas a fração inferior a 0,045 mm. Isso evidencia que as grandes áreas superficiais promovidas pela presença de lamas não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação do quartzo presente na amostra 2.

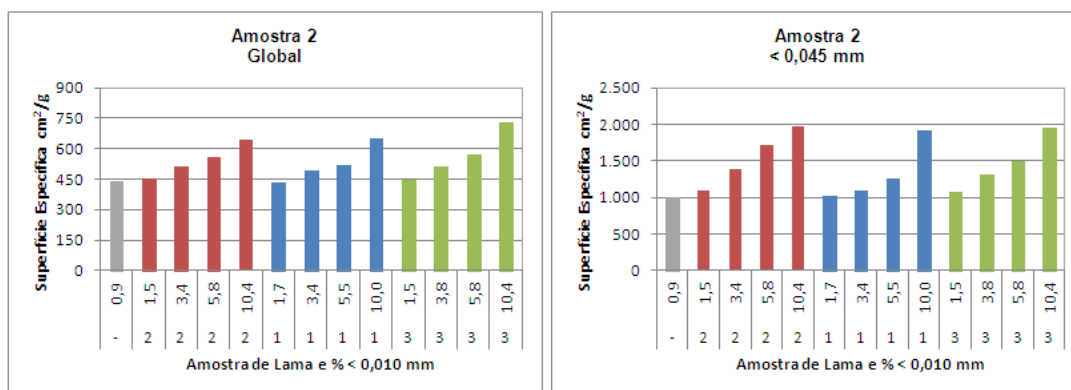


Figura 5.28 - Amostra 2 – Superfície específica.

5.7. Amostra de Minério 3

Os ensaios realizados sem adição de lama evidenciam a possibilidade de produção de pellet feed com teores de SiO_2 próximos a 1,2% para ambos os níveis de dosagem estudadas com ou sem adição de dispersante. Esses ensaios foram realizados em triplicata e os resultados médios dos mesmos são apresentados na tabela 5.8. É interessante notar que o aumento da dosagem de coletor não promoveu aumento no teor de ferro do rejeito.

Tabela 5.8 - Amostra 3 – Resultados flotação sem lama em triplicata

| Coletor g/t SiO_2 | Dispersante (g/t) | Fluxo | Recuperação Mássica (%) | Análise Química (%) | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-------------|----------------------------|---------------------|----------------|-------|-------------------------|-------|----------------|-------|-------|-----|
| | | | | Fe | SiO_2 | P | Al_2O_3 | Mn | TiO_2 | CaO | MgO | PPC |
| 350 | - | Alimentação | 100,00 | 43,2 | 36,5 | 0,032 | 0,45 | 0,001 | 0,016 | 0,007 | 0,001 | 1,5 |
| | | Concentrado | 56,55 | 66,6 | 1,2 | 0,056 | 0,50 | 0,018 | 0,035 | 0,004 | 0,024 | 2,4 |
| | | Rejeito | 43,45 | 11,5 | 82,0 | 0,005 | 0,33 | 0,001 | 0,015 | 0,023 | 0,001 | 0,5 |
| 500 | - | Alimentação | 100,00 | 43,2 | 36,5 | 0,032 | 0,45 | 0,001 | 0,016 | 0,007 | 0,001 | 1,5 |
| | | Concentrado | 56,74 | 66,7 | 1,2 | 0,054 | 0,48 | 0,017 | 0,033 | 0,004 | 0,020 | 2,4 |
| | | Rejeito | 43,26 | 11,2 | 82,5 | 0,006 | 0,26 | 0,001 | 0,006 | 0,021 | 0,003 | 0,4 |
| 350 | 50 | Alimentação | 100,00 | 43,2 | 36,5 | 0,032 | 0,45 | 0,001 | 0,016 | 0,007 | 0,001 | 1,5 |
| | | Concentrado | 57,26 | 66,7 | 1,2 | 0,056 | 0,45 | 0,027 | 0,033 | 0,008 | 0,019 | 2,4 |
| | | Rejeito | 42,74 | 11,1 | 83,1 | 0,005 | 0,34 | 0,001 | 0,026 | 0,003 | 0,001 | 0,4 |
| 500 | 50 | Alimentação | 100,00 | 43,2 | 36,5 | 0,032 | 0,45 | 0,001 | 0,016 | 0,007 | 0,001 | 1,5 |
| | | Concentrado | 57,24 | 66,8 | 1,3 | 0,057 | 0,46 | 0,027 | 0,032 | 0,009 | 0,018 | 2,4 |
| | | Rejeito | 42,76 | 11,2 | 82,6 | 0,005 | 0,35 | 0,001 | 0,026 | 0,004 | 0,001 | 0,4 |

Os resultados não foram sensíveis quando na presença da lama oriunda do próprio minério, obtendo-se teor de SiO_2 próximo a 1,2% para todos os ensaios com ou sem

adição do dispersante. Os teores de ferro no rejeito, conseqüentemente, não sofreram alteração significativa. Os gráficos das figuras 5.29 e 5.30 evidenciam o exposto.

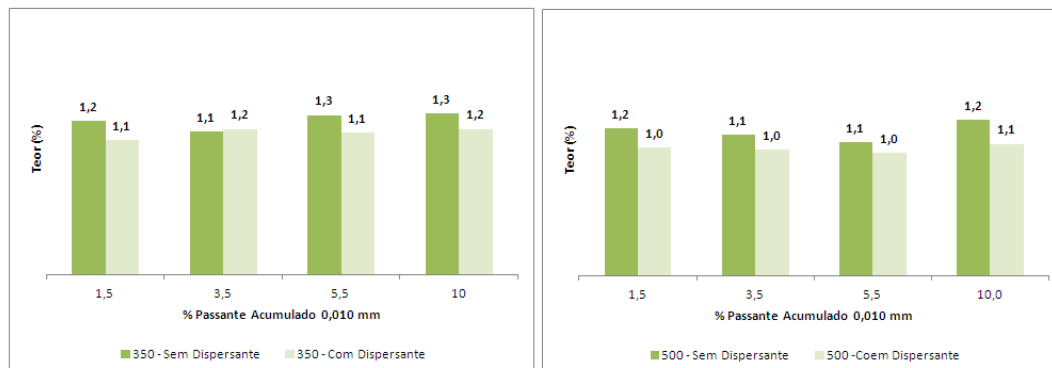


Figura 5.29 - Amostra 3 – Teor SiO₂ no pellet feed na presença da Lama 3.

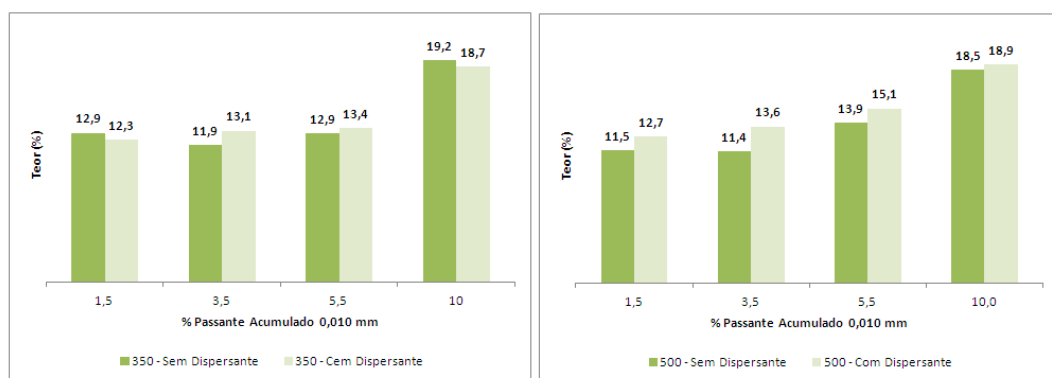


Figura 5.30 - Amostra 3 – Teor Fe no rejeito na presença da Lama 3.

O aumento da quantidade de lama influencia na cinética de flotação uma vez que o tempo do ensaio aumenta a medida que se eleva a participação de lama no minério, especialmente sem a adição de dispersante. A figura 5.31 ilustra graficamente o exposto.

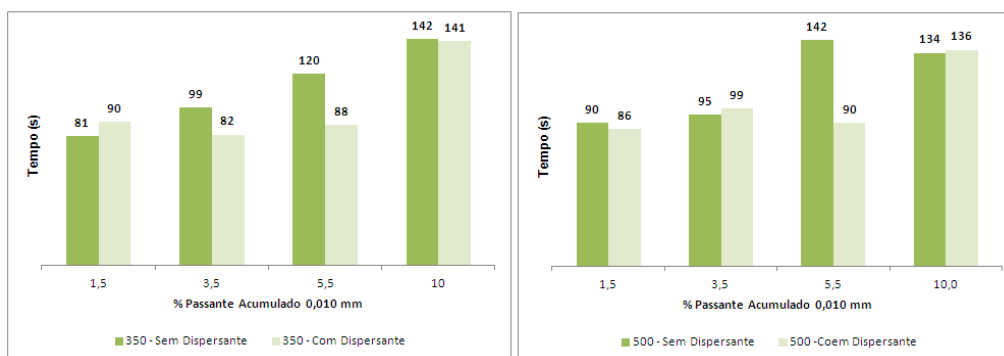


Figura 5.31 - Amostra 3 – Tempo de flotação na presença da Lama 3.

O comportamento desse minério frente às demais lamas estudadas é bastante semelhante quando se estudou o efeito de sua própria lama. Porém, especialmente com a lama oriunda da amostra 1 que possui elevados teores de Al₂O₃ e Mn (13,34% e 1,478%, respectivamente), há uma tendência de aumento do teor de SiO₂ quando se trabalha com a dosagem de 350 g/t SiO₂ e quantidade de lama acima de 5,5%, mesmo com a adição de dispersante. Os gráficos da figura 5.32 evidenciam o exposto.

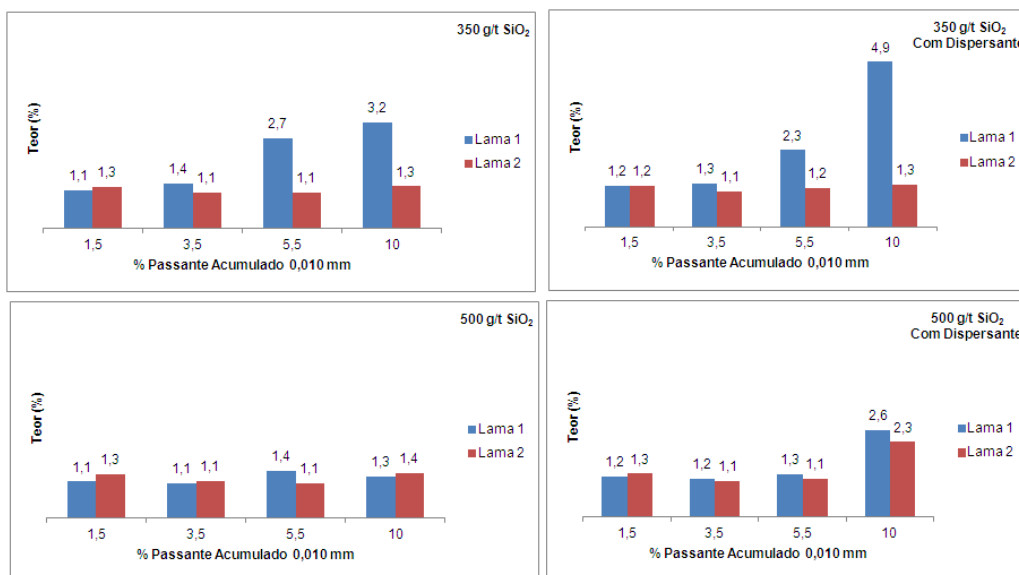


Figura 5.32 - Amostra 3 – Efeito das Lamas 1 e 2 no teor SiO₂ do pellet feed.

O gráfico da figura 5.33 apresenta as superfícies específicas da amostra global e da fração inferior a 0,045 mm. As superfícies específicas foram próximas para todas as lamas estudadas, sendo a lama oriunda da amostra 3 a que apresentou valores ligeiramente mais altos, especialmente para a fração inferior a 0,045 mm. Isso evidencia que as grandes áreas superficiais promovidas pela presença de lamas não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação do quartzo presente na amostra 3.

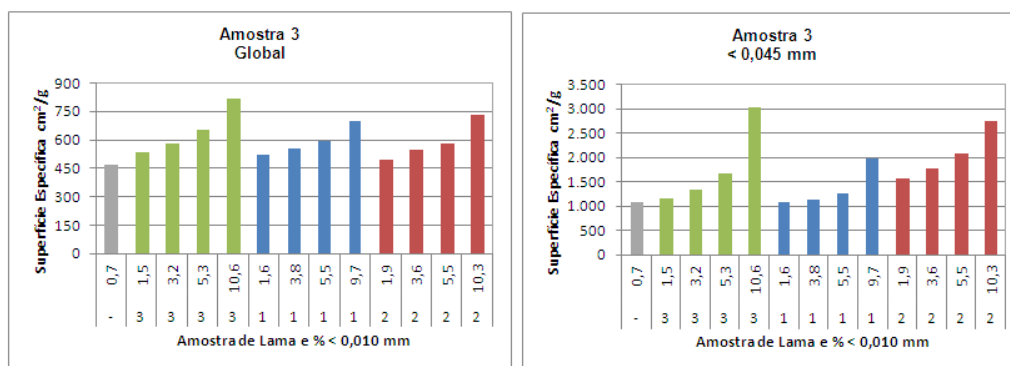


Figura 5.33 - Amostra 3 – Superfície específica.

5.8. Resultados dos Ensaio das Amostras Individuais

Conforme apresentado na metodologia, as amostras individuais (compostas essencialmente por minerais de ferro e outra por minerais de quartzo) foram submetidas a flotação sem e com presença de lamas distintas (tamanho inferior a 0,010 mm). Buscou-se avaliar o efeito de três a quatro níveis de percentuais de lama. A figura 5.34 apresenta graficamente os valores obtidos para cada amostra e para cada quantidade de lama adicionada. Foi avaliada pelo menos a influência de duas lamas distintas para todas as amostras. Vale lembrar que para a identificação das amostras foi seguido do número da amostra a letra A ou B conforme a fração granulométrica, acima de 0,075 mm ou abaixo de 0,075 mm, respectivamente. Os anexos 6 e 7 apresenta os resultados granulométricos completos.

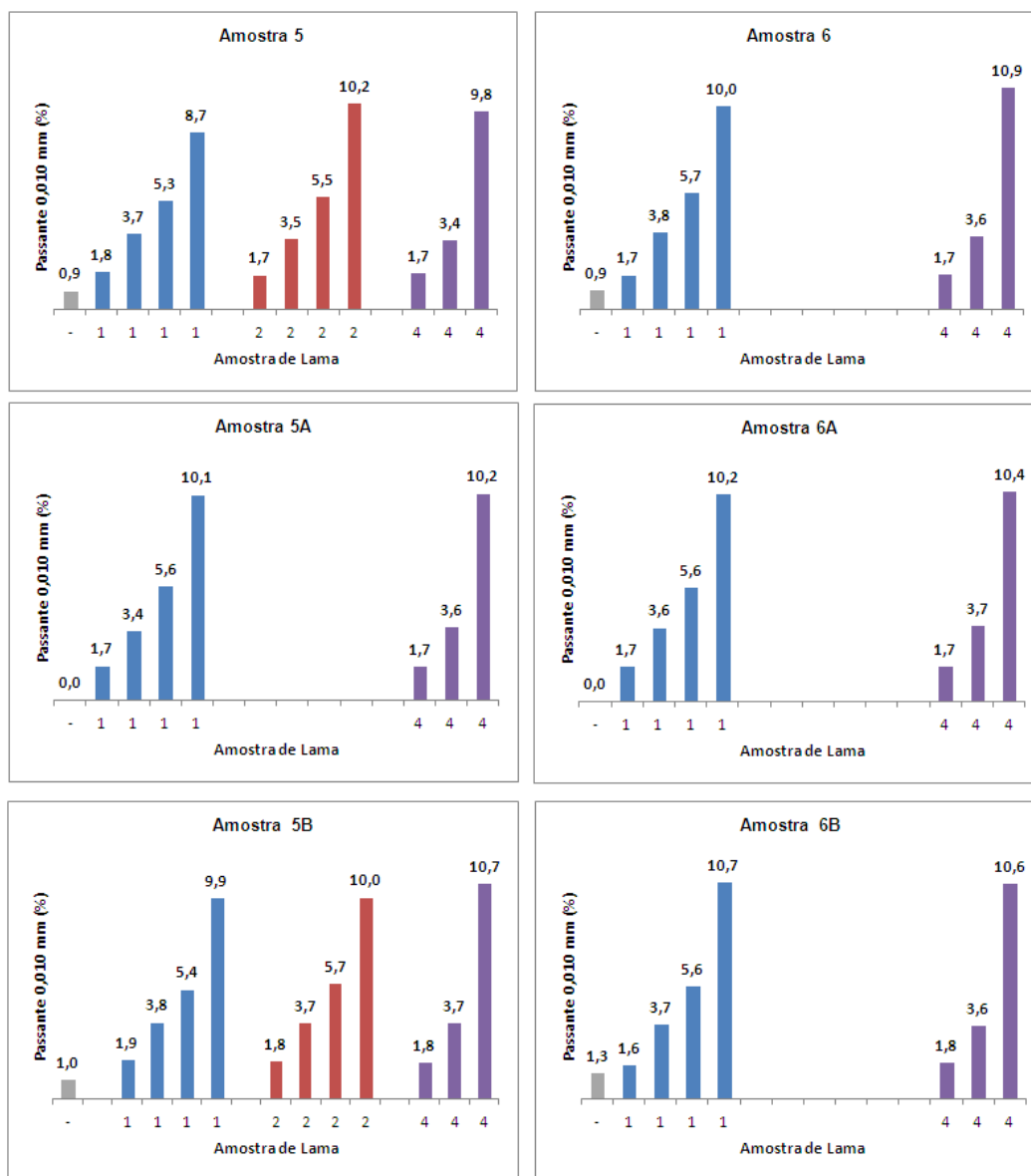


Figura 5.34 - Amostras Individuais - Percentual inferior a 0,010mm na alimentação da flotação

A seguir serão descritos os principais resultados obtidos com as amostras individuais. Os anexos 8, 9 e 10 apresentam os resultados completos das amostras de minerais de ferro e os anexos 11, 12 e 13 os resultados das amostras de quartzo.

O gráfico da figura 5.35 apresenta a flotabilidade que é a recuperação do mineral para o rejeito das amostras individuais sem a presença de lamas. Quando se trabalha com

200 g/t SiO₂ de coletor as diferentes frações dos minerais de ferro apresentam comportamentos similares, sendo o da fração fina ligeiramente superior. O aumento da dosagem promove um aumento da flotabilidade da fração fina e a adição de dispersante não influencia no comportamento da fração +0,075 mm que permanece com sua flotabilidade no mesmo patamar para quaisquer condições de flotação. A flotabilidade da fração -0,075 mm aumenta na presença de dispersante especialmente na dosagem baixa de coletor. Já para as amostras de quartzo, a adição de dispersante e o aumento da dosagem de coletor influenciaram negativamente na flotabilidade desse mineral para a fração +0,075 mm. Para as demais frações a dosagem de coletor e a adição de dispersante não influenciaram no comportamento do quartzo, sendo a flotabilidade da fração fina sistematicamente inferior quando comparada com a da amostra global (-0,21 mm).

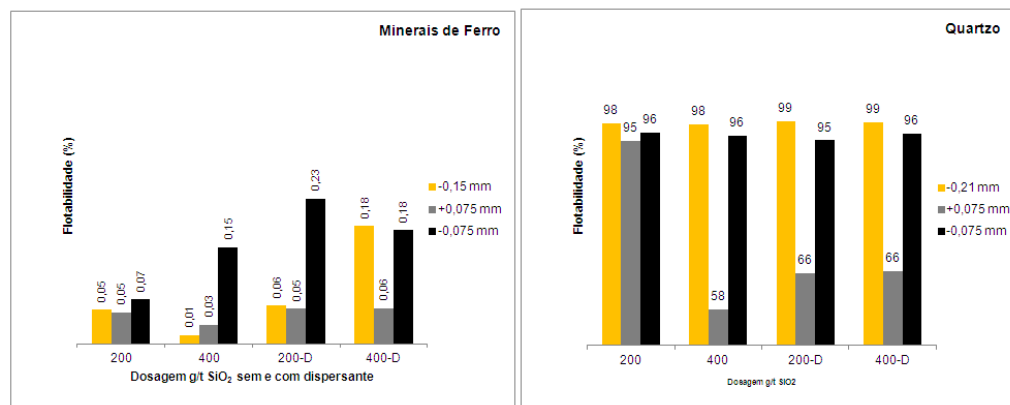


Figura 5.35 - Flotabilidade Amostras Individuais sem presença de lamas.

Os gráficos da figura 5.36 apresentam a flotabilidade com e sem adição de lama para as amostras de minerais de ferro. As lamas oriundas das amostras 1 e 4 influenciaram na flotabilidade dos minerais de ferro da amostra global (-0,15 mm) e da fração +0,075 mm. Essas lamas possuem características mineralógicas distintas, sendo a primeira com grande participação de hematitas e silicatos e a segunda com forte participação de goethita. Já para a fração -0,075 mm a quantidade de lama de 10% na presença de todas as lamas estudadas promoveu um aumento na flotabilidade dos minerais de ferro. A adição de dispersante influenciou apenas nos resultados da fração -0,075 mm para quantidades baixas de lama oriunda da amostra 2 que possui em sua composição goethitas e hematitas.

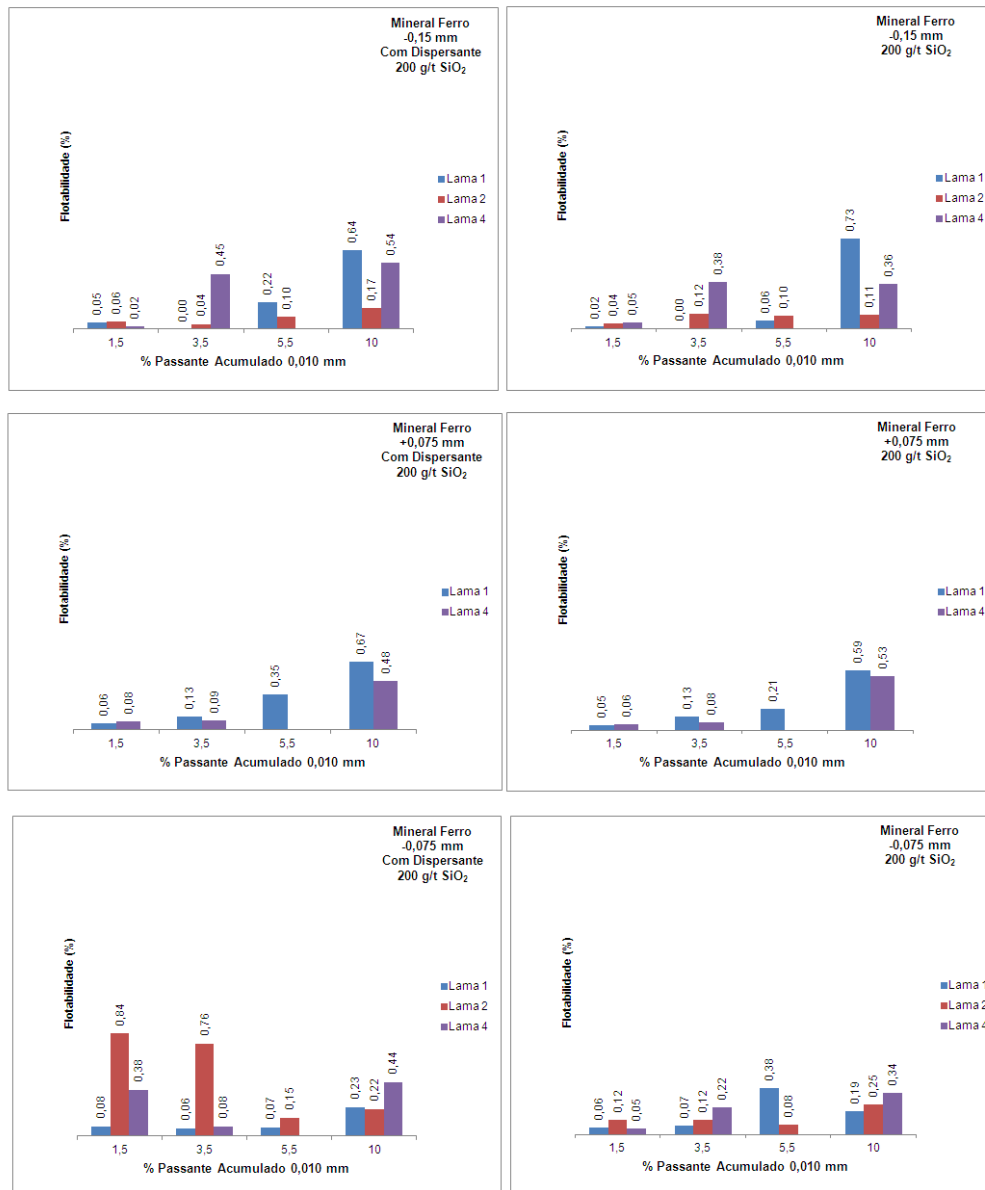


Figura 5.36 - Amostras de minerais de ferro - flotabilidade com e sem dispersante.

Os gráficos da figura 5.37 apresentam as superfícies específicas da amostra global e da fração inferior a 0,045 mm. As superfícies específicas foram próximas para todas as lamina estudadas. Isso evidencia que as grandes áreas superficiais promovidas pela presença de lamina não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação dos

minerais de ferro. Para a fração +0,075 mm a superfície se refere a própria superfície da lama, pois não há minerais de ferro abaixo desta fração.

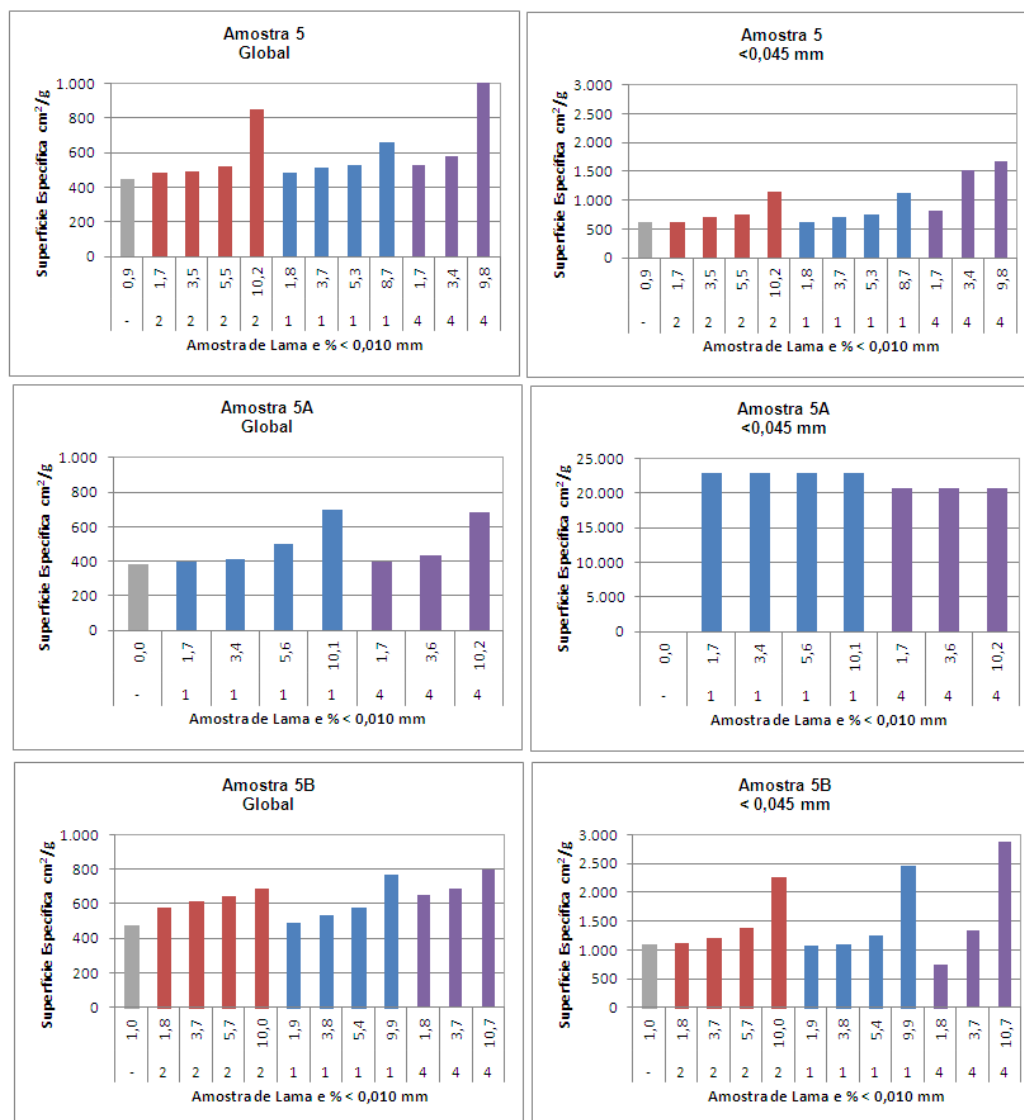


Figura 5.37 - Amostra de minerais de ferro – superfície específica.

Os gráficos da figura 5.38 apresenta a flotabilidade com e sem adição de dispersante para as amostras de quartzo. A adição de dispersante não modificou significativamente a flotabilidade do quartzo nas diferentes amostras. A adição de lamas melhorou a flotabilidade da fração +0,075 mm provavelmente por promover uma

maior consistência à espuma, exceto para quantidades elevadas dessas lamas, especialmente a lama 1

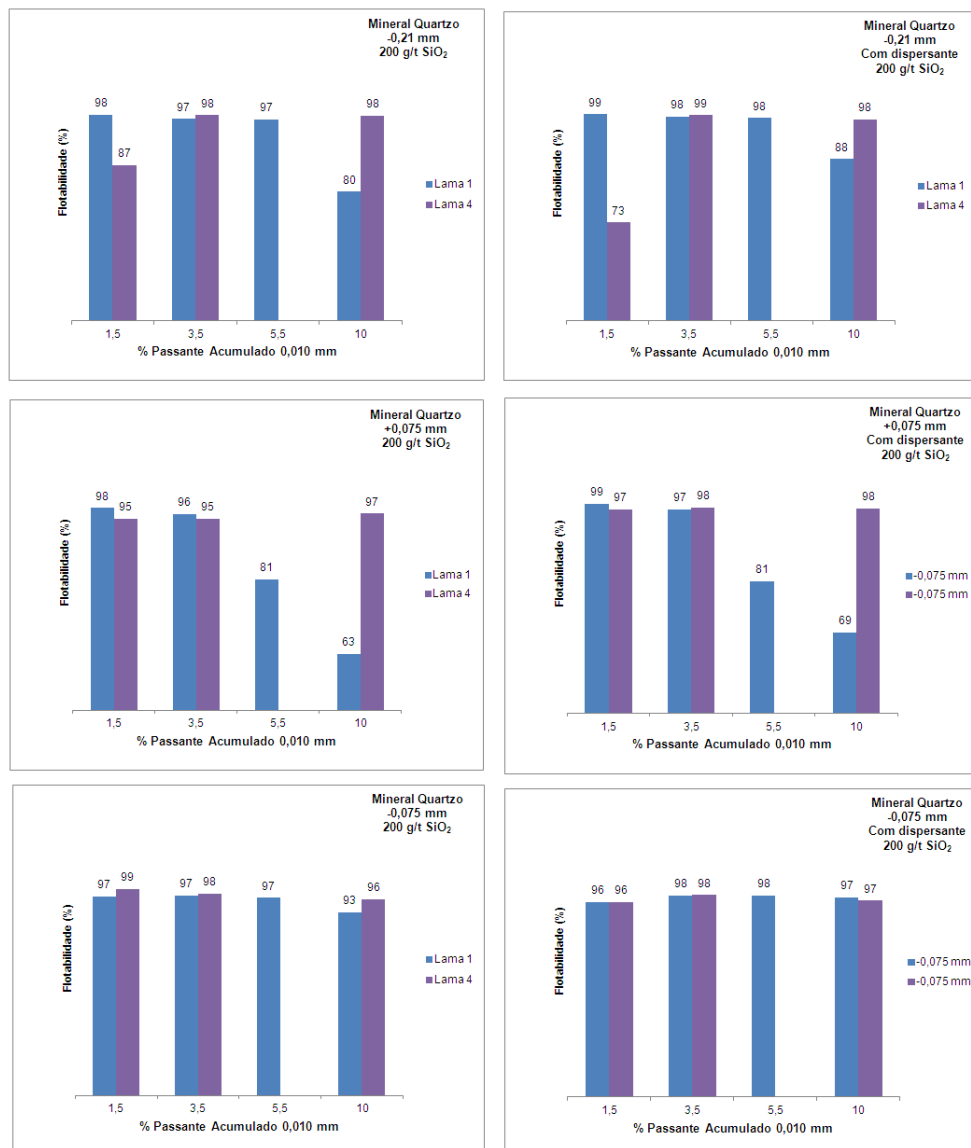


Figura 5.38 - Amostras minerais de quartzo - flotabilidade com e sem dispersante.

O gráfico da figura 5.39 apresenta as superfícies específicas da amostra global e da fração inferior a 0,045 mm. As superfícies específicas foram próximas para todas as lamas estudadas. Isso evidencia que as grandes áreas superficiais promovidas pela presença de lamas não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação do quartzo. Para a fração +0,075 mm a superfície se refere a própria superfície da lama, pois não há minerais de quartzo abaixo desta fração



Figura 5.39 - Amostras de minerais de quartzo – superfície específica.

6. Conclusões

- A flotação realizada sem a presença de lamas mostrou que a quantidade de finos presentes nas amostras foi suficiente para promover uma espuma estável e consistente e que a adição de dispersante não promoveu nenhuma mudança significativa no desempenho da flotação. Além disso, o aumento da dosagem de coletor não promoveu aumento significativo no teor de ferro do rejeito.
- A superfície específica da amostra global não foi o fator responsável pelas alterações nos teores de sílica nos concentrados das amostras 1, 2 e 3 uma vez que para todos os ensaios os valores obtidos para a superfície específica foram similares.
- Os valores obtidos para as superfícies específicas das amostras individuais foram semelhantes as superfícies das amostras de minério, evidenciando assim, que mesmo quando se flotou amostras abaixo de 0,075 mm com adição de lama, os valores de superfície não foram elevados a ponto de justificar a interação do coletor com essas grandes áreas.
- A carga elétrica das lamas não foi o fator responsável pelas alterações nos teores de sílica nos concentrados das amostras 1, 2 e 3 uma vez que todas apresentam valores similares no pH de flotação adotado.
- Em geral o limite máximo de diferentes lamas para os minérios estudados foi de 3,5% a 5,5%, havendo perdas de recuperação e/ou aumento do teor de SiO_2 no concentrado para valores acima destes.
- As lamas 2 e 4 oriundas das minas de Fábrica Nova e Alegria, respectivamente e que apresentam as maiores participações de goethita, foram as lamas que menos influenciaram nos resultados da flotação com os minérios estudados.
- Para a Amostra 1 oriunda da mina de Conceição ficou evidenciado que a adição de dispersante minimiza o impacto na flotação do quartzo quando na presença das lamas estudadas, especialmente aquelas constituídas por minerais hematíticos como é o caso das lamas 1 e 3. O aumento da dosagem para 400 g/t SiO_2 promove o mesmo efeito do dispersante. Quando se avalia o desempenho com a lama oriunda da própria Amostra 1, o comportamento foi bastante distinto no que se diz respeito ao teor de SiO_2 no concentrado. Esta lama é a que possui os maiores teores de Al_2O_3 , Mn e TiO_2 , o que leva a concluir que a presença de outros minerais deletérios podem estar interagindo com os reagentes utilizados na flotação. Além disso, o menor tempo de

flotação para a amostra de Conceição foi obtido quando na presença da lama 4 que é constituída essencialmente por minerais hidratados.

- Para a Amostra 2 oriunda da mina de Fábrica Nova e que apresenta uma assembleia de minerais de ferro diversificada (hematitas compactas, martíticas e magnetita), os resultados não foram sensíveis quando na presença de nenhuma das lamas estudadas, exceto quando se trabalhou com 5,5% de lama de Fábrica Nova e Conceição. Porém, com a adição do dispersante foi possível melhorar a qualidade do produto, exceto quando com 10% de lama oriunda da própria Amostra 2.
- Para a Amostra 3 oriunda do *blend* de itabiritos das minas de Sapecado e Galinheiro, sendo um minério essencialmente hematítico e com participação de goethita apenas a lama oriunda da Amostra 1 promoveu alterações significativas no teor de SiO_2 no *pellet feed*, mostrando uma tendência de aumento do teor de SiO_2 quando se trabalha com a dosagem de 350 g/t SiO_2 e quantidade de lama acima de 5,5%, mesmo com a adição de dispersante.
- A flotabilidade das amostras de minerais de ferro são similares e evidencia que o aumento da dosagem de coletor promove um aumento na flotabilidade da fração fina. A adição de dispersante não influencia no comportamento da fração +0,075 mm que permanece com sua flotabilidade no mesmo patamar para quaisquer condições de flotação. A flotabilidade da fração -0,075 mm aumenta na presença de dispersante especialmente na dosagem baixa de coletor. As lamas oriundas das Amostras 1 e 4 influenciaram na flotabilidade dos minerais de ferro da amostra global (-0,15 mm) e da fração +0,075 mm. Já para a fração -0,075 mm, 10% de qualquer das lamas estudadas promoveu um aumento na flotabilidade dos minerais de ferro. A adição de dispersante influenciou apenas nos resultados da fração -0,075 mm a quantidades baixas de lama oriunda da Amostra 2.
- Para as amostras de quartzo, a adição de dispersante e o aumento da dosagem de coletor influenciaram negativamente na flotabilidade desse mineral para a fração +0,075 mm. Para as demais amostras a dosagem de coletor e a adição de dispersante não influenciaram no comportamento dos minerais de quartzo, sendo a flotabilidade da fração fina sistematicamente inferior quando comparada a amostra global (-0,21 mm). A adição de lamas melhorou a flotabilidade da fração +0,075 mm provavelmente por promover uma maior

consistência da espuma, exceto para quantidades elevadas dessas lamas, especialmente a Lama 1.

7. Sugestões Trabalhos Futuros

- Mensurar a carga elétrica oriunda dos minerais presentes na polpa uma vez que a superfície específica não foi o fator preponderante para o desempenho da flotação.
- Caracterizar o quartzo oriundo de cada tipo de minério a fim de avaliar se há diferenças significativas de morfologia e de carga de superfície.
- Estudar maiores níveis de lama e, conseqüentemente, maiores superfícies específicas.
- Estudar a recuperação metálica por faixa granulométrica uma vez que a elevação do teor de ferro no rejeito se dá a partir do aumento da quantidade de lama na alimentação da flotação.

8. Referências Bibliográficas

ARAÚJO, A. C. Influência de Íons de Alumínio e Caulinita na Flotação Catiônica do Quartzo e Hematita, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 1982.

BALTAR, C. A. M. Flotação no Tratamento de Minérios. Recife: Editora Universitária, UFPE, 2ª Edição, 2010.

CASTRO, E. B. Influência de finos na flotação do minério de ferro: efeitos da granulometria e da mineralogia, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

DANA J. D. Manual de Mineralogia. Editora Livros Técnicos e Científicos, São Paulo, 1969, 536 p.

FAULSTICH, F. Guia de Microscopia Ótica. Relatório interno Vale, CDM, Santa Luzia, 2008.

FERREIRA, V. M. Avaliação Produção de um Super Concentrado de Minério de Ferro, Ouro Preto, UFOP, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Minas), Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2002.

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

LIMA, N. P. Comportamento de minérios itabiríticos dos complexos Alegria e Fábrica Nova frente aos processos de deslamagem e flotação, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001, 126p.

MARTINS, L. Estudo da flotação de minério silicatado de zinco sem a etapa de deslamagem, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007, 93p.

OLIVEIRA, P. S. Rotas para Recuperação de Ferro Fino Contido no Underflow do Espessador de Lama da Usina de Conceição, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

PEASE, J. D., CURRY, D. C., YOUNG, M. F., Designing Flotation Circuits for High Fines Recovery, Minerals Engineering, Vol. 19, 2005, p. 831-840.

QUEIROZ, L. A., FERREIRA, R. F., MARQUES, M. L. S., Procedimento Operacional de Análise Mineralógica, Documento Interno Vale – Centro de Pesquisas Tecnológicas, 2011.

QUEIROZ, L. A. Emprego da atrição na deslamagem: efeitos na flotação reversa de minérios itabiríticos, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003, 176p.

ROCHA, L. Estudo de aproveitamento econômico das lamas de uma mineração de ferro, através de concentração por flotação catiônica reversa, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

SILVA, G. M. A., Estudos sobre o estado de agregação de suspensões de um minério de ferro, Belo Horizonte, UFMG, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 1994.

Smith, R.W. and Akhtar, S., Cationic Flotation of Oxides and Silicates, In: Fuerstenau, M.C. (ed.) Flotation A. M. Gaudin memorial Volume, v. 1, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc., New York, p. 87-116., 1976

SOMASUNDARAN, P., Role of Surface Phenomena in the Beneficiation of Fine Particles, Mining Engineering, August, 1984, p. 1177-1186.

9. Anexos

9.1. Quantificação mineralógica das amostras de minério.

| Analista | Fração (mm) | Retido Simples (%) | Quantificação Mineralógica | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------------------|----------------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| | | | HC's | HM | MA | GO | GT | QL | QM | MN | CA | GB | MI | OT |
| 1 | 12,5 +8,0 | 15,3 | 48,4 | 2,2 | 10,0 | 0,0 | 0,0 | 16,0 | 21,5 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 1,5 |
| | -8,0 +6,3 | 4,1 | 56,4 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,7 | 6,4 | 34,3 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,2 | 0,9 |
| | -6,3 +1,0 | 17,6 | 52,6 | 5,6 | 0,9 | 3,5 | 1,2 | 4,5 | 25,9 | 1,0 | 1,1 | 0,8 | 0,1 | 2,7 |
| | -1,0 +0,15 | 15,3 | 27,5 | 5,0 | 2,5 | 2,8 | 2,0 | 49,2 | 8,4 | 1,1 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 0,5 |
| | -0,15 +0,045 | 31,8 | 47,6 | 1,6 | 3,4 | 2,4 | 1,4 | 38,7 | 2,2 | 0,2 | 0,0 | 0,8 | 0,0 | 1,7 |
| | -0,045 | 15,8 | 79,6 | 0,0 | 1,0 | 1,2 | 5,0 | 5,9 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 6,9 |
| Global Calculada | 100,0 | 51,0 | 2,6 | 3,3 | 2,1 | 1,8 | 24,3 | 11,3 | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,0 | 2,4 | |
| 2 | 12,5 +8,0 | 9,3 | 27,2 | 29,8 | 18,6 | 10,2 | 2,8 | 2,7 | 7,5 | 0,0 | 0,0 | 1,2 | 0,0 | 0,0 |
| | -8,0 +6,3 | 3,1 | 35,1 | 27,2 | 20,3 | 8,8 | 1,9 | 0,6 | 5,9 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| | -6,3 +1,0 | 19,1 | 25,4 | 25,2 | 27,1 | 12,7 | 0,4 | 1,7 | 7,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | -1,0 +0,15 | 17,9 | 15,5 | 28,3 | 16,1 | 8,0 | 0,8 | 20,0 | 10,8 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| | -0,15 +0,045 | 31,7 | 14,5 | 13,2 | 6,2 | 4,7 | 2,5 | 57,4 | 1,3 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | -0,045 | 18,9 | 51,9 | 10,4 | 10,3 | 9,1 | 3,0 | 13,9 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Global Calculada | 100,0 | 25,7 | 19,7 | 14,3 | 8,3 | 1,9 | 25,0 | 4,9 | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | |
| 3 | 12,5 +8,0 | 10,2 | 38,3 | 23,7 | 0,1 | 19,0 | 1,8 | 3,2 | 13,5 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| | -8,0 +6,3 | 4,7 | 24,6 | 53,0 | 0,0 | 5,9 | 1,2 | 1,9 | 12,9 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 |
| | -6,3 +1,0 | 11,2 | 37,5 | 18,3 | 1,2 | 24,6 | 5,9 | 1,1 | 11,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | -1,0 +0,15 | 13,3 | 14,7 | 23,6 | 1,6 | 19,9 | 4,5 | 28,4 | 6,9 | 0,0 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| | -0,15 +0,045 | 39,4 | 12,8 | 28,4 | 0,4 | 1,4 | 1,9 | 53,3 | 1,7 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| | -0,045 | 21,1 | 40,1 | 23,9 | 3,5 | 5,9 | 6,4 | 17,4 | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 1,8 | 0,0 | 0,0 |
| Global Calculada | 100,0 | 24,8 | 26,3 | 1,3 | 9,4 | 3,6 | 29,0 | 5,1 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | |

| Legenda | | | | |
|----------------------------|----------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| HC's = Hematitas compactas | MA = Magnetita | GT = Goethita terrosas | MN = Óxido de manganês | OT = Outros minerais |
| HM = Hematita mártita | GO = Goethita | QZ = Quartzo | CA = Caulinita | GB = Gibbsita |

9.3. Amostra 1 – resultados dos ensaios de flotação.

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | | | Rejeito | | | Tempo (s) |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------|-----------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | %Fe | %SiO ₂ | %Fe | %SiO ₂ | | | |
| 13 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 42,56 | 38,01 | 59,06 | 66,61 | 3,74 | 40,94 | 9,31 | 85,07 | 116 |
| 14 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 42,56 | 38,01 | 55,60 | 68,56 | 1,23 | 44,40 | 11,79 | 81,60 | 87 |
| 17 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 42,87 | 37,72 | 60,45 | 65,38 | 5,92 | 39,55 | 8,75 | 85,17 | 110 |
| 18 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 42,87 | 37,72 | 55,95 | 68,30 | 1,49 | 44,05 | 10,78 | 82,59 | 94 |
| 19 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 41,76 | 38,67 | 61,30 | 63,14 | 8,77 | 38,70 | 10,27 | 83,26 | 145 |
| 20 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 41,76 | 38,67 | 67,34 | 59,48 | 13,66 | 32,66 | 8,25 | 85,35 | 150 |
| 21 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 41,52 | 38,12 | 68,70 | 55,93 | 18,47 | 31,30 | 12,43 | 78,48 | 175 |
| 22 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 41,52 | 38,12 | 54,67 | 64,97 | 6,01 | 45,33 | 15,57 | 76,03 | 176 |
| 23 | Lama 1 | 1,50 | 200 | 50 | 42,56 | 38,01 | 52,95 | 68,03 | 0,88 | 47,05 | 13,37 | 79,05 | 95 |
| 24 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 42,56 | 38,01 | 50,96 | 68,26 | 1,00 | 49,04 | 15,89 | 76,65 | 100 |
| 27 | Lama 1 | 3,50 | 200 | 50 | 42,87 | 37,72 | 53,33 | 67,74 | 2,16 | 46,67 | 14,21 | 78,72 | 112 |
| 28 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 42,87 | 37,72 | 48,19 | 68,41 | 1,17 | 51,81 | 16,12 | 75,68 | 118 |
| 29 | Lama 1 | 5,50 | 200 | 50 | 41,76 | 38,67 | 57,64 | 64,87 | 6,48 | 42,36 | 12,01 | 80,08 | 125 |
| 30 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 41,76 | 38,67 | 51,57 | 68,74 | 1,28 | 48,43 | 14,83 | 76,28 | 120 |
| 31 | Lama 1 | 10,00 | 200 | 50 | 41,52 | 38,12 | 67,81 | 54,52 | 19,60 | 32,19 | 15,49 | 74,94 | 120 |
| 32 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 41,52 | 38,12 | 47,28 | 66,71 | 3,38 | 52,72 | 21,04 | 67,62 | 122 |
| 33 | Lama 3 | 1,50 | 200 | - | 42,07 | 38,51 | 59,42 | 64,85 | 5,19 | 40,58 | 9,61 | 85,80 | 124 |
| 34 | Lama 3 | 1,50 | 400 | - | 42,07 | 38,51 | 52,39 | 69,17 | 0,60 | 47,61 | 14,48 | 77,40 | 109 |
| 37 | Lama 3 | 3,50 | 200 | - | 43,38 | 36,92 | 59,57 | 65,58 | 5,43 | 40,43 | 10,00 | 83,70 | 119 |
| 38 | Lama 3 | 3,50 | 400 | - | 43,38 | 36,92 | 52,05 | 68,73 | 0,58 | 47,95 | 15,43 | 75,95 | 98 |
| 39 | Lama 3 | 5,50 | 200 | - | 43,15 | 36,89 | 53,21 | 68,89 | 1,05 | 46,79 | 14,12 | 77,68 | 96 |
| 40 | Lama 3 | 5,50 | 400 | - | 43,15 | 36,89 | 51,09 | 69,20 | 0,69 | 48,91 | 16,81 | 74,46 | 92 |
| 41 | Lama 3 | 10,00 | 200 | - | 43,46 | 36,08 | 50,89 | 66,75 | 3,17 | 49,11 | 18,62 | 71,97 | 151 |
| 42 | Lama 3 | 10,00 | 400 | - | 43,46 | 36,08 | 47,15 | 68,24 | 0,64 | 52,85 | 20,06 | 68,31 | 145 |
| 43 | Lama 3 | 1,50 | 200 | 50 | 42,07 | 38,51 | 52,99 | 69,13 | 0,66 | 47,01 | 13,79 | 79,40 | 84 |
| 44 | Lama 3 | 1,50 | 400 | 50 | 42,07 | 38,51 | 52,60 | 68,89 | 0,70 | 47,40 | 14,51 | 78,20 | 86 |
| 47 | Lama 3 | 3,50 | 200 | 50 | 43,38 | 36,92 | 52,83 | 69,16 | 0,70 | 47,17 | 15,64 | 76,71 | 79 |
| 48 | Lama 3 | 3,50 | 400 | 50 | 43,38 | 36,92 | 52,12 | 69,01 | 0,50 | 47,88 | 15,31 | 77,43 | 86 |
| 49 | Lama 3 | 5,50 | 200 | 50 | 43,15 | 36,89 | 52,00 | 69,00 | 0,82 | 48,00 | 15,46 | 76,78 | 94 |
| 50 | Lama 3 | 5,50 | 400 | 50 | 43,15 | 36,89 | 50,55 | 67,92 | 0,80 | 49,45 | 17,05 | 74,35 | 83 |
| 51 | Lama 3 | 10,00 | 200 | 50 | 43,46 | 36,08 | 49,85 | 67,78 | 1,57 | 50,15 | 18,36 | 71,83 | 124 |
| 52 | Lama 3 | 10,00 | 400 | 50 | 43,46 | 36,08 | 41,34 | 68,98 | 0,64 | 58,66 | 25,30 | 61,97 | 150 |
| 53 | Lama 2 | 1,50 | 200 | - | 42,78 | 37,20 | 54,17 | 68,41 | 0,74 | 45,83 | 12,37 | 80,35 | 108 |
| 54 | Lama 2 | 1,50 | 400 | - | 42,78 | 37,20 | 53,38 | 68,20 | 0,53 | 46,62 | 14,46 | 77,78 | 99 |
| 57 | Lama 2 | 3,50 | 200 | - | 43,03 | 38,05 | 54,09 | 68,90 | 1,11 | 45,91 | 12,14 | 82,03 | 78 |
| 58 | Lama 2 | 3,50 | 400 | - | 43,03 | 38,05 | 50,83 | 68,88 | 0,77 | 49,17 | 16,63 | 74,87 | 69 |
| 59 | Lama 2 | 5,50 | 200 | - | 43,19 | 37,05 | 54,44 | 68,41 | 1,33 | 45,56 | 12,63 | 79,33 | 79 |
| 60 | Lama 2 | 5,50 | 400 | - | 43,19 | 37,05 | 50,67 | 69,01 | 0,66 | 49,33 | 16,66 | 73,95 | 106 |
| 61 | Lama 2 | 10,00 | 200 | - | 43,26 | 36,38 | 53,59 | 67,86 | 2,07 | 46,41 | 14,59 | 76,95 | 145 |
| 62 | Lama 2 | 10,00 | 400 | - | 43,26 | 36,38 | 50,58 | 68,65 | 0,76 | 49,42 | 16,84 | 74,04 | 232 |
| 63 | Lama 2 | 1,50 | 200 | 50 | 42,78 | 37,20 | 52,76 | 69,04 | 0,63 | 47,24 | 14,30 | 77,81 | 103 |
| 64 | Lama 2 | 1,50 | 400 | 50 | 42,78 | 37,20 | 52,91 | 68,53 | 1,11 | 47,09 | 14,47 | 78,08 | 81 |
| 67 | Lama 2 | 3,50 | 200 | 50 | 43,03 | 38,05 | 53,26 | 68,96 | 0,81 | 46,74 | 13,69 | 78,52 | 90 |
| 68 | Lama 2 | 3,50 | 400 | 50 | 43,03 | 38,05 | 51,67 | 68,78 | 0,95 | 48,33 | 14,01 | 79,51 | 97 |
| 69 | Lama 2 | 5,50 | 200 | 50 | 43,19 | 37,05 | 56,01 | 66,84 | 1,21 | 43,99 | 10,84 | 82,18 | 96 |
| 70 | Lama 2 | 5,50 | 400 | 50 | 43,19 | 37,05 | 53,84 | 68,09 | 0,60 | 46,16 | 12,22 | 80,00 | 86 |
| 71 | Lama 2 | 10,00 | 200 | 50 | 43,26 | 36,38 | 50,20 | 68,46 | 1,01 | 49,80 | 17,37 | 73,17 | 128 |
| 72 | Lama 2 | 10,00 | 400 | 50 | 43,26 | 36,38 | 47,94 | 68,08 | 0,79 | 52,06 | 19,55 | 70,28 | 123 |
| 73 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 42,46 | 37,82 | 54,09 | 69,06 | 0,80 | 45,91 | 13,30 | 80,24 | 68 |
| 74 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 42,46 | 37,82 | 52,43 | 69,19 | 0,71 | 47,57 | 14,74 | 77,87 | 81 |
| 75 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 42,45 | 37,28 | 53,39 | 69,29 | 0,70 | 46,61 | 14,27 | 78,85 | 85 |
| 76 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 42,45 | 37,28 | 52,88 | 68,93 | 0,80 | 47,12 | 14,55 | 78,74 | 83 |
| 79 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 43,56 | 36,29 | 54,52 | 68,65 | 1,25 | 45,48 | 14,57 | 78,24 | 83 |
| 80 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 43,56 | 36,29 | 53,55 | 68,34 | 0,85 | 46,45 | 15,53 | 76,65 | 86 |
| 81 | Lama 4 | 1,50 | 200 | 50 | 42,46 | 37,82 | 52,85 | 68,98 | 0,82 | 47,15 | 14,95 | 78,29 | 88 |
| 82 | Lama 4 | 1,50 | 400 | 50 | 42,46 | 37,82 | 52,44 | 69,31 | 0,59 | 47,56 | 15,02 | 78,60 | 77 |
| 83 | Lama 4 | 3,50 | 200 | 50 | 42,45 | 37,28 | 52,82 | 69,34 | 0,61 | 47,18 | 14,32 | 78,46 | 99 |
| 84 | Lama 4 | 3,50 | 400 | 50 | 42,45 | 37,28 | 52,18 | 69,17 | 0,54 | 47,82 | 15,51 | 77,39 | 91 |
| 87 | Lama 4 | 10,00 | 200 | 50 | 43,56 | 36,29 | 54,43 | 68,57 | 0,89 | 45,57 | 14,22 | 79,03 | 82 |
| 88 | Lama 4 | 10,00 | 400 | 50 | 43,56 | 36,29 | 52,62 | 68,81 | 0,73 | 47,38 | 16,42 | 74,35 | 84 |

9.4. Amostra 2 – resultados dos ensaios de flotação.

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | Concentrado | | Recup. Mássica (%) | Rejeito | | Tempo (s) |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|-----------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | |
| 13 | Lama 2 | 1,50 | 250 | - | 47,13 | 31,12 | 64,19 | 68,10 | 0,70 | 35,81 | 12,02 | 81,75 | 62 |
| 14 | Lama 2 | 1,50 | 400 | - | 47,13 | 31,12 | 62,96 | 67,90 | 0,72 | 37,04 | 13,67 | 79,22 | 93 |
| 17 | Lama 2 | 3,50 | 250 | - | 47,51 | 30,30 | 62,78 | 68,17 | 0,70 | 37,22 | 15,20 | 77,79 | 89 |
| 18 | Lama 2 | 3,50 | 400 | - | 47,51 | 30,30 | 60,25 | 68,13 | 0,58 | 39,75 | 17,14 | 73,61 | 101 |
| 19 | Lama 2 | 5,50 | 250 | - | 47,64 | 30,15 | 61,07 | 66,75 | 1,11 | 38,93 | 16,52 | 75,16 | 101 |
| 20 | Lama 2 | 5,50 | 400 | - | 47,64 | 30,15 | 58,64 | 66,77 | 1,20 | 41,36 | 18,73 | 71,70 | 110 |
| 21 | Lama 2 | 10,00 | 250 | - | 47,82 | 29,30 | 61,42 | 67,89 | 0,78 | 38,58 | 16,53 | 73,46 | 138 |
| 22 | Lama 2 | 10,00 | 400 | - | 47,82 | 29,30 | 59,96 | 67,64 | 0,78 | 40,04 | 17,80 | 72,12 | 142 |
| 23 | Lama 2 | 1,50 | 250 | 50 | 47,13 | 31,12 | 60,96 | 68,11 | 0,72 | 39,04 | 18,67 | 73,15 | 80 |
| 24 | Lama 2 | 1,50 | 400 | 50 | 47,13 | 31,12 | 60,10 | 67,83 | 0,61 | 39,90 | 17,40 | 73,87 | 79 |
| 27 | Lama 2 | 3,50 | 250 | 50 | 47,51 | 30,30 | 62,54 | 68,14 | 0,70 | 37,46 | 13,99 | 78,77 | 79 |
| 28 | Lama 2 | 3,50 | 400 | 50 | 47,51 | 30,30 | 59,23 | 67,94 | 0,60 | 40,77 | 18,39 | 72,11 | 92 |
| 29 | Lama 2 | 5,50 | 250 | 50 | 47,64 | 30,15 | 61,85 | 67,68 | 0,67 | 38,15 | 14,56 | 77,49 | 111 |
| 30 | Lama 2 | 5,50 | 400 | 50 | 47,64 | 30,15 | 59,19 | 67,97 | 0,67 | 40,81 | 17,68 | 72,90 | 120 |
| 31 | Lama 2 | 10,00 | 250 | 50 | 47,82 | 29,30 | 62,91 | 67,67 | 1,18 | 37,09 | 16,83 | 73,75 | 144 |
| 32 | Lama 2 | 10,00 | 400 | 50 | 47,82 | 29,30 | 61,34 | 67,90 | 1,21 | 38,66 | 17,61 | 71,82 | 151 |
| 33 | Lama 3 | 1,50 | 250 | - | 47,08 | 30,07 | 63,13 | 67,61 | 0,81 | 36,87 | 13,05 | 79,82 | 88 |
| 34 | Lama 3 | 1,50 | 400 | - | 47,08 | 30,07 | 62,48 | 67,64 | 0,72 | 37,52 | 13,97 | 80,22 | 91 |
| 37 | Lama 3 | 3,50 | 250 | - | 47,49 | 30,26 | 63,30 | 68,40 | 0,64 | 36,70 | 12,65 | 79,98 | 82 |
| 38 | Lama 3 | 3,50 | 400 | - | 47,49 | 30,26 | 62,76 | 68,45 | 0,64 | 37,24 | 13,01 | 81,08 | 85 |
| 39 | Lama 3 | 5,50 | 250 | - | 47,86 | 29,90 | 63,63 | 68,13 | 0,70 | 36,37 | 12,80 | 80,72 | 87 |
| 40 | Lama 3 | 5,50 | 400 | - | 47,86 | 29,90 | 62,15 | 67,54 | 0,77 | 37,85 | 14,84 | 77,16 | 85 |
| 41 | Lama 3 | 10,00 | 250 | - | 47,14 | 29,37 | 61,58 | 68,16 | 0,87 | 38,42 | 13,57 | 78,73 | 94 |
| 42 | Lama 3 | 10,00 | 400 | - | 47,14 | 29,37 | 60,77 | 67,58 | 1,17 | 39,23 | 15,24 | 76,55 | 101 |
| 43 | Lama 3 | 1,50 | 250 | 50 | 47,08 | 30,07 | 62,34 | 68,16 | 0,72 | 37,66 | 14,41 | 79,15 | 82 |
| 44 | Lama 3 | 1,50 | 400 | 50 | 47,08 | 30,07 | 62,77 | 68,23 | 0,86 | 37,23 | 13,94 | 79,16 | 67 |
| 47 | Lama 3 | 3,50 | 250 | 50 | 47,49 | 30,26 | 63,94 | 68,19 | 0,76 | 36,06 | 11,52 | 82,16 | 84 |
| 48 | Lama 3 | 3,50 | 400 | 50 | 47,49 | 30,26 | 62,25 | 68,08 | 0,64 | 37,75 | 13,95 | 78,22 | 88 |
| 49 | Lama 3 | 5,50 | 250 | 50 | 47,86 | 29,90 | 63,57 | 67,28 | 0,73 | 36,43 | 12,48 | 80,15 | 80 |
| 50 | Lama 3 | 5,50 | 400 | 50 | 47,86 | 29,90 | 62,00 | 67,55 | 0,72 | 38,00 | 14,36 | 78,15 | 86 |
| 51 | Lama 3 | 10,00 | 250 | 50 | 47,14 | 29,37 | 60,33 | 67,57 | 0,80 | 39,67 | 17,05 | 73,53 | 108 |
| 52 | Lama 3 | 10,00 | 400 | 50 | 47,14 | 29,37 | 61,11 | 67,34 | 0,77 | 38,89 | 16,18 | 74,14 | 94 |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 250 | - | 47,42 | 30,48 | 64,28 | 68,23 | 0,95 | 35,72 | 11,57 | 81,89 | 94 |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 47,42 | 30,48 | 62,53 | 68,34 | 0,72 | 37,47 | 14,31 | 78,03 | 103 |
| 57 | Lama 1 | 3,50 | 250 | - | 46,90 | 30,23 | 65,88 | 67,90 | 0,88 | 34,12 | 10,57 | 83,67 | 95 |
| 58 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 46,90 | 30,23 | 63,00 | 68,08 | 0,69 | 37,00 | 10,76 | 83,74 | 94 |
| 59 | Lama 1 | 5,50 | 250 | - | 47,39 | 30,57 | 66,96 | 66,26 | 2,05 | 33,04 | 8,00 | 86,48 | 97 |
| 60 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 47,39 | 30,57 | 65,23 | 67,40 | 1,31 | 34,77 | 9,70 | 84,21 | 83 |
| 61 | Lama 1 | 10,00 | 250 | - | 47,86 | 30,13 | 58,90 | 67,63 | 0,69 | 41,10 | 18,38 | 71,29 | 124 |
| 62 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 47,86 | 30,13 | 57,71 | 67,94 | 0,62 | 42,29 | 19,81 | 68,32 | 129 |
| 63 | Lama 1 | 1,50 | 250 | 50 | 47,42 | 30,48 | 63,41 | 67,82 | 0,68 | 36,59 | 12,04 | 81,38 | 84 |
| 64 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 47,42 | 30,48 | 60,79 | 68,19 | 0,77 | 39,21 | 15,94 | 75,69 | 93 |
| 67 | Lama 1 | 3,50 | 250 | 50 | 46,90 | 30,23 | 64,87 | 68,25 | 0,88 | 35,13 | 9,78 | 84,10 | 74 |
| 68 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 46,90 | 30,23 | 61,01 | 67,89 | 0,79 | 38,99 | 14,39 | 78,60 | 80 |
| 69 | Lama 1 | 5,50 | 250 | 50 | 47,39 | 30,57 | 63,33 | 67,90 | 1,32 | 36,67 | 11,64 | 81,91 | 96 |
| 70 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 47,39 | 30,57 | 58,22 | 67,84 | 0,78 | 41,78 | 15,66 | 75,59 | 89 |
| 71 | Lama 1 | 10,00 | 250 | 50 | 47,86 | 30,13 | 59,00 | 67,68 | 0,72 | 41,00 | 18,13 | 71,32 | 145 |
| 72 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 47,86 | 30,13 | 57,46 | 67,97 | 0,64 | 42,54 | 20,38 | 68,57 | 147 |

9.5. Amostra 3 – resultados dos ensaios de flotação.

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | | | Rejeito | | | Tempo (s) |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|------|-------------------|-------|-------|-----------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | %Fe | %SiO ₂ | %Fe | %SiO ₂ | | | |
| 13 | Lama 3 | 1,50 | 350 | - | 42,79 | 36,56 | 56,10 | 67,12 | 1,22 | 43,90 | 12,93 | 79,58 | 81 |
| 14 | Lama 3 | 1,50 | 500 | - | 42,79 | 36,56 | 56,39 | 67,11 | 1,17 | 43,61 | 11,53 | 82,21 | 90 |
| 17 | Lama 3 | 3,50 | 350 | - | 42,45 | 36,42 | 56,68 | 66,91 | 1,14 | 43,32 | 11,90 | 81,64 | 99 |
| 18 | Lama 3 | 3,50 | 500 | - | 42,45 | 36,42 | 56,38 | 66,58 | 1,12 | 43,62 | 11,45 | 82,06 | 95 |
| 19 | Lama 3 | 5,50 | 350 | - | 42,72 | 35,98 | 55,46 | 66,60 | 1,27 | 44,54 | 12,87 | 79,33 | 120 |
| 20 | Lama 3 | 5,50 | 500 | - | 42,72 | 35,98 | 54,70 | 66,80 | 1,06 | 45,30 | 13,92 | 78,65 | 142 |
| 21 | Lama 3 | 10,00 | 350 | - | 42,65 | 35,68 | 50,27 | 66,80 | 1,28 | 49,73 | 19,23 | 69,96 | 142 |
| 22 | Lama 3 | 10,00 | 500 | - | 42,65 | 35,68 | 50,84 | 66,87 | 1,24 | 49,16 | 18,49 | 70,96 | 134 |
| 23 | Lama 3 | 1,50 | 350 | 50 | 42,79 | 36,56 | 56,46 | 67,34 | 1,07 | 43,54 | 12,34 | 81,31 | 90 |
| 24 | Lama 3 | 1,50 | 500 | 50 | 42,79 | 36,56 | 55,84 | 66,91 | 1,02 | 44,16 | 12,68 | 81,16 | 86 |
| 27 | Lama 3 | 3,50 | 350 | 50 | 42,45 | 36,42 | 56,25 | 67,06 | 1,16 | 43,75 | 13,11 | 80,15 | 82 |
| 28 | Lama 3 | 3,50 | 500 | 50 | 42,45 | 36,42 | 54,77 | 67,11 | 1,00 | 45,23 | 13,57 | 78,41 | 99 |
| 29 | Lama 3 | 5,50 | 350 | 50 | 42,72 | 35,98 | 55,81 | 67,08 | 1,13 | 44,19 | 13,36 | 79,42 | 88 |
| 30 | Lama 3 | 5,50 | 500 | 50 | 42,72 | 35,98 | 53,70 | 67,47 | 0,98 | 46,30 | 15,13 | 76,46 | 90 |
| 31 | Lama 3 | 10,00 | 350 | 50 | 42,65 | 35,68 | 51,05 | 67,20 | 1,16 | 48,95 | 18,67 | 69,65 | 141 |
| 32 | Lama 3 | 10,00 | 500 | 50 | 42,65 | 35,68 | 50,29 | 67,38 | 1,05 | 49,71 | 18,92 | 70,35 | 136 |
| 33 | Lama 2 | 1,50 | 350 | - | 42,52 | 36,69 | 55,87 | 66,91 | 1,26 | 44,13 | 12,18 | 81,57 | 98 |
| 34 | Lama 2 | 1,50 | 500 | - | 42,52 | 36,69 | 56,83 | 66,82 | 1,31 | 43,17 | 10,70 | 83,12 | 96 |
| 37 | Lama 2 | 3,50 | 350 | - | 42,93 | 36,62 | 55,89 | 67,42 | 1,07 | 44,11 | 11,88 | 81,86 | 99 |
| 38 | Lama 2 | 3,50 | 500 | - | 42,93 | 36,62 | 55,36 | 66,02 | 1,12 | 44,64 | 13,70 | 79,71 | 93 |
| 39 | Lama 2 | 5,50 | 350 | - | 42,98 | 36,80 | 55,36 | 66,84 | 1,07 | 44,64 | 13,11 | 79,80 | 100 |
| 40 | Lama 2 | 5,50 | 500 | - | 42,98 | 36,80 | 53,60 | 66,95 | 1,06 | 46,40 | 15,04 | 77,17 | 121 |
| 41 | Lama 2 | 10,00 | 350 | - | 42,96 | 36,11 | 56,87 | 66,17 | 1,27 | 43,13 | 14,54 | 78,46 | 140 |
| 42 | Lama 2 | 10,00 | 500 | - | 42,96 | 36,11 | 56,46 | 66,37 | 1,36 | 43,54 | 12,54 | 79,74 | 106 |
| 43 | Lama 2 | 1,50 | 350 | 50 | 42,52 | 36,69 | 57,64 | 66,53 | 1,23 | 42,36 | 12,45 | 80,58 | 86 |
| 44 | Lama 2 | 1,50 | 500 | 50 | 42,52 | 36,69 | 57,52 | 66,93 | 1,31 | 42,48 | 10,28 | 83,81 | 88 |
| 47 | Lama 2 | 3,50 | 350 | 50 | 42,93 | 36,62 | 58,10 | 67,07 | 1,06 | 41,90 | 10,84 | 83,52 | 104 |
| 48 | Lama 2 | 3,50 | 500 | 50 | 42,93 | 36,62 | 57,17 | 66,82 | 1,08 | 42,83 | 12,19 | 80,76 | 94 |
| 49 | Lama 2 | 5,50 | 350 | 50 | 42,98 | 36,80 | 57,34 | 66,81 | 1,15 | 42,66 | 12,08 | 81,36 | 109 |
| 50 | Lama 2 | 5,50 | 500 | 50 | 42,98 | 36,80 | 55,98 | 67,18 | 1,15 | 44,02 | 12,95 | 81,09 | 89 |
| 51 | Lama 2 | 10,00 | 350 | 50 | 42,96 | 36,11 | 56,99 | 66,97 | 1,27 | 43,01 | 13,04 | 80,38 | 108 |
| 52 | Lama 2 | 10,00 | 500 | 50 | 42,96 | 36,11 | 55,84 | 66,08 | 2,26 | 44,16 | 13,12 | 78,75 | 98 |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 350 | - | 42,49 | 36,56 | 57,82 | 66,65 | 1,15 | 42,18 | 10,14 | 84,00 | 95 |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 500 | - | 42,49 | 36,56 | 56,47 | 66,92 | 1,10 | 43,53 | 11,93 | 82,23 | 87 |
| 57 | Lama 1 | 3,50 | 350 | - | 42,69 | 36,54 | 58,24 | 66,63 | 1,35 | 41,76 | 11,74 | 83,26 | 93 |
| 58 | Lama 1 | 3,50 | 500 | - | 42,69 | 36,54 | 56,60 | 67,46 | 1,06 | 43,40 | 11,31 | 81,58 | 105 |
| 59 | Lama 1 | 5,50 | 350 | - | 42,17 | 36,48 | 59,15 | 65,15 | 2,71 | 40,85 | 11,80 | 81,95 | 88 |
| 60 | Lama 1 | 5,50 | 500 | - | 42,17 | 36,48 | 57,82 | 66,38 | 1,42 | 42,18 | 11,96 | 82,28 | 92 |
| 61 | Lama 1 | 10,00 | 350 | - | 42,08 | 36,62 | 57,76 | 65,89 | 3,18 | 42,24 | 13,24 | 79,09 | 148 |
| 62 | Lama 1 | 10,00 | 500 | - | 42,08 | 36,62 | 54,97 | 67,67 | 1,25 | 45,03 | 13,85 | 77,19 | 159 |
| 63 | Lama 1 | 1,50 | 350 | 50 | 42,49 | 36,56 | 57,87 | 66,19 | 1,24 | 42,13 | 9,98 | 84,31 | 94 |
| 64 | Lama 1 | 1,50 | 500 | 50 | 42,49 | 36,56 | 55,26 | 66,46 | 1,22 | 44,74 | 13,11 | 79,13 | 90 |
| 67 | Lama 1 | 3,50 | 350 | 50 | 42,69 | 36,54 | 56,45 | 67,01 | 1,29 | 43,55 | 11,74 | 81,17 | 90 |
| 68 | Lama 1 | 3,50 | 500 | 50 | 42,69 | 36,54 | 55,74 | 66,77 | 1,16 | 44,26 | 12,37 | 80,82 | 89 |
| 69 | Lama 1 | 5,50 | 350 | 50 | 42,17 | 36,48 | 57,97 | 66,24 | 2,30 | 42,03 | 10,14 | 83,71 | 106 |
| 70 | Lama 1 | 5,50 | 500 | 50 | 42,17 | 36,48 | 55,47 | 66,81 | 1,28 | 44,53 | 12,37 | 80,41 | 98 |
| 71 | Lama 1 | 10,00 | 350 | 50 | 42,08 | 36,62 | 56,82 | 63,96 | 4,94 | 43,18 | 13,42 | 78,32 | 145 |
| 72 | Lama 1 | 10,00 | 500 | 50 | 42,08 | 36,62 | 53,70 | 65,84 | 2,61 | 46,30 | 15,23 | 74,68 | 135 |

9.8. Amostra Minerais Ferro – resultados de flotação da amostra -0,15 mm

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | Concentrado | | Recup. Mássica (%) | Rejeito | |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ |
| 29 | Lama 2 | 1,50 | 200 | - | 69,23 | 0,32 | 99,96 | 69,87 | 0,29 | 0,04 | | |
| 30 | Lama 2 | 1,50 | 400 | - | 69,23 | 0,32 | 99,93 | 69,29 | 0,22 | 0,07 | | |
| 31 | Lama 2 | 3,50 | 200 | - | 68,41 | 0,36 | 99,88 | 69,45 | 0,32 | 0,12 | | |
| 32 | Lama 2 | 3,50 | 400 | - | 68,41 | 0,36 | 99,82 | 68,65 | 0,31 | 0,18 | | |
| 33 | Lama 2 | 5,50 | 200 | - | 69,12 | 0,48 | 99,90 | 68,84 | 0,41 | 0,10 | | |
| 34 | Lama 2 | 5,50 | 400 | - | 69,12 | 0,48 | 99,84 | 69,55 | 0,49 | 0,16 | | |
| 35 | Lama 2 | 10,00 | 200 | - | 69,02 | 0,70 | 99,89 | 68,50 | 0,63 | 0,11 | | |
| 36 | Lama 2 | 10,00 | 400 | - | 69,02 | 0,70 | 99,21 | 69,07 | 0,76 | 0,79 | | |
| 37 | Lama 2 | 1,50 | 200 | 50 | 69,23 | 0,32 | 99,94 | 69,48 | 0,34 | 0,06 | | |
| 38 | Lama 2 | 1,50 | 400 | 50 | 69,23 | 0,32 | 99,98 | 69,46 | 0,25 | 0,02 | | |
| 39 | Lama 2 | 3,50 | 200 | 50 | 68,41 | 0,36 | 99,96 | 69,85 | 0,32 | 0,04 | | |
| 40 | Lama 2 | 3,50 | 400 | 50 | 68,41 | 0,36 | 99,92 | 69,24 | 0,40 | 0,08 | | |
| 41 | Lama 2 | 5,50 | 200 | 50 | 69,12 | 0,48 | 99,90 | 69,29 | 0,42 | 0,10 | | |
| 42 | Lama 2 | 5,50 | 400 | 50 | 69,12 | 0,48 | 99,87 | 68,88 | 0,40 | 0,13 | | |
| 43 | Lama 2 | 10,00 | 200 | 50 | 69,02 | 0,70 | 99,83 | 68,65 | 0,67 | 0,17 | | |
| 44 | Lama 2 | 10,00 | 400 | 50 | 69,02 | 0,70 | 99,41 | 68,75 | 0,59 | 0,59 | | |
| 45 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 69,20 | 0,31 | 99,98 | 69,78 | 0,46 | 0,02 | | |
| 46 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 69,20 | 0,31 | 99,88 | 69,44 | 0,31 | 0,12 | | |
| 47 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 69,20 | 0,54 | 100,00 | 69,20 | 0,54 | 0,00 | | |
| 48 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 69,20 | 0,54 | 100,00 | 69,20 | 0,54 | 0,00 | | |
| 49 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 69,08 | 0,68 | 99,94 | 68,92 | 0,74 | 0,06 | | |
| 50 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 69,08 | 0,68 | 99,98 | 69,11 | 0,68 | 0,02 | | |
| 51 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 68,21 | 1,14 | 99,27 | 67,93 | 1,10 | 0,73 | | |
| 52 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 68,21 | 1,14 | 98,64 | 68,32 | 0,89 | 1,36 | | |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 200 | 50 | 69,20 | 0,31 | 99,95 | 69,77 | 0,40 | 0,05 | | |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 69,20 | 0,31 | 99,85 | 69,40 | 0,28 | 0,15 | | |
| 55 | Lama 1 | 3,50 | 200 | 50 | 69,20 | 0,54 | 100,00 | 69,20 | 0,54 | 0,00 | | |
| 56 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 69,20 | 0,54 | 100,00 | 69,20 | 0,54 | 0,00 | | |
| 57 | Lama 1 | 5,50 | 200 | 50 | 69,08 | 0,68 | 99,78 | 69,34 | 0,66 | 0,22 | | |
| 58 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 69,08 | 0,68 | 99,70 | 69,22 | 0,74 | 0,30 | | |
| 59 | Lama 1 | 10,00 | 200 | 50 | 68,21 | 1,14 | 99,36 | 68,82 | 1,12 | 0,64 | | |
| 60 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 68,21 | 1,14 | 98,71 | 68,96 | 1,02 | 1,29 | 50,63 | 15,56 |
| 61 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 69,86 | 0,32 | 99,95 | 69,83 | 0,31 | 0,05 | | |
| 62 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 69,86 | 0,32 | 99,86 | 69,71 | 0,35 | 0,14 | | |
| 63 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 69,53 | 0,57 | 99,62 | 69,46 | 0,50 | 0,38 | | |
| 64 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 69,53 | 0,57 | 99,62 | 69,22 | 0,51 | 0,38 | | |
| 67 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 68,39 | 1,40 | 99,64 | 68,71 | 1,00 | 0,36 | | |
| 68 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 68,39 | 1,40 | 99,21 | 68,77 | 0,84 | 0,79 | | |
| 69 | Lama 4 | 1,50 | 200 | 50 | 69,86 | 0,32 | 99,98 | 69,83 | 0,27 | 0,02 | | |
| 70 | Lama 4 | 1,50 | 400 | 50 | 69,86 | 0,32 | 99,77 | 69,81 | 0,30 | 0,23 | | |
| 71 | Lama 4 | 3,50 | 200 | 50 | 69,53 | 0,57 | 99,55 | 68,68 | 0,55 | 0,45 | | |
| 72 | Lama 4 | 3,50 | 400 | 50 | 69,53 | 0,57 | 99,49 | 69,55 | 0,52 | 0,51 | | |
| 75 | Lama 4 | 10,00 | 200 | 50 | 68,39 | 1,40 | 99,46 | 68,72 | 0,77 | 0,54 | | |
| 76 | Lama 4 | 10,00 | 400 | 50 | 68,39 | 1,40 | 99,20 | 68,69 | 0,79 | 0,80 | | |

9.9.Amostra Minerais Ferro – resultados de flotação da amostra +0,075mm

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | Concentrado | | Recup. Mássica (%) | Rejeito | |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ |
| 45 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 69,08 | 1,08 | 99,95 | 68,68 | 1,24 | 0,05 | | |
| 46 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 69,08 | 1,08 | 99,94 | 68,86 | 1,20 | 0,06 | | |
| 47 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 67,82 | 1,54 | 99,87 | 68,66 | 1,41 | 0,13 | | |
| 48 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 67,82 | 1,54 | 99,83 | 68,44 | 1,50 | 0,17 | | |
| 49 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 67,56 | 1,97 | 99,79 | 67,56 | 2,22 | 0,21 | | |
| 50 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 67,56 | 1,97 | 99,38 | 67,81 | 2,08 | 0,62 | | |
| 51 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 65,97 | 3,54 | 99,41 | 66,23 | 3,27 | 0,59 | | |
| 52 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 65,97 | 3,54 | 97,45 | 66,56 | 2,82 | 2,55 | 34,03 | 28,95 |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 200 | 50 | 69,08 | 1,08 | 99,94 | 68,74 | 1,10 | 0,06 | | |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 69,08 | 1,08 | 99,85 | 68,56 | 1,01 | 0,15 | | |
| 55 | Lama 1 | 3,50 | 200 | 50 | 67,82 | 1,54 | 99,87 | 68,88 | 1,20 | 0,13 | | |
| 56 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 67,82 | 1,54 | 99,81 | 68,52 | 1,41 | 0,19 | | |
| 57 | Lama 1 | 5,50 | 200 | 50 | 67,56 | 1,97 | 99,65 | 67,70 | 2,00 | 0,35 | | |
| 58 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 67,56 | 1,97 | 99,42 | 67,77 | 2,09 | 0,58 | | |
| 59 | Lama 1 | 10,00 | 200 | 50 | 65,97 | 3,54 | 99,33 | 65,84 | 3,47 | 0,67 | | |
| 60 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 65,97 | 3,54 | 97,34 | 66,42 | 3,03 | 2,66 | 30,15 | 31,58 |
| 61 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 69,40 | 0,86 | 99,94 | 68,65 | 1,04 | 0,06 | | |
| 62 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 69,40 | 0,86 | 99,91 | 68,71 | 0,93 | 0,09 | | |
| 63 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 68,79 | 1,06 | 99,92 | 67,38 | 1,75 | 0,08 | | |
| 64 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 68,79 | 1,06 | 99,90 | 69,05 | 1,00 | 0,10 | | |
| 67 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 68,43 | 1,39 | 99,47 | 66,99 | 1,45 | 0,53 | | |
| 68 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 68,43 | 1,39 | 99,00 | 68,53 | 1,29 | 1,00 | 49,33 | 17,78 |
| 69 | Lama 4 | 1,50 | 200 | 50 | 69,40 | 0,86 | 99,92 | 68,76 | 0,91 | 0,08 | | |
| 70 | Lama 4 | 1,50 | 400 | 50 | 69,40 | 0,86 | 99,75 | 68,84 | 0,79 | 0,25 | | |
| 71 | Lama 4 | 3,50 | 200 | 50 | 68,79 | 1,06 | 99,91 | 69,28 | 0,89 | 0,09 | | |
| 72 | Lama 4 | 3,50 | 400 | 50 | 68,79 | 1,06 | 99,91 | 69,04 | 0,96 | 0,09 | | |
| 75 | Lama 4 | 10,00 | 200 | 50 | 68,43 | 1,39 | 99,52 | 68,04 | 1,40 | 0,48 | | |
| 76 | Lama 4 | 10,00 | 400 | 50 | 68,43 | 1,39 | 99,01 | 68,11 | 1,19 | 0,99 | | |

9.10. Amostra Minerais Ferro – resultados de flotação da amostra - 0,075mm

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | Concentrado | | Recup. Mássica (%) | Rejeito | |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ |
| 29 | Lama 2 | 1,50 | 200 | - | 69,70 | 0,94 | 99,88 | 68,59 | 0,97 | 0,12 | | |
| 30 | Lama 2 | 1,50 | 400 | - | 69,70 | 0,94 | 99,82 | 68,56 | 0,90 | 0,18 | | |
| 31 | Lama 2 | 3,50 | 200 | - | 68,76 | 0,59 | 99,88 | 68,87 | 0,34 | 0,12 | | |
| 32 | Lama 2 | 3,50 | 400 | - | 68,76 | 0,59 | 99,79 | 69,30 | 0,26 | 0,21 | | |
| 33 | Lama 2 | 5,50 | 200 | - | 69,36 | 0,65 | 99,92 | 69,45 | 0,38 | 0,08 | | |
| 34 | Lama 2 | 5,50 | 400 | - | 69,36 | 0,65 | 99,85 | 69,35 | 0,39 | 0,15 | | |
| 35 | Lama 2 | 10,00 | 200 | - | 68,84 | 0,72 | 99,75 | 69,28 | 0,64 | 0,25 | | |
| 36 | Lama 2 | 10,00 | 400 | - | 68,84 | 0,72 | 99,67 | 69,65 | 0,49 | 0,33 | | |
| 37 | Lama 2 | 1,50 | 200 | Fixo | 69,70 | 0,94 | 99,16 | 68,57 | 0,96 | 0,84 | | |
| 38 | Lama 2 | 1,50 | 400 | Fixo | 69,70 | 0,94 | 99,74 | 68,93 | 0,86 | 0,26 | | |
| 39 | Lama 2 | 3,50 | 200 | Fixo | 68,76 | 0,59 | 99,24 | 69,57 | 0,33 | 0,76 | | |
| 40 | Lama 2 | 3,50 | 400 | Fixo | 68,76 | 0,59 | 99,83 | 69,64 | 0,33 | 0,17 | | |
| 41 | Lama 2 | 5,50 | 200 | Fixo | 69,36 | 0,65 | 99,85 | 69,03 | 0,40 | 0,15 | | |
| 42 | Lama 2 | 5,50 | 400 | Fixo | 69,36 | 0,65 | 99,80 | 68,64 | 0,42 | 0,20 | | |
| 43 | Lama 2 | 10,00 | 200 | Fixo | 68,84 | 0,72 | 99,78 | 68,98 | 0,65 | 0,22 | | |
| 44 | Lama 2 | 10,00 | 400 | Fixo | 68,84 | 0,72 | 99,68 | 69,34 | 0,48 | 0,32 | | |
| 45 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 69,77 | 0,25 | 99,94 | 69,86 | 0,22 | 0,06 | | |
| 46 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 69,77 | 0,25 | 99,93 | 69,85 | 0,25 | 0,07 | | |
| 47 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 69,62 | 0,38 | 99,93 | 69,56 | 0,39 | 0,07 | | |
| 48 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 69,62 | 0,38 | 100,00 | 69,52 | 0,51 | 0,00 | | |
| 49 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 69,44 | 0,77 | 99,62 | 69,17 | 0,75 | 0,38 | | |
| 50 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 69,44 | 0,77 | 99,79 | 69,05 | 0,70 | 0,21 | | |
| 51 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 68,77 | 1,45 | 99,81 | 68,68 | 1,41 | 0,19 | | |
| 52 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 68,77 | 1,45 | 99,64 | 68,70 | 1,40 | 0,36 | | |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 200 | Fixo | 69,77 | 0,25 | 99,92 | 69,62 | 0,20 | 0,08 | | |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | Fixo | 69,77 | 0,25 | 99,84 | 69,76 | 0,31 | 0,16 | | |
| 55 | Lama 1 | 3,50 | 200 | Fixo | 69,62 | 0,38 | 99,94 | 69,22 | 0,47 | 0,06 | | |
| 56 | Lama 1 | 3,50 | 400 | Fixo | 69,62 | 0,38 | 99,86 | 69,12 | 0,40 | 0,14 | | |
| 57 | Lama 1 | 5,50 | 200 | Fixo | 69,44 | 0,77 | 99,93 | 69,22 | 0,68 | 0,07 | | |
| 58 | Lama 1 | 5,50 | 400 | Fixo | 69,44 | 0,77 | 99,81 | 69,22 | 0,58 | 0,19 | | |
| 59 | Lama 1 | 10,00 | 200 | Fixo | 68,77 | 1,45 | 99,77 | 68,57 | 1,38 | 0,23 | | |
| 60 | Lama 1 | 10,00 | 400 | Fixo | 68,77 | 1,45 | 99,80 | 68,64 | 1,36 | 0,20 | | |
| 61 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 69,77 | 0,38 | 99,95 | 69,74 | 0,28 | 0,05 | | |
| 62 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 69,77 | 0,38 | 99,94 | 69,55 | 0,28 | 0,06 | | |
| 63 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 69,23 | 0,40 | 99,78 | 69,72 | 0,29 | 0,22 | | |
| 64 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 69,23 | 0,40 | 99,91 | 69,51 | 0,32 | 0,09 | | |
| 67 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 69,01 | 0,99 | 99,66 | 69,02 | 0,94 | 0,34 | | |
| 68 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 69,01 | 0,99 | 99,24 | 69,67 | 0,36 | 0,76 | | |
| 69 | Lama 4 | 1,50 | 200 | Fixo | 69,77 | 0,38 | 99,62 | 69,55 | 0,21 | 0,38 | | |
| 70 | Lama 4 | 1,50 | 400 | Fixo | 69,77 | 0,38 | 99,76 | 69,87 | 0,26 | 0,24 | | |
| 71 | Lama 4 | 3,50 | 200 | Fixo | 69,23 | 0,40 | 99,92 | 69,49 | 0,28 | 0,08 | | |
| 72 | Lama 4 | 3,50 | 400 | Fixo | 69,23 | 0,40 | 99,89 | 68,77 | 0,47 | 0,11 | | |
| 75 | Lama 4 | 10,00 | 200 | Fixo | 69,01 | 0,99 | 99,56 | 68,17 | 0,82 | 0,44 | | |
| 76 | Lama 4 | 10,00 | 400 | Fixo | 69,01 | 0,99 | 99,58 | 68,47 | 0,82 | 0,42 | | |

9.11. Amostra de Quartzo – resultados de flotação da amostra - 0,21 mm

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Concentrado | | | Recup. Rejeito | | |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|----------------|------|-------------------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | Mássica (%) | %Fe | %SiO ₂ | Mássica (%) | %Fe | %SiO ₂ |
| 45 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 2,25 | 95,48 | 1,63 | 33,82 | 46,00 | 98,37 | 1,70 | 95,81 |
| 46 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 2,25 | 95,48 | 1,37 | 37,45 | 39,00 | 98,63 | 1,97 | 95,19 |
| 47 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 2,72 | 94,07 | 2,60 | 20,77 | 64,81 | 97,40 | 2,50 | 94,65 |
| 48 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 2,72 | 94,07 | 1,16 | 42,65 | 33,80 | 98,84 | 2,06 | 94,98 |
| 49 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 3,08 | 94,03 | 2,65 | 19,98 | 65,23 | 97,35 | 2,23 | 95,99 |
| 50 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 3,08 | 94,03 | 0,99 | 43,99 | 24,94 | 99,01 | 2,36 | 94,17 |
| 51 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 3,59 | 91,38 | 19,69 | 4,71 | 90,65 | 80,31 | 3,32 | 91,72 |
| 52 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 3,59 | 91,38 | 2,17 | 27,04 | 49,22 | 97,83 | 3,06 | 92,42 |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 200 | 50 | 2,25 | 95,48 | 1,07 | 42,92 | 28,13 | 98,93 | 1,65 | 96,38 |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 2,25 | 95,48 | 1,08 | | | 98,92 | 2,70 | 95,86 |
| 55 | Lama 1 | 3,50 | 200 | 50 | 2,72 | 94,07 | 1,61 | 5,59 | 88,56 | 98,39 | 2,19 | 95,89 |
| 56 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 2,72 | 94,07 | 0,88 | | | 99,12 | 2,10 | 95,15 |
| 57 | Lama 1 | 5,50 | 200 | 50 | 3,08 | 94,03 | 1,94 | 27,96 | 50,76 | 98,06 | 2,24 | 95,06 |
| 58 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 3,08 | 94,03 | 0,80 | 41,70 | 26,30 | 99,20 | 2,87 | 93,67 |
| 59 | Lama 1 | 10,00 | 200 | 50 | 3,59 | 91,38 | 11,70 | 7,37 | 86,74 | 88,30 | 3,36 | 92,46 |
| 60 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 3,59 | 91,38 | 1,57 | 30,81 | 40,24 | 98,43 | 3,43 | 93,17 |
| 61 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 2,47 | 94,91 | 13,39 | 5,52 | 90,86 | 86,61 | 2,04 | 96,16 |
| 62 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 2,47 | 94,91 | 42,28 | 3,26 | 93,78 | 57,72 | 2,08 | 97,23 |
| 63 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 2,88 | 94,94 | 1,73 | 33,12 | 50,53 | 98,27 | 2,49 | 95,18 |
| 64 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 2,88 | 94,94 | 2,02 | 32,15 | 52,43 | 97,98 | 2,43 | 95,78 |
| 67 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 5,47 | 90,19 | 1,78 | 53,72 | 11,25 | 98,22 | 4,75 | 92,36 |
| 68 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 5,47 | 90,19 | 10,72 | 21,78 | 63,11 | 89,28 | 3,92 | 93,03 |
| 69 | Lama 4 | 1,50 | 200 | 50 | 2,47 | 94,91 | 26,73 | 4,19 | 92,22 | 73,27 | 1,63 | 96,20 |
| 70 | Lama 4 | 1,50 | 400 | 50 | 2,47 | 94,91 | 42,00 | 3,58 | 93,53 | 58,00 | 1,72 | 96,25 |
| 71 | Lama 4 | 3,50 | 200 | 50 | 2,88 | 94,94 | 1,29 | 46,49 | 20,70 | 98,71 | 2,65 | 96,06 |
| 72 | Lama 4 | 3,50 | 400 | 50 | 2,88 | 94,94 | 2,49 | 43,37 | 26,59 | 97,51 | 2,61 | 96,08 |
| 75 | Lama 4 | 10,00 | 200 | 50 | 5,47 | 90,19 | 2,33 | 53,37 | 11,08 | 97,67 | 4,65 | 92,66 |
| 76 | Lama 4 | 10,00 | 400 | 50 | 5,47 | 90,19 | 2,68 | 52,68 | 10,87 | 97,32 | 4,53 | 92,55 |

9.12. Amostra de Quartzo – resultados de flotação da amostra +0,075 mm

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | Concentrado | | Recup. Mássica (%) | Rejeito | |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ |
| 45 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 1,67 | 96,26 | 2,20 | 11,64 | 78,39 | 97,80 | 1,46 | 97,67 |
| 46 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 1,67 | 96,26 | 22,98 | 2,84 | 93,04 | 77,02 | 1,39 | 96,34 |
| 47 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 2,39 | 95,23 | 3,57 | 18,49 | 67,56 | 96,43 | 1,92 | 95,14 |
| 48 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 2,39 | 95,23 | 0,75 | 41,56 | 31,34 | 99,25 | 2,07 | 96,14 |
| 49 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 2,89 | 94,48 | 18,93 | 2,83 | 94,58 | 81,07 | 2,91 | 94,89 |
| 50 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 2,89 | 94,48 | 1,36 | 17,51 | 64,97 | 98,64 | 2,80 | 93,98 |
| 51 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 3,81 | 91,82 | 36,77 | 3,02 | 94,33 | 63,23 | 4,56 | 89,62 |
| 52 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 3,81 | 91,82 | 6,13 | 4,75 | 89,66 | 93,87 | 3,60 | 91,95 |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 200 | 50 | 1,67 | 96,26 | 1,23 | 14,70 | 71,12 | 98,77 | 1,48 | 96,84 |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 1,67 | 96,26 | 41,10 | 2,23 | 93,15 | 58,90 | 1,45 | 96,19 |
| 55 | Lama 1 | 3,50 | 200 | 50 | 2,39 | 95,23 | 2,61 | 31,49 | 47,56 | 97,39 | 2,09 | 94,98 |
| 56 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 2,39 | 95,23 | 0,53 | | | 99,47 | 2,03 | 95,42 |
| 57 | Lama 1 | 5,50 | 200 | 50 | 2,89 | 94,48 | 19,28 | 3,35 | 93,48 | 80,72 | 2,84 | 94,70 |
| 58 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 2,89 | 94,48 | 1,57 | 13,20 | 73,24 | 98,43 | 2,70 | 95,33 |
| 59 | Lama 1 | 10,00 | 200 | 50 | 3,81 | 91,82 | 31,32 | 3,40 | 92,76 | 68,68 | 4,25 | 90,58 |
| 60 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 3,81 | 91,82 | 4,16 | 11,49 | 73,89 | 95,84 | 3,38 | 93,02 |
| 61 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 1,95 | 94,59 | 4,75 | 18,80 | 70,45 | 95,25 | 1,08 | 97,52 |
| 62 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 1,95 | 94,59 | 1,93 | 22,37 | 55,87 | 98,07 | 1,58 | 97,34 |
| 63 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 2,63 | 94,57 | 4,73 | 12,62 | 77,06 | 95,27 | 2,10 | 96,39 |
| 64 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 2,63 | 94,57 | 2,24 | 36,52 | 31,15 | 97,76 | 1,69 | 97,05 |
| 67 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 6,28 | 89,31 | 3,49 | 53,15 | 9,72 | 96,51 | 4,61 | 91,27 |
| 68 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 6,28 | 89,31 | 4,16 | 52,39 | 9,95 | 95,84 | 4,17 | 91,98 |
| 69 | Lama 4 | 1,50 | 200 | 50 | 1,95 | 94,59 | 2,67 | 11,92 | 76,52 | 97,33 | 1,66 | 97,14 |
| 70 | Lama 4 | 1,50 | 400 | 50 | 1,95 | 94,59 | 1,72 | 16,49 | 66,98 | 98,28 | 1,75 | 97,41 |
| 71 | Lama 4 | 3,50 | 200 | 50 | 2,63 | 94,57 | 2,16 | 19,92 | 63,10 | 97,84 | 2,21 | 96,82 |
| 72 | Lama 4 | 3,50 | 400 | 50 | 2,63 | 94,57 | 1,47 | 40,42 | 25,19 | 98,53 | 1,98 | 96,11 |
| 75 | Lama 4 | 10,00 | 200 | 50 | 6,28 | 89,31 | 2,44 | 53,75 | 8,96 | 97,56 | 5,47 | 90,95 |
| 76 | Lama 4 | 10,00 | 400 | 50 | 6,28 | 89,31 | 4,09 | 38,10 | 34,31 | 95,91 | 5,31 | 91,29 |

9.13. Amostra de Quartzo – resultados de flotação da amostra -0,075 mm

| Teste | Amostra Lama | % Lama Teórico | Coletor g/t SiO ₂ | Dispersante g/t | Alimentação | | Recup. Mássica (%) | Concentrado | | Recup. Mássica (%) | Rejeito | |
|-------|--------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|--------------------|---------|-------------------|
| | | | | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ | | %Fe | %SiO ₂ |
| 45 | Lama 1 | 1,50 | 200 | - | 5,29 | 92,11 | 3,18 | 57,02 | 12,67 | 96,82 | 3,79 | 93,90 |
| 46 | Lama 1 | 1,50 | 400 | - | 5,29 | 92,11 | 3,38 | 54,70 | 15,46 | 96,62 | 3,54 | 94,96 |
| 47 | Lama 1 | 3,50 | 200 | - | 5,63 | 91,71 | 2,96 | 58,74 | 9,26 | 97,04 | 3,96 | 94,12 |
| 48 | Lama 1 | 3,50 | 400 | - | 5,63 | 91,71 | 2,79 | 59,83 | 8,72 | 97,21 | 3,87 | 93,48 |
| 49 | Lama 1 | 5,50 | 200 | - | 5,62 | 90,92 | 3,42 | 50,12 | 22,33 | 96,58 | 4,14 | 92,82 |
| 50 | Lama 1 | 5,50 | 400 | - | 5,62 | 90,92 | 3,19 | 53,07 | 17,88 | 96,81 | 4,12 | 92,76 |
| 51 | Lama 1 | 10,00 | 200 | - | 6,62 | 88,72 | 6,93 | 27,21 | 54,68 | 93,07 | 5,05 | 91,41 |
| 52 | Lama 1 | 10,00 | 400 | - | 6,62 | 88,72 | 6,05 | 31,96 | 46,45 | 93,95 | 5,03 | 90,04 |
| 53 | Lama 1 | 1,50 | 200 | 50 | 5,29 | 92,11 | 3,68 | 52,39 | 18,26 | 96,32 | 3,26 | 93,94 |
| 54 | Lama 1 | 1,50 | 400 | 50 | 5,29 | 92,11 | 3,67 | 53,70 | 16,26 | 96,33 | 3,47 | 94,69 |
| 55 | Lama 1 | 3,50 | 200 | 50 | 5,63 | 91,71 | 2,23 | 52,49 | 18,02 | 97,77 | 4,49 | 93,41 |
| 56 | Lama 1 | 3,50 | 400 | 50 | 5,63 | 91,71 | 1,82 | 58,22 | 10,44 | 98,18 | 4,34 | 93,22 |
| 57 | Lama 1 | 5,50 | 200 | 50 | 5,62 | 90,92 | 2,19 | 57,51 | 10,69 | 97,81 | 4,58 | 92,50 |
| 58 | Lama 1 | 5,50 | 400 | 50 | 5,62 | 90,92 | 1,38 | 60,73 | 7,46 | 98,62 | 4,81 | 92,26 |
| 59 | Lama 1 | 10,00 | 200 | 50 | 6,62 | 88,72 | 2,64 | 42,45 | 26,76 | 97,36 | 5,79 | 90,37 |
| 60 | Lama 1 | 10,00 | 400 | 50 | 6,62 | 88,72 | 2,68 | 41,55 | 26,22 | 97,32 | 5,81 | 90,12 |
| 61 | Lama 4 | 1,50 | 200 | - | 5,45 | 91,48 | 1,38 | 60,70 | 8,18 | 98,62 | 4,82 | 92,67 |
| 62 | Lama 4 | 1,50 | 400 | - | 5,45 | 91,48 | 2,91 | 60,45 | 7,98 | 97,09 | 3,88 | 94,48 |
| 63 | Lama 4 | 3,50 | 200 | - | 5,73 | 90,93 | 2,41 | 59,42 | 7,45 | 97,59 | 4,58 | 93,19 |
| 64 | Lama 4 | 3,50 | 400 | - | 5,73 | 90,93 | 3,45 | 58,83 | 8,33 | 96,55 | 3,88 | 94,05 |
| 67 | Lama 4 | 10,00 | 200 | - | 8,02 | 86,83 | 3,82 | 62,37 | 4,90 | 96,18 | 6,16 | 90,55 |
| 68 | Lama 4 | 10,00 | 400 | - | 8,02 | 86,83 | 5,20 | 58,53 | 8,43 | 94,80 | 5,75 | 91,00 |
| 69 | Lama 4 | 1,50 | 200 | 50 | 5,45 | 91,48 | 3,76 | 53,85 | 16,81 | 96,24 | 3,54 | 95,11 |
| 70 | Lama 4 | 1,50 | 400 | 50 | 5,45 | 91,48 | 3,77 | 56,69 | 13,38 | 96,23 | 3,38 | 95,25 |
| 71 | Lama 4 | 3,50 | 200 | 50 | 5,73 | 90,93 | 2,04 | 60,06 | 8,62 | 97,96 | 4,78 | 92,79 |
| 72 | Lama 4 | 3,50 | 400 | 50 | 5,73 | 90,93 | 2,11 | 57,22 | 12,38 | 97,89 | 4,80 | 92,44 |
| 75 | Lama 4 | 10,00 | 200 | 50 | 8,02 | 86,83 | 3,36 | 59,42 | 6,65 | 96,64 | 6,74 | 89,48 |
| 76 | Lama 4 | 10,00 | 400 | 50 | 8,02 | 86,83 | 2,74 | 60,56 | 5,39 | 97,26 | 6,62 | 89,16 |