

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**“Influência dos diversos tipos litológicos  
nas operações de concentração da  
instalação de beneficiamento de Brucutu”**

Autor: José Benedito Roberto  
Orientador: Prof. Paulo Roberto de Magalhães Viana  
Belo Horizonte, Março de 2010.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas

José Benedito Roberto

**INFLUÊNCIA DOS DIVERSOS TIPOS LITOLÓGICOS NAS OPERAÇÕES DE  
CONCENTRAÇÃO DA INSTALAÇÃO DE BENEFICIAMENTO DE BRUCUTU**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de  
Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de  
Minas da Universidade Federal de Minas Gerais

Área de concentração: Tecnologia Mineral

Orientador: Prof. Paulo Roberto de Magalhães Viana

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
Março de 2010

Esta Dissertação de Mestrado é dedicada à minha esposa Silvana e nossa filha Paula.

Aos meus pais Paulo e Filomena, meu eterno agradecimento.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS e a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho e especialmente:

À Vale, pela oportunidade de ampliar a capacitação profissional.

Ao Professor e orientador Dr. da UFMG Paulo Roberto de Magalhães Viana por sua confiança, compreensão, disponibilidade e orientação.

Aos membros da banca examinadora: Professor Antônio Eduardo Clark Peres (Ph.D – UFMG) e Professor George Eduardo Sales Valadão (Dr. – UFMG), pela motivação e orientação.

Agradeço ao Leonardo de Almeida Queiroz (Dr. – VALE), pelas bibliografias e avaliações técnicas durante o decorrer do trabalho.

À equipe da Gerência de Tratamento de Minério Mina Brucutu (GAUBS), ao gerente Aluizio Quaresma, pelo total apoio e incentivo.

Às Gerências de Engenharia de Processo (GAEHS) e Desenvolvimento de Processos de Tratamento de Minério (GADMF), que contribuiram com a análise dos resultados dessa pesquisa.

À Gerência de Planejamento de Mina Curto Prazo (GACRS), pela contribuição geológica das tipologias.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>03</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>04</b>
3.1	Histórico Breve da Vale .....	04
3.2	Histórico breve da Unidade de Brucutu .....	06
3.3	Localização e Região .....	07
3.4	Beneficiamento da Mina de Brucutu .....	09
3.5	Minério de ferro .....	12
3.6	Gênese do Minério de Ferro .....	12
3.7	Geologia do Minério de Ferro .....	13
3.7.1	Terminologia.....	15
3.7.2	Ocorrência das Formações Ferríferas Bandadas .....	16
3.7.2.1	Classificação .....	17
3.7.2.2	Origem das FFB do Tipo Lago Superior .....	18
3.8	Mineralogia do Minério de Ferro .....	20
3.8.1	Propriedades físicas, químicas e mineralógicas .....	21
3.9	Principais Depósitos de Minério de Ferro do Brasil.....	29
3.10	Métodos de Concentração .....	30
3.10.1	Concentração Gravítica .....	36
3.10.2	Concentração Magnética .....	36
3.10.2.1	Relação entre as Propriedades Mineralógicas e a Seleção de Equipamentos de Concentração Magnética.....	39
3.10.3	Flotação de Minérios de Ferro Anfíbolíticos .....	39

<b>4 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS).....</b>	<b>42</b>
4.1 Caracterização Inicial das Amostras.....	42
4.2 Metodologia de Coleta das Amostras .....	45
4.3 Metodologia dos Testes.....	47
4.3.1 Caracterização Mineralógica .....	47
4.3.2 Caracterização Tecnológica .....	48
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>52</b>
5.1 Resultados da Caracterização Mineralógica das Amostras.....	52
5.2 Resultados da Caracterização Tecnológica das amostras .....	67
5.2.1 Fração -8,0+1,0mm .....	67
5.2.2 Fração -1,0+0,21mm .....	72
5.2.3 Fração -0,21mm .....	79
5.3 Matriz Utilizada para Análise Detalhada dos Testes Mineralógicos e Tecnológicos.....	89
5.4 Capacidade de Produção de “Pellet Feed” e “Sinter Feed” por Tipologia .....	91
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>93</b>
6.1 Análise Conclusiva por Tipologia .....	93
6.2 Capacidade de Produção de “Pellet Feed” e “Sinter Feed” em Relação à Reserva.....	98
6.3 Modelo Geomatemático com Base nas Características Físicas e químicas do ROM.....	98
<b>7 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS .....</b>	<b>99</b>
<b>8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>100</b>
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b>	Mapa de Localização da Jazida de Brucutu – Quadrilátero Ferrífero – MG. (Endo <i>et al.</i> , 2008).....	08
<b>Figura 3.2</b>	Fluxograma Simplificado da Instalação de Beneficiamento - Mina de Brucutu .....	11
<b>Figura 3.3</b>	Abundância Estimada das Formações Ferríferas ao Longo do Tempo Geológico (modificado de James, 1983).....	16
<b>Figura 3.4</b>	Goethita Mostrando seu Hábito Tipicamente Botrioidal (Santos e Brandão, 1999). Microscopia Óptica de Luz Refletida (MOLR), Apenas Polarizador .....	24
<b>Figura 3.5</b>	Distribuição dos Principais Depósitos de Minério de Ferro do Brasil. 1 – Serra dos Carajás (PA); 2 – Quadrilátero Ferrífero, MG; 3 – Urucum (MT); 4 – Morro do Pilar e Conceição do Mato Dentro (MG); 5 – Região de Porteirinha (MG). Adaptado de Bizzi <i>et al.</i> , 2001 .....	30
<b>Figura 3.6</b>	Figura 3.7: Métodos de concentração de minérios de ferro: faixas granulométricas de melhor aplicação. (Modificado de Araújo <i>et al.</i> , 2008).....	41
<b>Figura 4.1</b>	Classificação Litológica da Mina de Brucutu.....	43
<b>Figura 4.2</b>	Cubagem Total dos Tipos de Recursos de Acordo com Cava Final da Mina de Brucutu.....	45
<b>Figura 4.3</b>	Mapa de Localização das Amostras.....	46
<b>Figura 4.4</b>	Fotografias das Tipologias.....	47
<b>Figura 4.5</b>	Fluxograma de Caracterização Tecnológica.....	51

<b>Figura 5.1</b>	Canga – Composição Mineralógica Global.....	53
<b>Figura 5.2</b>	Canga – Fotomicrografias .....	53
<b>Figura 5.3</b>	Itabirito Friável – Composição Mineralógica Global .....	54
<b>Figura 5.4</b>	Itabirito Friável – Fotomicrografias .....	54
<b>Figura 5.5</b>	Itabirito Goethítico – Composição Mineralógica Global .....	57
<b>Figura 5.6</b>	Itabirito Goethítico – Fotomicrografias.....	57
<b>Figura 5.7</b>	Itabirito Compacto – Composição Mineralógica Global.....	58
<b>Figura 5.8</b>	Itabirito Compacto – Fotomicrografias .....	59
<b>Figura 5.9</b>	Itabirito Anfíbolítico – Composição Mineralógica Global.....	60
<b>Figura 5.10</b>	Itabirito Anfíbolítico – Fotomicrografias .....	60
<b>Figura 5.11</b>	Itabirito Manganésífero – Composição Mineralógica Global .....	61
<b>Figura 5.12</b>	Itabirito Manganésífero – Fotomicrografias .....	61
<b>Figura 5.13</b>	Hematita Goethítica – Composição Mineralógica Global.....	62
<b>Figura 5.14</b>	Hematita Goethítica – Fotomicrografias .....	62
<b>Figura 5.15</b>	Hematita Anfíbolítica – Composição Mineralógica Global .....	64
<b>Figura 5.16</b>	Hematita Anfíbolítica – Fotomicrografias.....	64
<b>Figura 5.17</b>	Itabirito Aluminoso – Composição Mineralógica Global .....	65
<b>Figura 5.18</b>	Hematita Aluminosa – Composição Mineralógica Global.....	65
<b>Figura 5.19</b>	Hematita Aluminosa – Fotomicrografias .....	66



<b>Figura 5.20</b>	Itabirito Aluminoso – Fotomicrografias.....	66
<b>Figura 5.21</b>	Fração -8,0+1,0mm - % Retida Simples. ....	67
<b>Figura 5.22</b>	Fração -8,0+1,0mm – Grau de Liberação do Quartzo.....	68
<b>Figura 5.23</b>	Fração -8,0+1,0mm – SiO <sub>2</sub> Concentrado .....	69
<b>Figura 5.24</b>	Fração -8,0+1,0mm – %SiO <sub>2</sub> e Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> no Concentrado de Bateia .....	69
<b>Figura 5.25</b>	Fração -8,0+1,0mm (IMN).....	70
<b>Figura 5.26</b>	Fração -8,0+1,0mm – %Minerais Aluminosos X %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> no Concentrado.....	70
<b>Figura 5.27</b>	Fração -1,0+0,21mm - % Retida Simples .....	72
<b>Figura 5.28</b>	Fração -1,0+0,21mm - Grau de Liberação do Quartzo .....	72
<b>Figura 5.29</b>	Fração -1,0+0,21mm – SiO <sub>2</sub> Concentrado.....	73
<b>Figura 5.30</b>	Fração -1,0+0,21mm – %HM e MA na AL X Recuperação Mássica no Campo de 2400 Gauss Utilizando o Concentrador Magnético L4 (Inbrás). ....	74
<b>Figura 5.31</b>	Fração -1,0+0,21mm – Valores Máximo, Médio e Mínimo de Recuperação em Massa no Campo de 2400Gauss.....	74
<b>Figura 5.32</b>	Fração -0,21mm – % Passante.....	79
<b>Figura 5.33</b>	Fração -0,21mm – Grau de Liberação do Quartzo.....	79
<b>Figura 5.34</b>	% Lama X Minerais Aluminosos X Deslamagem .....	80
<b>Figura 5.35</b>	Correlação dos Minerais Portadores de Alumina e o Percentual de Lama na Alimentação da Deslamagem .....	80

<b>Figura 5.36</b>	Fração -0,21mm – Teor SiO <sub>2</sub> “Pellet Feed” .....	82
<b>Figura 5.37</b>	Fração -0,21mm – Teor SiO <sub>2</sub> “Pellet Feed”, Litotipo e Dosagem de Amina .....	82
<b>Figura 5.38</b>	Fração -0,21mm – Dosagem de Coletor.....	83
<b>Figura 5.39</b>	Gráfico de Qualidade de “Pellet Feed” .....	92

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela III.1</b>	Elementos Químicos mais Comuns na Crosta Terrestre. (Adaptado de Araújo <i>et al.</i> , 2008).....	13
<b>Tabela III.2</b>	Série de Anfibólitos mais Comuns (Klein, 2002).....	27
<b>Tabela III.3</b>	Métodos de Concentração / Minérios de Ferro Brasileiros (Modificado de Araújo, <i>et al.</i> , 2002).....	33
<b>Tabela III.4</b>	Métodos de Concentração em Relação à Propriedade Diferenciadora (Modificado de Araújo <i>et al.</i> , 2008).....	34
<b>Tabela III.5</b>	Processos de Concentração Aplicados a Minérios de Ferro (Modificado de Araújo <i>et al.</i> , 2008).....	35
<b>Tabela III.6</b>	Partículas Mineraias Recuperadas Frente a Determinados Campos Magnéticos (Modificado de Queiroz, 2008).....	37
<b>Tabela III.7</b>	Análise Química do Anfibólito (Silva, 1995).....	40
<b>Tabela IV.1</b>	Características Visuais e Mineralógicas das Tipologias .....	44
<b>Tabela V.1</b>	Amostras Coletadas .....	52
<b>Tabela V.2</b>	Canga – Composição Mineralógica por Fração .....	54
<b>Tabela V.3</b>	Itabirito Friável – Composição Mineralógica por Fração .....	56
<b>Tabela V.4</b>	Itabirito Goethítico – Composição Mineralógica por Fração .....	58
<b>Tabela V.5</b>	Itabirito Compacto – Composição Mineralógica por Fração.....	59
<b>Tabela V.6</b>	Itabirito Anfibolítico – Composição Mineralógica por Fração.....	60
<b>Tabela V.7</b>	Itabirito Manganésífero – Composição Mineralógica por Fração .....	61

<b>Tabela V.8</b>	Hematita Goethítica – Composição Mineralógica por Fração.....	63
<b>Tabela V.9</b>	Hematita Anfibolítica – Composição Mineralógica por Fração .....	64
<b>Tabela V.10</b>	Itabirito Aluminoso – Composição Mineralógica por Fração .....	66
<b>Tabela V.11</b>	Hematita Aluminosa – Composição Mineralógica por Fração.....	67
<b>Tabela V.12</b>	Resumo dos Resultados da Caracterização Tecnológica da Fração -8,00+1,00mm.....	71
<b>Tabela V.13</b>	Resumo dos Resultados da Caracterização Tecnológica da Fração -1,00+0,21mm.....	75
<b>Tabela V.14</b>	Resumo dos Resultados da Caracterização Tecnológica da Fração -0,21mm.....	84
<b>Tabela V.15</b>	Resumo dos Resultados da Deslamagem .....	87
<b>Tabela V.16</b>	Premissas Utilizadas para Análise .....	89
<b>Tabela V.17</b>	Quadro de Análise dos Resultados dos Testes Mineralógicos e Tecnológicos.....	90
<b>Tabela V.18</b>	Capacidade de Produção de “Pellet Feed” e “Sinter Feed.....	91

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo precípua a caracterização física e química das tipologias de minério da mina de Brucutu, assim como o estudo do comportamento destes tipos de minério em testes laboratoriais em escala de bancada permitindo, desta maneira, o melhor controle do planejamento de curto prazo da mina de Brucutu. Os resultados obtidos a partir dos testes podem fornecer subsídios para otimizar o processo da instalação de beneficiamento de minério de ferro, bem como melhorar o conhecimento para a formação de pilhas de ROM para estabilizar as variáveis de processo.

O estudo foi realizado segundo as etapas seguintes: seleção de amostras, para a realização dos testes, escolhidas de acordo com a definição tipológica adotada pela Vale, respeitando a proporção existente na mina; separação das amostras em frações granulométricas para a realização de análises químicas e caracterização mineralógica; aplicação de testes de concentração para cada uma das frações granulométricas, respeitando as operações unitárias de concentração existentes na instalação de beneficiamento de Brucutu.

Os testes empregados respeitaram uma padronização desenvolvida a partir de estudos comparativos entre resultados em escala industrial e resultados em escala de bancada, tendo como parâmetros de comparação a granulometria, recuperação em massa, teores de produtos, grau de liberação do quartzo. Para cada fração granulométrica, buscou-se uma operação unitária de concentração em bancada que correspondesse a uma operação industrial, sejam elas:

- fração -8+1mm: (concentração gravítica), bateia mecânica correspondendo à jigagem;
- fração -1+0,21mm: (concentração magnética), concentrador L-4, correspondendo à concentração magnética de intensidade média de campo magnético (WHIMS) e intensidade alta de campo magnético (WHC);
- fração - 0,21mm: (flotação), célula de flotação em bancada, correspondendo à células mecânicas industriais de flotação;

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram estabelecer correlações físicas e químicas das litologias e a sua influência em diferentes variáveis ao longo do processo de beneficiamento. Adicionalmente foi implementado um modelamento geomatemático das variáveis associadas à caracterização tecnológica e dados industriais.

## ABSTRACT

The present work aimed at the physical and chemical characterization of the different ore typologies occurring in the Brucutu mine as well as the study of the ore types through bench scale tests, permitting the short time planning improvement in the Brucutu mine. The results obtained from the current study could provide important information to optimize the iron ore concentrator process and also to improve the knowledge for the ROM piles formation in order to stabilize the process parameters.

The research was made according to the following stages: samples selection for testing, selected according to the typologic definition adopted by Vale and respecting the proportion that they occur throughout the mine; samples separation in particle size fractions for chemical analysis and mineralogical characterization; concentration tests carried out for each particle size fractions in accordance to the concentrator operations during the beneficiation process in the Brucutu Mine.

The laboratory tests were made in conformity with standardized procedures developed from comparative studies between industrial scale and bench scale test results, having as comparison parameters the particle size, mass recovery, products content and quartz liberation degree. Bench scale tests equivalent to each industrial operation step were executed for the three most important particle size fractions:

- Size fraction:  $-8+1\text{mm}$ : (gravity concentration), mechanic launder (pan) equivalent to the jigging;
- Size fraction:  $-1+0,21\text{mm}$ : (magnetic concentration), L-4 concentrator, equivalent to the WHIMS and WHC;
- Size fraction  $-0,21\text{mm}$ : (flotation), bench scale flotation cell, equivalent to the industrial mechanical cells;

The results obtained during the present work allowed the establishment of physical and chemical relationships between the ore lithologies and the influence of the different lithologies in the variables throughout the beneficiation process. Additionally, a geomathematical modeling of the variables associated to the technological characterization and also to the industrial data was implemented.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento de produção de minério de ferro, demandada por um mercado siderúrgico aquecido e em franco crescimento, tem levado à necessidade das empresas mineradoras de aumentarem suas reservas através do conhecimento melhor de seu recurso mineral. Isso só é possível através da caracterização detalhada de suas jazidas e dos minérios a serem explorados.

De acordo com a Associação Mundial do Aço o ano de 2008 foi o quarto ano consecutivo em que a produção mundial de aço bruto superou a marca de um bilhão de toneladas. Esse quadro deve permanecer este ano, apesar dos impactos da crise financeira sobre a economia.

O beneficiamento de minérios de ferro, em praticamente todo o mundo, é movido por dois fatores principais, a composição mineralógica do minério e as especificações exigidas pelos compradores no mercado, seja ele doméstico ou transoceânico.

Uma pequena revisão dos principais métodos de concentração de minérios de ferro, a correlação entre mineralogia e técnicas de concentração ou de combinações de técnicas pode ser útil para a compreensão e redefinição de rotas de processo nas instalações de beneficiamento existentes e também em novas instalações. Porém, deve-se sempre ter em mente que um minério específico pode exigir modificações ou melhorias das técnicas atuais de tal maneira que não se encontrem referências para tal nas soluções já implementadas nas instalações de beneficiamento atuais ou na literatura existente sobre o assunto. A compreensão do comportamento dos minerais em função das condições a que estão submetidos, em cada processo, deverá sempre ser objeto de pesquisas detalhadas para que as soluções de problemas de processo possam garantir da forma mais adequada para todos o sucesso das operações de beneficiamento.

A concentração química por laterização do ferro presente nas formações ferríferas bandadas deu origem às maiores jazidas de minério de ferro do Brasil e do mundo. No estado de Minas Gerais o Quadrilátero Ferrífero é um exemplo de grande concentração de hematita a partir destas formações. Os minerais de ferro incluem hematita, magnetita, silicatos, carbonatos e sulfetos. Os anfibólios, minerais pertencentes ao grupo dos



silicatos, ocorrem eventualmente associados a minérios de ferro e são substâncias indesejáveis no beneficiamento de minérios de ferro. Os métodos de concentração usuais não produzem resultados satisfatórios e exigidos pelo mercado.

A jazida de minério de ferro de Brucutu situa-se a nordeste do Quadrilátero Ferrífero próximo à cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, a aproximadamente 100km a leste de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais.

No primeiro semestre de 2008, a instalação de beneficiamento da mina de Brucutu cuja produção atual é de 24Mta realizou um estudo com 6 amostras das litologias que compuseram as pilhas que alimentaram a instalação de beneficiamento durante esse período. Esse estudo mostrou que a quantidade de lama (material menor que 10 $\mu$ m) é determinante para restringir a participação de determinadas litologias na alimentação da instalação de beneficiamento (Santos *et al*, 2002). Os resultados desse estudo motivaram a realização de uma caracterização mais ampla e completa, objeto do presente estudo, com as principais litologias presentes na mina, nas diferentes etapas de beneficiamento do minério, através da determinação das propriedades físicas, químicas e composição mineralógica do minério. Assim, foi realizada a caracterização de 34 amostras de frente de lavra e 1 amostra de furo de sonda, sendo as mesmas coletadas de modo a representar as diversas litologias da mina respeitando a proporção de ocorrência de cada uma.

## 2 OBJETIVO

Os principais objetivos deste trabalho são:

- identificação das características físicas e químicas das tipologias que ocorrem na mina de Brucutu e o comportamento de cada tipologia frente aos processos de concentração;
- otimização do “blend” das pilhas de homogeneização durante a sua formação;
- previsibilidade dos resultados de quantidade e qualidade por tipologia, para a produção de “pellet feed” e “sinter feed”;
- implantação de testes de rotina, a serem aplicados nas amostras de minérios coletadas e empregadas para o planejamento de lavra de mina de curto prazo e controle de qualidade de mina e beneficiamento realizadas na mina de Brucutu, tendo por fim a possibilidade de se criar um modelo geomatemático destas variáveis de processo.

O estudo realizado com as principais tipologias foi motivado por:

- necessidade de alavancar a produção;
- impactos dos resultados obtidos no estudo com as seis primeiras amostras;
- ganhos potenciais, ao se criar sinergia operacional entre a mina e instalação de beneficiamento;

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Histórico Breve da Vale**

A Vale é uma empresa que atua em nove estados da Federação, possuindo atividades também em diversos países, e tem como principal atividade a extração, beneficiamento e transporte de minério de ferro, sendo a maior exportadora mundial desse produto.

O grupo Vale engloba empresas subsidiárias, controladas e coligadas que atuam nas áreas de produção de minério de ferro, bauxita, manganês, ouro, alumina/alumínio, celulose, além de navegação marítima, geração de energia e reflorestamento, atendendo a clientes em mais de trinta países.

Em 2008 iniciou-se o processo no qual deu origem à denominação Vale, excluindo, portanto, o nome da empresa de Companhia Vale do Rio Doce (CVRD).

O objetivo inicial da Vale era produzir e exportar, por meio do porto de Vitória, no Espírito Santo, 1.500.000 toneladas por ano do minério. Essa meta somente foi alcançada em 1952.

Com a demanda mundial crescente de minério de ferro, nas décadas de 60 e 70 a Vale ampliou, consideravelmente, sua participação no mercado internacional. Tornou-se, então, indispensável modernizar a sua estrutura para possibilitar a expansão rápida da empresa. Em 1962, iniciou-se a construção do porto de Tubarão, no Espírito Santo. Com a duplicação da ferrovia, foi atingida a marca de 20 milhões de toneladas por ano de minério de ferro.

As usinas do complexo de pelletização, no Espírito Santo, começaram a serem implantadas em 1969, e em 1998 foi comissionada a sétima usina. Em 1973, implantou-se o projeto Cauê, utilizando um processo pioneiro para concentração de itabiritos e otimizando o aproveitamento das reservas de minério de ferro.

Com a descoberta das jazidas de Carajás, no Sul do Pará, em 1967, a Vale iniciou o projeto de exploração mineral na região. Em 1976, o governo federal autorizou a construção de uma ferrovia ligando as minas de Carajás ao porto de Ponta da Madeira,

em São Luis, capital do Maranhão. Em 1984, entrou em operação a usina-piloto de beneficiamento, produzindo “sinter feed” e granulado de Carajás. Em fevereiro do ano seguinte, foi inaugurada a estrada de ferro Carajás, marco de um novo capítulo na história da Vale.

Em 10 de junho de 1992 foi assinado com o Governo Federal, ainda acionista majoritário, o primeiro contrato de gestão dando liberdade de ação aos gestores da companhia.

Em 1995 a Vale foi incluída no Programa Nacional de Desestatização por Decreto nº. 1.510, de 1º de junho assinado pelo Presidente da República.

O Consórcio Brasil, liderado pela Companhia Siderúrgica Nacional - CSN venceu o leilão da Vale realizado na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro. O grupo arrematou 41,73% das ações ordinárias do governo federal por US\$ 3,338 bilhões correspondendo a um ágio de 19,99 % sobre o preço mínimo. O Consórcio Brasil foi integrado, também, pelos fundos de pensão do Banco do Brasil (Previ), da Petrobrás (Petros), da Cesp (Fundação Cesp) e da Caixa Econômica Federal (Funcef), pelo Banco Opportunity e pelo Nations Bank. O consórcio Manor, formado pela Vale (20%), Companhia Siderúrgica Nacional (20%), Taquari, do Grupo Vicunha (40%) e ABS, subsidiária do grupo Bradesco (20%), arrematou, por R\$ 15,8 milhões, a malha Nordeste, último trecho de ferrovia administrado pela Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA).

Com 4.679 quilômetros de extensão, interligando os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, a malha Nordeste tem papel estratégico alcançando três portos, nos estados de Sergipe, Maranhão, e um em construção em Fortaleza, além da sua ligação com ferrovias, como a estrada de ferro Carajás no estado do Maranhão. A Associação Brasileira para Prevenção de Acidentes - ABPA, por ocasião do IV Encontro Nacional de Segurança, Saúde e Meio Ambiente, conferiu a Vale o prêmio "Empresa Revelação em Segurança 1996", além do "Certificado de Destaque", concedido às empresas que reduziram em mais de 20% as taxas de acidente, sendo que na Vale a redução ficou próxima de 60%. Este reconhecimento, por parte da ABPA, se deve ao trabalho desenvolvido pela Vale no gerenciamento das diretrizes dos riscos profissionais, investimento em treinamento e

melhoria no ambiente de trabalho, além de ter realizado uma das maiores aplicações em mapeamento de risco do país.

Em maio de 1997, a Vale foi privatizada, com o Governo Federal deixando o controle acionário da empresa.

Atualmente a Vale é uma empresa de economia mista, vinculada ao Ministério das Minas e Energia. Hoje ela está entre as maiores exportadoras do mundo no setor mineral, principalmente de minério de ferro, atendendo clientes em mais de 20 países com contratos em longo prazo.

A posição alcançada no ranking mundial deve-se à qualidade e confiabilidade de seus produtos.

### **3.2 Histórico Breve da Unidade de Brucutu**

O complexo mineiro de Brucutu engloba 03 áreas denominadas: Brucutu I, II, e III, sendo Brucutu I a que tem a área da mina chamada genericamente de Brucutu.

Iniciou-se os trabalhos de pesquisa mineral em Brucutu com a Mineração Santa Mônica Ltda., que obteve o Decreto de Lavra em 1972. Estes direitos de lavra foram, posteriormente, adquiridos pela Mineração Igaporã S.A., sendo a lavra operada pela Mineração Socoimex Ltda, através de arrendamento firmado em 1989.

Em 1992, a CVRD adquiriu as áreas do complexo mineiro, com requerimento de transferências de direitos para a CVRD, sendo a lavra continuada pela Socoimex até 1993.

No mês de setembro de 1994, a CVRD reiniciou a lavra com a contratação da ROAD S.A. que, até 1997, produziu 4,77 milhões de toneladas de minério.

Em outubro de 1997, as atividades foram paralisadas com extensão deste período até setembro de 1998, quando foi contratada a TRATEMI que reiniciou as atividades de lavra, britagem e carregamentos. E em novembro de 2000 as atividades foram interrompidas novamente. Também em 1998, a CVRD adquiriu junto à Socoimex as áreas denominadas como Gralhos sul e Gralhos Norte.

Em agosto de 2001 foram retomadas as atividades operacionais com as empresas TERCAM, TCM e posteriormente FIDENS, prestando serviço de operação de mina, infra-estrutura, beneficiamento e carregamento em Brucutu, respectivamente.

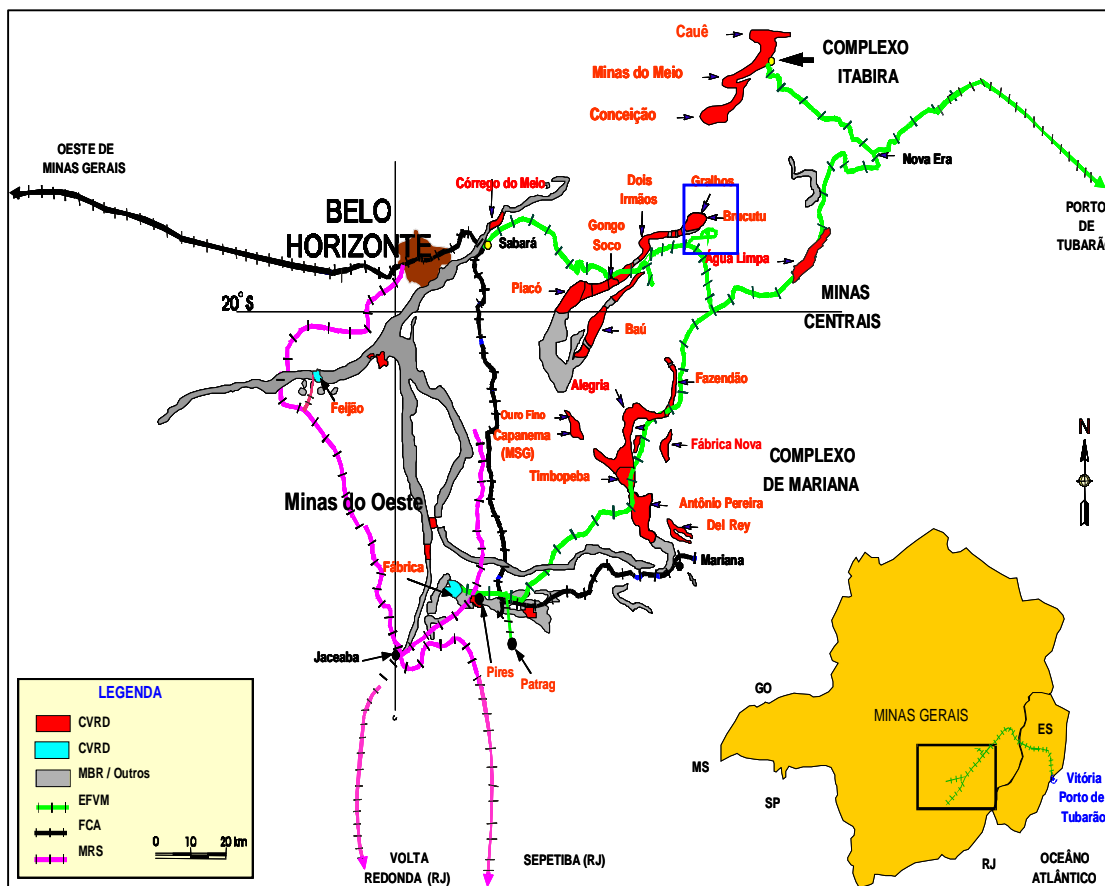
Em 2004, com novos estudos de pesquisa de reserva, foi criado um projeto para a expansão da mina e para a implantação da instalação de beneficiamento, com a expectativa de tornar Brucutu uma instalação de beneficiamento com tamanho e capacidade de produção de minério de ferro entre as maiores do mundo.

No dia 5 de outubro de 2006 foi realizado o “Start-up” da instalação de beneficiamento, cuja produção inicial foi 24Mta a partir da lavra de 30Mta de ROM. Em 2010 ocorrerá nova expansão da instalação de beneficiamento, atingindo uma produção de 26Mta (ROM = 37,5Mta). Após alguns anos, o início da segunda fase, lavrando “minério pobre”, produzirá 29Mta para um ROM de 47,5Mta.

Fruto de um investimento de US\$ 1,1 bilhão, Brucutu é a maior mina da Vale no Sistema Sudeste, pertencente ao complexo das Minas Centrais, que conta ainda com as minas de Gongo Soco, Água Limpa e Andrade. Além do investimento na operação, a Vale também investe em iniciativas que contribuem para o desenvolvimento sustentável da região.

### **3.3 Localização e Região**

A jazida de minério de ferro de Brucutu, que ocupa uma área de oito quilômetros, está situada a nordeste do Quadrilátero Ferrífero, próximo à cidade de São Gonçalo do Rio Abaixo, a aproximadamente 100km a leste de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais (figura 3.1).



**Figura 3.1:** Mapa de Localização da Jazida de Brucutu – Quadrilátero Ferrífero – MG.  
(Endo *et al.*, 2008)

Regionalmente, a mina de Brucutu está inserida no contexto geológico que compreende, cinco unidades rochosas:

1. Complexos Metamórficos Arqueanos;
2. Supergrupo Rio das Velhas;
3. Supergrupo Minas;
4. Grupo Sabará;
5. Grupo Itacolomi.

### 3.4 Beneficiamento da Mina de Brucutu

Inicialmente o projeto Brucutu foi concebido para ser implantado em duas fases, designadas por fase I e fase II, produzindo 24Mta (ROM = 30Mta) e 24Mta (ROM = 37,5Mta), respectivamente. Ou seja, a instalação de beneficiamento teria capacidade para produção de 24Mta, em dois momentos distintos: o primeiro (fase I), considera a alimentação de 30Mta de minério da reserva com teor de 59,9% Fe (por vezes denominado “minério rico”); o segundo após o término desta reserva, considera a alimentação de 37,5Mta de minério por vezes denominado (“minério pobre”). Posteriormente haverá nova expansão da instalação de beneficiamento, que irá produzir 29Mta (ROM = 47,5Mta )

O plano de expansão da instalação de beneficiamento tem como premissa o mínimo possível de paradas e interferência. Para tal, foram adotadas linhas de produção independentes na instalação de beneficiamento, sempre que possível. Cada linha tem capacidade de produção de 6Mta.

Logo, tem-se:

Fase 1 – 24Mta (ROM = 30Mta) – quatro linhas de 6Mta cada.

Fase 2 – 24Mta (ROM = 37,5Mta) – cinco linhas de 4,8Mta cada.

Obs: Expansão para 29Mta (ROM = 47,5Mta)

A instalação de beneficiamento inclui: britagens primária, secundária, terciária e quaternária, peneiramento a seco e a úmido, pátio de homogeneização, jigagem, moagem, concentração magnética (média e alta intensidade), deslamagem, flotação (estágios “rougher”, “cleaner”, “recleaner” e “scavenger”), espessamento e filtração.

Na planta de reagentes são preparados todos os insumos que serão utilizados nos circuitos de flotação e espessamento, composta por:

- sistema de preparação e dosagem de flocoantes;
- diluição e dosagem de amina;
- preparação e dosagem de solução gelatinizada de amido;
- diluição e dosagem de soda cáustica;



Através das operações unitárias de tratamento são gerados quatro produtos:

- SF1 – concentrado da jigagem
- SF4 – concentrado da concentração magnética – intensidade média de campo magnético;
- SF3 – concentrado da concentração magnética – intensidade alta de campo magnético;
- PF – concentrado da flotação;

A figura 3.2 representa o fluxograma simplificado das operações da instalação de beneficiamento de Brucutu.



### 3.5 Minério de ferro

O termo **minério de ferro** é usado para uma grande variedade de materiais, por exemplo, como um sinônimo para formações ferríferas em geral. Como um termo econômico, minério de ferro poderia ser restrito às rochas que foram, estão sendo ou poderão vir a ser exploradas comercialmente, devido ao seu conteúdo em ferro. No presente estudo, diferentemente de Morris (2005) que considerou o uso do termo minério de ferro como sendo um material derivado de FFB, de significado econômico, no qual o conteúdo de ferro é geralmente maior que 55%, considera-se que o teor de ferro pode ser estendido para valores que se aproximam de 25% de ferro como em algumas minas atualmente em operação na América do Norte. Minérios enriquecidos em ferro, derivados de formações ferríferas bandadas, representam as maiores e mais concentradas acumulações secundárias de um simples elemento metálico na crosta da terra, sendo aproximados em escala somente por alguns corpos de minério de alumínio.

As jazidas de minério de ferro se distribuem amplamente por todo o mundo e podem ser encontradas em diferentes épocas geológicas. Os depósitos mais importantes encontram-se no pré-cambriano e constituem as reservas de ferro de maior importância econômica do mundo, com outros de menor importância ocorrendo no fanerozóico.

### 3.6 Gênese do Minério de Ferro

A gênese de um minério consiste de sua origem e evolução, ou seja, envolve todas as alterações sofridas pelo protólito (rocha da qual originou-se o minério), a partir de sua deposição, até atingir sua forma atual. Fatores como ambiente de deposição, variações de temperatura e pressão durante o metamorfismo, processos deformacionais e alterações intempéricas são determinantes da gênese do minério.

Vários modelos já foram propostos para a gênese do minério de ferro, a partir das FFB. Morris (1985) faz uma síntese bibliográfica dos principais modelos de gênese de minério de ferro já propostos, que genericamente estão associados a processos singenéticos, metassomáticos ou hipogênicos e supergênicos.

Morris (1985), em seu modelo conceitual básico, propõe que os principais depósitos do mundo de minério de ferro *in situ*, derivados de formações ferríferas, formaram-se, inteiramente ou inicialmente, por enriquecimento supergênico. O processo envolveu substituição metassomática da ganga por óxidos de ferro hidratados, derivados de extensões aflorantes atualmente erodidas, junto com lixiviação sem substituição. Os óxidos de ferro hidratados cristalizaram-se principalmente como goethita. Em muitos depósitos, a lixiviação preferencial da goethita residual resultou em aumento significativo de teor dos minérios, passando de uma associação de hematita-goethita para concentrações de hematita quase pura (hematita compacta) o que é comum no Quadrilátero Ferrífero. Outro autor (Dorr apud Rosière, 1993), estudando as FFB do Quadrilátero Ferrífero indica também uma origem metassomática a estes corpos. Os trabalhos de Rosière (1993) e Xavier (1994) sugerem um controle sedimentar para estes corpos.

### 3.7 Geologia do Minério de Ferro

O ferro encontra-se entre os elementos de abundância maior na crosta terrestre, juntamente com o oxigênio, silício e alumínio. A crosta (parte externa consolidada da terra) pode ser de natureza continental, onde há o predomínio de rochas graníticas ricas em silício e alumínio, ou de natureza oceânica, rica em silicatos de ferro e magnésio. O oxigênio ocorre associado aos demais elementos químicos presentes na crosta formando os silicatos. A tabela III.1 mostra a distribuição dos principais elementos químicos na crosta terrestre.

**Tabela III.1:** Elementos Químicos mais Comuns na Crosta Terrestre. (Adaptado de Araújo *et al.*, 2008)

Elementos	% peso	% atômica	% volume
<b>O</b>	46,60	62,55	93,8
<b>Si</b>	27,72	2,22	0,9
<b>Al</b>	8,13	6,47	0,5
<b>Fe</b>	5,00	1,92	0,4
<b>Ca</b>	3,63	1,94	1,0
<b>Na</b>	2,83	2,64	1,3
<b>K</b>	2,59	1,42	1,8
<b>Mg</b>	2,09	1,84	0,3
<b>Total</b>	<b>98,59</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Estes oito elementos perfazem 98,59% do peso da crosta. O restante constitui-se em elementos menores e elementos traços. Alguns resultados interessantes podem ser observados quando consideram-se os valores obtidos em termos do volume percentual dos elementos, como por exemplo o oxigênio que constitui mais de 90% do volume total da crosta. Os valores obtidos nesta coluna (% volume) indicam que minerais contendo oxigênio tais como, silicatos, óxidos e carbonatos devem ser os mais abundantes tipos de minerais na crosta da terra. Dessa forma os minerais ditos como formadores de rocha são com poucas exceções, membros destes grupos. A maioria dos metais úteis ocorre em quantidades muito pequenas, salvo em locais onde há o enriquecimento através da atuação de diferentes processos geológicos que geram grandes concentrações, economicamente explotáveis. Os depósitos minerais são, assim, anomalias grandes na crosta terrestre.

Tanto os elementos mais abundantes quanto os elementos menores e traços são raramente encontrados na natureza em sua forma elementar (nativa). A grande maioria ocorre na forma de compostos químicos, resultantes de processos inorgânicos, os chamados minerais. Os minerais são sólidos homogêneos que ocorrem naturalmente, com uma composição química definida (mas não necessariamente fixa) e com um arranjo atômico altamente ordenado.

O ferro existe em dois estados de valência na crosta terrestre, o ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) e férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ). Existem diversos minerais que têm o ferro como constituinte essencial mas os mais importantes são os diversos óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos, que diferem entre si quanto ao estado de valência do ferro e ainda quanto à composição e estrutura cristalina. Os principais são a hematita ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) e maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) que representam os óxidos, a goethita ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), akaganeíta ( $\beta\text{-FeOOH}$ ), lepidocrocita ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ), feroxihita ( $\delta\text{-FeOOH}$ ) e ferrihidrita ( $\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), que representam os oxihidróxidos e ainda a limonita ( $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) que representa um termo de campo usado para descrever óxidos hidratados de ferro, com grau de cristalinidade mais baixo.

### 3.7.1 Terminologia

Serão apresentadas a seguir algumas definições importantes referentes à nomenclatura utilizada para as formações ferríferas, que podem apresentar uma terminologia diferenciada dependendo do local de ocorrência

As formações ferríferas (FF) foram definidas (James apud Rosière, 1993), como sedimentos químicos, finamente bandados, contendo mais de 15% de ferro de origem sedimentar, comumente, mas não necessariamente, contendo camadas de chert. Outros autores acrescentaram algumas informações ao termo (Klein e Beukes, 1992). Incluem-se nesta definição todas as rochas laminadas ou acamadadas contendo mais de 15% de ferro, onde os minerais de ferro são comumente intercalados com quartzo e chert ou carbonato, e onde a estrutura bandada das rochas ferruginosas está em conformação com a estrutura das rochas adjacentes, sejam elas sedimentares, vulcânicas ou metasedimentares.

As formações ferríferas bandadas (FFB) têm um significado mais restrito. Podem ser definidas como rochas finamente acamadadas ou laminadas nas quais o chert (ou seu equivalente metamórfico) alterna-se com camadas que são compostas principalmente de minerais de ferro (James, 1983). Os minerais de ferro incluem óxidos como hematita e magnetita, silicatos, carbonatos e sulfetos usualmente intercrescidos em algum grau com o chert, dependendo da zona de deposição.

Diversos autores (Eschwege, 1833; Derby, 1910; Dorr e Barbosa, 1963) definem o termo itabirito referindo-se a uma formação ferrífera de fácies óxido, laminada e metamorfisada, na qual as bandas de chert ou de jaspe originais foram recristalizadas como quartzo granular e o ferro está presente como hematita, magnetita ou martita. As bandas de quartzo contêm quantidades variáveis, porém menores, de óxidos de ferro, e as bandas de óxidos de ferro podem conter quantidades variáveis, porém menores, de quartzo. O itabirito pode variar gradualmente para hematita pura, por remoção de quartzo e enriquecimento de ferro.

O termo jaspilito é usado para rochas constituídas por intercalações de camadas ricas em ferro e de camadas ricas em jaspe – quartzo microcristalino (chert) impregnado por

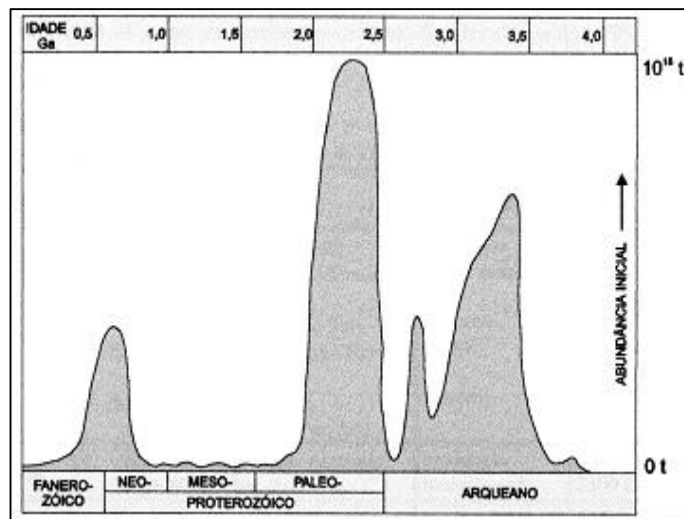
poeira de hematita finamente dispersa. O termo é usado para denominar FFB de fácies óxido não metamorfisadas.

O termo taconito foi originalmente empregado como sinônimo de cherts ferruginosos (Minnesota, EUA), e hoje corresponde a formações ferríferas não oxidadas de médio grau metamórfico, com presença de magnetita e quartzo.

Na prática industrial recente, para objetivos específicos de beneficiamento de minério de ferro, o termo itabirito é comumente usado para se referir aos minérios de baixo teor de ferro (entre 25% até cerca de 60% de ferro).

### 3.7.2 Ocorrência das Formações Ferríferas Bandadas

As formações ferríferas bandadas encontram-se distribuídas ao longo do tempo geológico, mas o pico de maior deposição ocorreu no paleoproterozóico (figura 3.3). As FFB ocorrem em quatro períodos geológicos distintos: paleo - a mesoarqueano, meso - a neoarqueano, paleoproterozóico e neoproterozóico ao fanerozóico.



**Figura 3.3:** Abundância Estimada das Formações Ferríferas ao Longo do Tempo Geológico (modificado de James, 1983).

Alguns exemplos de formações ferríferas formadas no paleoproterozóico são: Grupo Itabira, Fm. Cauê (Quadrilátero Ferrífero, MG), Lago Superior (EUA), Labrador (Canadá), Hamersley (Austrália), Krivoy-Rog (Rússia), Transvaal (África do Sul).

A origem dos depósitos do neoproterozóico ao fanerozóico ainda não está definitivamente esclarecidas. Estes depósitos são indicados como podendo estar associados aos do tipo Algoma ou a ambiente glacial. Urucum (MT, Brasil) e Mutum (Bolívia) são exemplos de depósitos do neoproterozóico e Altai (Sibéria) é um exemplo do fanerozóico.

Existem ainda depósitos ferríferos sedimentares acamadados no fanerozóico que frequentemente apresentam oólitos de limonita, hematita ou chamoisita em uma matriz ferruginosa (Walde, 1986).

### **3.7.2.1 Classificação**

As formações ferríferas bandadas podem ser classificadas com base em aspectos fundamentais tais como, ambiente de deposição e origem dos sedimentos (Gross, 1965).

Tendo em vista a variação na composição mineralógica das formações ferríferas bandadas (James apud Rosière, 1993) distinguiu, entre elas, quatro fácies sedimentares, conforme a profundidade e as condições de Eh e pH das águas das quais foram depositadas: fácies óxido, caracterizada pela presença de hematita ou magnetita; fácies silicato, por greenalita, minnesotaíta e/ou estilpnomelana, que raramente são observados em sua forma original; fácies carbonato, por siderita e ankerita; e fácies sulfeto por pirita e outros sulfetos.

Gross (1965) sugere a subdivisão das formações ferríferas em três tipos principais: Algoma, Lago Superior e Clinton e Minette. As FFB tipo Algoma, geralmente de idade arqueana, formaram-se a partir de sedimentação química em bacias marinhas profundas, próximas a centros vulcânicos, com folhelhos, grauvacas, sequências turbidíticas e rochas vulcânicas associadas. São abundantes em terrenos greenstone belts arqueanos, ocorrendo em menor proporção em sequências vulcanogênicas marinhas de idade proterozóica e ainda em sequências fanerozóicas. Um exemplo típico é representado pelo supergrupo Rio das Velhas (Quadrilátero Ferrífero, MG). As do tipo Lago Superior, de idade paleoproterozóica, são caracteristicamente rítmicas e finamente acamadadas, sugerem a existência de um período de estabilidade crustal onde ocorreu a deposição química de ferro e sílica originados de diversas fontes, em grandes bacias



marginais e intracontinentais rasas. As FFB podem ter continuidade lateral por dezenas de quilômetros e espessura de centenas de metros. Exemplos: região do Lago Superior (EUA) e Supergupo Minas (Quadrilátero Ferrífero, MG). O tipo Clinton e Minette ocorre principalmente no fanerozóico e é composto por oólitos/pisólitos de limonita, hematita, chamoisita e siderita, associados com folhelhos dolomitos e calcários, sedimentados em ambientes calmos de plataforma marinha e partes rasas de bacias marginais (Ex: Grupo Clinton, EUA). Atualmente, outras classificações são propostas e as FFB tipo Rapitan (Quade, 1976) devem ser mencionadas (Ramos, 2002). São do neoproterozóico -paleozóico inferior, formadas em fossas tectônicas ou bacias de escarpa de falha na margem continental, sob a influência de ambiente glacial, associada a conglomerados, arenitos e siltitos. Exemplo: Urucum, Mato Grosso do Sul.

### **3.7.2.2 Origem das FFB do Tipo Lago Superior**

Existem poucas certezas quando se discute a gênese das formações ferríferas bandadas, considerando-se os principais fatores que envolvem a sua formação, tais como a fonte do ferro e da sílica, o transporte destes elementos até o ambiente de deposição e a origem do bandamento. Os modelos genéticos tem se aproximado, mas ainda não existe consenso sobre o modelo ideal.

É difícil explicar o transporte do ferro, que se depositou em grandes extensões por todo o mundo na FFB. Uma atmosfera anóxica presente no precambriano possibilitaria este transporte, já que a presença de oxigênio livre na atmosfera da terra imobilizaria o ferro sob a forma de hidróxidos ( $\text{Fe}^{+3}$ ). O íon férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ) é insolúvel no intervalo de pH da maioria das águas naturais (pH 3-9) e é aceito que o transporte do ferro é feito normalmente no estado ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) com sua solubilidade controlada tanto pelo pH como pelas condições redox, com a influência ainda das atividades de carbonatos, silicatos e sulfetos (Morris, 1993).

Klemm (2000) apresenta um modelo baseado nas condições físico-químicas atuantes nas bacias marinhas do precambriano, onde sequências sedimentares de ferro e manganês do tipo Lago Superior se formaram. As FFB se formaram em bacias marinhas epicontinentais com livre acesso ao oceano. A fonte de ferro e sílica é a água do mar enriquecida nestes elementos. Influxos de ferro derivados do continente certamente

contribuíram. A sílica se precipitou por evaporação, porém a concentração biogênica em um possível mar subsaturado em sílica não é descartada. As formações de minério laminado foram restritas a profundidades locais dentro das bacias, onde o aumento de valores de pH relativos ao pH normal da água do mar, causou suficiente aumento em solubilidade de sílica, resultando na maior parte da sedimentação de precipitados de ferro coloidais.

São várias as tentativas de explicar as fontes do ferro e da sílica. As principais fontes consideradas para o ferro são: i) intemperismo de grandes áreas continentais; ii) exalações vulcânicas subaquosas; iii) surgência de águas de fundo marinho; iv) remobilização do ferro contido em assoalho oceânico. As fontes da sílica são: i) intemperismo de grandes áreas continentais; ii) exalações de vulcanismo ácido; iii) atividade biológica resultante da grande concentração de sílica; iv) influxo de sílica de origem vulcânica. Considerando-se a extensão destes depósitos e sendo a fonte originada da erosão de áreas continentais, seriam necessárias grandes áreas disponíveis para este processo disponibilizar todo o ferro necessário para a formação da FFB, e não há evidências geológicas de tal fato.

As hipóteses consideradas para o bandamento da FFB são várias. Gross (1965) defendem a substituição de sedimentos carbonáticos por ferro e sílica, porém a maioria dos autores acredita que o ferro e a sílica são precipitados químicos depositados diretamente. Entretanto, os mecanismos desta deposição são ainda discutidos. Entre eles destacam-se:

- a co-precipitação de hidróxido de ferro e sílica coloidal, em ambiente marinho, sendo o bandamento de origem diagenética;
- bandamento de origem rítmica, a partir de precipitações alternadas de sílica e emanações vulcânicas contendo ferro;
- deposição sazonal de sílica em estações secas e ferro em períodos chuvosos, a partir de soluções provenientes de áreas continentais adjacentes;

Os mecanismos de deposição mais prováveis considerados para a formação das FFB são a precipitação inorgânica ou orgânica do ferro e da sílica, sedimentação clástica ou foto-oxidação.

### **3.8 Mineralogia do Minério de Ferro**

Os minerais, com pouquíssimas exceções, possuem um arranjo interno ordenado que é uma característica dos sólidos cristalinos. Quando as condições de formação são favoráveis eles são limitados por superfícies planas e lisas e assumem formas geométricas regulares conhecidas como cristais. De um ponto de vista mais amplo, um cristal pode ser definido como um sólido homogêneo que possui um arranjo interno tridimensional (Klein, 2002). A ciência que estuda os sólidos cristalinos e os princípios que governam seu crescimento, sua forma externa ou morfologia e sua estrutura interna é chamada de cristalografia. Um sólido cristalino (sólido que apresenta um arranjo ordenado de átomos em sua estrutura), que apresenta faces bem formadas é denominado euédrico; se ele tem faces não perfeitamente desenvolvidas é denominado subédrico e quando não mostra faces desenvolvidas é chamado de anédrico.

As substâncias cristalinas podem ocorrer na forma de agregados tão finos que a sua natureza cristalina ou a sua cristalinidade só pode ser observada com a ajuda de um microscópio. Estas substâncias são denominadas de microcristalinas. Porém, quando estes agregados tornam-se tão finos que a individualização dos cristalitos não pode ser feita com a ajuda do microscópio, mas podem ser identificadas, por exemplo, por técnicas de difração de raios-x elas são denominadas de criptocristalinas. Quando as substâncias, sejam naturais ou sintéticas, não apresentam um arranjo atômico interno ordenado são denominadas amorfas. A substância amorfa de ocorrência natural é designada de mineralóide (Klein, 2002).

A característica mais importante e fundamental relativa a uma substância cristalina é a disposição ordenada de suas partículas. Um cristal é, portanto, constituído por um número grande de unidades muito pequenas, dispostas em um arranjo tridimensional que se repete. Assim, o estado cristalino pode ser caracterizado pelo arranjo interno tridimensional do sólido e pode ser definido por um volume fundamental que, por translação nas três direções gera o retículo cristalino. A este volume fundamental

chamamos de cela ou célula unitária. Existem sete tipos de celas unitárias possíveis de se repetir por translação. A elas correspondem os sete sistemas cristalinos, que são definidos em função dos comprimentos das arestas **a**, **b** e **c** e dos ângulos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  entre elas. São eles: isométrico, hexagonal, romboédrico, tetragonal, ortorrômbico, monoclinico e triclínico.

### 3.8.1 Propriedades físicas, químicas e mineralógicas

Serão descritos, a seguir, algumas das características dos principais óxidos e hidróxidos de ferro presentes nos minérios de ferro e outros minerais que também são constituintes destes minérios. A hematita, magnetita e a goethita são os principais minerais formadores de depósitos (os mais comumente explotados), enquanto que siderita, pirita, pirrotita e chamoisita são minerados, porém com pouquíssima importância econômica (só localmente). Os silicatos de ferro stilpnomelana e minnesoíta ocorrem nos depósitos do Lago Superior (U.S.A.) com importância apenas local.

- **Hematita ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Cristaliza-se no sistema hexagonal. Apresenta dureza entre 5.5 e 6.5 e densidade 5.3. Os cristais possuem um brilho metálico azul do aço, e as variedades terrosas são opacas. A cor de transparência é vermelha de sangue. O minério maciço comum é a hematita vermelha. Placas delgadas podem estar agrupadas em forma de rosetas. Pode ser ainda botrioidal com estrutura fibrorradiada, originando o chamado “minério reniforme”. O material cristalino com brilho metálico é conhecido por hematita especular ou especularita e por hematita micácea, se a estrutura for lamelar. A hematita terrosa de cor vermelha é por vezes chamada de ocre vermelho. Em microscopia por luz refletida tem uma cor branca brilhante com um leve tom cinzento; é anisotrópica e mostra pleocroísmo de reflexão fraco, desde branco a azul acinzentado pálido, que se torna mais nítido com objetiva de imersão. A hematita tem uma refletividade moderada (cerca de 21 a 28% no ar) e pode apresentar reflexões internas de cor vermelha viva. O termo martita é aplicado à hematita que ocorre em cristais octaédricos ou dodecaédricos, pseudomórficos da magnetita (Klein, 2002; Ramdhor, 1980; Deer *et al.*, 1981).

A hematita é uma substância essencialmente pura, formada por 70% de Fe e 30% de O, embora pequenas quantidades de Mn e Ti possam existir. A presença de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é

considerada como impurezas. Sua estrutura consiste em camadas de íons oxigênio dispostos espacialmente em um arranjo hexagonal ligeiramente distorcido, e em camadas de íons ferro.

Todas as propriedades estruturais são fortemente dependentes das condições de formação. Geralmente existe uma forte tendência ao idiomorfismo. As que ocorrem em locais de contato metassomáticos são, com frequência, aproximadamente isoaxiais. É frequentemente tabular e muitas vezes desenvolve-se sob a forma de lâminas delgadas, que são facilmente onduladas durante o processo tectônico.

Segundo Henriques (2009), as formações ferríferas sofreram ao longo de sua evolução geológica, além de alterações mineralógicas ou estruturais, intensas modificações texturais entre as quais o desenvolvimento de uma orientação preferencial cristalográfica e morfológica de seus constituintes minerais que possibilitaram o óxido predominante de ferro, hematita, a ocorrer sob diferentes formas: hematita compacta, hematita especular, hematita porosa e ainda martita, todas originadas em diferentes gerações e com clara relação com o grau de metamorfismo e deformação.

A principal fase identificada nas amostras coletadas na mina de Brucutu é a fase mineral hematita. Entretanto, a amostra hematita compacta tem quartzo em baixa ocorrência, a amostra hematita especular tem outros silicatos (caulinita e moscovita) em baixa ocorrência e a amostra hematita porosa tem gibbsita e goethita também em baixas ocorrências. A hematita porosa apresentou área superficial específica maior ( $2,327 \text{ m}^2/\text{g}$ ), devido à presença de um volume maior de poros, a área superficial medida da amostra compacta foi  $1,604 \text{ m}^2/\text{g}$  e da amostra especular foi  $0,617 \text{ m}^2/\text{g}$  (Henriques, 2009).

- **Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )**

A magnetita é fortemente magnética, com brilho submetálico, cor preta com tons variados de marrom ou cinza, azul do aço em partes intemperizadas; é opaca em lâmina delgada. Em microscopia por luz refletida aparece cinzenta ou apresentando tons cremes a rosados, e tem refletividade moderada. São características a natureza isotrópica, o relevo elevado e a ausência de clivagem. Cristaliza-se no sistema isométrico, classe

hexaocáedrica. Ocorre como cristais de hábito octaédrico, ocasionalmente geminados. Os dodecaedros são mais raros, bem como outras formas. Usualmente é maciça ou granular, com granulação grossa ou fina. Apresenta dureza 6.0 e densidade de 5.2.

É composta essencialmente por 72.4 % de Ferro e 27.6% de Oxigênio. Entretanto, algumas análises podem mostrar consideráveis porcentagens de  $Mg^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  substituindo o  $Fe^{2+}$  e  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{3+}$  e  $Ti^{4+}$  substituindo o  $Fe^{3+}$ .

A magnetita é o óxido de ferro que, comparado com a hematita, é mais estável a alta temperatura e baixa pressão (Klein, 2002; Ramdhor, 1980; Deer *et al.*, 1981).

- **Maghemita ( $\gamma$ - $Fe_2O_3$ )**

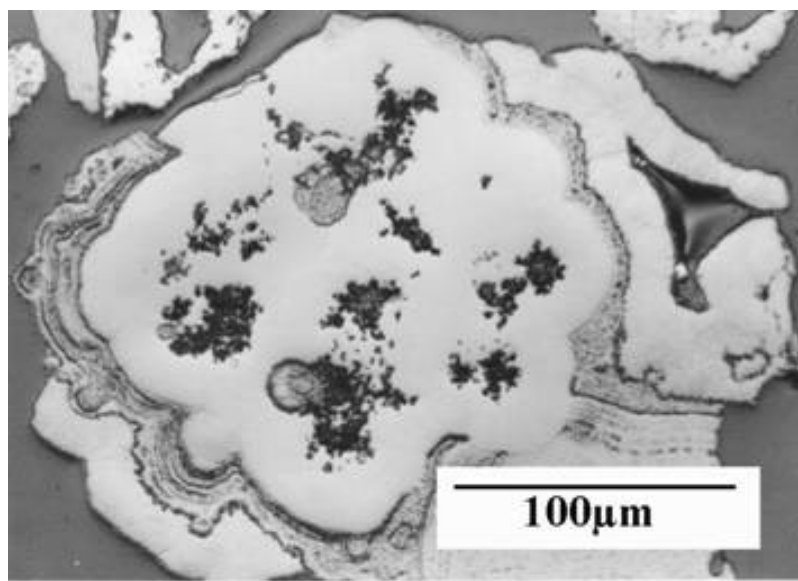
A maghemita geralmente resulta da alteração supergênica da magnetita (Morris, 1985). Cristaliza-se no sistema cúbico. Apresenta dureza 5.0 e densidade 4.4. Ocorre na forma de massas amarronzadas, com tonalidades variadas, podendo ser também preta-azulada. Quando observada ao microscópio de luz refletida, apresenta uma cor branca a azul acinzentado, com refletividade moderada. Reflexões internas são raras e, quando presentes, têm cor de um tom marrom forte (Ramdhor, 1980 ; Deer *et al.*, 1981).

Algumas magnetitas naturais contêm um excesso de  $Fe_2O_3$  que varia gradualmente até o termo extremo que é a maghemita. É uma forma meta-estável e inverte-se para hematita por aquecimento. A temperatura de inversão varia entre 200°C a 700°C, dependendo da origem da amostra.

- **Goethita ( $\alpha$ - $FeOOH$ )**

Cristaliza-se no sistema ortorrômbico, com cristais aciculares, reniformes, maciços, estalactíticos e na forma de agregados fibrorradiais. Dureza: 5 a 5.5 e densidade 4.3. Tem brilho adamantino a opaco, podendo ser sedoso em algumas variedades finas, escamosas ou fibrosas. Sua cor varia de castanho amarelada a castanho escura (Klein, 2002). Em luz refletida é cinzenta, com anisotropia média. Em seção delgada, é amarela a vermelha alaranjada. Difere da hematita por seu traço amarelo (Deer *et al.*, 1981).

É composta por 62.9% de Ferro, 27.0% de Oxigênio e 10.1% de H<sub>2</sub>O, podendo conter quantidades variáveis de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, BaO, SiO<sub>2</sub> e MnO que podem ocorrer em quantidades acima de 5% no total. Variedades terrosas freqüentemente apresentam teores mais elevados de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub>. A goethita é isoestrutural com o diásporo (AlOOH). A lepidocrocita ( $\gamma$ -FeOOH), mineral placóide que é um polimorfo da goethita, pode estar associado a esta. Estrutura em conchas com camadas concêntricas e ritmicamente alternadas são observadas, formando a estrutura botrioidal (figura 3.4).



**Figura 3.4:** Goethita Mostrando seu Hábito Tipicamente Botrioidal (Santos e Brandão, 1999). Microscopia Óptica de Luz Refletida (MOLR), Apenas Polarizador.

A goethita é um dos minerais mais comuns e é tipicamente formado sob condições oxidantes como um produto de intemperismo dos minerais de ferro. É também formada por precipitação direta inorgânica ou biogênica, a partir de águas meteóricas e marinhas. A goethita é o principal formador do gossan ou chapéu de ferro sobre depósitos de veios metalíferos alterados. Substituições dos minerais de ferro por goethita (limonita) são comuns, como resultado do intemperismo (Klein, 2002; Ramdhor, 1980; Deer et al., 1981).

A goethita resultante da alteração da hematita pode ter duas formas diferentes. A primeira, como partículas alongadas formando, desordenadamente, agregados aproximadamente arredondados, compostos por microcristais. Este é o resultado de uma

reorganização *in situ* da hematita para goethita. A outra forma da goethita é acicular e desenvolve-se perpendicularmente aos cristais primários, envolvendo-os. Os cristais primários podem ser hematita ou quartzo e a goethita é formada por redistribuição do ferro que é carregado, o qual promove a cimentação das partículas. A hematita pode substituir grãos de goethita, formando grãos de hematita pseudomorfos da goethita, já que a forma desta última foi preservada (Morris, 1985).

- **Limonita (FeOOH.nH<sub>2</sub>O)**

É principalmente usado como termo de campo para se referir a óxidos de ferro hidratados, de aspecto terroso, pobremente cristalinos e de identidade incerta.

É definida como sendo amorfa ou criptocristalina, de cor amarela, castanha, castanha alaranjada a negra amarronzada. É maciça, terrosa e ocasionalmente tem aspecto vítreo. Apresenta dureza 4-5.5, densidade 2.7-4.3. Em luz transmitida, é amarela, com tonalidades de marrom a vermelha, sendo amarronzada em luz refletida, podendo-se apresentar também com cor cinza.

Embora considerada originalmente como tendo uma fórmula definida (2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O), observa-se que ela constitui-se principalmente de goethita criptocristalina ou lepidocrocita, contendo água adsorvida. Em estudo de amostras de goethita e limonita, Rocha e Brandão (1996) discutem a presença de OH e H<sub>2</sub>O de cristalização em goethitas e limonitas. Foi observado que em amostras supostamente limoníticas, o que se obtinha na realidade, eram goethitas quimicamente mais impuras, com consistência e finura terrosas, com nível de cristalinidade relativamente alto, e possuindo um grau de hidroxilação mais elevado. Isto resultou em uma redefinição do termo e mudança na fórmula clássica da limonita, de FeOOH.nH<sub>2</sub>O para FeOOH.

- **Quartzo (SiO<sub>2</sub>)**

Ocorre na forma de cristais prismáticos, com romboedros em suas pontas, dando um efeito de bipirâmide hexagonal. Usualmente é transparente ou branco, mas frequentemente é colorido por impurezas, apresentando diferentes variedades. Pode apresentar fratura conchoidal. Tem dureza 7.0 e densidade 2.65 e o brilho é vítreo.



A composição química do quartzo é geralmente próxima de 100.0% de SiO<sub>2</sub>. Podem apresentar nas análises químicas pequenas quantidades de outros óxidos, que são geralmente devidos a pequenas inclusões de outros minerais ou a líquidos que preenchem cavidades no seu interior (Klein, 2002; Ramdhor, 1980; Deer *et al.*, 1981).

- **Silicatos**

Dentre os minerais presentes em minérios de ferro estão os silicatos, os quais constituem a maior e mais importante classe de minerais da crosta terrestre. A unidade fundamental da estrutura dos silicatos é o grupo aniônico (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup>, no qual quatro átomos de oxigênio circundam um átomo de silício em um arranjo tetraédrico. Cada átomo de oxigênio pode se ligar a outro átomo de silício unindo-se a outros grupos tetraédricos. Assim, o compartilhamento de oxigênios pode ocorrer de diversas formas possíveis resultando em diferentes arranjos estruturais e, portanto, em diferentes grupos de silicatos (Klein, 2002). O grupo dos inossilicatos engloba silicatos nos quais os SiO<sub>4</sub> tetraédricos se unem para formar infinitas cadeias, simples ou duplas. Os anfibólios são constituídos por silicatos complexos de dupla cadeia de SiO<sub>4</sub>, contendo íons hidroxila e vários cátions metálicos como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Na<sup>+</sup>, e outros.

Segundo Santos *et al.* (2009) o quartzo é o principal silicato presente em minérios de ferro brasileiros, porém anfibólios eventualmente ocorrem associados aos minérios de ferro itabiríticos em proporções variadas e em regiões específicas dentro das formações ferríferas do Brasil. No Quadrilátero Ferrífero encontra-se o itabirito anfibolítico que é caracterizado pela presença de pseudomorfos de anfibólios (goethita/limonita). No sudoeste baiano são comuns intercalações de formação ferrífera bandada, fácies silicato (quartzo/grunerita/cummingtonita) e óxido (magnética/hematita).

Os anfibólios mais comuns podem ser divididos em séries como mostrado na tabela III.2.

**Tabela III.2:** Série de Anfibólios mais Comuns (Klein, 2002)

Anfibólios		Fórmula
	Antofilita	$(\text{Mg, Fe})_7\text{SiO}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Série da cummingtonita	Cummingtonita	$\text{Fe}_2\text{Mg}_5\text{SiO}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Grunerita	$\text{Fe}_7\text{SiO}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Série da tremolita	Tremolita	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{SiO}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Actinolita	$\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{SiO}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Hornblenda	$(\text{Ca, Na})_{2-3}(\text{Mg, Fe, Al})_5\text{Si}_6(\text{Si, Al})_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Grupo dos anfibólios de sódio	Glaucofânio	$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
	Riebeckita	$\text{Na}_2\text{Fe}_3^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Fernandes (2003) realizou um estudo de caracterização tipológica aplicada ao planejamento de lavra de minério de ferro da MBR das minas de Águas Claras, Mutuca e Complexo Pico, cujo objetivo foi a estimativa geostatística dos grandes domínios geológicos de hematitas, focalizando as características granulométricas e qualidade química, a avaliação do comportamento metalúrgico dos granulados, análises granuloquímicas, a realização de testes de concentração gravimétrica e flotação, descrição mineralógica por fração.

A descrição mineralógica das seções polidas da fração granulada (-6,35+0,15mm) foram a hematita lobular ou anédrica, hematita tabular e, secundariamente, ocorrem martita, magnetita e goethita. O estudo efetuado nas frações -6,35+0,15mm verificou grandes variações nas partições granulométricas médias (-6,35+1,00mm e -1,00 +0,15mm) e granuloquímicas, com aumento de sílica, alumina, perda por calcinação e fósforo na fração mais fina. Os principais minerais descritos nas seções polidas da fração -6,35 +0,15mm foram a hematita lobular ou anédrica, hematita tabular e, secundariamente, martita, magnetita e goethita.

As análises granuloquímicas dos materiais mais finos (fração +0,15mm), revelaram alta concentração de alumina, perda por calcinação, fósforo e manganês na faixa abaixo de 0,009mm. Os altos teores de sílica estão concentrados na fração +0,15mm, representando problemas na flotação, pelo quartzo mais grosseiro. Os altos teores de

alumina, associados à argilo-minerais, inibiram a flotação em amostras de hematitas. Em alguns ensaios de itabiritos, os concentrados finais permaneceram com alta sílica, atribuída ao quartzo sob a forma de partículas mistas com hematita. A mineralogia foi diferenciada das frações mais grosseiras, predominando hematita tabular e, secundariamente, martita, hematita lobular ou anédrica, goethita, hematita granular e magnetita.

Rocha (2008) realizou um estudo de caracterização mineralógica dos itabiritos anfíbolíticos das minas de Alegria, que representam 36% do total dos recursos geológicos da Samarco e cerca de 20% de sua reserva total e que ora são lavrados como minério ora são dispostos como estéril. Os objetivos foram o de identificar diferentes tipos de itabirito anfíbolítico nas minas de Alegria, baseando-se em suas características químicas, mineralógicas e de comportamento em testes que simulam o processo produtivo da Samarco Mineração S.A., além de fazer-se uma caracterização química e mineralógica mais detalhada, de diversas alíquotas provenientes dos testes de laboratório.

Os itabiritos anfíbolíticos estudados não são compactos e, portanto, potencialmente minérios. Seus teores de FeT são típicos de itabiritos pobres (<50%), os de P são relativamente altos (>0,050%), os de PPC são elevados (>3%) e os de  $Al_2O_3$   $MnO_2$  e FeO estão geralmente dentro da faixa média dos minérios das minas de Alegria. Os principais minerais de ferro são a goethita (botrioidal, maciça, pseudomórfica de anfíbólio, produto de alteração da magnetita e terrosa) e a hematita martítica porosa. Os graus de alteração e de porosidade dos minerais de ferro são elevados e o tamanho de suas partículas é bem variado (desde poucos micrometros até milímetros). A porcentagem de lama desses itabiritos é relativamente elevada e suas recuperações em massa e metálicas globais os classificam como potencialmente minérios. A porcentagem de lama desses itabiritos é relativamente elevada e suas recuperações em massa e metálicas globais os classificam como potencialmente minérios.

Para os itabiritos anfíbolíticos estudados, propõe-se a formação de quatro tipos diferenciados. A associação mineralógica de anfíbólios, óxidos de ferro, quartzo e carbonatos, encontrada nos itabiritos anfíbolíticos frescos recém-identificados

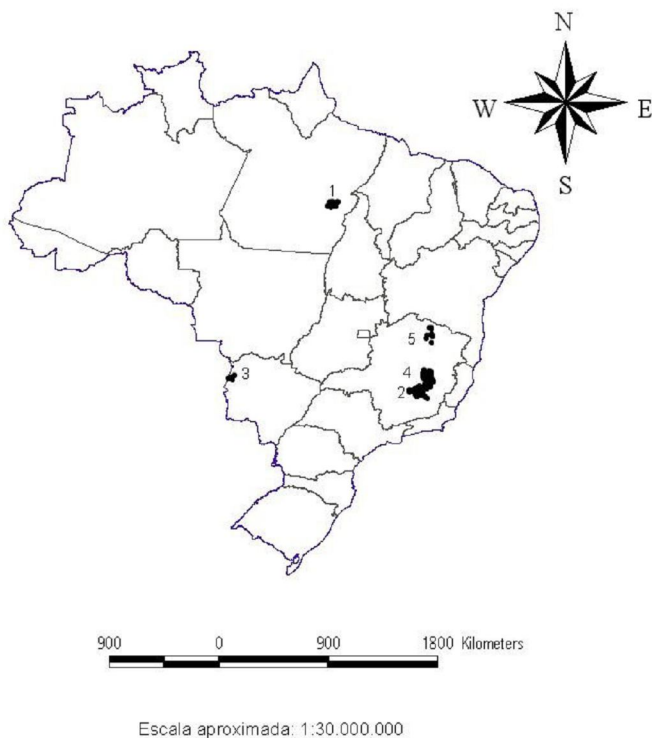
nos furos de sondagem de Alegria.

Pela relevância do presente trabalho, é importante também referenciar o trabalho de Fernandes (2008), tendo como objetivo a caracterização tecnológica dos produtos granulados de minério de ferro, através do estudo das correlações químicas, físicas, tipológicas, metalúrgicas e mineralógicas de amostras representativas provenientes das minas do Sistema Sul da Vale. A busca de uma melhor compreensão genética dos diferentes tipos de minérios do Quadrilátero Ferrífero é de grande importância no aumento da previsibilidade do comportamento dos produtos na indústria siderúrgica.

As principais tipologias descritas no trabalho são: compacta, compacta porosa, porosa, canga, itabirito e proto-minério. Predominam nas amostras as tipologias compactas e compactas porosas, com características hipogênicas e as tipologias porosas, associadas à canga, itabiríticas e proto-minério, derivam de alteração supergênica. Os teores de ferro total são mais elevados nas tipologias compactas e compactas porosas e os teores de FeO são relativamente baixos. Os teores de sílica são mais elevados nas tipologias itabiríticas e os teores de alumina e perda por calcinação são mais elevados nas tipologias associadas à canga. Os teores de manganês são baixos, o cálcio e magnésio acompanham os valores mais elevados de manganês. Os teores de titânio e fósforo são mais elevados nas tipologias porosas e em associação à canga.

### **3.9 Principais Depósitos de Minério de Ferro do Brasil**

O Brasil é um importante produtor e detentor de grandes reservas de minério de ferro com teores elevados. As grandes reservas do país estão concentradas em Minas Gerais, principalmente no Quadrilátero Ferrífero, na Serra dos Carajás, no Pará e em Urucum, Mato Grosso do Sul (figura 3.5).



**Figura 3.5:** Distribuição dos Principais Depósitos de Minério de Ferro do Brasil. 1 – Serra dos Carajás (PA); 2 – Quadrilátero Ferrífero, MG; 3 – Urucum (MT); 4 – Morro do Pilar e Conceição do Mato Dentro (MG); 5 – Região de Porteirinha (MG). Adaptado de Bizzi *et al.*, 2001.

### 3.10 Métodos de Concentração

Cada vez mais todos os produtores de minérios de ferro no mundo empregam métodos diversos de concentração em resposta à redução dos teores dos minérios nas jazidas assim como para atender exigências mais rígidas nas especificações dos produtos e na constância de qualidade dos mesmos. A concentração de minério de ferro, em geral, atende em primeiro lugar às características dos produtos que são classificados por faixas de tamanho. Assim, métodos específicos são empregados para a concentração de granulados, “sinter feed” e “pellet feed”. Nos granulados busca-se eliminar as contaminações derivadas de diluições da lavra que incorporam rochas estéreis ao “run of mine”. Quando os métodos de concentração são usados para os finos e superfinos, procura-se primordialmente remover minerais de ganga presentes no próprio minério.

Nos minérios cujo mineral-minério é a magnetita tem-se empregado a flotação, em adição à concentração magnética de baixa intensidade, para atender as exigências de teores muito baixos de impurezas. Já para minérios não magnetíticos, as técnicas de concentração incluem também a concentração magnética de alta intensidade e gradiente aliada à flotação na faixa de tamanho de “pellet feed”. Métodos gravíticos, empregando jígues e espirais, também são utilizados para a concentração de finos (Araújo e Viana, 2004).

O cenário atual mostra abaixamento progressivo dos teores de minerais-minérios nas jazidas, exigências cada vez mais rígidas do mercado, necessidade imperativa nas instalações de beneficiamento de operar com custos de produção ainda mais baixos, a fim de permitir a manutenção da competitividade do negócio e aumento do “market share” levando em conta as limitações relacionadas a impactos ambientais.

A resposta a esse intrincado cenário é a combinação dos métodos de concentração de minérios de ferro, a busca de melhorias nas tecnologias existentes, um conhecimento mais profundo dos minerais envolvidos no processo e a implementação de sistemas avançados de controle de processo que permitam a menor variabilidade das principais características de qualidade dos produtos (Araújo e Viana, 2004).

Além das técnicas correntemente usadas, cada vez mais de forma combinada, nas instalações de beneficiamento (Araújo, *et al.*, 2002) de minérios de ferro, algumas tentativas de combinação de diferentes técnicas em um único equipamento já mostram resultados promissores como relatado por Ersayin e Iwasaki (2002), que realizaram testes em escala de bancada e piloto aplicando um campo magnético na flotação catiônica de sílica em um minério taconito-magnetítico. Testes com separador multigravítico e microorganismos para bioflotação indicam possíveis tendências de beneficiamento para alguns minérios indianos (Yerriswamy *et al.*, 2003, Natarajan e Namita, 2003). Porém, levando-se em conta equipamentos para uso em escala industrial, as técnicas de concentração magnética, gravítica e flotação ainda reinam sem concorrentes nas instalações de beneficiamento de todo o mundo não se percebendo ainda algum trabalho que leve à eventual quebra das tecnologias existentes.

Os minérios de ferro contendo predominantemente o mineral-minério magnetita são

concentrados com o emprego de concentração magnética de baixa intensidade. Devido à exigência de teores baixos de impurezas estes concentrados magnéticos muitas vezes precisam ser limpos com o emprego principalmente de flotação. Para os minérios de ferro não magnéticos as técnicas de concentração incluem também a concentração magnética de alta intensidade e de alto gradiente aliada a flotação na faixa granulométrica correspondente ao “pellet feed”. Os métodos gravíticos, com ou sem uso de meio denso, são empregados tanto para minérios magnéticos quanto hematíticos desde a faixa equivalente ao granulado até a faixa do sinter feed (Araújo e Viana, 2004).

No Brasil, as duas regiões principais produtoras são o Quadrilátero Ferrífero no estado de Minas Gerais e a Província Mineral de Carajás no estado do Pará. O minério apresenta-se sob a forma de minérios hematíticos ("hematitas") compactos e friáveis e de itabiritos geralmente friáveis. As principais espécies minerais de ferro presentes são a hematita, goethita, limonita, magnetita e hematita martítica enquanto que os principais minerais de ganga são o quartzo, caolinita, gibbsita e outros silicatos portadores de alumina. O elemento fósforo aparece normalmente com o mineral goethita em minérios com maior grau de hidratação e de forma intimamente associada não existindo rigorosamente maneira de ser retirado durante o beneficiamento. Existem várias classificações dos minerais de ferro e de ganga dependendo de sua granulometria, estrutura, textura e outras características definidas em relação ao comportamento dos mesmos nos processos de classificação e concentração.

As minas do Quadrilátero Ferrífero, em sua maioria, empregam métodos de concentração magnética, gravítica e flotação tanto de forma isolada como combinação destes métodos para a produção de “sinter feed” e “pellet feed”. As colunas de flotação, inicialmente introduzidas nas instalações de beneficiamento da região no início da década de 90 (Flint *et al.*, 1992), são usadas em combinação com células convencionais, ou de forma isolada, e em pelo menos uma das operações mostraram a possibilidade de se recuperar lamas que anteriormente eram descartadas como rejeito (Araujo, *et al.*, 2002). Os separadores magnéticos de intensidade alta de campo magnético e alto gradiente (WHIMS/HGMS) já eram usados antes das colunas e eventualmente foram associados à flotação. Mais recentemente o Ferrous Wheel (FWMS) foi introduzido em uma das operações assim como Tambores Magnéticos de Terras Raras (Araujo *et al.*,

2002). As espirais e jigues são usados em alguns casos. A tabela III.3 relaciona os métodos usados, tipo de equipamento, fabricante e adicionando-se agora as empresas que os usam. Um dos fluxogramas mais elaborados é o da instalação de beneficiamento de Conceição onde são combinados jigagem, concentração magnética, espirais, flotação convencional e por coluna.

**Tabela III.3:** Métodos de Concentração / Minérios de Ferro Brasileiros (Modificado de Araujo *et al.*, 2002)

<b>Método de Concentração</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Empresa</b>	<b>Aplicação</b>
Flotação catiônica reversa	Célula mecânica	Wemco	Samarco	<i>Rougher, cleaner, scavenger</i>
	Célula mecânica	Outokumpu		<i>Scavenger</i>
		Wemco	Vale	<i>Rougher, cleaner, recleaner, scavenger</i>
	Célula coluna	CPT, Minnovex, Baker & Hughes	MBR, CSN	<i>Rougher, cleaner, scavenger</i>
			Vale	<i>Circuito combinado (cleaner)</i>
			Samarco	<i>Concentração de lamas</i>
Concentrador magnético alta intensidade e alto gradiente	WHIMS - Jones matriz	Humboldt	Vale, Ferteco	<i>Concentração sinter feed e pellet feed (combinado com flotação)</i>
	FWMS - matriz	Eriez-INBRÁZ	MBR	<i>Pellet feed - teor alumina maior que sílica na alimentação</i>
	WHC - Jones matriz	Eriez-INBRÁZ	Vale	<i>Concentração sinter feed, rougher e cleaner.</i>
Concentrador magnético média intensidade	Separador tambor terra rara úmido	Eriez-INBRÁZ	MBR, Vale, Ferteco	<i>Sinter feed – minerais de ganga com alumina e fósforo</i>
Jigagem	Tipo Remmer	Baker & Hughes	Vale	<i>Sinter feed + 1mm</i>
		FL-Smith	Vale	<i>Sinter feed + 1mm</i>
	Ar - pulsante	BATAC	FERTECO	<i>Sinter feed + 1mm</i>
Espirais	Espirais 7 e 5 voltas	MD e AKAFLEX	Vale, MBR e FERTECO	<i>Sinter feed fino - 1 mm</i>



Na tabela III.4 estão sublinhados e em negrito aqueles aplicados à concentração de minérios de ferro no Brasil. A tabela III.5 lista exemplos de equipamentos e processos empregados no processamento de minérios de ferro no mundo.

**Tabela III.4:** Métodos de Concentração em Relação à Propriedade Diferenciadora  
(Modificado de Araujo *et al.*, 2008)

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>MÉTODOS</b>
Óticas (cor, brilho, fluorescência)	Escolha ótica (manual ou automática)
Densidade	Líquido denso, meio denso, <b>jigues</b> , mesas, <b>espirais</b> , cones, ciclones de meio denso, DWP, bateias, calhas, calhas estranguladas, classificadores, hidrosseparadores, concentradores centrífugos etc.
Forma	idem métodos baseados na densidade
Susceptibilidade magnética	<b>Concentração magnética</b>
Condutividade elétrica	Separação eletrostática ou de alta tensão
Radioatividade	Escolha com contador
Textura/friabilidade	Cominuição seguida de classificação ou hidrosseparação ou peneiramento
Reatividade química	Hidrometalurgia
Reatividade de superfície	<b>Flotação</b> , agregação ou dispersão seletiva, eletroforese, aglomeração esférica

**Tabela III.5:** Processos de Concentração Aplicados a Minérios de Ferro (Modificado de Araujo *et al.*, 2008)

<b>Processos de Concentração:</b>	<b>Classes/Tipos</b>	<b>Onde (exemplos)</b>	<b>Exemplos de Equipamentos</b>
<b>Gravíticos</b>	Meio Denso (Fe-Si)	África do Sul	Tambor, DWP, LACODERMS
	Jigagem	Brasil, EUA, Austrália	Remer-WEMCO, Pneumático KHD
	Concentração em Espirais	Canadá, Brasil, Mauritània, Austrália	Espirais AKAFLEX, CARPCO, MD, etc, praticamente todas com água de lavagem
	Hidrosseparadores	Canadá, Brasil (piloto)	Classificadores do tipo FLOATEX
	Outros	Brasil (desativados)	Cone Reichert, Mesa concentradora a ar
<b>Magnéticos</b>	Baixa Intensidade	EUA, Suécia, Peru, Chile, México, Ucrânia, Rússia, China	Separadores de tambor
	Média Intensidade	Brasil	Separador de tambor de terras raras
	Alta Intensidade e/ou Alto Gradiente, com matrizes	Brasil, Canadá, México, Índia, Austrália, China	Separador tipo Jones (Carrossel), Separador tipo Ferrous Wheel, Separador tipo Slon.
<b>Eletrostáticos</b>	Separador de Placas	Chile	Placas
<b>Físico-químicos</b>	Flotação Catiônica Reversa de Quartzo	Brasil, EUA, Canadá, Índia, Rússia (em implantação), Ucrânia (em implantação), Chile, Venezuela (piloto)	Colunas, células mecânicas convencionais, Células tipo Smart-Cell, Colunas com aeração externa
	Floculação Seletiva e Flotação Reversa	EUA	Células mecânicas convencionais
	Flotação Reversa de Fosfatos	Suécia, México, Irã	Colunas e células mecânicas convencionais
	Flotação direta	EUA, China	Células mecânicas convencionais
	Flotação Aniônica Reversa após ativação do quartzo	EUA	Células mecânicas convencionais

### 3.10.1 Concentração Gravítica

Os métodos de concentração gravítica distinguem em três grupos, segundo o mecanismo dominante:

Densidade: Processos em que as partículas são imersas em um meio fluido de densidade intermediária entre as espécies que se deseja separar. Nesse grupo são incluídos os separadores em meio denso, além dos separadores Knelson e o hidrosseparador, nos quais a separação ocorre em um leito fluidizado.

Estratificação: Esse grupo é formado por todos os diferentes tipos de jigues existentes, onde a separação dos estratos é resultado do movimento de pulsação do fluido na direção da força de campo.

Escoamento em lâmina d'água: É aquele em que a concentração é resultado do movimento diferencial das partículas em um fluido em escoamento laminar. Desse grupo fazem parte as mesas concentradoras, as espirais, as calhas e o cone Reichert.

### 3.10.2 Concentração Magnética

O processo de concentração magnética emprega como propriedade diferenciadora as características de susceptibilidade magnética apresentadas pela população de partículas minerais a serem concentradas, frente a um determinado campo magnético. Em geral, mas não constitui uma regra exata, pode-se tabular quais tipos de partículas minerais, em princípio sem associação mineral, poderiam ser recuperadas frente a determinados campos magnéticos produzidos por alguns equipamentos clássicos (tabela III.6):

Tabela III.6: Partículas Minerais Recuperadas Frente a Determinados Campos Magnéticos (Modificado de Queiroz, 2008)

TIPO DE EQUIPAMENTO	FABRICANTE	CAMPO MAGNÉTICO (gauss)	MINERAL	ENTUPIENTOS
Tambor	INBRÁS	1.800	Magnetita	Não
Tambor	INBRÁS	6.000	Magnetita	Não (se reliquiar) Sim (se Preservada)
			Hematita Martítica com magnetita reliquiar até 30% do volume, correspondendo até 30% da massa de população de partículas a serem concentradas	Não (se respeitando a descrição ao lado)  Sim (se este tipo de partícula for até 30% da massa da população das partículas)
WHIMS	INBRÁS GAUSSTEC	Acima de 9.000	Magnetita	Sim (em qualquer população)
			Hematita Martítica	Não (se não houver magnetita reliquiar) Sim (se houver magnetita reliquiar)
			Goethita	Não
			Hematita	Não (se não houver magnetita reliquiar) Sim (se houver magnetita reliquiar)

Agora, deve-se avaliar o tipo de associação mineral existente, por exemplo, a goethita associada à hematita martítica com magnetita reliquiar é um caso comum de acontecer com o minério da mina de Brucutu. Este tipo de partícula pode ser recuperada no WDRE (não em função de goethita e sim pela magnetita reliquiar). Assim, é possível encontrar goethita no “sinter feed” do WDRE.

Um concentrador magnético tipo tambor, que usualmente pode operar com campos magnéticos que variam de baixo (~800gauss) a médio (~6000gauss) tem a função, para minérios de ferro tipicamente hematíticos (caso do Quadrilátero Ferrífero), de atuar como etapa de desbaste. Em geral, qualquer outro mineral (ou partícula mineral) que possuir magnetita associada (outro mineral de susceptibilidade magnética elevada frente aos campos magnéticos apresentados) será recuperada por estes equipamentos.

A propriedade diferenciadora susceptibilidade magnética das partículas minerais pode ser melhor traduzida para a prática operacional através do emprego do conceito de massa magnética, apresentando-se como o mais adequado na previsão da recuperação em massa e identificação de problemas operacionais.

Segundo Queiroz (2008) podem ser distinguidos três grandes grupos de partículas em

termos de “massa magnética” e seleção de equipamentos de concentração magnética.

O primeiro grupo é conceituado como sendo de partículas com massa magnética elevada, maior que 30% em volume da população de partículas onde devem ser usados equipamentos de intensidade baixa de campo. Este grupo é definido essencialmente pela presença de magnetita pouco alterada (início do processo de martitização).

Queiroz (2008) considera também as formas de associação das partículas minerais ressaltando que mesmo pequenas proporções (em torno de 10%) em volume de magnetita podem influenciar significativamente os índices de recuperação em massa. Considera-se também que obviamente os índices de recuperação metálica serão também afetados. Este fato é atribuído especificamente à ocorrência de relictos de magnetita na massa total das partículas o que pode ser um fator determinante na seleção de equipamentos para as operações industriais.

O procedimento adequado quando ocorre esta situação, ou proporções significativas de hematita martítica com a presença de relictos de magnetita, comumente usado pelos engenheiros de processo e normalmente sugerido por empresas que fabricam equipamentos, durante a definição de rotas de processo, é o uso de separadores magnéticos de intensidade baixa de campo para retirada prévia destas partículas prevenindo-se, como citado por Queiroz (2008), o eventual entupimento da alimentação dos equipamentos de intensidades de média e alta de campo.

O segundo grupo definido por Queiroz (2008), entre 5% e 30% de volume de massa magnética, é ilustrado na prática pela instalação de beneficiamento de Brucutu onde é necessária a separação de intensidade média de campo utilizando os concentradores de tambor para recuperação da martita e outras associações de magnetitas/hematitas.

O terceiro grupo é caracterizado por partículas com massa magnética baixa, menor que 5% do volume da população de partículas, e o material deste grupo pode ser diretamente alimentado em equipamentos com intensidade alta de campo.

### **3.10.2.1 Relação entre as Propriedades Mineralógicas e a Seleção de Equipamentos de Concentração Magnética**

Segundo Queiroz (2008), em equipamentos do tipo WHIMS o arraste hidrodinâmico torna-se mais acentuado quando as partículas e/ou cristais a serem concentrados apresentam porosidade elevada e granulação tipicamente inferior a 70 $\mu$ m, para GAP de 3,8mm e 45 $\mu$ m para GAP de 2,5mm.

Minérios tipicamente especularíticos tendem a apresentar quartzo com inclusões de hematita. Este tipo de associação faz com que o quartzo venha a ser recuperado para o concentrado no caso de concentração magnética de intensidade alta de campo.

Na prática industrial observa-se o arraste de partículas de baixa susceptibilidade magnética para o produto magnético em função de associações minerais com a magnetita e “engaiolamento”. Tem-se uma quantidade significativa de hematita no produto magnético de média intensidade em função da associação de partículas minerais com magnetita e de arraste mecânico.

A presença de quartzo para o produto magnético ocorre mais freqüentemente, na concentração de intensidade média de campo, para partículas de tamanho entre 0,71 e 0,15mm. Na concentração de intensidade alta de campo, observa-se que o arraste está presente, mas a concentração de quartzo guarda uma correlação direta com a quantidade de quartzo presente na alimentação dos equipamentos.

Queiroz (2008) afirma também que o mineral magnetita, apesar de ser o produto da alteração da magnetita pelo processo de magnetização, não apresenta magnetismo residual (salvo nas situações em que a magnetita relictual está presente), comportando-se como a hematita. A maior diferença em relação à hematita é que as partículas menores são mais difíceis de serem recuperadas mesmo em campos magnéticos de alta intensidade, em função da porosidade intrínseca do seu cristal.

### **3.10.3 Flotação de Minérios de Ferro Anfíbolíticos**

Muitos estudos têm sido feitos com o objetivo de avaliar o desempenho na flotação de minérios de ferro anfíbolíticos. Como por exemplo, Silva (1995) realizou estudos de

flotação com amostras de itabiritos anfibolíticos provenientes da região de Timbopeba. Os reagentes utilizados foram amido (depressor) e amina (coletor). A polpa apresentou concentração inicial de sólidos de 60% em massa e pH 10. Esses estudos tiveram como objetivo avaliar a possibilidade de flotação do anfibólio. As análises em microsonda eletrônica e difratometria de raios x nestes estudos identificaram a variedade cummingtonita nas amostras. O anfibólio apresentou massa inferior a 1 % e mostrou-se preservado em quantidades menores e frequentemente incluso em quartzo. A tabela III.7 mostra a análise química do anfibólio encontrado.

**Tabela III.7:** Análise Química do Anfibólio (Silva, 1995)

Anfibólio	Teores (%)								
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Cummingtonita	51,34	0,03	0,11	35,49	0,11	11,28	0,25	0,03	..... .
Cummingtonita (furo de sonda)	53,30	0,01	0,07	31,67	0,26	13,50	.....	0,03	.....

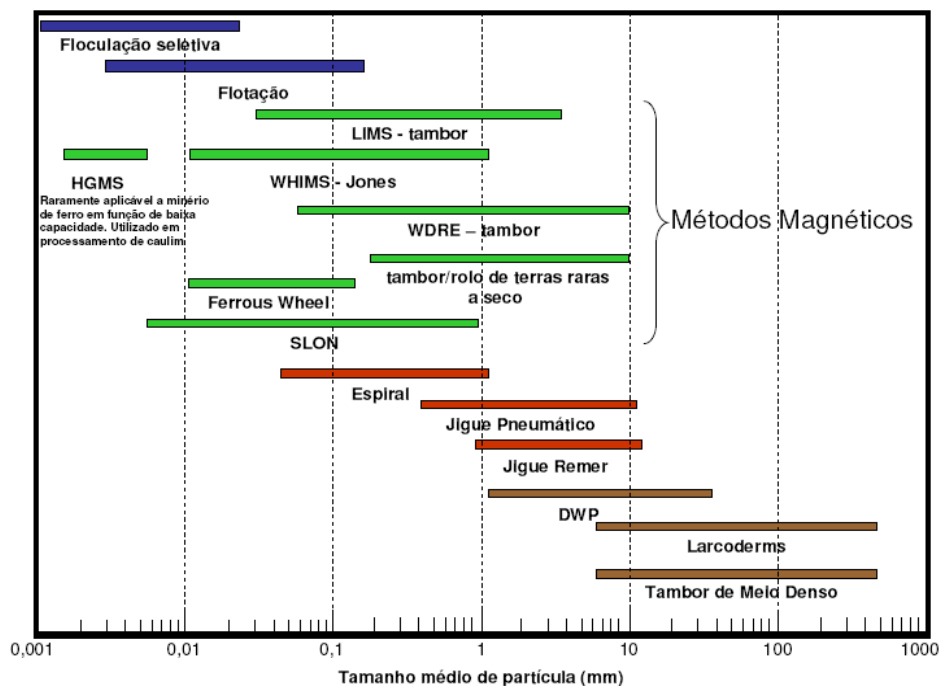
Uma avaliação visual de lupa estereoscópica indicou grande contaminação de quartzo no concentrado nos primeiros ensaios. Os resultados indicaram alto teor de sílica no concentrado. Mesmo otimizando as condições dos ensaios, o teor desejado de sílica de 0,8% não foi alcançado. A presença da cummingtonita pode ser uma das razões para a obtenção do resultado não satisfatório nos testes. Mesmo apresentando-se em pequena quantidade o anfibólio parece prejudicar a flotação, interferindo na ação do coletor e/ou do depressor.

Santos *et al.* (2009) realizaram um trabalho com testes de caracterização mineralógica, flotação e concentração magnética de amostras de minério de ferro provenientes da região norte. Os resultados revelaram a presença de vários minerais do grupo dos anfibólios. Os testes de flotação realizados conforme teste padrão para minério de ferro não foram capazes e produzir teor de sílica adequado ao concentrado, utilizando-se tentativas de super-dosagem do coletor e também de atrição prévia à deslamagem. Com base em estudo anterior com minério de ferro portador de minerais de carbonato, foram realizados testes de flotação com o uso de ácido oxálico observando uma melhoria significativa nos resultados em termos de teores de ferro e sílica no concentrado.

Atribui-se tal fato à eventual formação de compostos de cálcio e magnésio com o ácido oxálico reduzindo a ação nociva dos anfibólios.

“Embora os teores de ferro e sílica (Santos *et al.*, 2009), alcançados com o uso de ácido oxálico na flotação, ainda não sejam adequados para o mercado, o testes indicaram que existe grande potencial para otimização dos resultados, cujo teor de sílica no concentrado teve uma redução de aproximadamente 55% em relação ao teste sem ácido oxálico, devido à formação de compostos do ácido oxálico com os íons disponibilizados pelos anfibólios e a ação de remoção de eventuais lamas de óxidos de ferro da superfície das partículas de quartzo permitindo a melhor ação o coletor”.

De uma forma abrangente a figura 3.6 apresenta os métodos de concentração de minérios de ferro de acordo com suas faixas granulométricas de melhor aplicação.



**Figura 3.6:** Métodos de concentração de minérios de ferro: faixas granulométricas de melhor aplicação - LIMS = “low intensity magnetic separation”, WHIMS = “wet high intensity m.s.”, HGMS = “high gradient m.s.”, WDRE = “wet drum rare earth”, SLON = “vertical ring and pulsation high gradient m.s.” – SLON não é uma sigla.. (Modificado de Araujo *et al.*, 2008)



## **4 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)**

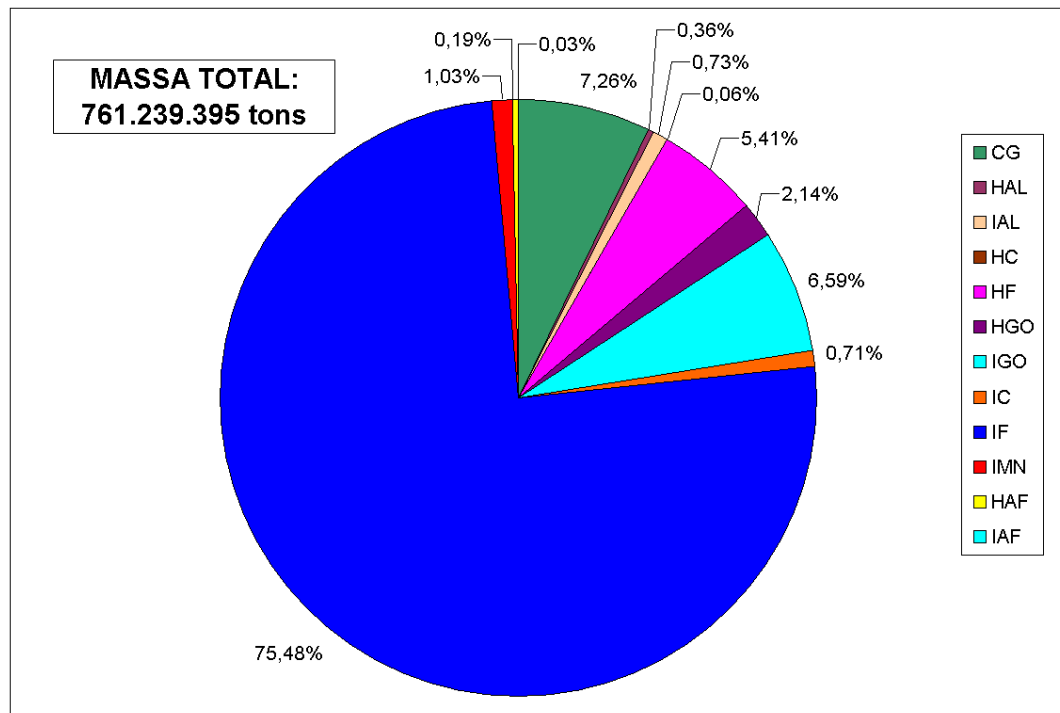
### **4.1 Caracterização Inicial das Amostras:**

No domínio da geologia regional e local afloram as principais tipologias mapeadas na mina que segundo características avaliadas visualmente e características mineralógicas, são: itabiritos friáveis (IF) e compactos (IC), hematita friável (HF), itabirito goethítico (IGO) e hematita goethítica (HGO), canga (CG), itabirito manganésífero (IMN), itabirito aluminoso (IAL) e hematita aluminosa (HAL), itabirito anfíbolítico (IAF) e hematita anfíbolítica (HAF), conforme figura 4.1. A tabela IV.1 e a figura 4.2 mostram as principais características visuais e mineralógicas destas tipologias determinadas no presente estudo e seu percentual na mina, respectivamente. A tipologia predominante constitui-se dos itabiritos friáveis totalizando 76% do total de recursos da mina de Brucutu (Endo *et al.*, 2008).



**Tabela IV.1:** Características Visuais e Mineralógicas das Tipologias

<b>Tipos</b>	<b>Características Visuais</b>	<b>Mineralogia</b>
<b>IF</b>	Coloração acinzentada, granulometria fina a média com bandamentos milimétricos a centimétricos de hematita e SiO <sub>2</sub> . Presença de sílica recristalizada, com alta liberação	Hematita, quartzo, por vezes goethita e magnetita.
<b>IC</b>	Coloração acinzentada, caracterizada por bandamentos milimétricos a centimétricos de hematita e quartzo e presença de fragmentos de hematita e quartzo de granulometria variada.	Hematita, quartzo, goethita e magnetita.
<b>IGO</b>	Rocha alterada de coloração cinza avermelhada a cinza amarelada e granulometria fina a grossa. Presença de fragmentos semi-compactados de hematita e bandamentos de hematita e goethita, com camadas milimétricas de SiO <sub>2</sub> .	Hematita, quartzo, goethita terrosa, limonita, por vezes magnetita.
<b>HGO</b>	Rocha muito hidratada evidenciada pelos níveis de limonita e goethita. Coloração vermelha acinzentada. Observam-se fragmentos semi-compactados de hematita preservados e foliação definida pelos níveis de SiO <sub>2</sub> , limonita, goethita e hematita.	Hematita, quartzo, goethita, goethita terrosa, limonita, por vezes magnetita.
<b>CG</b>	Muito alterada, de coloração variada, mas no geral acinzentada, passando para avermelhado a amarelado. Presença de boxworks, preenchidos por limonita e goethita terrosa.	Hematita, goethita, goethita terrosa, limonita, gibsita, quartzo e raramente magnetita e caulinita.
<b>IMN</b>	Rocha muito alterada de coloração cinza escuro com camadas milimétricas de sílica	Hematita, limonita, goethita, goethita terrosa, quartzo e raramente caulinita, gibsita e magnetita
<b>IAL</b>	Coloração amarela avermelhada. Ocorre porções disseminadas de hematita especular, bolsões de limonita e camadas milimétricas a centimétricas de sílica.	Hematita, limonita, goethita, goethita terrosa, quartzo, gibsita e raramente caulinita.
<b>HAL</b>	Coloração amarelada acinzentada a verde acinzentada, matriz opaca com hematita especular disseminada. Presença de bolsões de limonita e fraturas preenchidas por material ferruginoso.	Hematita, limonita, goethita, goethita terrosa, quartzo, gibsita e raramente caulinita.
<b>IAF</b>	Coloração ocre, bandamento insipiente, formados pó hematita e sílica. Observam-se estruturas aciculares e primárias preservadas (anfíbólio).	Hematita, limonita, goethita, goethita terrosa, quartzo, gibsita, caulinita e magnetita.
<b>HAF</b>	Coloração ocre, com porções acinzentadas. Presença de pequenos bolsões de sílica e estruturas aciculares primárias preservadas (anfíbólio).	Hematita, limonita, goethita, goethita terrosa, quartzo, gibsita, caulinita e magnetita.



**Figura 4.2:** Cubagem Total dos Tipos de Recursos de acordo com Cava Final da Mina de Brucutu.

## 4.2 Metodologia de Coleta das Amostras

Foram coletadas e classificadas 35 amostras, distribuídas amplamente na mina e com o objetivo de representar a diversidade tipológica da mina de Brucutu, englobando os principais aspectos geológicos e estruturais atualmente empregados pelo planejamento de mina de longo e curto prazo da Vale, respeitando parcialmente a proporção de ocorrência de cada uma (figura 4.3), mas representando todos os tipos. Todas as amostras foram fotografadas (figura 4.4) e descritas segundo critérios geológicos visuais.

As amostras foram coletadas em afloramentos e frentes expostas na mina de Brucutu, através de amostragem em canaletas cuja direção de escavação considerou a maior diversidade da litologia (perpendicular ao plano médio de mergulho das camadas).

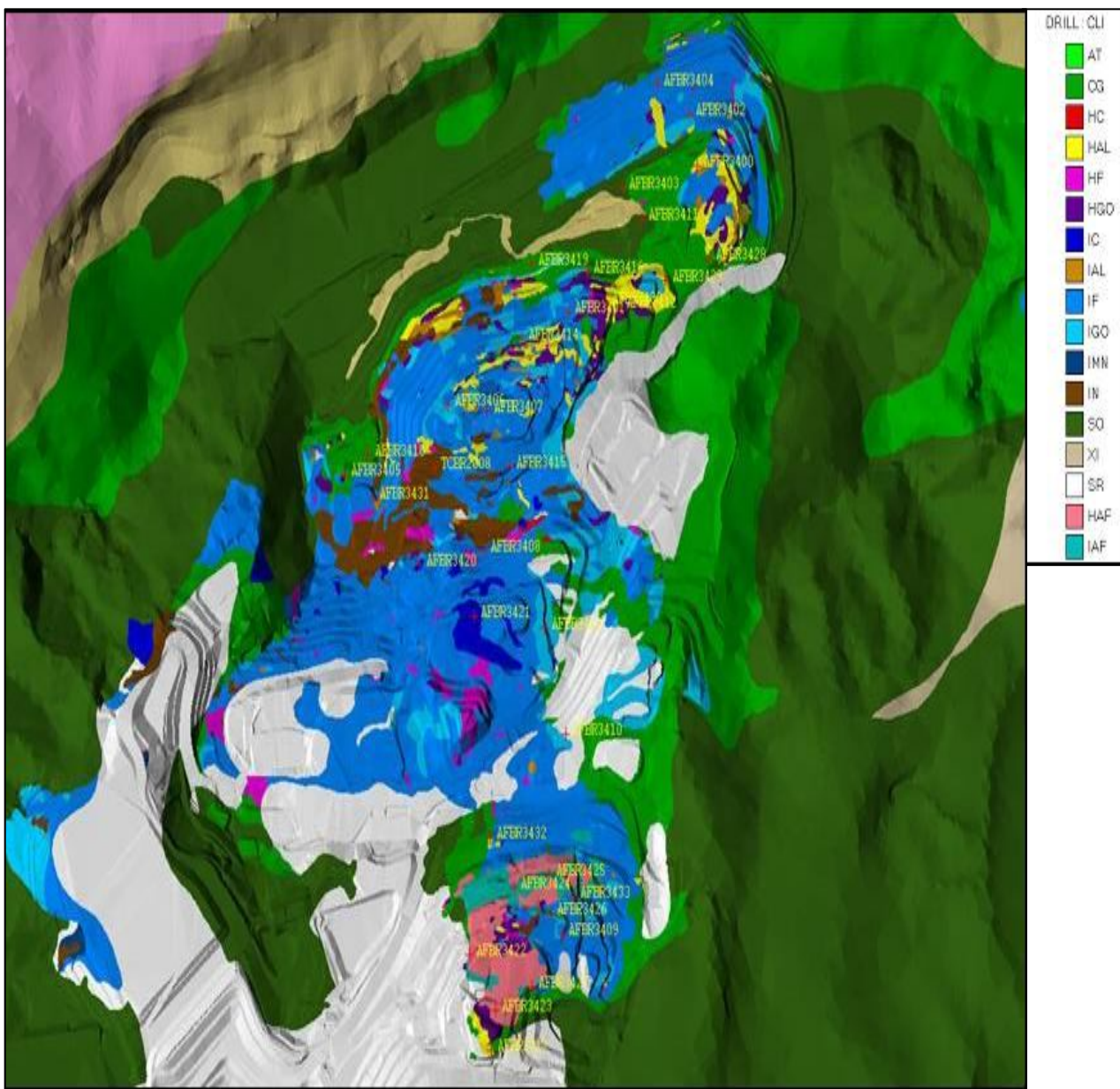
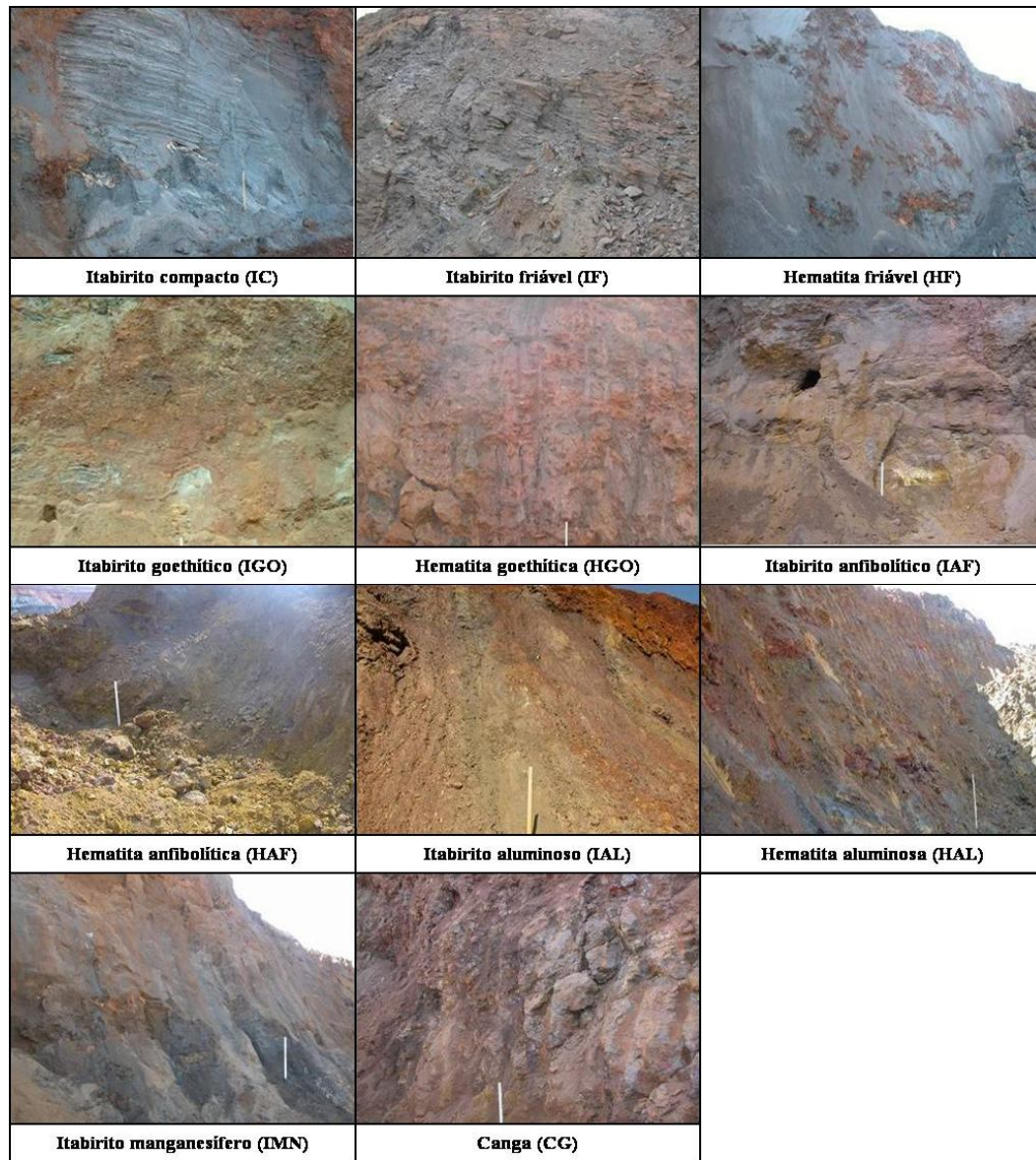


Figura 4.3 - Mapa de Localização das Amostras.



**Figura 4.4:** Fotografias das Tipologias

### 4.3 Metodologia dos Testes

#### 4.3.1 Caracterização Mineralógica

As análises mineralógicas foram realizadas em replicatas (microscópio óptico de luz refletida, modelo Leica DMLP), segundo as principais tramas e microestruturas existentes no minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, sem



considerar as associações minerais existentes (exceto para o quartzo, que foi analisado como quartzo livre e quartzo misto).

A replicação dos resultados de análise mineralógica (dez análises considerando analistas diferentes para uma mesma amostra) teve por objetivo gerar informações para estabelecer critérios de aceitação para a quantificação mineralógica.

#### **4.3.2 Caracterização Tecnológica**

Para cada amostra foi associado um teste padrão para avaliar o comportamento de cada litologia no processo de concentração. Esses testes visaram simular o processo industrial, fornecendo assim as respostas necessárias para um melhor controle operacional e subsídios para um melhor monitoramento na formação das pilhas que alimentam a instalação de beneficiamento. Todas as amostras, britadas a 8,0mm, são classificadas nas frações -8,0+1,0mm, -1,0+0,21mm, -0,21+0,075mm, -0,075+0,045mm e -0,045mm. A caracterização das amostras envolveu o conjunto de testes descritos a seguir:

- concentração gravítica em bateia a fim de simular a jigagem, de modo a separar toda as goethitas, as hematitas e o quartzo presente na amostra.

A bateia é um equipamento que realiza movimentos conjugados para frente e para trás com deslocamento lateral. Caracteriza-se por uma meia-cana alongada, de pequena profundidade e dotada de distribuidor de água em suas laterais e na parte superior (cabeceira) que é fechada, sendo que a parte inferior da meia-cana é aberta, no final.

As partículas de densidade mais elevada normalmente ficam na parte superior da bateia (constituem o concentrado), enquanto que as de menor densidade deslocam seguindo o curso de água saindo para o rejeito (parte final da bateia).

- concentração magnética estagiada.

Adotando-se abertura de matriz de 2,5mm e campos magnéticos de 2.400 e 6.000Gauss, de forma a simular a aplicação industrial dos estágios de média intensidade de campo magnético (separador tipo tambor – 6000Gauss) e alta intensidade de campo magnético

(WHIMS – 9000Gauss), objetivando separar as magnetitas/hematitas martíticas/minerais de ferro com associações de magnetita relictual e hematitas, respectivamente. A recuperação mássica poderá ser maximizada industrialmente com o aumento da intensidade de campo magnético, sem grandes impactos a qualidade do concentrado.

O teste foi realizado em concentrador magnético L-4 (INBRÁS), que possui campo magnético de alto gradiente, composto por dois pólos magnéticos de indução elétrica. Entre os pólos, é instalado um cânister que abriga a matriz de separação de minerais ferrosos que é composta de aço inoxidável magnetizável. Sobre o cânister é instalado o funil de alimentação do sistema, através do qual todo o material é canalizado para a matriz de separação. Todos os componentes são removíveis para facilitar a limpeza do conjunto, e a troca da matriz.

O procedimento de teste consiste em ligar o separador, efetuar a regulagem da voltagem e da amperagem para se alcançar a intensidade de campo desejada para o teste e aguardar 20 minutos para estabilizar.

A massa necessária ao teste deve ser dividida em alíquotas e a alimentação é gradativa nas paredes do funil com água de aspersão controlada, de maneira que as partículas não-magnéticas desçam, por gravidade, carreadas pelo fluxo de água passando pela matriz e coletadas num recipiente. As partículas magnéticas (concentrado) são coletadas em outro recipiente após a retirada do campo magnético. A operação é realizada por batelada até que toda a massa seja processada.

- Deslamagem em pH entre 9,0 e 10,0, conforme prática industrial.

A deslamagem é a operação necessária para remoção das partículas com granulometria  $< 10\mu\text{m}$  (lama), prejudicial à flotação. O objetivo é obter um produto (afundado) com no máximo 4% passante em  $10\mu\text{m}$ , medido através de granulômetro a laser.

No presente estudo a amostra a ser deslamada foi colocada num recipiente, dotado de agitação, onde a porcentagem de sólidos é ajustada. Sob agitação, o pH da polpa é ajustado com soda cáustica (NAOH). Após 5 minutos de agitação e 15 de sedimentação,



transfere-se o sobrenadante (polpa com partículas  $-10\mu\text{m}$  - lama) para outro recipiente. Esta operação é realizada em dois estágios.

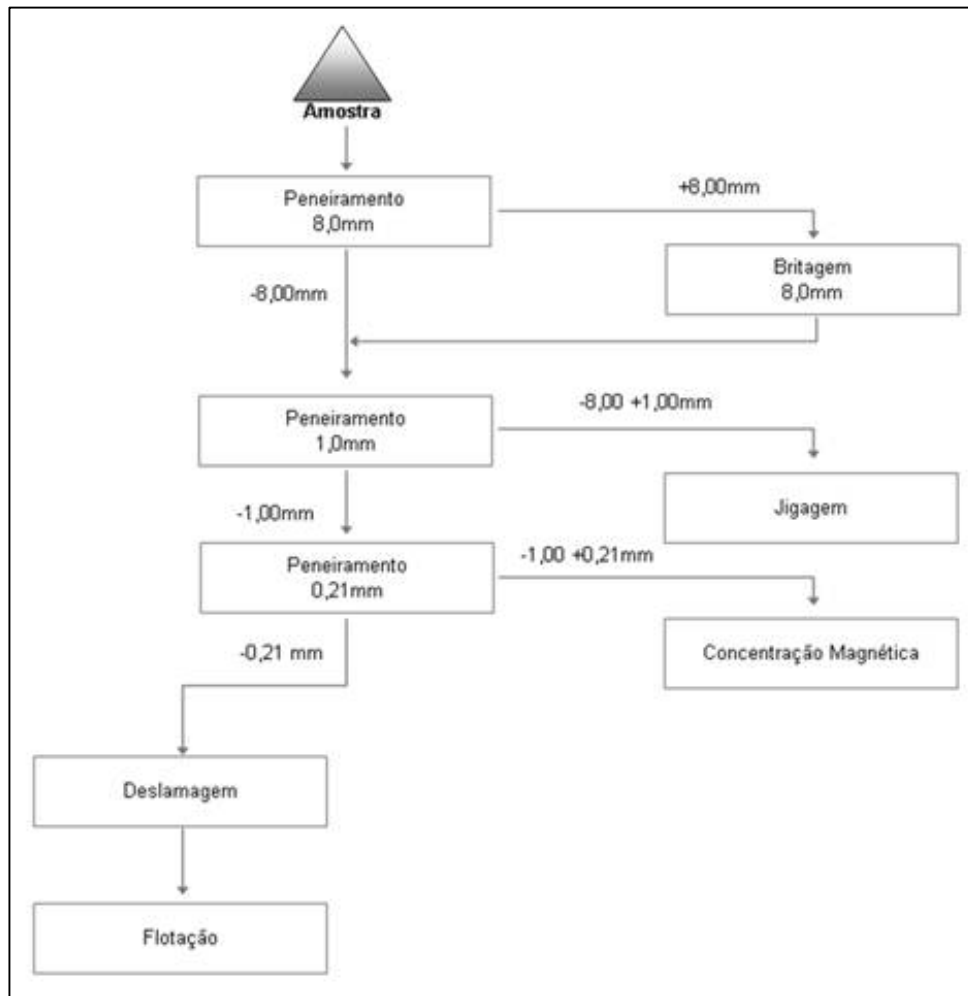
- Flotação em escala de bancada

Foi realizada utilizando como depressor amido de milho tipo “gritz” numa dosagem inicial de 600g/t em relação à alimentação e como coletor a amina EDA-C numa dosagem inicial de 250g/t, conforme parâmetros industriais usados no processo de beneficiamento de Brucutu na época da realização deste trabalho, em relação ao teor de  $\text{SiO}_2$ . A dosagem de coletor varia de acordo com o teor de  $\text{SiO}_2$  da alimentação. O pH de flotação é 10,5 e o percentual de sólidos 50%.

Após deslamagem, a amostra a ser flotada é transferida para a cuba de flotação, e é adicionada água até o nível de referência. Coloca-se a polpa em agitação, adiciona-se o depressor (amido) e o coletor (amina) nas dosagens pré-definidas. Normalmente, os tempos de condicionamento são de 3 minutos com o depressor e 1 minuto com o coletor; se necessário, faz-se o ajuste de pH.

Ao final do condicionamento, injeta-se ar para promover a coleta do material a ser flotado até a exaustão. Terminada a coleta, procede-se a filtragem e secagem dos produtos e envio destes para análise química.

A figura 4.5 apresenta o fluxograma ilustrando o processo de caracterização tecnológica das amostras.



**Figura 4.5:** Fluxograma de Caracterização Tecnológica.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultados da Caracterização Mineralógica das Amostras

As amostras selecionadas para o estudo e suas litologias são apresentadas na tabela V.1, sendo que as mesmas foram coletadas e classificadas de acordo com o planejamento de lavra de curto prazo da mina de Brucutu, compreendendo as seguintes litologias:

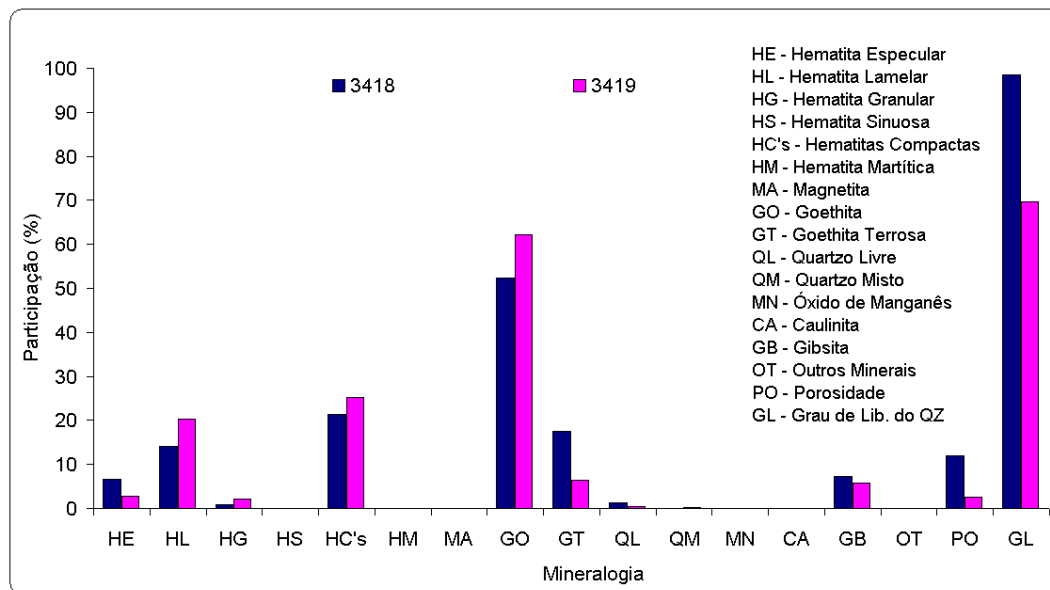
- CG – Canga;
- IF - Itabirito Friável;
- IGO - Itabirito Goethítico
- IC – Itabirito Compacto;
- IAF – Itabirito Anfíbolítico
- IAL – Itabirito Aluminoso
- IMN – Itabirito Manganésífero
- HGO – Hematita Goethítica
- HAF – Hematita Anfíbolítica
- HAL – Hematita Aluminosa

**Tabela V.1:** Amostras Coletadas

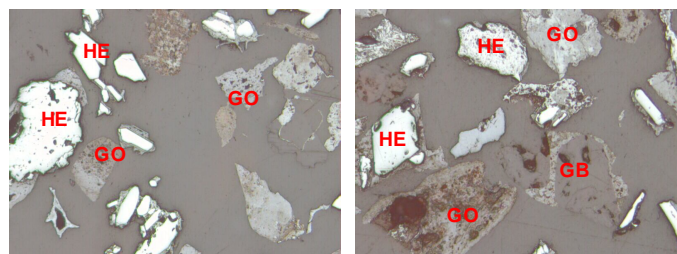
Amostra	Litologia	Amostra	Litologia
AFBR3418-BCO 1110	CG	AFBR3427-BCO 780	IAF
AFBR3419-BCO 1020	CG	AFBR3429-BCO 990	IAL
AFBR3400-BCO 1000	IF	AFBR3432-BCO 850	IAL
AFBR3401-BCO 960	IF	AFBR3433-BCO 800	IMN
AFBR3402-BCO 1040	IF	TCBR2308-BCO950-FR591	IMN
AFBR3403-BCO 1010	IF	AFBR3411-BCO 1000	HGO
AFBR3404-BCO 1050	IF	AFBR3412-BCO 970	HGO
AFBR3405-BCO 1010	IF	AFBR3416-BCO 990	HGO
AFBR3406-BCO 940	IF	AFBR3417-BCO 770	HGO
AFBR3407-BCO 930	IF	AFBR3414-BCO 960	HGO
AFBR3408-BCO 950	IF	AFBR3415-BCO 940	HGO
AFBR3409-BCO 790	IF	AFBR3422-BCO 790	HAF
AFBR3410-BCO 880	IGO	AFBR3423-BCO 770	HAF
AFBR3413-BCO 900	IGO	AFBR3424-BCO 800	HAF
AFBR3420-BCO 970	IC	AFBR3428-BCO 990	HAL
AFBR3421-BCO 890	IC	AFBR3430-BCO 960	HAL
AFBR3425-BCO 800	IAF	AFBR3431-BCO 990	HAL
AFBR3426-BCO 790	IAF		

A litologia CG (Canga) é constituída basicamente por hematitas compactas, goethita com aglomerados aluminosos (gibsíticos) livres ou nos alvéolos, associado ou permeando seus cristais; e goethita terrosa, o que explica os elevados teores de

contaminantes, principalmente,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5%), P (podendo chegar a 0,3%) e PPC (10%). Apesar do teor baixo de  $\text{SiO}_2$ , as fontes principais são o quartzo livre ou misto (nas frações mais grossas) e a goethita terrosa. A presença de  $\text{TiO}_2$  não foi identificada microscopicamente. As figuras 5.1 e 5.2 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.2 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.



**Figura 5.1:** Canga – Composição Mineralógica Global.



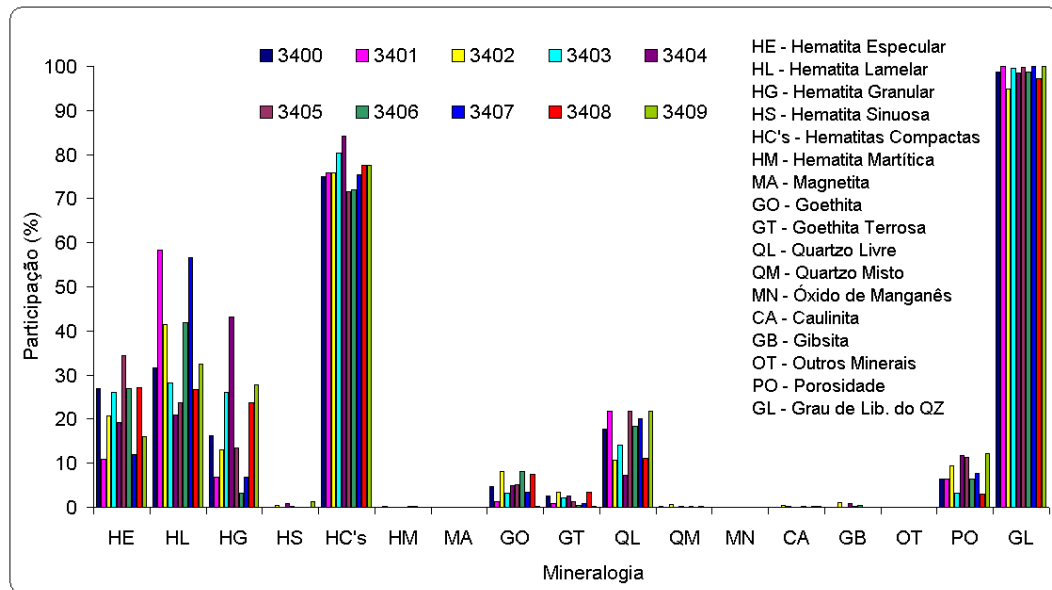
HE – Hematita, GO – Goethita, GB - Gibsita

**Figura 5.2:** Canga – Fotomicrografias.

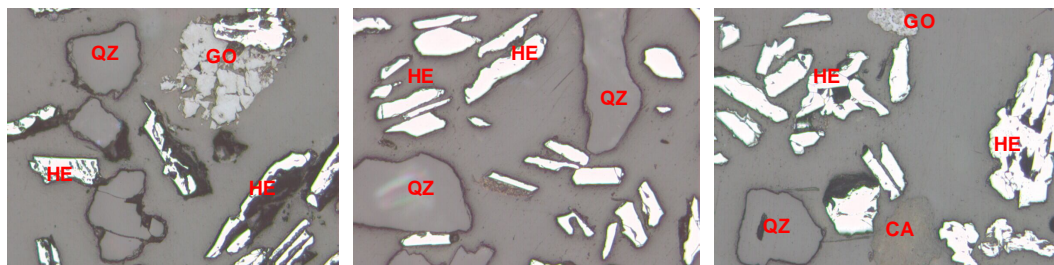
**Tabela V.2:** Canga – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3418	-8,0+1,0	36,21	11,71	10,58	0,00	0,00	22,29	0,00	0,00	50,16	17,46	1,55	0,05	0,00	0,00	8,49	0,00	37,45	97
	-1,0+0,21	6,16	2,61	10,29	2,45	0,00	15,35	0,00	0,00	57,91	15,76	3,11	0,00	0,04	0,00	7,83	0,00	16,79	100
	-0,21+0,075	19,19	7,81	18,04	1,44	0,00	27,29	0,27	0,05	47,39	17,08	1,72	0,00	0,00	0,09	6,11	0,00	2,79	100
	-0,075+0,045	12,44	4,22	20,27	0,65	0,00	25,14	0,14	0,00	58,80	9,49	0,80	0,01	0,00	0,15	5,47	0,00	2,66	99
	-0,045	26,00	0,57	13,94	1,17	0,00	15,68	0,02	0,00	54,86	22,25	0,06	0,00	0,00	0,03	7,10	0,00	0,21	100
	-0,21	57,63	3,77	16,67	1,15	0,00	21,59	0,13	0,02	53,22	17,77	0,77	0,00	0,00	0,08	6,42	0,00	1,60	100
Global	100,00	6,57	14,07	0,81	0,00	21,46	0,07	0,01	52,40	17,54	1,20	0,02	0,00	0,04	7,26	0,00	11,98	98	
3419	-8,0+1,0	27,13	3,67	21,54	4,02	0,00	29,23	0,00	0,12	60,32	3,96	0,14	0,53	0,00	0,01	5,69	0,00	4,01	21
	-1,0+0,21	10,31	5,12	22,48	2,31	0,00	29,91	0,01	0,20	58,17	5,01	2,14	0,00	0,00	0,01	4,55	0,00	3,86	100
	-0,21+0,075	23,95	4,12	31,48	2,31	0,00	37,91	0,01	0,20	51,89	4,03	0,14	0,00	0,00	0,01	5,81	0,00	3,86	100
	-0,075+0,045	8,84	2,02	24,08	0,00	0,00	26,10	0,00	0,00	67,46	1,86	0,15	0,00	0,00	0,00	4,43	0,00	0,84	100
	-0,045	29,77	0,08	8,41	0,64	0,00	9,13	0,00	0,00	71,74	12,73	0,08	0,00	0,00	0,00	6,32	0,00	0,58	100
	-0,21	62,56	1,90	19,46	1,19	0,00	22,55	0,00	0,08	63,54	7,86	0,11	0,00	0,00	0,00	5,86	0,00	1,87	100
Global	100,00	2,71	20,33	2,07	0,00	25,12	0,00	0,10	62,11	6,51	0,33	0,14	0,00	0,01	5,68	0,00	2,63	70	

A litologia itabirito friável é constituída predominantemente por cristais compactos – sem porosidade, mas também possui goethita e goethita terrosa em proporções variadas, além do quartzo livre. Praticamente não possui magnetita e a quantidade de caulinita e gibsitita é baixa, apesar da primeira contribuir bastante no teor de  $Al_2O_3$  das frações. Este é elevado somente para as frações -8,0+1,0mm e -0,045mm. O teor de  $SiO_2$  é bastante variável, sendo necessária a concentração das amostras em alguns casos, o que é possível, pois apresenta grau de liberação adequado. As principais fontes desse contaminante são o quartzo livre e a caulinita, esta principalmente abaixo da fração 0,075mm. Na fração -8,0+1,0mm a goethita terrosa também aparece como fonte de sílica. As figuras 5.3 e 5.4 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.3 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.



**Figura 5.3:** Itabirito Friável – Composição Mineralógica Global.



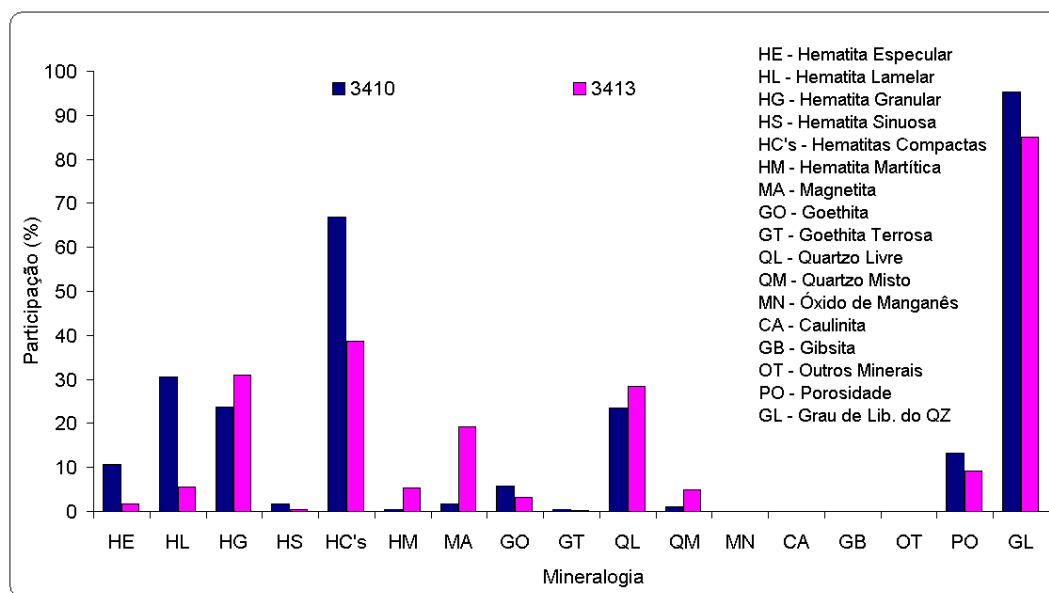
HE – Hematita, QZ – Quartzo, GO – Goethita, CA - Caulinita

**Figura 5.4 -** Itabirito Friável – Fotomicrografias.

Tabela V.3: Itabirito Friável – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																	
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL	
3400	-8,0+1,0	20,00	15,33	39,35	27,41	0,00	82,09	0,00	0,00	10,47	3,63	2,60	1,07	0,00	0,02	0,13	0,00	10,19	71	
	-1,0+0,21	19,87	20,00	42,05	10,25	0,00	72,30	0,00	0,00	2,46	1,28	23,90	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	10,65	100	
	-0,21+0,075	34,57	34,81	22,75	12,69	0,00	70,25	0,00	0,00	1,99	0,21	27,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,01	100	
	-0,075+0,045	14,28	37,52	27,21	16,41	0,00	81,14	0,00	0,06	3,07	0,65	15,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,10	100	
	-0,045	11,27	23,01	32,55	18,21	0,00	73,77	0,00	0,00	8,11	11,73	6,12	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	1,43	100	
	-0,21	60,13	33,24	25,65	14,61	0,00	73,50	0,00	0,01	3,39	2,47	20,57	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	4,70	100	
Global	100,00	27,03	31,65	16,30	0,00	74,98	0,00	0,01	4,62	2,47	17,64	0,21	0,00	0,01	0,06	0,00	6,48	99		
3401	-8,0+1,0	6,60	8,46	36,91	32,71	0,00	78,08	0,87	0,42	6,79	2,81	10,97	0,00	0,00	0,04	0,02	0,00	14,29	100	
	-1,0+0,21	15,23	9,69	21,63	8,25	0,00	39,57	0,11	0,01	3,67	0,92	55,68	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	12,22	100
	-0,21+0,075	39,88	17,53	53,77	3,80	0,00	75,10	0,02	0,00	0,11	0,26	24,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,62	100	
	-0,075+0,045	22,33	6,42	78,66	5,09	0,00	90,17	0,17	0,00	0,11	0,19	9,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	100	
	-0,045	15,95	2,57	84,65	4,56	0,00	91,78	0,06	0,00	1,49	2,50	3,97	0,00	0,00	0,17	0,04	0,00	0,53	100	
	-0,21	78,17	11,30	67,18	4,32	0,00	82,81	0,07	0,00	0,39	0,70	15,99	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	2,21	100	
Global	100,00	10,87	58,25	6,79	0,00	75,91	0,13	0,03	1,31	0,87	21,71	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	6,31	100		
3402	-8,0+1,0	24,88	6,92	45,01	22,50	0,00	74,43	0,00	0,06	18,47	3,24	0,00	1,95	0,00	0,02	1,81	0,00	31,51	0	
	-1,0+0,21	13,95	3,18	17,48	31,90	3,70	56,26	0,00	0,00	3,38	2,81	36,25	0,65	0,00	0,00	0,65	0,00	11,36	98	
	-0,21+0,075	20,10	40,14	27,87	2,90	0,00	70,91	0,00	0,08	5,92	1,26	21,19	0,01	0,08	0,35	0,19	0,00	1,65	100	
	-0,075+0,045	20,97	30,96	58,91	4,73	0,00	94,60	0,00	0,13	1,90	0,44	2,46	0,00	0,18	0,18	0,12	0,00	1,17	100	
	-0,045	20,10	20,25	49,21	7,46	0,00	76,92	0,00	0,03	6,86	8,91	4,21	0,01	0,00	1,14	1,93	0,00	1,01	100	
	-0,21	61,17	30,46	45,52	5,03	0,00	81,01	0,00	0,08	4,85	3,49	9,19	0,01	0,09	0,55	0,74	0,00	1,28	100	
Global	100,00	20,80	41,48	13,12	0,52	75,92	0,00	0,06	8,03	3,33	10,68	0,58	0,05	0,34	0,99	0,00	9,34	95		
3403	-8,0+1,0	4,01	25,43	20,36	7,35	0,00	53,14	0,00	0,00	35,90	9,34	0,00	0,84	0,00	0,64	0,14	0,00	6,57	0	
	-1,0+0,21	5,44	9,09	7,07	4,15	0,00	20,31	0,00	0,00	15,08	3,72	59,60	0,44	0,25	0,46	0,13	0,00	6,16	99	
	-0,21+0,075	39,90	25,22	21,98	31,96	0,00	79,16	0,00	0,00	0,13	0,34	20,20	0,00	0,00	0,11	0,06	0,00	0,75	100	
	-0,075+0,045	26,09	32,84	39,57	20,12	0,00	92,53	0,00	0,00	1,42	0,70	5,20	0,00	0,00	0,07	0,06	0,00	1,81	100	
	-0,045	24,56	24,19	32,39	30,72	0,00	87,30	0,00	0,00	2,02	4,99	5,52	0,00	0,00	0,11	0,06	0,00	1,25	100	
	-0,21	90,55	27,14	29,87	28,21	0,00	85,22	0,00	0,00	1,01	1,70	11,90	0,00	0,00	0,10	0,06	0,00	1,19	100	
Global	100,00	26,09	28,25	26,07	0,00	80,40	0,00	0,00	3,18	2,12	14,02	0,06	0,01	0,14	0,07	0,00	3,31	100		
3404	-8,0+1,0	22,80	6,93	15,84	49,99	3,46	76,22	0,00	0,00	14,69	4,75	2,07	0,42	0,00	0,23	1,63	0,00	34,40	83	
	-1,0+0,21	11,44	7,82	18,78	41,93	0,81	69,34	0,00	0,00	4,55	1,32	24,70	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	20,64	100	
	-0,21+0,075	22,73	15,68	11,99	51,79	0,00	79,46	0,00	0,00	2,58	2,83	14,06	0,00	0,11	0,09	0,06	0,00	2,06	100	
	-0,075+0,045	22,73	44,86	32,11	20,33	0,00	97,30	0,00	0,00	0,49	0,00	1,95	0,06	0,00	0,00	0,20	0,00	0,97	97	
	-0,045	20,30	14,31	25,21	52,23	0,00	91,75	0,00	0,00	1,31	3,82	1,38	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	1,15	100	
	-0,21	65,76	25,34	23,03	41,05	0,00	89,42	0,00	0,00	1,47	2,16	5,96	0,02	0,04	0,03	0,63	0,00	1,40	100	
Global	100,00	19,14	20,90	43,19	0,88	84,11	0,00	0,00	4,83	2,65	7,22	0,11	0,03	0,07	0,79	0,00	11,84	99		
3405	-8,0+1,0	4,50	30,42	26,29	21,94	2,38	81,03	0,00	0,00	7,91	4,42	5,48	0,79	0,00	0,00	0,38	0,00	21,96	87	
	-1,0+0,21	23,13	30,07	21,62	16,67	0,00	68,36	0,00	0,16	4,06	0,05	26,63	0,09	0,00	0,42	0,23	0,00	12,36	100	
	-0,21+0,075	54,86	40,21	20,69	10,40	0,00	71,30	0,00	0,00	4,48	0,33	23,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,95	100	
	-0,075+0,045	11,67	26,49	36,78	13,87	0,48	77,62	0,00	0,00	6,28	0,72	15,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,73	100	
	-0,045	5,84	14,84	31,68	20,98	0,00	67,50	0,00	0,00	9,42	13,04	6,85	0,00	0,00	0,00	3,20	0,00	5,63	100	
	-0,21	72,37	35,95	24,17	11,81	0,08	72,01	0,00	0,00	5,17	1,42	21,14	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	8,49	100	
Global	100,00	34,34	23,68	13,39	0,16	71,57	0,00	0,04	5,04	1,24	21,71	0,06	0,00	0,10	0,26	0,00	11,33	100		
3406	-8,0+1,0	18,60	34,03	23,19	12,39	0,00	69,61	0,00	0,00	25,63	0,55	2,64	1,18	0,00	0,00	0,41	0,00	19,96	69	
	-1,0+0,21	10,97	20,62	28,42	4,16	0,00	53,20	1,49	0,00	14,66	0,87	29,04	0,04	0,00	0,23	0,46	0,00	10,89	100	
	-0,21+0,075	38,96	36,05	32,33	0,43	0,00	68,81	0,00	0,00	2,19	0,12	28,74	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,32	100	
	-0,075+0,045	17,98	14,59	68,10	0,83	0,00	83,52	0,00	0,00	1,34	0,09	14,94	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,20	100	
	-0,045	13,49	12,19	71,35	0,78	0,00	84,32	0,00	0,00	5,21	1,58	6,00	0,00	0,00	0,21	2,61	0,00	0,30	100	
	-0,21	70,43	26,00	48,93	0,60	0,00	75,54	0,00	0,00	2,55	0,39	20,86	0,00	0,00	0,15	0,50	0,00	0,29	100	
Global	100,00	26,90	41,90	3,18	0,00	71,98	0,16	0,00	8,17	0,47	18,37	0,22	0,00	0,13	0,48	0,00	6,33	99		
3407	-8,0+1,0	1,36	4,30	29,66	34,92	0,00	68,88	0,74	0,00	19,40	2,72	7,86	0,17	0,00	0,16	0,07	0,00	11,84	98	
	-1,0+0,21	11,82	8,38	47,77	13,14	0,00	69,29	0,00	0,00	6,68	1,82	22,05	0,00	0,00	0,11	0,05	0,00	13,86	100	
	-0,21+0,075	67,85	12,58	59,16	3,01	0,00	74,75	0,11	0,00	1,32	0,36	23,40	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	9,11	100	
	-0,075+0,045	11,42	14,95	56,03	12,78	0,00	83,76	0,43	0,00	3,51	0,61	11,61	0,00	0,00	0,05	0,03	0,00	2,70	100	
	-0,045	7,56	8,01	52,70	18,66	0,00	79,37	0,00	0,00	13,92	2,59	3,51	0,00	0,00	0,44	0,17	0,00	1,39	100	
	-0,21	86,82	12,50	58,18	5,66	0,00	76,34	0,14	0,00	2,70	0,59	20,12	0,00	0,00	0,05	0,06	0,00	7,59	100	
Global	100,00	11,90	56,56	6,94	0,00	75,40	0,13	0,00	3,40	0,76	20,18	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00	7,78	100		
3408	-8,0+1,0	20,67	17,97	18,97	37,50	0,00	74,44	0,00	0,00	18,56	5,05	0,00	1,41	0,04	0,37	0,13	0,00	6,93	0	
	-1,0+0,21	19,17	15,99	20,80	28,11	0,00	64,90	0,00	0,00	11,18	4,80	18,79	0,11	0,00	0,20	0,02	0,00	2,16	99	
	-0,21+0,075	36,65	39,59	26,41	12,34	0,00	78,33	0,00	0,00	2,41	2,68	16,54	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	2,05	100	
	-0,075+0,045	9,86	26,19	36,33	25,28	0,00	87,80	0,00	0,00	3,03	1,10	7,73	0,00	0,00	0,18	0,16	0,00	1,68	100	
	-0,045	13,66	23,28	40,29	26,60	0,00	90,17	0,01	0,07	2,42	2,93	4,33	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	1,67	100	
	-0,21	60,17	33,69	31,18	17,70	0,00	82,57	0,00	0,02	2,52	2,48	12,32	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	1,91	100	
Global	100,00	27,05	26,67	23,79	0,00	77,50	0,00	0,01	7,49	3,45	11,02	0,31	0,01	0,15	0,05	0,00	2,90	97		
3409	-8,0+1,0	2,32	6,46	18,42	57,00	5,29	87,17	0,00	0,00	3,68	0,47	7,88	0,29	0,00	0,51	0,00	0,00	27,74	96	
	-1,0+0,21	6,32	2,46	7,97	22,87	10,70	44,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,21	0,00	0,00	1,79	0,00	0,00	23,29	100	
	-0,21+0,075	36,97	17,49	25,23	14,48	1														

A litologia itabirito goethítico é constituída basicamente por hematitas compactas (maior participação), magnetita (que pode não ocorrer), goethita, quartzo livre e misto (este em maior proporção nas frações mais grossas). Para a fração -8,0+1,0mm, onde seria necessária a concentração, o grau de liberação é extremamente baixo (8%), que já indica a geração de produtos com SiO<sub>2</sub> alta. Conforme esta expectativa foi confirmada posteriormente nos resultados dos ensaios tecnológicos. As figuras 5.5 e 5.6 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. É importante ressaltar que as amostras 3414 e 3415, apesar de terem sido classificadas como itabiritos goethíticos, devido a mineralogia e qualidade química foram reclassificadas para a litologia hematita goethita. A tabela V.4 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.



**Figura 5.5:** Itabirito Goethítico – Composição Mineralógica Global.



HE – Hematita, QZ – Quartzo, GO – Goethita, MA - Magnetita

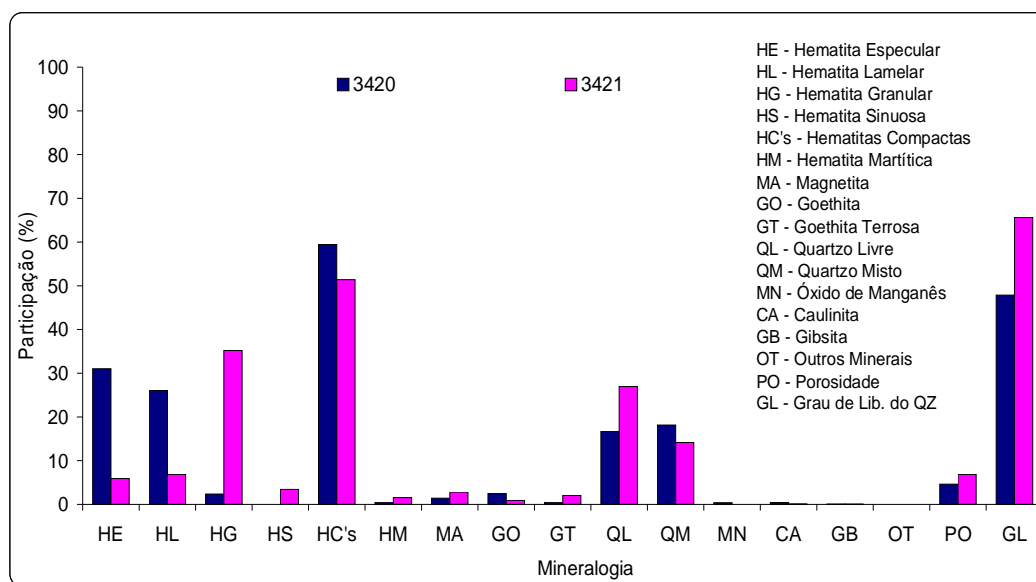
**Figura 5.6:** Itabirito Goethítico – Fotomicrografias.

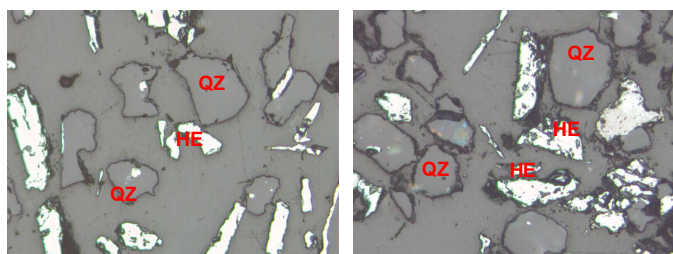


**Tabela V.4:** Itabirito Goethítico – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3410	-8,0+1,0	28,67	12,95	32,93	32,85	4,80	83,53	1,55	4,35	6,18	0,45	0,33	3,61	0,00	0,00	0,00	0,00	24,14	8
	-1,0+0,21	11,13	9,15	24,25	19,06	1,93	54,39	0,43	3,85	5,01	1,16	34,51	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	21,91	98
	-0,21+0,075	35,73	9,65	24,99	15,43	0,20	50,27	0,00	0,30	4,60	0,22	44,41	0,09	0,00	0,00	0,12	0,00	9,41	100
	-0,075+0,045	14,96	11,78	38,66	22,86	0,00	73,30	0,00	0,00	6,53	0,00	19,99	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	5,70	100
	-0,045	9,51	8,77	39,32	34,81	0,00	82,90	0,00	0,22	9,51	0,55	6,54	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	5,00	100
	-0,21	60,20	10,04	30,65	20,34	0,12	61,15	0,00	0,21	5,85	0,22	32,36	0,05	0,00	0,00	0,16	0,00	7,79	100
	Global	100,00	10,77	30,59	23,78	1,66	66,81	0,49	1,80	5,85	0,39	23,42	1,14	0,00	0,00	0,10	0,00	13,23	95
3413	-8,0+1,0	21,84	4,76	15,45	23,35	0,70	44,26	6,20	29,79	4,08	0,38	1,31	13,96	0,00	0,01	0,01	0,00	27,04	9
	-1,0+0,21	11,98	1,38	5,92	24,61	1,55	33,46	2,79	20,77	7,86	0,18	19,27	15,15	0,50	0,00	0,02	0,00	13,22	56
	-0,21+0,075	36,75	0,97	0,53	20,76	0,17	22,43	6,03	18,21	1,54	0,06	51,31	0,36	0,00	0,01	0,05	0,00	2,61	99
	-0,075+0,045	13,96	0,12	1,71	37,66	0,00	39,49	8,80	17,22	3,95	0,12	30,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00	2,11	100
	-0,045	15,46	0,23	6,58	65,14	0,52	72,47	1,30	6,98	1,20	0,18	17,73	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	1,17	100
	-0,21	66,18	0,62	2,19	34,69	0,22	37,72	5,51	15,38	1,97	0,10	38,97	0,20	0,00	0,13	0,03	0,00	2,17	99
	Global	100,00	1,61	5,54	31,01	0,48	38,64	5,33	19,17	3,14	0,17	28,38	4,99	0,06	0,09	0,02	0,00	9,23	85

A litologia itabirito compacto é constituída basicamente de hematitas compactas, quartzo livre e misto, que é o principal mineral portador de SiO<sub>2</sub>. A magnetita e hematita martítica ocorrem em menor proporção, bem como as goethitas. Em geral possui baixo teor de contaminantes. As figuras 5.7 e 5.8 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.5 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.

**Figura 5.7:** Itabirito Compacto – Composição Mineralógica Global.



HE – Hematita, QZ – Quartzo

**Figura 5.8:** Itabirito Compacto – Fotomicrografias.**Tabela V.5:** Itabirito Compacto – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3420	-8,0+1,0	24,98	30,86	19,20	1,73	0,00	51,79	0,00	0,65	5,69	0,71	9,96	30,35	0,00	0,85	0,00	0,00	17,07	25
	-1,0+0,21	16,48	34,29	18,52	1,95	0,00	54,76	1,36	1,29	0,82	0,30	33,56	7,86	0,00	0,05	0,00	0,00	0,74	81
	-0,21+0,075	43,90	32,60	25,78	2,78	0,00	61,16	0,57	2,28	1,35	0,48	12,55	20,60	0,67	0,25	0,09	0,00	4,39	38
	-0,075+0,045	8,31	26,80	42,24	2,10	0,22	71,36	0,18	0,55	0,68	0,20	24,07	2,32	0,21	0,19	0,24	0,00	0,47	91
	-0,045	6,32	17,50	53,07	3,40	0,08	74,05	0,00	0,12	4,36	0,87	17,78	0,40	1,23	0,98	0,21	0,00	0,44	98
	-0,21	58,54	30,15	31,06	2,75	0,04	64,00	0,45	1,80	1,58	0,48	14,75	15,82	0,67	0,32	0,12	0,00	3,41	48
Global	100,00	31,01	26,03	2,36	0,02	59,43	0,49	1,43	2,48	0,51	16,65	18,14	0,39	0,41	0,07	0,00	4,62	48	
3421	-8,0+1,0	30,37	2,27	4,05	37,24	10,30	53,86	3,31	5,26	0,65	3,68	0,00	33,18	0,00	0,04	0,02	0,00	12,47	0
	-1,0+0,21	8,39	3,10	5,12	24,55	3,48	36,25	4,90	8,59	0,91	1,73	0,58	46,97	0,00	0,03	0,04	0,00	9,75	1
	-0,21+0,075	41,67	8,53	7,41	31,68	0,06	47,68	0,10	0,53	1,02	1,24	48,91	0,29	0,00	0,14	0,09	0,00	5,74	99
	-0,075+0,045	11,25	9,25	12,18	35,12	0,00	56,55	0,64	1,83	0,81	1,20	38,90	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	2,78	100
	-0,045	8,32	4,15	9,14	56,11	0,00	69,40	0,25	0,87	1,65	1,61	25,98	0,00	0,00	0,17	0,07	0,00	3,59	100
	-0,21	61,25	8,07	8,52	35,63	0,04	52,26	0,22	0,82	1,07	1,28	43,95	0,20	0,00	0,13	0,07	0,00	4,90	100
Global	100,00	5,89	6,88	35,19	3,44	51,40	1,55	2,82	0,93	2,05	28,97	14,14	0,00	0,09	0,06	0,00	6,87	66	

A litologia itabirito anfíbolítico é constituída basicamente por hematita martítica, goethita e goethita terrosa o que explica os altos teores de contaminantes como  $Al_2O_3$  (superior a 1,2%), P (superior a 0,14%) e PPC; e hematitas compactas principalmente abaixo da fração 0,21mm. Apenas a amostra 3426 apresentou teor significativo de magnetita. A principal fonte de  $SiO_2$  é o quartzo livre e misto (este presente principalmente na fração -8,0+1,0mm), podendo ter contribuição da caulinita que ocorre em menor proporção. As figuras 5.9 e 5.10 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.6 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.

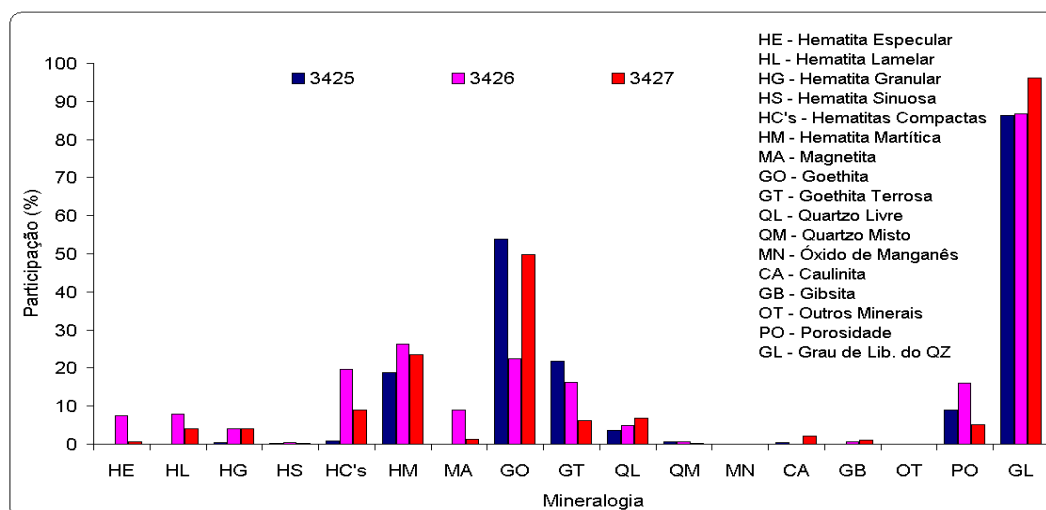
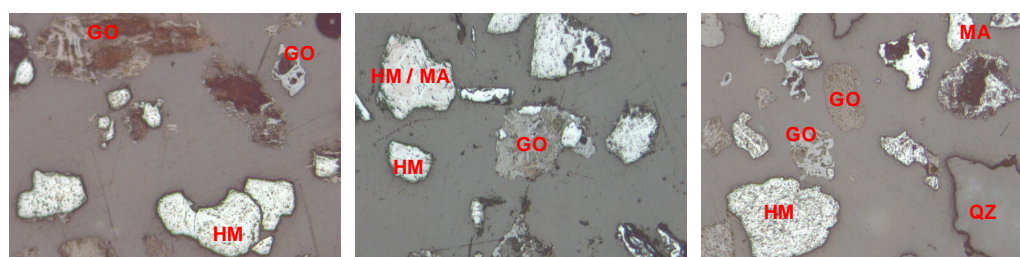


Figura 5.9: Itabirito Anfibolítico – Composição Mineralógica Global.



HM – Hematita Martítica, QZ – Quartzo, GO – Goethita, MA - Magnetita

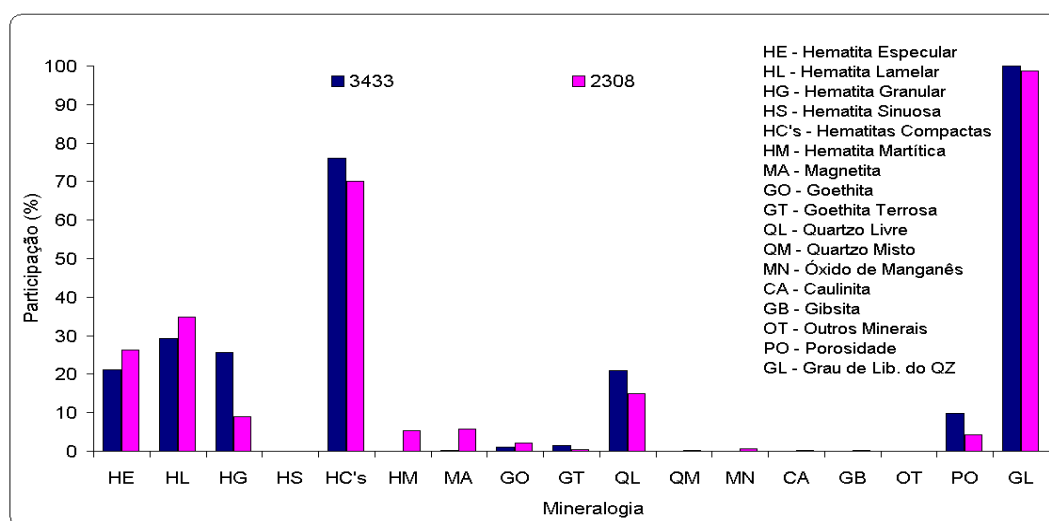
Figura 5.10: Itabirito Anfibolítico – Fotomicrografias.

Tabela V.6: Itabirito Anfibolítico – Composição Mineralógica por Fração

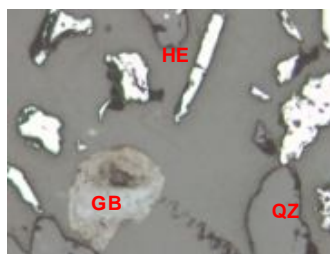
Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3425	-8,0+1,0	20,78	0,00	0,00	0,33	1,54	1,87	8,43	0,17	66,75	20,37	0,00	2,08	0,00	0,27	0,06	0,00	7,68	0
	-1,0+0,21	10,90	0,00	0,00	2,08	0,00	2,08	27,85	0,00	50,26	16,28	1,87	1,45	0,00	0,12	0,09	0,00	6,83	56
	-0,21+0,075	15,04	0,15	0,00	0,00	0,00	0,15	48,56	0,00	22,58	16,17	11,99	0,00	0,00	0,31	0,24	0,00	10,76	100
	-0,075+0,045	6,99	0,00	0,09	0,00	0,00	0,09	34,93	0,00	39,52	14,72	10,38	0,00	0,00	0,25	0,11	0,00	13,56	100
	-0,045	46,29	0,04	0,04	0,27	0,00	0,35	9,09	0,00	61,01	26,76	2,16	0,00	0,00	0,58	0,05	0,00	6,09	100
	-0,21	68,32	0,06	0,04	0,18	0,00	0,28	20,42	0,00	50,35	23,20	5,16	0,00	0,00	0,49	0,10	0,00	7,88	100
Global	100,00	0,04	0,02	0,42	0,32	0,81	18,74	0,04	53,75	21,86	3,73	0,59	0,00	0,40	0,09	0,00	8,98	86	
3426	-8,0+1,0	18,12	0,00	2,31	1,30	0,00	3,61	30,13	5,33	48,48	9,37	0,00	2,35	0,00	0,00	0,73	0,00	27,17	0
	-1,0+0,21	23,88	3,00	1,97	0,49	1,29	6,75	34,42	19,94	20,31	8,37	8,92	0,88	0,00	0,02	0,39	0,00	21,92	91
	-0,21+0,075	23,50	10,18	6,08	3,13	0,15	19,54	33,87	12,82	12,07	13,49	7,80	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	14,70	95
	-0,075+0,045	9,72	18,47	18,91	8,20	0,00	45,58	19,79	2,35	18,14	10,99	2,82	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	10,25	100
	-0,045	24,78	9,97	15,17	8,72	0,00	33,86	11,10	0,34	17,30	33,63	2,32	0,00	0,00	0,16	1,29	0,00	6,04	100
	-0,21	58,00	11,48	12,11	6,37	0,06	30,02	21,78	5,73	15,32	21,68	4,62	0,17	0,00	0,07	0,61	0,00	10,25	97
Global	100,00	7,37	7,91	4,05	0,34	19,68	26,31	9,05	22,52	16,27	4,81	0,73	0,00	0,04	0,58	0,00	16,02	87	
3427	-8,0+1,0	11,92	0,18	1,10	0,27	0,18	1,73	15,88	1,24	54,82	23,37	0,09	1,96	0,00	0,42	0,49	0,00	7,98	4
	-1,0+0,21	13,54	0,07	1,84	2,28	0,60	4,79	45,04	1,94	28,66	8,42	8,77	0,28	0,00	1,89	0,21	0,00	5,89	97
	-0,21+0,075	25,89	0,85	1,79	4,11	0,00	6,75	41,81	3,05	25,56	2,50	17,25	0,00	0,00	2,50	0,58	0,00	4,77	100
	-0,075+0,045	10,71	2,39	7,86	4,59	0,59	15,23	29,82	0,80	41,64	1,82	8,37	0,00	0,00	1,70	0,62	0,00	4,16	100
	-0,045	37,94	0,28	6,54	5,43	0,00	12,25	3,66	0,14	74,66	3,82	0,95	0,00	0,00	2,77	1,75	0,00	2,80	100
	-0,21	74,54	0,78	5,05	4,85	0,08	10,77	20,67	1,25	52,86	3,07	7,68	0,00	0,00	2,52	1,18	0,00	3,68	100
Global	100,00	0,61	4,15	3,96	0,17	8,88	23,40	1,34	49,82	6,22	6,92	0,27	0,00	2,19	0,97	0,00	5,12	96	

A litologia itabirito manganífero é constituída basicamente por hematitas compactas e quartzo. Os minerais portadores de manganês não foram identificados

microscopicamente. A amostra 2308 apresentou teor significativo de magnetita e hematita martítica. As figuras 5.11 e 5.12 apresentam composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.7 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.



**Figura 5.11:** Itabirito Manganêsífero – Composição Mineralógica Global.

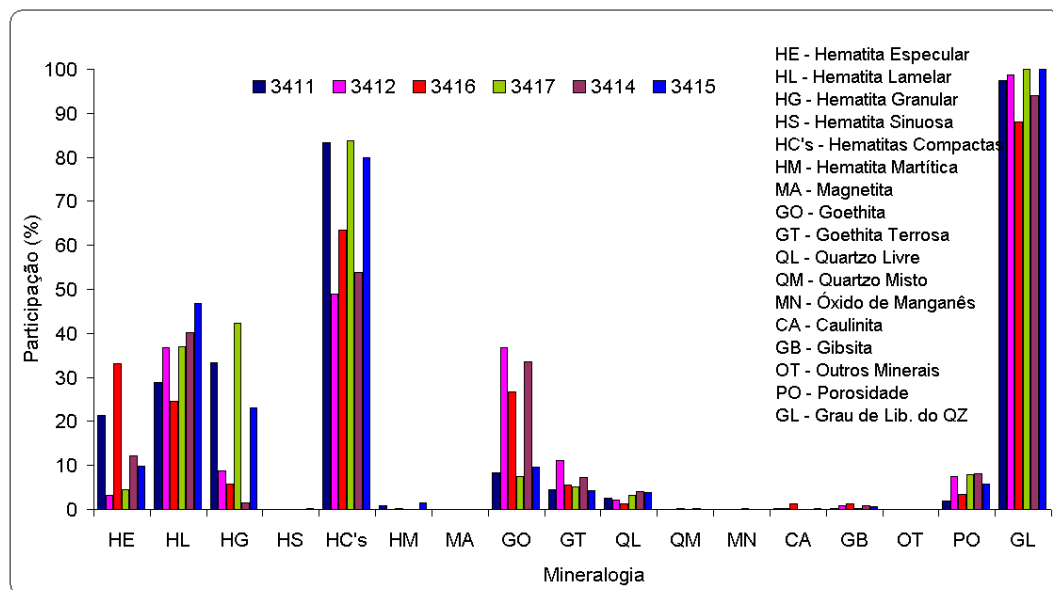


**Figura 5.12 -** Itabirito Manganêsífero – Fotomicrografias.

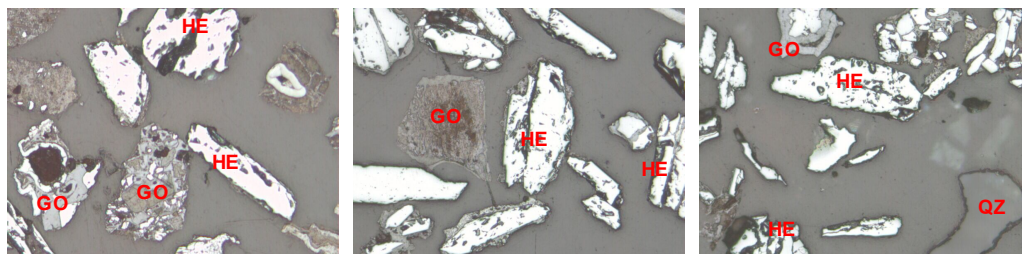
**Tabela V.7:** Itabirito Manganêsífero – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3433	-8,0+1,0	3,31	0,00	0,88	60,61	0,00	61,49	0,00	0,00	0,27	1,61	36,52	0,00	0,00	0,07	0,04	0,00	29,28	100
	-1,0+0,21	7,43	0,08	0,91	21,43	0,00	22,42	0,08	4,15	0,87	2,23	70,18	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	13,44	100
	-0,21+0,075	25,43	19,15	10,86	20,91	0,00	50,92	0,00	0,00	2,25	2,64	44,11	0,00	0,00	0,04	0,04	0,24	3,10	100
	-0,075+0,045	28,44	30,81	45,73	15,49	0,00	92,03	0,00	0,00	0,95	0,92	6,03	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00	1,49	100
	-0,045	35,39	21,05	37,78	34,91	0,00	93,74	0,00	0,00	0,61	1,16	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	100
	-0,21	89,25	23,62	32,64	24,73	0,00	81,00	0,00	0,00	1,19	1,51	16,27	0,00	0,00	0,03	0,01	0,07	2,12	100
	Global	100,00	21,09	29,23	25,68	0,00	76,00	0,01	0,31	1,13	1,56	20,95	0,00	0,00	0,03	0,02	0,06	9,85	100
2308	-8,0+1,0	20,77	6,40	12,49	12,41	0,00	31,30	15,22	16,84	0,57	0,82	35,05	0,05	0,00	0,09	0,06	0,00	15,94	100
	-1,0+0,21	14,14	5,77	26,07	14,80	0,00	46,64	13,72	11,18	1,44	0,50	25,14	0,27	0,55	0,24	0,32	0,00	3,18	99
	-0,21+0,075	42,25	42,09	38,95	6,20	0,00	87,24	0,59	1,23	2,00	0,30	7,19	0,36	0,60	0,18	0,32	0,00	0,95	95
	-0,075+0,045	14,19	33,58	48,48	7,70	0,00	89,76	0,00	0,59	2,30	0,34	5,01	0,05	1,44	0,38	0,13	0,00	0,43	99
	-0,045	8,64	17,49	61,43	6,15	0,00	85,07	0,00	0,00	6,89	1,06	4,46	0,02	1,47	0,87	0,16	0,00	0,63	100
	-0,21	65,09	36,97	44,01	6,52	0,00	87,50	0,38	0,93	2,71	0,41	6,35	0,25	0,90	0,32	0,26	0,00	0,79	96
	Global	100,00	26,21	34,93	8,91	0,00	70,05	5,35	5,68	2,09	0,51	14,97	0,21	0,66	0,26	0,23	0,00	4,23	99

A litologia hematita goethítica é constituída basicamente por hematitas compactas, goethita (possui aglomerados aluminosos – gibsíticos, em seus alvéolos), goethita terrosa e quartzo livre, sendo estes dois últimos os principais responsáveis pela fonte de SiO<sub>2</sub>, juntamente com a caulinita abaixo da fração 0,21mm. Possui baixo teor de SiO<sub>2</sub>, mas altos teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e os teores de P, TiO<sub>2</sub> e PPC são algumas vezes elevados. A presença do TiO<sub>2</sub> não foi identificada microscopicamente. As amostras 3414 e 3415 foram reclassificadas para esta litologia por serem semelhantes mineralógica e quimicamente às amostras desse grupo. As figuras 5.13 e 5.14 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.8 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.



**Figura 5.13:** Hematita Goethítica – Composição Mineralógica Global.



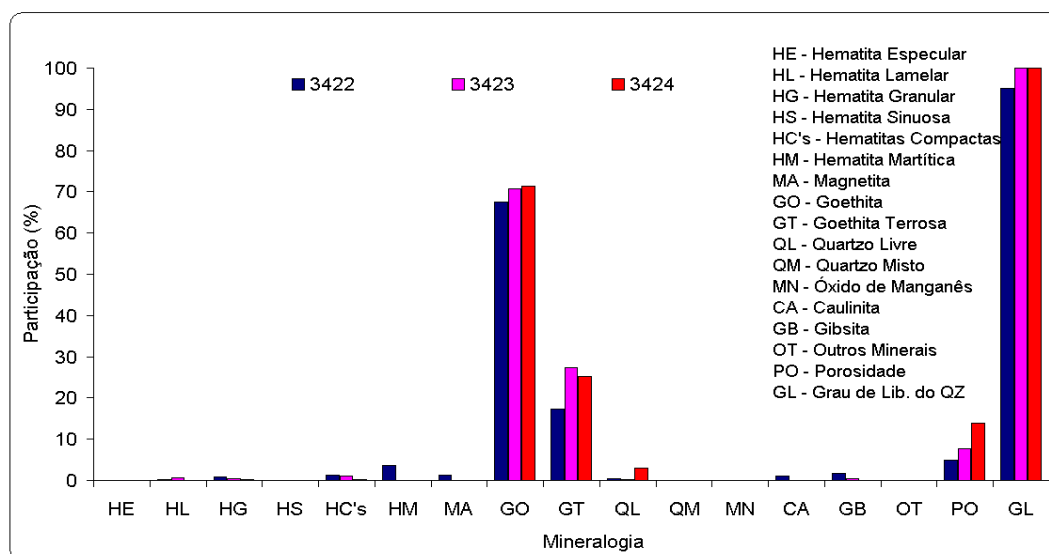
HE – Hematita, QZ – Quartzo, GO – Goethita, MA - Magnetita

**Figura 5.14:** Hematita Goethítica – Fotomicrografias.

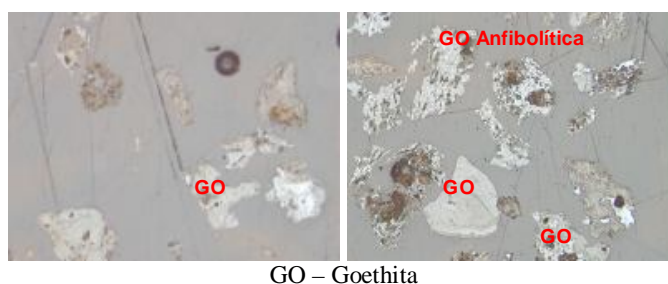
**Tabela V.8: Hematita Goethítica – Composição Mineralógica por Fração**

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3411	-8,0+1,0	19,00	26,80	17,39	26,89	0,00	71,08	3,76	0,00	13,25	9,73	1,26	0,35	0,00	0,00	0,57	0,00	4,12	78
	-1,0+0,21	24,24	17,92	25,91	35,53	0,00	79,36	0,24	0,00	10,48	4,50	5,39	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	1,27	100
	-0,21+0,075	34,94	23,36	30,75	34,62	0,00	88,74	0,27	0,06	5,81	2,92	2,06	0,00	0,00	0,09	0,04	0,00	1,60	100
	-0,075+0,045	9,23	18,89	36,29	35,23	0,00	90,41	0,48	0,00	5,60	2,57	0,75	0,00	0,00	0,14	0,05	0,00	1,88	100
	-0,045	12,61	16,32	40,32	33,46	0,00	90,10	0,00	0,00	5,13	2,08	1,09	0,00	0,00	0,54	1,06	0,00	1,10	100
	-0,21	56,77	21,07	33,78	34,46	0,00	89,31	0,25	0,04	5,63	2,68	1,63	0,00	0,00	0,20	0,27	0,00	1,53	100
Global	100,00	21,40	28,76	33,28	0,00	83,44	0,91	0,02	8,25	4,46	2,47	0,07	0,00	0,12	0,26	0,00	1,99	97	
3412	-8,0+1,0	33,00	2,16	30,81	3,90	0,00	36,87	0,00	0,00	40,49	17,80	2,99	0,08	0,00	0,12	1,65	0,00	11,60	97
	-1,0+0,21	13,66	0,89	18,09	11,03	0,00	30,01	0,00	0,00	43,10	19,12	6,14	0,00	0,00	0,10	1,53	0,00	11,47	100
	-0,21+0,075	15,46	11,25	37,01	17,00	0,00	65,27	0,42	0,00	29,21	3,41	0,88	0,00	0,00	0,11	0,70	0,00	6,73	100
	-0,075+0,045	10,44	2,83	68,31	8,43	0,00	79,57	0,00	0,05	16,84	3,00	0,34	0,00	0,00	0,10	0,10	0,00	4,35	100
	-0,045	27,44	1,20	41,23	9,24	0,00	51,67	0,04	0,00	41,07	6,27	0,34	0,00	0,00	0,46	0,15	0,00	2,88	100
	-0,21	53,34	4,43	45,31	11,33	0,00	61,07	0,14	0,01	32,89	4,80	0,50	0,00	0,00	0,29	0,30	0,00	4,28	100
Global	100,00	3,20	36,80	8,84	0,00	48,84	0,08	0,01	36,79	11,05	2,09	0,03	0,00	0,21	0,91	0,00	7,41	99	
3416	-8,0+1,0	41,14	39,76	12,66	4,34	0,00	56,76	0,00	0,00	30,20	8,74	0,82	0,39	0,00	1,32	1,77	0,00	7,55	68
	-1,0+0,21	17,44	34,29	22,42	8,50	0,00	65,21	0,75	0,15	22,60	5,27	4,14	0,00	0,00	0,77	1,11	0,00	4,97	100
	-0,21+0,075	23,93	34,46	37,18	7,41	0,00	79,06	0,14	0,04	16,03	1,98	0,98	0,09	0,25	0,62	0,82	0,00	1,80	92
	-0,075+0,045	7,50	24,49	42,93	5,40	0,00	72,82	0,00	0,16	22,92	1,50	0,42	0,00	0,38	1,22	0,58	0,00	1,33	100
	-0,045	9,99	6,92	33,19	2,99	0,00	43,10	0,00	0,00	48,73	4,80	0,06	0,00	0,00	2,58	0,73	0,00	1,72	100
	-0,21	41,42	26,01	37,26	5,98	0,00	69,25	0,08	0,05	25,17	2,58	0,65	0,05	0,21	1,20	0,76	0,00	1,70	93
Global	100,00	33,11	24,55	5,75	0,00	63,41	0,17	0,05	26,79	5,58	1,33	0,18	0,09	1,18	1,23	0,00	3,47	88	
3417	-8,0+1,0	32,71	4,44	20,60	54,74	0,00	79,78	0,00	0,00	8,29	8,40	3,27	0,00	0,21	0,02	0,03	0,00	12,33	100
	-1,0+0,21	8,89	0,83	22,90	37,96	0,00	61,69	0,00	0,00	12,42	7,13	18,37	0,00	0,00	0,06	0,33	0,00	11,23	100
	-0,21+0,075	22,60	8,83	41,07	39,36	0,00	89,26	0,00	0,00	6,48	1,88	1,90	0,00	0,14	0,06	0,28	0,00	9,76	100
	-0,075+0,045	17,82	4,09	58,06	33,42	0,00	95,57	0,00	0,00	2,69	1,11	0,19	0,00	0,22	0,08	0,14	0,00	5,48	100
	-0,045	17,98	1,21	47,70	33,94	0,00	82,85	0,00	0,00	9,91	6,26	0,34	0,00	0,14	0,13	0,37	0,00	0,92	100
	-0,21	58,40	5,04	48,30	35,88	0,00	89,21	0,00	0,00	6,38	2,99	0,90	0,00	0,17	0,09	0,26	0,00	5,73	100
Global	100,00	4,47	36,98	42,23	0,00	83,68	0,00	0,00	7,54	5,13	3,23	0,00	0,17	0,06	0,19	0,00	7,94	100	
3414	-8,0+1,0	23,77	14,32	25,10	0,97	0,00	40,39	0,00	0,00	41,39	16,71	0,00	0,94	0,00	0,32	0,24	0,00	25,35	0
	-1,0+0,21	14,03	9,78	18,81	2,12	0,00	30,71	0,69	0,00	43,56	11,07	12,57	0,21	0,00	0,13	1,08	0,00	13,85	98
	-0,21+0,075	28,90	19,55	53,85	1,67	0,00	75,06	0,00	0,00	16,18	1,49	6,46	0,00	0,00	0,01	0,82	0,00	0,70	100
	-0,075+0,045	14,31	7,06	69,58	4,09	0,00	80,73	0,00	0,00	16,31	0,74	1,51	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,41	100
	-0,045	18,98	4,13	31,57	0,00	0,00	35,70	0,00	0,00	55,86	6,62	0,71	0,00	0,00	0,04	1,08	0,00	0,25	100
	-0,21	62,19	11,97	50,67	1,72	0,00	64,35	0,00	0,00	28,32	2,89	3,56	0,00	0,00	0,02	0,87	0,00	0,50	100
Global	100,00	12,22	40,12	1,60	0,00	53,93	0,10	0,00	33,57	7,32	3,98	0,25	0,00	0,10	0,75	0,00	8,11	94	
3415	-8,0+1,0	22,28	5,58	33,07	26,96	0,78	66,39	0,20	0,00	19,33	9,84	3,05	0,00	0,00	0,02	1,17	0,00	13,05	100
	-1,0+0,21	25,40	6,27	32,85	32,44	0,00	71,56	4,04	0,00	11,40	5,31	7,27	0,00	0,00	0,17	0,25	0,00	11,35	100
	-0,21+0,075	32,86	18,09	63,37	11,90	0,01	93,37	0,94	0,01	1,40	0,62	3,14	0,00	0,00	0,10	0,42	0,00	2,93	100
	-0,075+0,045	10,16	7,11	61,86	25,11	0,00	94,08	0,37	0,00	2,61	1,01	1,35	0,00	0,00	0,35	0,23	0,00	1,32	100
	-0,045	9,30	3,44	43,84	24,77	0,00	72,05	0,05	0,00	19,27	4,95	1,03	0,00	0,00	1,45	1,20	0,00	0,57	100
	-0,21	52,32	13,35	59,61	16,76	0,00	89,72	0,67	0,01	4,81	1,47	2,42	0,00	0,00	0,39	0,52	0,00	2,20	100
Global	100,00	9,82	46,90	23,01	0,18	79,91	1,42	0,00	9,72	4,31	3,79	0,00	0,00	0,25	0,60	0,00	5,84	100	

A litologia hematita anfibolítica é constituída basicamente por goethita e goethita terrosa e por isso apresenta altos teores de  $Al_2O_3$ , P e PPC. A amostra 3422 apresenta hematita martítica e magnetita, bem como gibsita e caulinita. Além disso, possui alto teor de MgO (superior a 0,3%). As figuras 5.15 e 5.16 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessa litologia. A tabela V.9 apresenta a composição mineralógica, por fração, dessa litologia.



**Figura 5.15:** Hematita Anfibolítica – Composição Mineralógica Global.



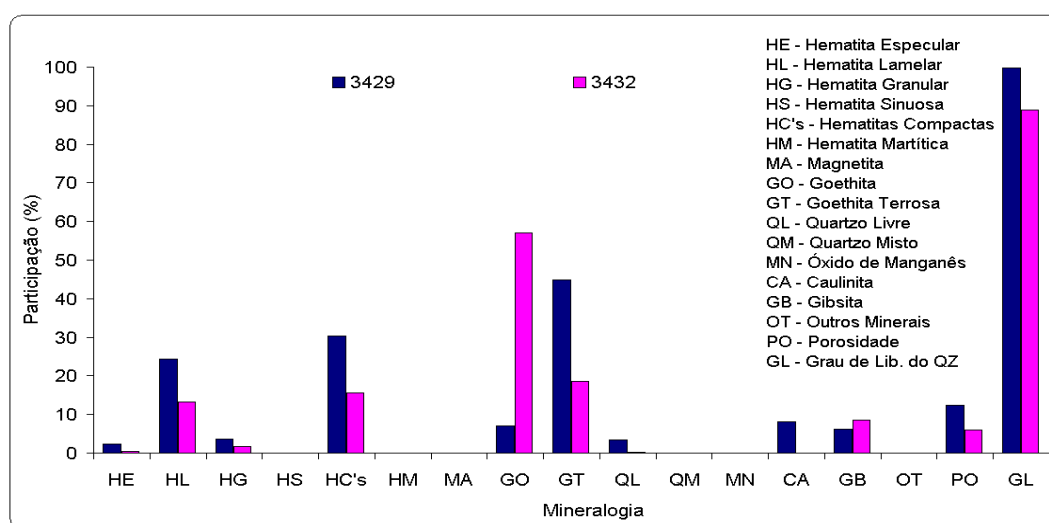
GO – Goethita

**Figura 5.16:** Hematita Anfibolítica – Fotomicrografias.

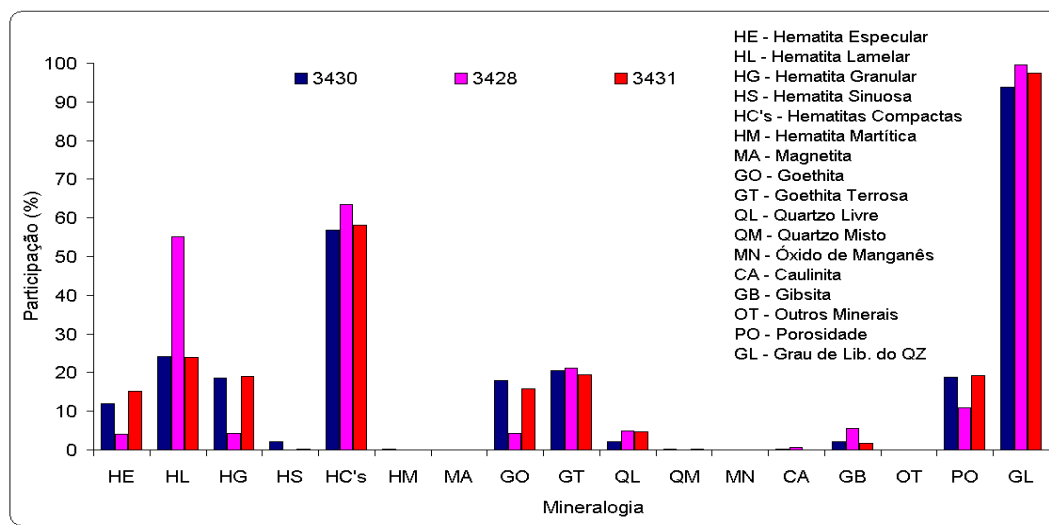
**Tabela V.9:** Hematita Anfibolítica – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3422	-8,0+1,0	5,30	0,00	0,39	0,37	0,00	0,76	18,85	12,50	33,73	23,76	1,16	0,05	0,00	3,96	5,23	0,00	8,63	96
	-1,0+0,21	5,38	0,00	0,58	1,37	0,00	1,95	22,85	8,50	41,73	16,76	3,16	0,05	0,00	1,96	3,04	0,00	6,42	98
	-0,21+0,075	7,68	0,75	1,94	2,97	0,75	6,41	17,31	2,62	55,71	14,30	2,35	0,21	0,00	0,56	0,53	0,00	3,41	92
	-0,075+0,045	5,72	0,00	0,13	0,77	0,00	0,90	0,00	0,00	77,98	18,51	0,00	0,00	0,00	0,99	1,62	0,00	1,49	0
	-0,21	89,32	0,06	0,28	0,91	0,06	1,32	1,49	0,23	71,07	16,96	0,20	0,02	0,00	0,89	1,42	0,00	1,56	92
	Global	100,00	0,06	0,30	0,91	0,06	1,32	3,56	1,32	67,51	17,31	0,41	0,02	0,00	1,11	1,71	0,00	4,99	95
3423	-8,0+1,0	19,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,67	28,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,00	24,04	0
	-1,0+0,21	4,98	0,00	0,25	4,44	1,27	5,96	0,00	0,00	70,16	22,11	0,92	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	11,73	100
	-0,21+0,075	13,09	0,15	1,03	0,44	0,00	1,62	0,00	0,00	71,48	25,11	1,20	0,00	0,00	0,00	0,59	0,00	1,52	100
	-0,075+0,045	7,10	0,05	2,71	0,95	0,00	3,71	0,52	0,00	62,84	32,15	0,76	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,63	100
	-0,045	54,91	0,01	0,37	0,10	0,00	0,48	0,00	0,00	71,80	27,28	0,02	0,00	0,00	0,00	0,42	0,00	0,25	100
	-0,21	75,10	0,04	0,71	0,24	0,00	0,98	0,05	0,00	70,90	27,36	0,30	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,51	100
Global	100,00	0,03	0,54	0,40	0,06	1,04	0,04	0,00	70,82	27,35	0,27	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	7,63	100	
3424	-8,0+1,0	7,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,59	29,54	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,91	100
	-1,0+0,21	7,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,16	19,91	4,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,32	100
	-0,21+0,075	12,27	0,48	0,00	0,38	0,00	0,86	0,40	0,00	72,17	18,84	7,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,54	100
	-0,075+0,045	8,78	0,00	0,05	0,66	0,00	0,71	0,25	0,00	68,54	21,49	9,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,66	100
	-0,045	63,95	0,00	0,00	0,12	0,00	0,12	0,00	0,00	71,63	26,95	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,71	100
	-0,21	85,00	0,07	0,01	0,21	0,00	0,29	0,08	0,00	71,39	25,22	3,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,90	100
Global	100,00	0,06	0,00	0,18	0,00	0,24	0,07	0,00	71,45	25,16	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,83	100	

As amostras que foram classificadas como aluminosas por possuírem características mineralógicas e químicas diversificadas foram reclassificadas considerando-se os minerais portadores de  $\text{SiO}_2$ , os teores de Fe e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Assim, as hematitas aluminosas possuem um baixo percentual de quartzo, caulinita e goethita terrosa (3428, 3430, 3431) comparando com as amostras que foram consideradas como itabirito aluminoso (3429 e 3432). As figuras 5.17, 5.18, 5.19 e 5.20 apresentam a composição mineralógica global e fotomicrografias típicas dessas litologias. As tabelas V.10 e V.11 apresentam a composição mineralógica, por fração, dessas litologias.

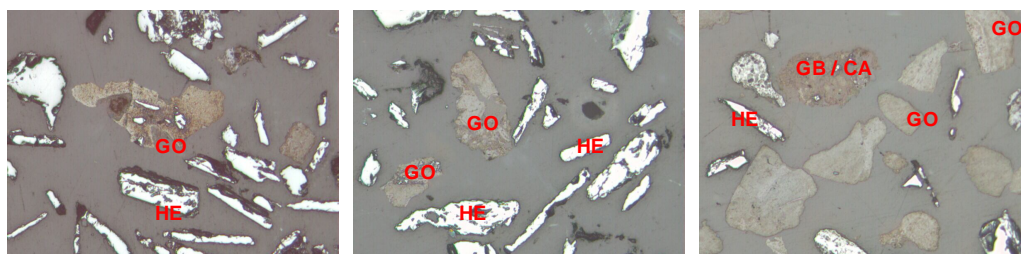


**Figura 5.17:** Itabirito Aluminoso – Composição Mineralógica Global.

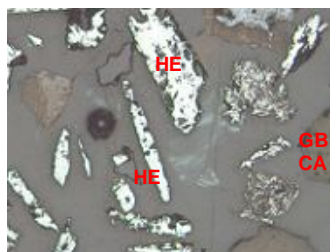


**Figura 5.18:** Hematita Aluminosa – Composição Mineralógica Global.





HE – Hematita, GO – Goethita, GB – Gibsita, CA - Caulinita

**Figura 5.19:** Hematita Aluminosa – Fotomicrografias.

HE – Hematita, GB – Gibsita, CA - Caulinita

**Figura 5.20:** Itabirito Aluminoso – Fotomicrografias.**Tabela V.10:** Itabirito Aluminoso – Composição Mineralógica por Fração

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3429	-8,0+1,0	7,63	0,19	6,25	0,44	0,00	6,88	0,00	0,00	23,49	38,46	23,51	0,02	0,00	0,20	7,44	0,00	24,49	100
	-1,0+0,21	3,90	0,00	4,21	5,16	0,00	9,37	0,00	0,00	32,75	27,41	23,61	0,05	0,00	1,21	5,60	0,00	15,18	100
	-0,21+0,075	12,99	13,45	54,70	6,58	0,00	74,73	0,17	0,03	10,37	8,97	3,05	0,02	0,00	1,40	1,26	0,00	9,00	99
	-0,075+0,045	13,58	4,14	81,26	4,44	0,00	89,84	0,14	0,02	3,51	4,22	0,81	0,00	0,00	0,25	1,21	0,00	10,16	100
	-0,045	61,89	0,00	8,89	3,23	0,00	12,12	0,00	0,00	3,36	63,18	0,38	0,00	0,00	12,77	8,19	0,00	3,49	100
	-0,21	88,46	2,61	26,73	3,91	0,00	33,25	0,05	0,01	4,41	46,17	0,84	0,00	0,00	9,18	6,10	0,00	5,32	100
Global	100,00	2,32	24,29	3,69	0,00	30,30	0,04	0,01	6,97	44,85	3,46	0,01	0,00	8,18	6,18	0,00	12,46	100	
3432	-8,0+1,0	28,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	56,00	33,30	0,00	0,00	0,00	0,00	10,70	0,00	20,97	0
	-1,0+0,21	20,14	0,00	3,34	1,27	0,00	4,61	0,00	0,00	70,94	15,48	0,57	0,00	0,00	0,02	8,38	0,00	7,35	100
	-0,21+0,075	11,32	2,48	21,03	3,02	0,00	26,53	0,38	0,00	56,84	10,16	1,16	0,27	0,00	0,00	4,66	0,00	0,70	81
	-0,075+0,045	8,86	1,87	46,34	6,49	0,00	54,70	0,00	0,00	35,77	5,95	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,57	0
	-0,045	30,97	0,27	19,85	2,03	0,00	22,15	0,00	0,00	55,31	13,34	0,00	0,00	0,00	0,00	9,20	0,00	0,50	0
	-0,21	51,15	1,04	24,70	3,02	0,00	28,76	0,08	0,00	52,26	11,36	0,26	0,06	0,00	0,00	7,22	0,00	0,56	81
Global	100,00	0,53	13,31	1,80	0,00	15,64	0,04	0,00	57,10	18,49	0,25	0,03	0,00	0,00	8,45	0,00	6,02	89	

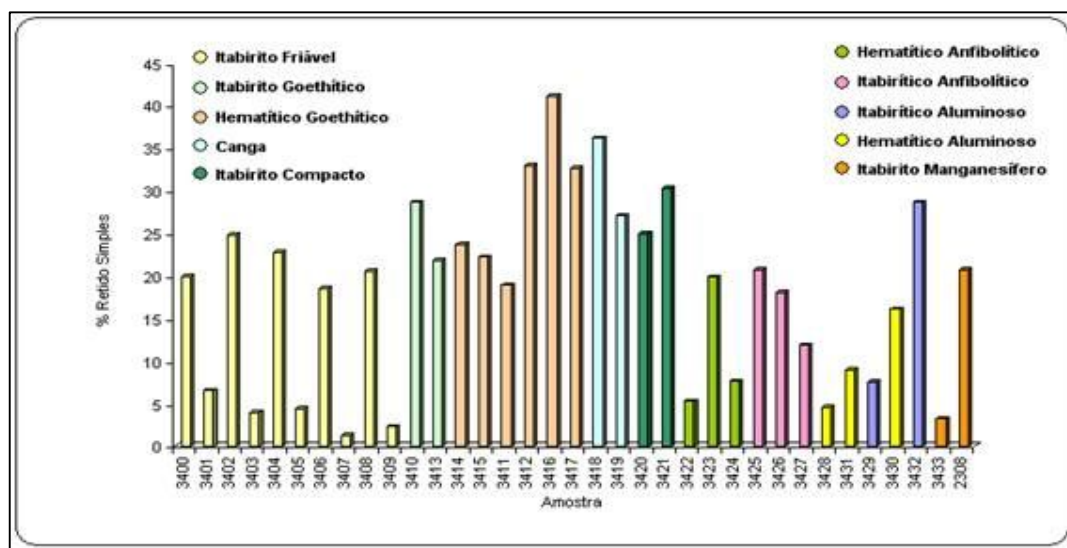
**Tabela V.11: Hematita Aluminosa – Composição Mineralógica por Fração**

Amostra	Fração (mm)	% Retido Simples	Quantificação Mineralógica																
			HE	HL	HG	HS	HC's	HM	MA	GO	GT	QL	QM	MN	CA	GB	OT	PO	GL
3430	-8,0+1,0	16,18	7,63	9,67	5,59	0,53	23,42	0,00	0,00	46,63	21,29	2,94	0,78	0,00	0,10	4,84	0,00	39,32	79
	-1,0+0,21	7,66	9,97	12,16	13,13	2,49	37,75	0,00	0,00	27,74	19,47	12,03	0,20	0,00	0,00	2,81	0,00	27,89	98
	-0,21+0,075	26,26	20,98	34,44	17,19	3,35	75,96	0,45	0,00	11,22	10,21	1,76	0,00	0,00	0,32	0,08	0,00	10,88	100
	-0,075+0,045	12,06	12,87	39,19	18,29	6,25	76,60	0,00	0,00	10,83	11,65	0,63	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00	10,43	100
	-0,045	37,84	7,54	21,02	26,24	0,49	55,29	0,00	0,00	10,80	30,57	0,55	0,00	0,00	0,19	2,60	0,00	5,42	100
	-0,21	76,16	13,02	28,52	21,86	2,39	65,79	0,16	0,00	10,95	20,55	0,98	0,00	0,00	0,20	1,37	0,00	8,10	100
Global	100,00	11,91	24,22	18,56	2,10	56,79	0,12	0,00	18,01	20,59	2,14	0,14	0,00	0,17	2,04	0,00	18,79	94	
3428	-8,0+1,0	4,59	1,33	15,01	0,38	0,00	16,72	0,00	0,00	44,78	22,16	9,02	0,33	0,00	0,41	6,58	0,00	31,84	96
	-1,0+0,21	2,09	3,98	15,32	5,97	0,00	25,27	0,00	0,00	31,99	22,59	15,32	0,00	0,00	0,93	3,90	0,00	16,45	100
	-0,21+0,075	19,62	10,45	82,24	2,61	0,00	95,30	0,00	0,00	1,55	2,08	0,64	0,01	0,00	0,27	0,15	0,00	3,58	98
	-0,075+0,045	15,46	3,50	89,74	3,60	0,00	96,84	0,00	0,00	0,96	1,44	0,47	0,00	0,00	0,19	0,10	0,00	2,06	100
	-0,045	38,24	1,49	34,25	5,72	0,00	41,46	0,00	0,00	0,56	38,69	8,05	0,00	0,05	0,88	10,31	0,00	0,96	100
	-0,21	73,32	4,31	58,79	4,44	0,00	67,54	0,00	0,00	0,91	21,04	4,47	0,00	0,03	0,57	5,44	0,00	1,89	100
Global	80,00	4,13	55,14	4,25	0,00	63,52	0,00	0,00	4,24	21,14	5,01	0,02	0,02	0,57	5,46	0,00	10,98	100	
3431	-8,0+1,0	9,02	7,89	10,48	10,94	0,00	29,31	0,68	0,00	35,60	16,22	12,09	1,37	0,00	0,00	4,73	0,00	40,65	90
	-1,0+0,21	9,04	8,70	8,82	10,47	1,71	29,70	0,42	0,00	33,39	12,97	23,41	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	27,17	100
	-0,21+0,075	29,66	24,50	37,30	18,22	0,00	80,02	0,00	0,00	9,51	6,36	3,21	0,00	0,00	0,15	0,75	0,00	12,00	100
	-0,075+0,045	13,50	18,56	35,41	23,25	0,00	77,22	0,00	0,27	11,85	9,06	0,99	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	9,64	100
	-0,045	38,78	10,16	16,20	21,82	0,00	48,18	0,00	0,00	13,09	35,42	1,03	0,00	0,00	0,00	2,28	0,00	6,87	100
	-0,21	81,94	16,74	27,00	20,75	0,00	64,49	0,00	0,04	11,59	20,56	1,81	0,00	0,00	0,05	1,45	0,00	9,18	100
Global	100,00	15,21	23,87	18,94	0,15	58,17	0,10	0,04	15,73	19,48	4,69	0,12	0,00	0,04	1,63	0,00	19,27	97	

## 5.2 Resultados da Caracterização Tecnológica das amostras

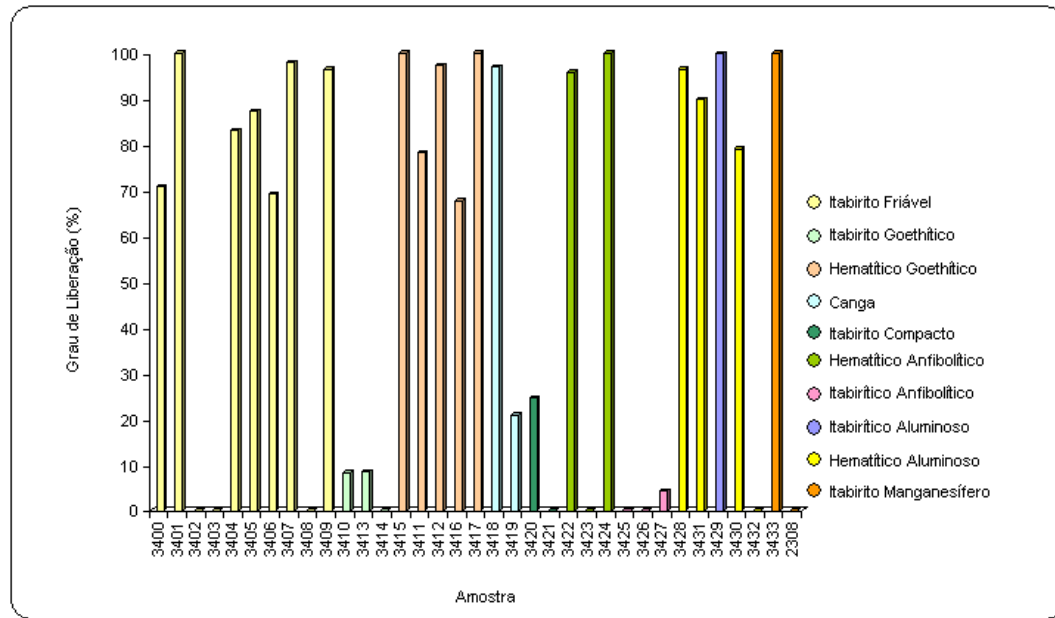
### 5.2.1 Fração -8,0+1,0mm

A figura 5.21 apresenta o percentual retido simples na fração -8,0+1,0mm das amostras estudadas, onde se observa uma heterogeneidade granulométrica entre as litologias e também dentro das mesmas. Isso impacta na produção de “sinter feed” da instalação de beneficiamento, seja como produto natural e/ou através da concentração gravítica.



**Figura 5.21: Fração -8,0+1,0mm - % Retida Simples.**

A forma em que o quartzo ocorre (mista ou livre) é bastante variável. O grau de liberação do quartzo para as amostras pobres em  $\text{SiO}_2$  influencia bastante no resultado da concentração gravítica, como mostrado na figura 5.22.



**Figura 5.22:** Fração -8,0+1,0mm – Grau de Liberação do Quartzo.

Para grande parte das amostras não há necessidade de concentração. Aquelas que foram submetidas ao processo de concentração gravítica são apresentadas na figura 5.23. A premissa para realização dos testes foi trabalhar com a recuperação mássica que garantisse a qualidade de  $\text{SiO}_2$  no concentrado próxima à atual especificação para o sinter feed ( $\% \text{SiO}_2 < 4,5$ ). A figura 5.24 representa o teor de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , por litologia, agrupando-se as amostras. Os resultados referem-se à média aritmética simples sendo somente uma macro referência para comparação dos diferentes tipos de minérios.

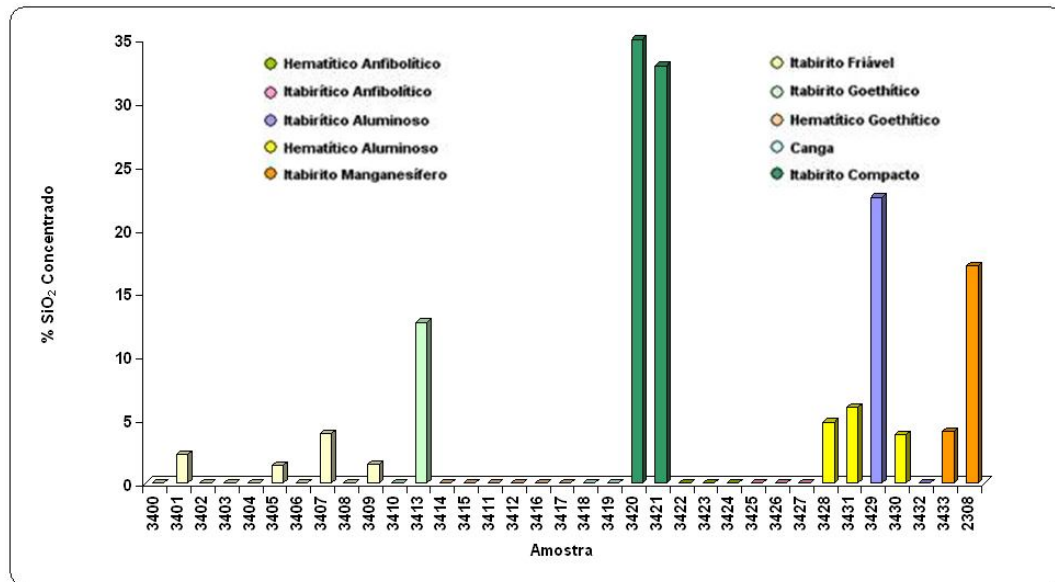


Figura 5.23: Fração -8,0+1,0mm – SiO<sub>2</sub> Concentrado.

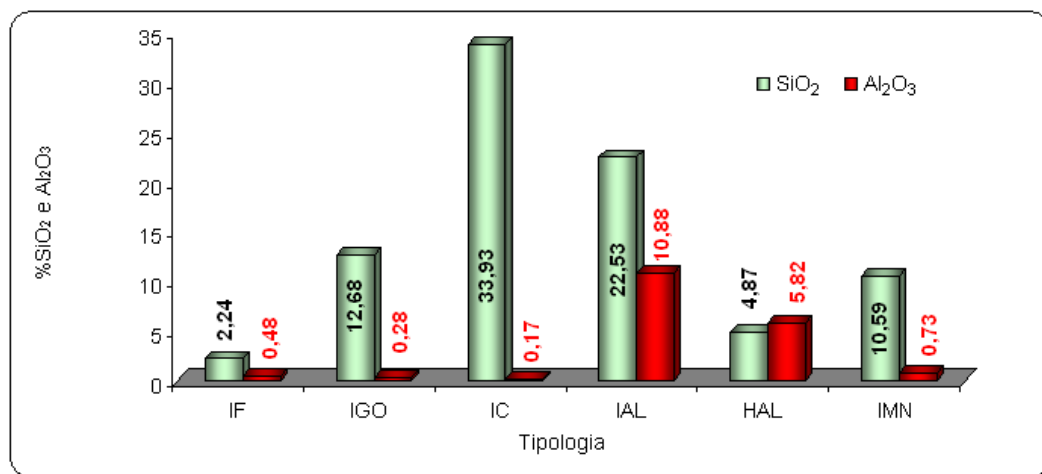
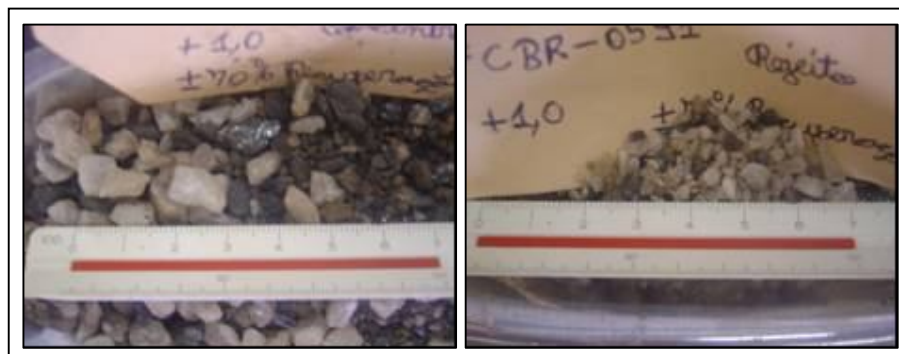


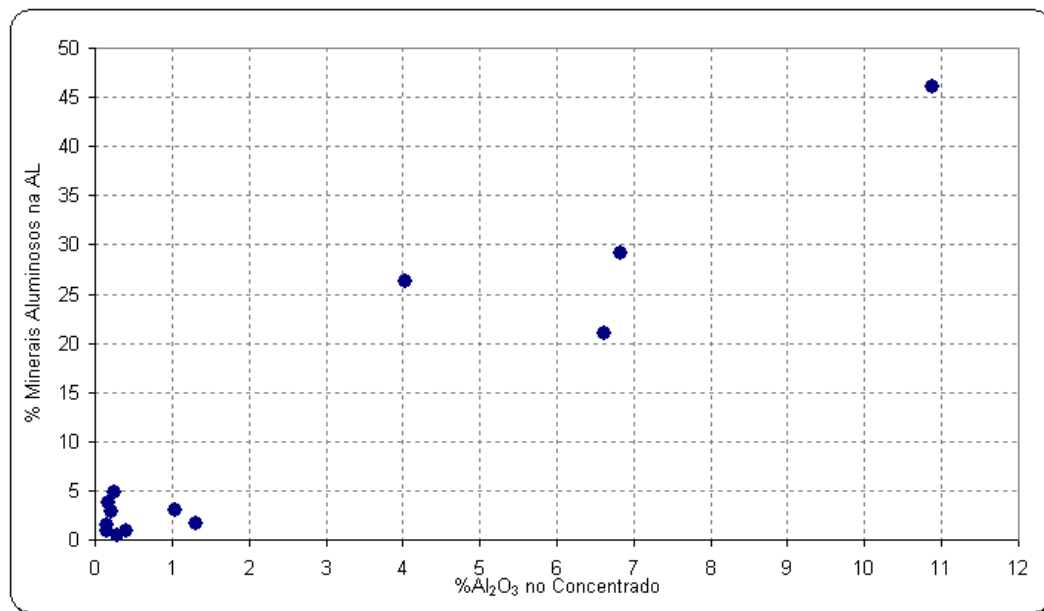
Figura 5.24: Fração -8,0+1,0mm – %SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> no Concentrado de Bateia.

Para uma das amostras de itabirito goethítico e para o itabirito compacto não foi possível a obtenção de um concentrado com qualidade devido ao grau de liberação baixo. Uma das amostras de itabirito manganésífero (maior que 0,4% de Mn) não apresentou bom resultado devido à granulometria do quartzo ser grossa e baixo grau de liberação nesta faixa (0%), fazendo com que este mineral não fosse para o rejeito, conforme pode ser visto na figura 5.25.



**Figura 5.25:** Fração  $-8,0+1,0\text{mm}$  (IMN).

No gráfico da figura 5.26 tem-se a correlação dos minerais aluminosos na alimentação e o teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no concentrado. Embora o conjunto de dados não seja numericamente representativo, mostra uma tendência de aumento do teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no concentrado à medida que a porcentagem de minerais aluminosos aumenta na alimentação da jigagem.



**Figura 5.26:** Fração  $-8,0+1,0\text{mm}$  – %Minerais Aluminosos X % $\text{Al}_2\text{O}_3$  no Concentrado.

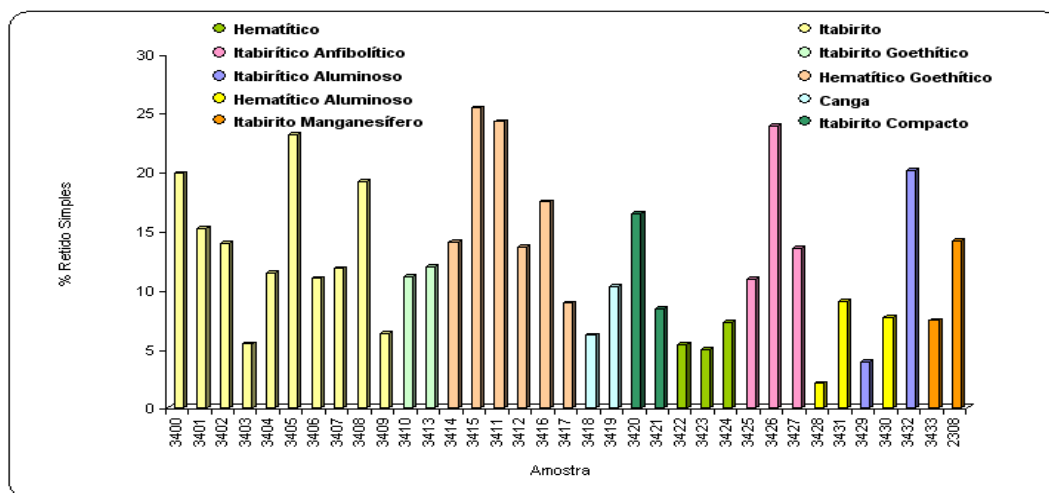
A tabela V.12 apresenta o resumo dos resultados da caracterização tecnológica da fração  $-8,00+1,00\text{mm}$ .

**Tabela V.12: Resumo dos Resultados da Caracterização Tecnológica da Fração -8,00+1,00mm**

Tipologia	Amostra	Partição da Fração 8,00+1,00mm	% Minerais Aluminosos	Fluxo	Química Global (%)									Recuperação (%)	
					Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica
IF	3401	6,60	2,87	Alimentação	61,26	10,79	0,019	0,29	0,018	0,098	0,007	0,014	0,93	73,28	81,27
				Concentrado	67,94	1,63	0,015	0,21	0,018	0,143	0,006	0,010	0,54		
				Rejeito	42,74	36,54	0,030	0,49	0,018	0,041	0,008	0,010	1,85	83,25	90,91
				Concentrado	66,89	2,87	0,016	0,23	0,018	0,090	0,005	0,010	0,72		
	Rejeito	33,55	49,16	0,033	0,58	0,015	0,026	0,023	0,054	2,16	72,25	76,48			
	Alimentação	64,50	5,62	0,054	0,59	0,042	0,021	0,008	0,010	1,04					
	Concentrado	68,28	1,23	0,023	0,24	0,037	0,021	0,007	0,010	0,34					
	Rejeito	54,24	16,98	0,145	1,64	0,058	0,021	0,009	0,010	2,99					
	3405	4,50	4,80	Alimentação	64,50	5,62	0,054	0,59	0,042	0,021	0,008	0,010	1,04	82,94	87,63
				Concentrado	68,28	1,23	0,023	0,24	0,037	0,021	0,007	0,010	0,34		
				Rejeito	54,24	16,98	0,145	1,64	0,058	0,021	0,009	0,010	2,99	72,35	77,58
				Alimentação	60,04	8,65	0,084	1,34	0,020	0,023	0,012	0,022	3,75		
	Concentrado	64,38	3,68	0,064	1,09	0,021	0,024	0,011	0,025	2,82					
	Rejeito	47,01	22,95	0,141	2,39	0,011	0,020	0,015	0,025	6,83					
	3407	1,36	2,95	Alimentação	60,04	8,65	0,084	1,34	0,020	0,023	0,012	0,022	3,75	81,04	86,56
				Concentrado	64,13	4,11	0,068	0,98	0,022	0,024	0,015	0,022	2,84		
				Rejeito	45,00	26,12	0,141	2,33	0,020	0,019	0,003	0,010	6,72	72,50	78,40
				Alimentação	63,67	8,23	0,007	0,38	0,017	0,044	0,013	0,020	0,23		
	Concentrado	68,85	1,23	0,007	0,41	0,010	0,046	0,022	0,038	0,20					
	Rejeito	51,99	24,89	0,005	0,29	0,008	0,031	0,008	0,010	0,20					
3409	2,32	0,98	Alimentação	63,67	8,23	0,007	0,38	0,017	0,044	0,013	0,020	0,23	78,58	84,01	
			Concentrado	68,07	1,68	0,007	0,40	0,012	0,050	0,008	0,010	0,26			
			Rejeito	44,97	34,59	0,009	0,35	0,070	0,028	0,006	0,010	0,23	60,09	13,30	
			Alimentação	60,09	13,30	0,013	0,28	0,055	0,021	0,026	0,021	0,32			
Concentrado	60,56	12,68	0,012	0,28	0,055	0,022	0,026	0,019	0,29						
Rejeito	58,37	15,57	0,015	0,27	0,057	0,018	0,027	0,027	0,41						
IGO	3413	21,84	0,4	Alimentação	60,09	13,30	0,013	0,28	0,055	0,021	0,026	0,021	0,32	78,42	79,04
				Concentrado	60,56	12,68	0,012	0,28	0,055	0,022	0,026	0,019	0,29		
				Rejeito	58,37	15,57	0,015	0,27	0,057	0,018	0,027	0,027	0,41		
	3420	24,98	1,56	Alimentação	42,89	37,99	0,018	0,17	0,063	0,017	0,033	0,020	0,14	79,94	83,82
				Concentrado	44,98	34,98	0,018	0,16	0,059	0,017	0,036	0,020	0,11		
				Rejeito	34,58	49,99	0,018	0,20	0,078	0,017	0,023	0,020	0,24		
3421	30,37	3,74	Alimentação	47,06	32,49	0,011	0,18	0,036	0,013	0,026	0,024	0,15	56,34	56,20	
			Concentrado	46,95	32,89	0,011	0,18	0,034	0,013	0,026	0,022	0,15			
			Rejeito	47,20	31,98	0,011	0,17	0,039	0,013	0,025	0,027	0,14			
IAL	3429	7,63	46,10	Alimentação	36,28	27,76	0,119	9,19	0,023	0,278	0,016	0,019	10,28	47,89	50,42
				Concentrado	38,20	22,53	0,116	10,88	0,037	0,297	0,016	0,021	10,98		
				Rejeito	34,52	32,56	0,122	7,63	0,011	0,260	0,016	0,018	9,63		
HAL	3428	4,59	29,15	Alimentação	53,85	7,41	0,180	6,83	0,021	0,233	0,026	0,028	7,98	62,19	64,86
				Concentrado	56,16	4,80	0,168	6,82	0,022	0,234	0,027	0,031	7,55		
				Rejeito	50,04	11,71	0,200	6,85	0,020	0,232	0,025	0,024	8,69		
	3430	16,18	26,23	Alimentação	57,83	5,70	0,090	4,25	0,025	0,160	0,012	0,012	6,71	73,72	76,06
				Concentrado	59,66	3,82	0,084	4,04	0,020	0,158	0,010	0,010	6,28		
				Rejeito	52,68	10,96	0,106	4,85	0,039	0,167	0,017	0,016	7,92		
	3431	9,02	20,95	Alimentação	49,28	14,71	0,089	6,28	0,025	0,080	0,015	0,018	7,80	49,49	55,48
				Concentrado	55,25	5,98	0,083	6,61	0,022	0,089	0,016	0,024	7,67		
				Rejeito	43,44	23,27	0,095	5,95	0,027	0,072	0,015	0,012	7,93		
IMN	3433	3,31	1,72	Alimentação	45,44	31,20	0,017	2,08	0,087	0,335	0,021	0,022	1,22	45,74	65,45
				Concentrado	65,02	4,07	0,014	1,31	0,059	0,512	0,014	0,024	0,74		
				Rejeito	28,94	54,08	0,019	2,73	0,110	0,185	0,026	0,020	1,62		
	2308	20,77	0,97	Alimentação	45,11	34,82	0,014	0,14	0,344	0,032	0,023	0,024	0,10	58,21	76,12
				Concentrado	58,99	14,69	0,012	0,14	0,431	0,044	0,026	0,013	0,08		
				Rejeito	25,64	63,11	0,018	0,12	0,246	0,016	0,024	0,037	0,14		
3433	3,31	1,72	Concentrado	55,63	19,54	0,012	0,16	0,402	0,039	0,017	0,028	0,10	73,14	90,19	
			Rejeito	16,69	76,05	0,015	0,12	0,147	0,012	0,033	0,020	0,09			

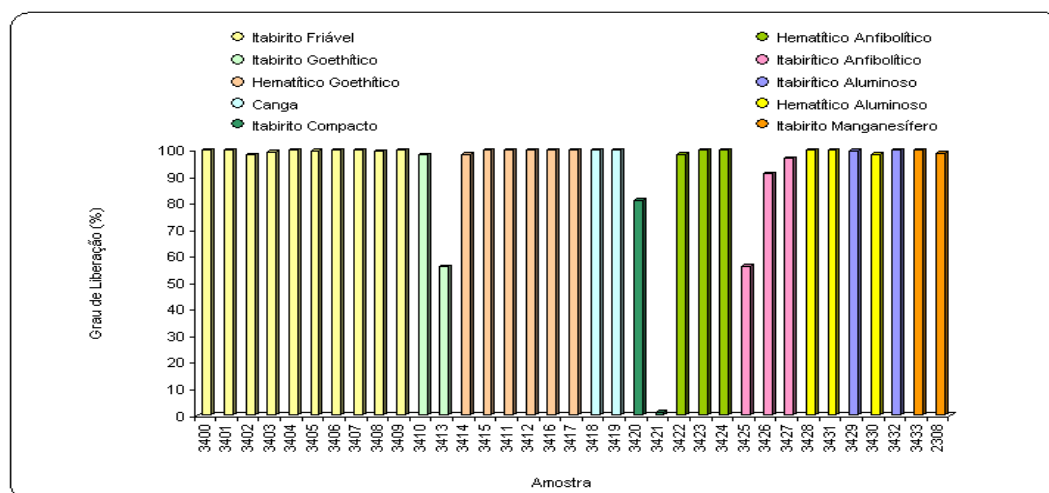
### 5.2.2 Fração -1,0+0,21mm

O gráfico da figura 5.27 apresenta o percentual retido simples na fração -1,0 +0,21mm das amostras estudadas, onde se observa uma heterogeneidade granulométrica entre as litologias e também dentro das mesmas. Isso impacta na produção de sinter feed que poderá ser produzido na instalação de beneficiamento.



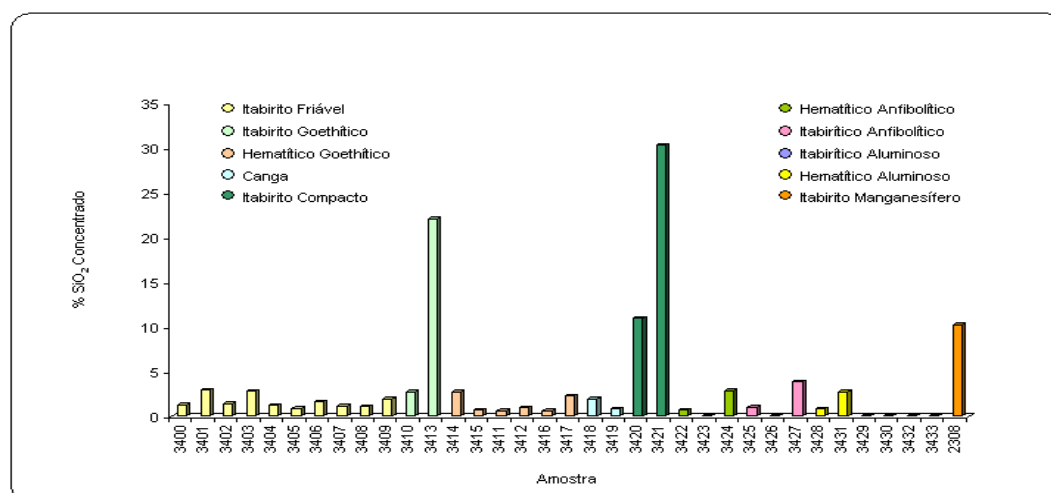
**Figura 5.27:** Fração -1,0+0,21mm - % Retida Simples.

O quartzo misto não ocorre com inclusão de fases ferruginosas na maioria das amostras (o que poderia empobrecer o concentrado) e a liberação do mesmo é alta para a maioria das amostras. O gráfico da figura 5.28 apresenta esses valores.



**Figura 5.28:** Fração -1,0+0,21mm - Grau de Liberação do Quartzo.

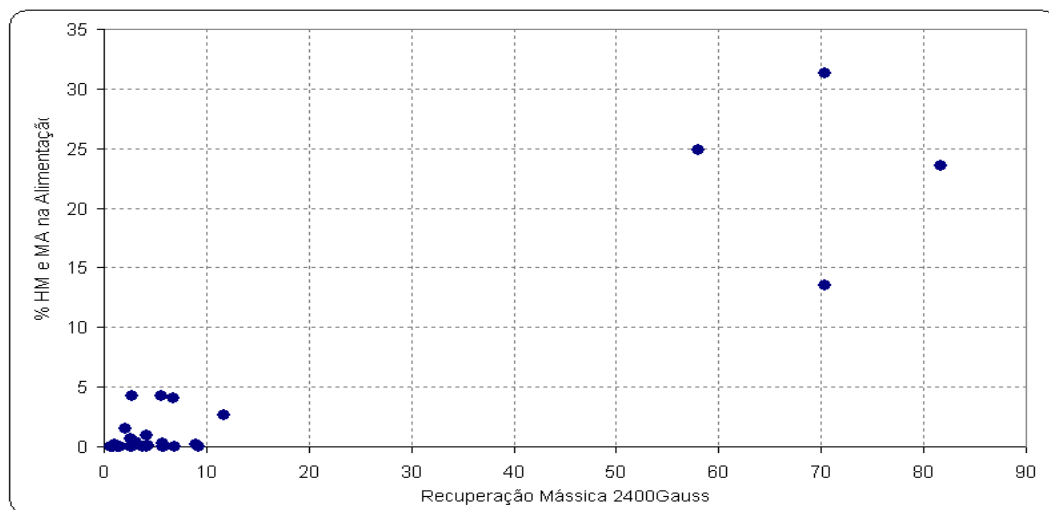
Os campos de 2.400 e 6.000Gauss, que representam a aplicação industrial dos estágios de média intensidade de campo magnético (separador tipo tambor – 6000Gauss) e alta intensidade de campo magnético (WHIMS – 9000Gauss), foram definidos a partir dos estudos realizados com as 06 primeiras amostras citadas no tópico 1. O gráfico da figura 5.29 apresenta o teor de SiO<sub>2</sub> no concentrado final, mostrando que apenas as tipologias Itabirito goethítico e compacto não apresentaram bons resultados devido ao grau de liberação baixo. Observou-se em uma das amostras do itabirito compacto a presença de quartzo com inclusões de hematita. O resultado da tipologia itabirito manganêsífero indica a necessidade de mais um estágio de concentração magnética para adequar a qualidade de SiO<sub>2</sub> do concentrado final.



**Figura 5.29:** Fração -1,0+0,21 mm – SiO<sub>2</sub> Concentrado.

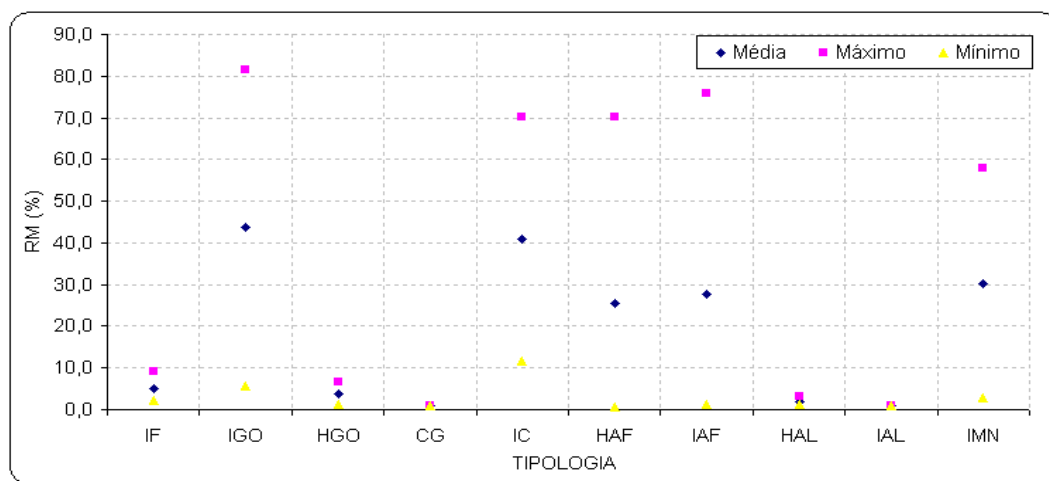
Nesta faixa, onde o equipamento utilizado foi o concentrador magnético L4, os resultados apresentados na figura 5.30 mostram muito bem a eficácia no campo de 2400Gauss para reter o material magnético (magnetita e martita). Nota-se que, na maioria das amostras, a quantidade desses minerais é praticamente nula no rejeito.





**Figura 5.30:** Fração -1,0+0,21mm – %HM e MA na AL X Recuperação Mássica no Campo de 2400 Gauss Utilizando o Concentrador Magnético L4 (Inbrás).

Outro ponto importante a ser analisado (figura 5.31) está no fato da massa dos minerais recuperados na separação de média intensidade de campo magnético não estar relacionada a um determinado litotipo, ou seja, dentro de um mesmo litotipo as amostras possuem uma variação representativa em relação a esta massa retida no campo de 2400 Gauss.



**Figura 5.31:** Fração -1,0+0,21mm – Valores Máximo, Médio e Mínimo de Recuperação em Massa no Campo de 2400Gauss.

A tabela V.13 apresenta o resumo dos resultados da caracterização tecnológica da fração -1,00+0,21mm.

**Tabela V.13: Resumo dos Resultados da Caracterização Tecnológica da Fração -1,00+0,21mm**

Tipologia	Amostra	Partição da Fração -1,00+0,21 mm	% Minerais Magnéticos	Campo Magnético (Gauss)	Fluxo	Química Global (%)										Recuperação (%)	
						Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica	
IF	3400	19,87	0	2400	Alimentação	52,22	24,30	0,006	0,36	0,015	0,018	0,008	0,029	0,76	5,80	7,53	
					Concentrado	67,79	2,35	0,007	0,37	0,021	0,024	0,007	0,029	0,43			
					Rejeito (AL 6000)	51,26	25,65	0,006	0,36	0,015	0,018	0,008	0,029	0,78			
					6000	Concentrado	68,67	1,08	0,006	0,35	0,014	0,026	0,007	0,025			0,58
						Rejeito	39,24	42,69	0,007	0,37	0,011	0,013	0,006	0,031			0,90
					Concentrado Final	68,55	1,25	0,006	0,35	0,015	0,026	0,007	0,026	0,56			44,32
	Rejeito Final	39,24	42,69	0,007	0,37	0,011	0,013	0,006	0,031	0,90							
	3401	15,23	0,12	2400	Alimentação	30,79	55,53	0,007	0,20	0,004	0,015	0,007	0,041	0,26	4,33	9,09	
					Concentrado	64,69	6,93	0,009	0,19	0,012	0,034	0,008	0,037	0,20			
					Rejeito (AL 6000)	29,26	57,73	0,007	0,20	0,004	0,014	0,007	0,041	0,26			
					6000	Concentrado	68,15	2,31	0,010	0,24	0,013	0,041	0,008	0,034			0,28
						Rejeito	13,64	80,04	0,007	0,20	0,019	0,008	0,008	0,047			0,28
					Concentrado Final	67,68	2,93	0,010	0,23	0,013	0,040	0,008	0,034	0,27			32,11
	Rejeito Final	13,64	80,04	0,007	0,20	0,019	0,008	0,008	0,047	0,28							
	3402	13,95	0	2400	Alimentação	43,02	36,81	0,008	0,73	0,008	0,025	0,008	0,029	0,96	3,75	5,79	
					Concentrado	66,39	3,66	0,009	0,45	0,012	0,037	0,009	0,021	0,43			
					Rejeito (AL 6000)	42,11	38,10	0,008	0,74	0,008	0,025	0,008	0,029	0,98			
					6000	Concentrado	68,19	1,15	0,010	0,60	0,014	0,042	0,009	0,029			0,73
						Rejeito	22,58	65,62	0,007	0,86	0,004	0,015	0,007	0,029			1,22
					Concentrado Final	68,04	1,36	0,010	0,59	0,014	0,042	0,009	0,028	0,71			45,06
	Rejeito Final	22,58	65,62	0,007	0,86	0,004	0,015	0,007	0,029	1,22							
	3403	5,44	0	2400	Alimentação	25,98	60,90	0,023	0,55	0,010	0,012	0,009	0,041	1,46	2,58	6,25	
					Concentrado	62,89	8,89	0,013	0,38	0,011	0,032	0,008	0,036	0,60			
					Rejeito (AL 6000)	25,00	62,28	0,023	0,55	0,010	0,011	0,009	0,041	1,48			
					6000	Concentrado	68,40	1,31	0,017	0,42	0,013	0,037	0,008	0,033			0,82
						Rejeito	19,08	70,46	0,022	0,54	0,010	0,009	0,010	0,045			1,55
					Concentrado Final	67,35	2,76	0,016	0,41	0,013	0,036	0,008	0,034	0,78			13,50
	Rejeito Final	19,08	70,46	0,022	0,54	0,010	0,009	0,010	0,045	1,55							
	3404	11,44	0	2400	Alimentação	52,15	24,11	0,012	0,49	0,009	0,027	0,009	0,026	0,85	2,71	3,48	
					Concentrado	66,80	3,65	0,007	0,31	0,010	0,034	0,011	0,029	0,35			
					Rejeito (AL 6000)	51,74	24,68	0,012	0,49	0,009	0,027	0,009	0,026	0,86			
					6000	Concentrado	68,48	1,06	0,012	0,40	0,011	0,037	0,012	0,025			0,62
						Rejeito	26,72	59,72	0,013	0,70	0,004	0,013	0,008	0,036			1,27
					Concentrado Final	68,40	1,18	0,012	0,40	0,011	0,037	0,012	0,025	0,61			60,41
	Rejeito Final	26,72	59,72	0,013	0,70	0,004	0,013	0,008	0,036	1,27							
	3405	23,13	0,16	2400	Alimentação	50,61	27,43	0,013	0,21	0,017	0,013	0,009	0,035	0,11	9,00	12,14	
					Concentrado	68,26	2,10	0,010	0,16	0,021	0,018	0,009	0,029	0,04			
					Rejeito (AL 6000)	48,86	29,94	0,013	0,22	0,017	0,012	0,009	0,036	0,12			
					6000	Concentrado	69,36	0,66	0,012	0,22	0,018	0,020	0,009	0,033			0,09
						Rejeito	27,63	59,98	0,015	0,27	0,015	0,006	0,012	0,045			0,17
					Concentrado Final	69,18	0,90	0,012	0,21	0,018	0,020	0,009	0,032	0,08			54,79
	Rejeito Final	27,63	59,98	0,015	0,27	0,015	0,006	0,012	0,045	0,17							
	3406	10,97	1,49	2400	Alimentação	47,36	29,61	0,040	0,63	0,089	0,022	0,009	0,029	1,83	2,14	2,91	
					Concentrado	64,44	5,91	0,025	0,43	0,072	0,033	0,010	0,034	1,07			
					Rejeito (AL 6000)	46,99	30,13	0,040	0,63	0,089	0,022	0,009	0,029	1,85			
					6000	Concentrado	67,51	1,31	0,039	0,53	0,098	0,036	0,011	0,041			1,56
						Rejeito	37,60	43,45	0,039	0,67	0,082	0,016	0,008	0,034			1,98
					Concentrado Final	67,31	1,60	0,038	0,52	0,096	0,036	0,011	0,041	1,53			33,65
Rejeito Final	37,60	43,45	0,039	0,67	0,082	0,016	0,008	0,034	1,98								
3407	11,82	0	2400	Alimentação	54,70	21,12	0,014	0,19	0,014	0,015	0,008	0,010	0,44	6,89	8,62		
				Concentrado	68,44	1,72	0,007	0,11	0,026	0,020	0,025	0,010	0,09				
				Rejeito (AL 6000)	53,68	22,55	0,014	0,20	0,013	0,015	0,007	0,010	0,47				
				6000	Concentrado	68,78	1,09	0,010	0,10	0,016	0,022	0,006	0,010			0,18	
					Rejeito	31,54	53,57	0,019	0,24	0,009	0,008	0,033	0,008			0,73	
				Concentrado Final	68,74	1,16	0,010	0,10	0,017	0,022	0,008	0,010	0,17			61,40	77,16
Rejeito Final	31,54	53,57	0,019	0,24	0,009	0,008	0,033	0,008	0,73								
3408	19,17	0	2400	Alimentação	55,73	18,93	0,029	0,32	0,013	0,037	0,016	0,026	1,01	9,25	11,40		
				Concentrado	68,65	1,55	0,013	0,17	0,012	0,044	0,017	0,020	0,33				
				Rejeito (AL 6000)	54,41	20,70	0,031	0,33	0,013	0,036	0,016	0,027	1,08				
				6000	Concentrado	68,79	0,97	0,023	0,28	0,014	0,047	0,012	0,030			0,65	
					Rejeito	40,94	39,17	0,041	0,46	0,013	0,030	0,006	0,005			1,33	
				Concentrado Final	68,77	1,07	0,021	0,26	0,014	0,046	0,013	0,028	0,59			53,41	65,91
Rejeito Final	40,94	39,17	0,041	0,46	0,013	0,030	0,006	0,005	1,33								
3409	6,32	0	2400	Alimentação	30,31	56,47	0,003	0,20	0,002	0,014	0,008	0,003	0,06	4,21	9,16		
				Concentrado	65,89	5,39	0,005	0,20	0,010	0,034	0,009	0,006	0,11				
				Rejeito (AL 6000)	28,75	58,72	0,003	0,20	0,002	0,013	0,008	0,003	0,06				
				6000	Concentrado	68,87	1,28	0,006	0,21	0,010	0,036	0,006	0,004			0,08	
					Rejeito	16,65	76,14	0,002	0,18	0,000	0,008	0,008	0,005			0,07	
				Concentrado Final	68,39	1,94	0,006	0,21	0,010	0,036	0,006	0,004	0,08			26,30	59,33
Rejeito Final	16,65	76,14	0,002	0,18	0,000	0,008	0,008	0,005	0,07								

Tipologia	Amostra	Partição da Fração -1,00+0,21 mm	% Minerais Magnéticos	Campo Magnético (Gauss)	Fluxo	Química Global (%)									Recuperação (%)			
						Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica		
IGO	3410	11,13	4,28	2400	Alimentação	44,92	35,13	0,019	0,11	0,010	0,035	0,007	0,015	0,45	5,55	8,16		
					Concentrado	66,01	5,55	0,026	0,12	0,019	0,044	0,010	0,015	0,26				
					Rejeito (AL 6000)	43,68	36,87	0,019	0,11	0,010	0,034	0,007	0,015	0,46				
				6000	Concentrado	67,53	2,34	0,028	0,33	0,018	0,055	0,014	0,018	0,92			44,09	68,30
					Rejeito	24,72	64,09	0,012	0,08	0,003	0,019	0,007	0,013	0,30				
					Concentrado Final	67,35	2,72	0,028	0,31	0,018	0,054	0,014	0,018	0,84				
	Rejeito Final	24,72	64,09	0,012	0,08	0,003	0,019	0,007	0,013	0,30	47,20	70,77						
	3413	11,98	23,56	2400	Alimentação	46,38	33,06	0,011	0,16	0,048	0,013	0,006	0,019	0,33	81,66	95,77		
					Concentrado	54,40	21,71	0,012	0,17	0,055	0,015	0,005	0,018	0,28				
					Rejeito (AL 6000)	10,69	83,62	0,004	0,10	0,018	0,004	0,010	0,025	0,56				
				6000	Concentrado	45,38	32,87	0,015	0,18	0,056	0,016	0,008	0,006	2,05			15,59	64,76
					Rejeito	4,56	92,72	0,004	0,13	0,010	0,004	0,011	0,029	0,31				
Concentrado Final					54,09	22,09	0,012	0,17	0,055	0,015	0,005	0,018	0,34					
Rejeito Final	4,56	92,72	0,004	0,13	0,010	0,004	0,011	0,029	0,31	84,52	98,57							
HGO	3411	14,03	0,69	2400	Alimentação	65,00	5,22	0,012	0,44	0,009	0,023	0,004	0,007	1,27	5,70	6,04		
					Concentrado	68,89	0,87	0,007	0,19	0,010	0,025	0,005	0,008	0,53				
					Rejeito (AL 6000)	64,76	5,48	0,012	0,45	0,009	0,023	0,004	0,007	1,31				
				6000	Concentrado	68,66	0,56	0,009	0,24	0,009	0,023	0,003	0,002	0,78			46,40	48,97
					Rejeito	61,94	9,40	0,015	0,60	0,009	0,023	0,004	0,004	1,73				
					Concentrado Final	68,69	0,60	0,009	0,23	0,009	0,023	0,003	0,003	0,75				
	Rejeito Final	61,94	9,40	0,015	0,60	0,009	0,023	0,004	0,004	1,73	49,46	52,27						
	3412	25,40	4,04	2400	Alimentação	58,58	6,21	0,152	2,84	0,015	0,193	0,011	0,036	6,11	1,26	1,42		
					Concentrado	65,75	1,68	0,066	1,14	0,014	0,127	0,010	0,025	2,55				
					Rejeito (AL 6000)	58,49	6,27	0,153	2,86	0,015	0,194	0,011	0,036	6,16				
				6000	Concentrado	64,87	0,84	0,108	1,82	0,014	0,175	0,012	0,021	3,65			16,95	18,74
					Rejeito	57,42	7,09	0,161	3,09	0,016	0,199	0,010	0,044	6,62				
Concentrado Final					64,93	0,90	0,105	1,77	0,014	0,172	0,012	0,021	3,57					
Rejeito Final	57,42	7,09	0,161	3,09	0,016	0,199	0,010	0,044	6,62	18,00	19,95							
3414	24,24	0,24	2400	Alimentação	54,29	13,48	0,057	1,94	0,005	0,055	0,011	0,029	6,82	2,60	3,18			
				Concentrado	66,47	0,58	0,032	1,01	0,007	0,041	0,013	0,031	3,57					
				Rejeito (AL 6000)	53,97	13,82	0,058	1,96	0,005	0,055	0,011	0,029	6,91					
			6000	Concentrado	65,41	2,94	0,023	0,72	0,009	0,037	0,014	0,028	2,50			20,49	24,99	
				Rejeito	50,62	17,70	0,061	2,14	0,004	0,058	0,014	0,023	7,69					
				Concentrado Final	65,53	2,67	0,024	0,75	0,009	0,037	0,014	0,028	2,62					
Rejeito Final	50,62	17,70	0,061	2,14	0,004	0,058	0,014	0,023	7,69	22,56	27,23							
3415	13,66	0	2400	Alimentação	64,18	6,25	0,032	0,89	0,020	0,024	0,008	0,007	1,37	6,71	7,15			
				Concentrado	68,45	0,96	0,016	0,30	0,018	0,026	0,017	0,008	0,52					
				Rejeito (AL 6000)	63,87	6,63	0,033	0,93	0,020	0,024	0,007	0,007	1,43					
			6000	Concentrado	68,66	0,55	0,021	0,39	0,018	0,024	0,007	0,006	0,83			22,83	26,42	
				Rejeito	56,58	15,65	0,041	1,68	0,022	0,020	0,009	0,005	2,05					
				Concentrado Final	68,61	0,65	0,020	0,37	0,018	0,024	0,009	0,006	0,76					
Rejeito Final	56,58	15,65	0,041	1,68	0,022	0,020	0,009	0,005	2,05	28,00	29,94							
3416	17,44	0,9	2400	Alimentação	63,36	4,88	0,037	0,99	0,011	0,061	0,006	0,016	3,58	4,13	4,37			
				Concentrado	67,08	1,65	0,023	0,48	0,013	0,046	0,006	0,016	1,85					
				Rejeito (AL 6000)	63,20	5,02	0,038	1,01	0,011	0,062	0,006	0,016	3,65					
			6000	Concentrado	67,50	0,55	0,031	0,63	0,011	0,057	0,004	0,014	2,54			66,53	69,59	
				Rejeito	58,64	9,32	0,047	1,46	0,011	0,061	0,005	0,011	4,88					
				Concentrado Final	67,47	0,62	0,031	0,62	0,011	0,056	0,004	0,014	2,50					
Rejeito Final	58,64	9,32	0,047	1,46	0,011	0,061	0,005	0,011	4,88	67,91	72,32							
3417	8,89	0	2400	Alimentação	54,82	18,62	0,025	0,70	0,007	0,023	0,003	0,008	2,21	1,53	1,78			
				Concentrado	63,96	6,32	0,019	0,47	0,011	0,028	0,006	0,004	1,39					
				Rejeito (AL 6000)	54,68	18,81	0,025	0,70	0,007	0,023	0,003	0,008	2,22					
			6000	Concentrado	66,91	1,99	0,022	0,56	0,009	0,029	0,004	0,003	1,83			27,36	33,64	
				Rejeito	49,71	25,60	0,026	0,75	0,006	0,021	0,007	0,010	2,26					
				Concentrado Final	66,75	2,22	0,022	0,56	0,009	0,029	0,004	0,003	1,81					
Rejeito Final	49,71	25,60	0,026	0,75	0,006	0,021	0,007	0,010	2,26	28,47	34,67							
CG	3418	6,16	0	2400	Alimentação	55,56	3,78	0,405	5,80	0,030	0,376	0,008	0,009	9,55	0,94	1,00		
					Concentrado	58,83	6,58	0,209	3,05	0,030	0,192	0,011	0,008	5,17				
					Rejeito (AL 6000)	55,53	3,75	0,407	5,83	0,030	0,378	0,008	0,009	9,59				
				6000	Concentrado	59,78	1,31	0,329	4,39	0,030	0,323	0,010	0,012	7,62			6,81	7,35
					Rejeito	55,05	3,85	0,413	5,94	0,032	0,380	0,009	0,010	9,76				
					Concentrado Final	59,66	1,95	0,314	4,23	0,030	0,307	0,010	0,012	7,32				
	Rejeito Final	55,05	3,85	0,413	5,94	0,032	0,380	0,009	0,010	9,76	7,69	8,26						
	3419	10,31	0,21	2400	Alimentação	57,92	2,56	0,156	4,53	0,010	0,441	0,005	0,010	9,10	0,99	1,06		
					Concentrado	62,17	2,68	0,094	2,56	0,023	0,243	0,008	0,008	5,18				
					Rejeito (AL 6000)	57,88	2,56	0,157	4,55	0,010	0,443	0,005	0,010	9,14				
				6000	Concentrado	63,33	0,60	0,108	2,48	0,011	0,257	0,006	0,003	5,67			9,44	10,36
					Rejeito	57,07	2,80	0,161	4,84	0,009	0,461	0,006	0,003	9,55				
Concentrado Final					63,22	0,80	0,107	2,49	0,012	0,256	0,006	0,003	5,62					
Rejeito Final	57,07	2,80	0,161	4,84	0,009	0,461	0,006	0,003	9,55	10,33	11,28							

Tipologia	Amostra	Partição da Fração -1,00+0,21 mm	% Minerais Magnéticos	Campo Magnético (Gauss)	Fluxo	Química Global (%)										Recuperação (%)	
						Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica	
IC	3420	16,48	2,65	2400	Alimentação	42,09	39,43	0,005	0,16	0,082	0,018	0,006	0,005	0,26	11,65	17,54	
					Concentrado	63,36	8,83	0,005	0,11	0,054	0,021	0,004	0,005	0,05			
					Rejeito (AL 6000)	39,28	43,47	0,005	0,17	0,086	0,017	0,006	0,005	0,29			
				6000	Concentrado	61,54	11,58	0,005	0,14	0,072	0,024	0,004	0,005	0,15			
					Rejeito	18,85	72,75	0,005	0,19	0,099	0,011	0,008	0,005	0,41			
					Concentrado Final	61,93	10,99	0,005	0,13	0,068	0,023	0,004	0,005	0,13			
	Rejeito Final	18,85	72,75	0,005	0,19	0,099	0,011	0,008	0,005	0,41	47,86	74,98					
	3421	8,39	13,49	2400	Alimentação	38,55	44,49	0,008	0,15	0,032	0,011	0,007	0,005	0,06	70,33	87,39	
					Concentrado	47,90	31,07	0,009	0,15	0,035	0,014	0,006	0,005	0,00			
					Rejeito (AL 6000)	16,38	76,29	0,005	0,16	0,026	0,005	0,008	0,005	0,21			
				6000	Concentrado	52,60	23,87	0,011	0,23	0,036	0,018	0,009	0,005	0,30			
					Rejeito	3,61	94,77	0,003	0,13	0,022	0,001	0,008	0,005	0,18			
Concentrado Final					48,37	30,36	0,009	0,16	0,035	0,014	0,006	0,005	0,03				
Rejeito Final	3,61	94,77	0,003	0,13	0,022	0,001	0,008	0,005	0,18	78,07	97,95						
HAF	3422	5,38	31,35	2400	Alimentação	64,06	2,05	0,073	1,14	0,051	0,063	0,007	0,129	4,45	70,33	74,20	
					Concentrado	67,58	0,58	0,044	0,49	0,030	0,076	0,006	0,051	1,69			
					Rejeito (AL 6000)	55,70	5,55	0,141	2,69	0,100	0,033	0,010	0,314	10,98			
				6000	Concentrado	65,23	1,31	0,083	1,17	0,064	0,063	0,009	0,150	3,82			
					Rejeito	55,42	5,71	0,143	2,73	0,103	0,033	0,011	0,305	11,22			
					Concentrado Final	67,35	0,65	0,048	0,56	0,033	0,075	0,006	0,061	1,90			
	Rejeito Final	55,42	5,71	0,143	2,73	0,103	0,033	0,011	0,305	11,22	26,07	29,33					
	3423	4,98	0	2400	Alimentação	56,05	2,22	0,172	2,63	0,082	0,039	0,008	0,303	13,48	0,67	0,00	
					Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
					Rejeito (AL 6000)	56,43	2,24	0,173	2,65	0,083	0,039	0,008	0,305	13,57			
				6000	Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
					Rejeito	57,54	2,20	0,172	2,63	0,081	0,039	0,008	0,302	11,57			
					Concentrado Final	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
	Rejeito Final	57,54	2,20	0,172	2,63	0,081	0,039	0,008	0,302	11,57	1,06	0,00					
	3424	7,30	0	2400	Alimentação	53,11	5,04	0,343	1,61	0,125	0,029	0,009	0,317	10,23	5,67	0,00	
					Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
					Rejeito (AL 6000)	56,30	5,34	0,364	1,71	0,132	0,031	0,010	0,336	10,85			
				6000	Concentrado	59,50	3,17	0,302	1,36	0,116	0,050	0,012	0,280	9,45			
Rejeito					56,22	5,40	0,360	1,71	0,129	0,032	0,011	0,317	11,63				
Concentrado Final					52,61	2,80	0,267	1,20	0,103	0,044	0,011	0,248	8,36				
Rejeito Final	56,22	5,40	0,360	1,71	0,129	0,032	0,011	0,317	11,63	45,96	47,37						
IAF	3425	10,90	27,95	2400	Alimentação	58,10	5,12	0,296	1,10	0,128	0,032	0,010	0,218	9,57	1,39	1,62	
					Concentrado	67,80	0,87	0,091	0,31	0,039	0,032	0,006	0,038	1,72			
					Rejeito (AL 6000)	57,96	5,18	0,299	1,11	0,129	0,032	0,010	0,221	9,68			
				6000	Concentrado	65,28	1,01	0,176	0,58	0,080	0,040	0,006	0,095	4,84			
					Rejeito	56,76	6,19	0,334	1,23	0,144	0,031	0,011	0,242	10,63			
					Concentrado Final	65,38	1,00	0,173	0,57	0,078	0,040	0,006	0,093	4,72			
	Rejeito Final	56,76	6,19	0,334	1,23	0,144	0,031	0,011	0,242	10,63	33,98	37,18					
	3426	23,88	54,36	2400	Alimentação	15,30	1,67	0,016	0,15	0,047	0,010	0,002	0,014	0,45	75,70	0,00	
					Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
					Rejeito (AL 6000)	62,96	6,88	0,064	0,62	0,193	0,041	0,007	0,058	1,86			
				6000	Concentrado	63,30	6,47	0,063	0,61	0,193	0,041	0,007	0,056	1,80			
					Rejeito	49,15	23,36	0,098	1,08	0,196	0,049	0,008	0,122	4,40			
					Concentrado Final	15,10	1,54	0,015	0,15	0,046	0,010	0,002	0,013	0,43			
	Rejeito Final	49,15	23,36	0,098	1,08	0,196	0,049	0,008	0,122	4,40	97,59	98,11					
	3427	13,54	46,98	2400	Alimentação	56,51	10,81	0,161	1,02	0,177	0,031	0,009	0,241	6,42	5,67	6,85	
					Concentrado	68,22	0,71	0,046	0,23	0,042	0,026	0,005	0,022	1,41			
					Rejeito (AL 6000)	55,81	11,42	0,168	1,06	0,185	0,031	0,010	0,255	6,72			
				6000	Concentrado	62,69	4,21	0,125	0,75	0,138	0,033	0,009	0,187	4,68			
Rejeito					49,95	17,55	0,205	1,33	0,225	0,029	0,010	0,312	8,45				
Concentrado Final					63,33	3,80	0,116	0,69	0,127	0,032	0,009	0,168	4,30				
Rejeito Final	49,95	17,55	0,205	1,33	0,225	0,029	0,010	0,312	8,45	45,96	51,63						
IAL	3429	3,90	0	2400	Alimentação	40,66	25,43	0,112	6,38	0,026	0,312	0,003	0,035	8,42	0,83	0,00	
					Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
					Rejeito (AL 6000)	41,00	25,65	0,113	6,44	0,026	0,315	0,003	0,036	8,50			
				6000	Concentrado	65,14	1,43	0,050	2,06	0,021	0,344	0,004	0,010	3,03			
					Rejeito	36,78	29,88	0,124	7,20	0,027	0,310	0,003	0,040	9,45			
					Concentrado Final	61,66	1,35	0,047	1,95	0,020	0,326	0,004	0,009	2,87			
	Rejeito Final	36,78	29,88	0,124	7,20	0,027	0,310	0,003	0,040	9,45	14,88	23,63					
	3432	20,14	0	2400	Alimentação	50,60	0,86	0,197	9,36	0,006	0,412	0,005	0,003	15,60	0,80	0,00	
					Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00			
					Rejeito (AL 6000)	51,01	0,87	0,199	9,43	0,006	0,416	0,005	0,003	15,72			
				6000	Concentrado	61,46	0,68	0,096	3,87	0,026	0,227	0,003	0,012	7,00			
					Rejeito	50,39	0,88	0,205	9,76	0,005	0,427	0,005	0,002	16,24			
Concentrado Final					53,75	0,59	0,084	3,38	0,023	0,199	0,003	0,010	6,12				
Rejeito Final	50,39	0,88	0,205	9,76	0,005	0,427	0,005	0,002	16,24	6,35	6,75						

Tipologia	Amostra	Partição da Fração 1.00+0,21 mm	% Minerais Magnéticos	Campo Magnético (Gauss)	Fluxo	Química Global (%)									Recuperação (%)		
						Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica	
HAL	3428	2,09	0	2400	Alimentação	50,09	16,73	0,146	4,67	0,012	0,203	0,004	0,034	5,96	1,39	1,84	
					Concentrado	66,58	2,15	0,035	1,05	0,010	0,112	0,005	0,007	1,30			
					Rejeito (AL 6000)	49,86	16,94	0,148	4,72	0,012	0,204	0,004	0,034	6,03			
					6000	Concentrado	66,46	0,75	0,059	1,61	0,010	0,157	0,004	0,005			2,13
						Rejeito	43,66	22,95	0,186	5,96	0,013	0,224	0,005	0,034			7,47
					Concentrado Final	66,46	0,81	0,058	1,59	0,010	0,155	0,004	0,005	2,10			
	Rejeito Final	43,66	22,95	0,186	5,96	0,013	0,224	0,005	0,034	7,47	34,90	46,30					
	3430	7,86	0	2400	Alimentação	54,00	12,86	0,075	2,93	0,016	0,191	0,007	0,009	5,15	1,39	0,00	
					Concentrado	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00				
					Rejeito (AL 6000)	54,76	13,05	0,076	2,97	0,016	0,194	0,007	0,009	5,23			
					6000	Concentrado	66,21	1,03	0,041	1,30	0,014	0,192	0,008	0,008			2,58
						Rejeito	48,86	19,23	0,094	3,83	0,017	0,195	0,007	0,010			6,59
					Concentrado Final	63,58	0,99	0,039	1,25	0,013	0,184	0,008	0,008	2,48			
	Rejeito Final	48,86	19,23	0,094	3,83	0,017	0,195	0,007	0,010	6,59	34,90	41,09					
	3431	9,04	0,42	2400	Alimentação	50,56	21,73	0,047	2,12	0,012	0,067	0,007	0,007	3,56	3,12	4,08	
Concentrado					66,19	3,92	0,017	0,61	0,012	0,064	0,010	0,007	0,93				
Rejeito (AL 6000)					50,05	22,30	0,047	2,16	0,012	0,068	0,007	0,007	3,65				
6000					Concentrado	65,95	2,57	0,029	0,97	0,011	0,075	0,007	0,009	1,87			
					Rejeito	38,39	36,78	0,061	3,04	0,013	0,062	0,007	0,006	4,95			
Concentrado Final					65,97	2,67	0,028	0,94	0,011	0,074	0,007	0,009	1,80				
Rejeito Final	38,39	36,78	0,061	3,04	0,013	0,062	0,007	0,006	4,95	44,12	57,56						
IMN	3433	7,43	4,23	2400	Alimentação	10,69	83,78	0,008	0,59	0,045	0,030	0,013	0,023	0,37	2,70	15,97	
					Concentrado	63,15	6,58	0,018	0,30	0,032	0,080	0,013	0,016	0,15			
					Rejeito (AL 6000)	9,23	85,87	0,008	0,60	0,045	0,029	0,013	0,023	0,38			
				6000	Concentrado	19,17	71,49	0,012	0,60	0,051	0,052	0,013	0,023	0,43			
					Rejeito	66,82	2,84	0,021	0,60	0,064	0,208	0,013	0,016	0,58			
					Concentrado Final	25,75	62,08	0,013	0,56	0,048	0,056	0,013	0,022	0,39			
	Rejeito Final	66,82	2,84	0,021	0,60	0,064	0,208	0,013	0,016	0,58	18,06	43,52					
	2308	14,14	24,9	2400	Alimentação	49,99	27,07	0,018	0,26	0,511	0,118	0,015	0,037	0,35	57,94	74,87	
					Concentrado	64,60	5,99	0,021	0,26	0,507	0,143	0,017	0,021	0,37			
					Rejeito (AL 6000)	29,87	56,12	0,014	0,26	0,516	0,084	0,013	0,059	0,32			
				6000	Concentrado	52,98	21,94	0,021	0,31	0,760	0,182	0,018	0,031	0,55			
					Rejeito	6,44	89,57	0,016	0,23	0,286	0,015	0,019	0,050	0,21			
Concentrado Final					61,50	10,25	0,021	0,27	0,575	0,153	0,017	0,024	0,42				
Rejeito Final	6,44	89,57	0,016	0,23	0,286	0,015	0,019	0,050	0,21	79,06	97,25						

### 5.2.3 Fração -0,21mm

O gráfico da figura 5.32 apresenta o percentual passante na fração -0,21mm das amostras estudadas, onde se observa uma heterogeneidade granulométrica entre as litologias e também dentro das mesmas.

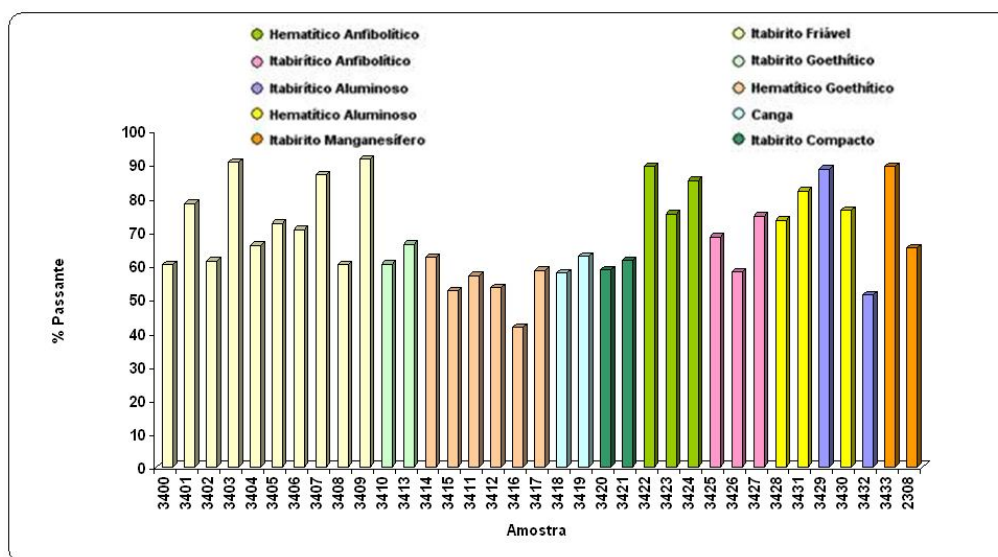


Figura 5.32: Fração -0,21mm – % Passante.

O grau de liberação na fração -0,21mm é alto para todos os litotipos, conforme apresentado na figura 5.33.

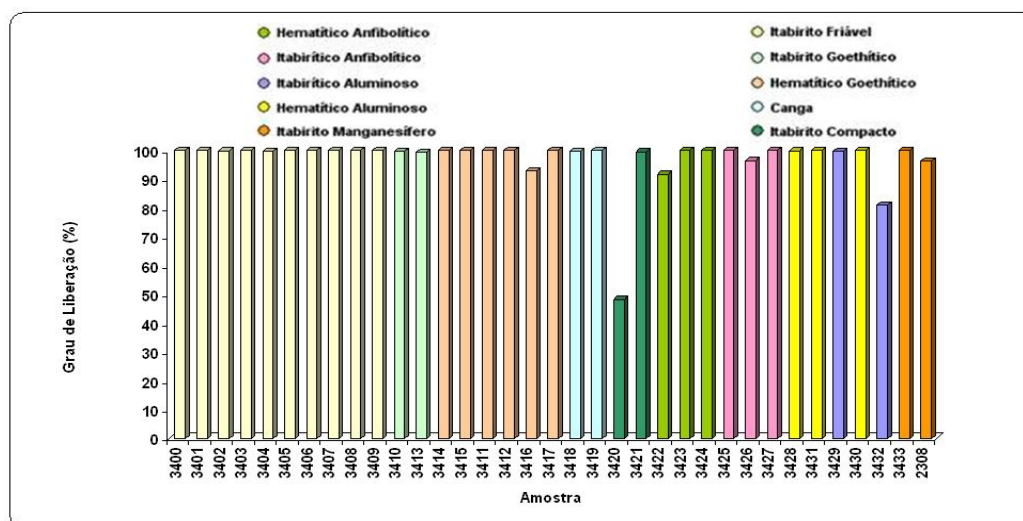
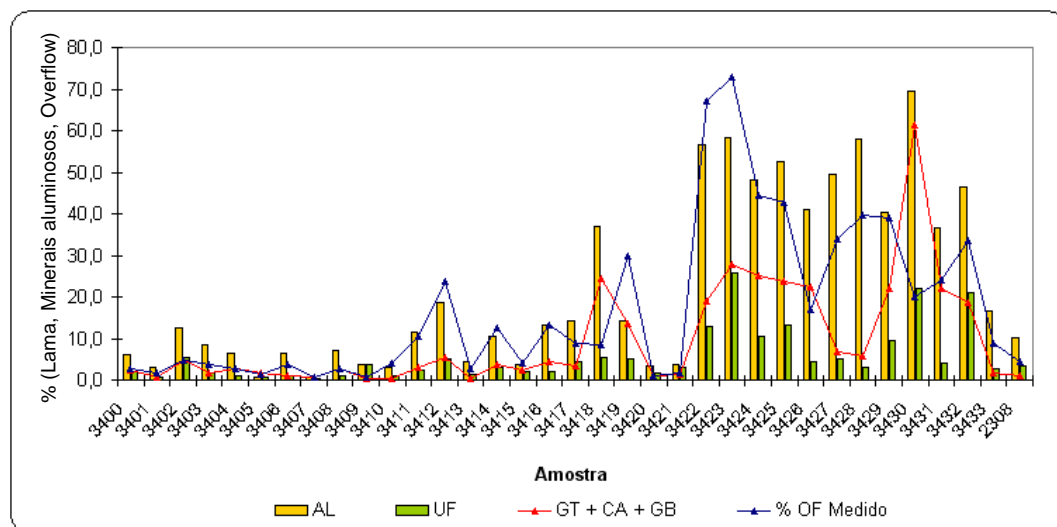
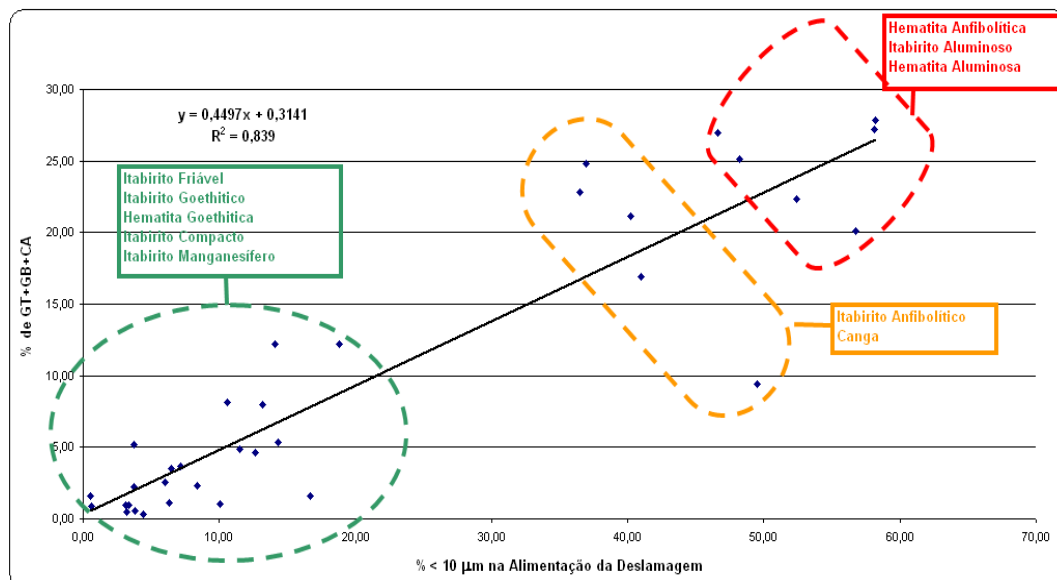


Figura 5.33: Fração -0,21mm – Grau de Liberação do Quartzo.

As amostras foram submetidas a dois estágios de deslamagem com dispersão em pH 9,8 utilizando soda cáustica. Verificou-se que os minerais que influenciam na elevação do percentual de lama são a goethita terrosa, gibsita e caulinita. A perda de material nas lamas evidencia a influência desses minerais (figura 5.34). A figura 5.35 representa a correlação dos minerais portadores de alumina e o percentual de lama na alimentação da deslamagem.



**Figura 5.34:** % Lama X Minerais Aluminosos X Deslamagem.

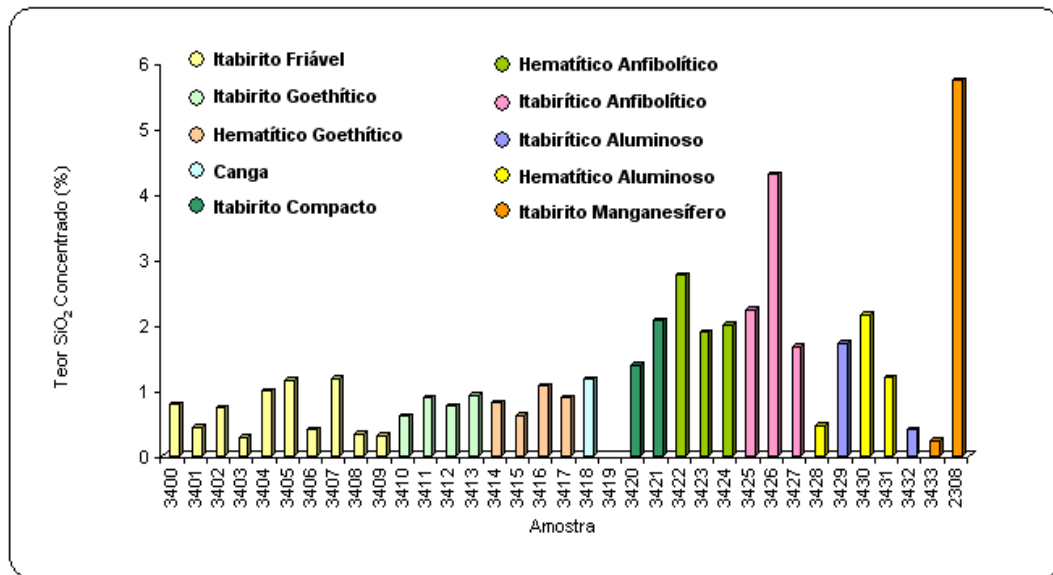


**Figura 5.35:** Correlação dos Minerais Portadores de Alumina e o Percentual de Lama na Alimentação da Deslamagem.

A figura 5.36 apresenta o resultado do teor de  $\text{SiO}_2$  no “pellet feed”. Algumas amostras componentes dos litotipos não obtiveram bons resultados conforme contextualizado nos ensaios mineralógicos:

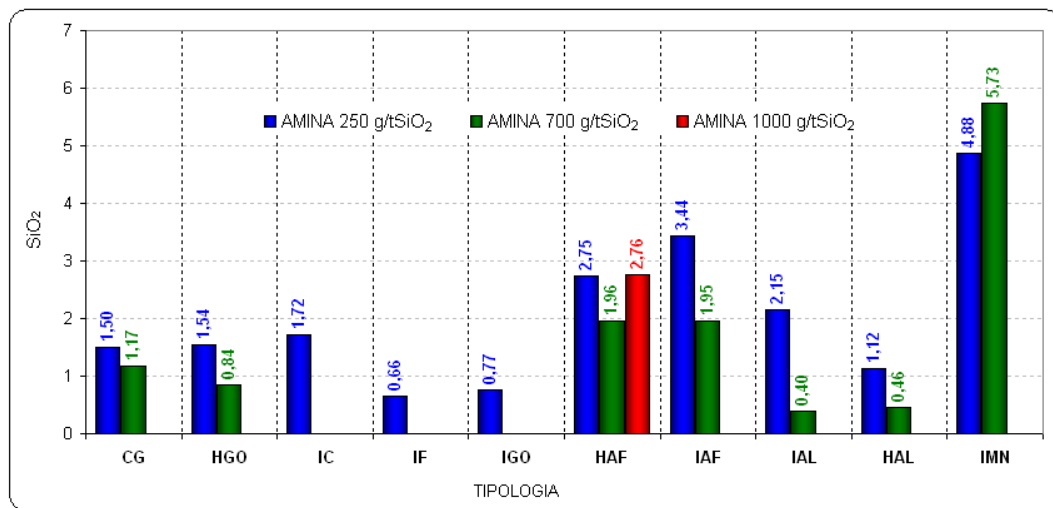
- Litologia itabirito compacto:
  - amostra 1 (3420): grau de liberação da fração  $-0,21+0,075\text{mm}$  baixo e essa fração representa a maior proporção em massa na alimentação da flotação;
  - amostra 2 (3421): apesar do grau de liberação adequado ao processo de concentração, os resultados sugerem necessidade de adequação na dosagem de coletor;
- Litologia hematita anfibolítica: elevado percentual de lama na alimentação da flotação;
- Litologia itabirito anfibolítico:
  - amostra 1 (3425): elevado percentual de lama na alimentação da flotação;
  - amostras 2 e 3 (3426 e 3427): apesar do percentual de lama não ser muito elevado, os resultados indicam a necessidade de realização de estudo mais detalhado no processo de deslamagem, pois essas amostras apresentam um teor elevado de goethitas e presença de caulinita e gibsita;
- Litologias aluminosas: elevado percentual de lama na alimentação da flotação;
- Litologia itabirito manganêsífero: elevado percentual de lama na alimentação da flotação. A presença dos contaminantes  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Mn}$ , apesar de seus pequenos teores na alimentação, pode provavelmente inibir a ação dos reagentes tanto na deslamagem quanto na flotação;





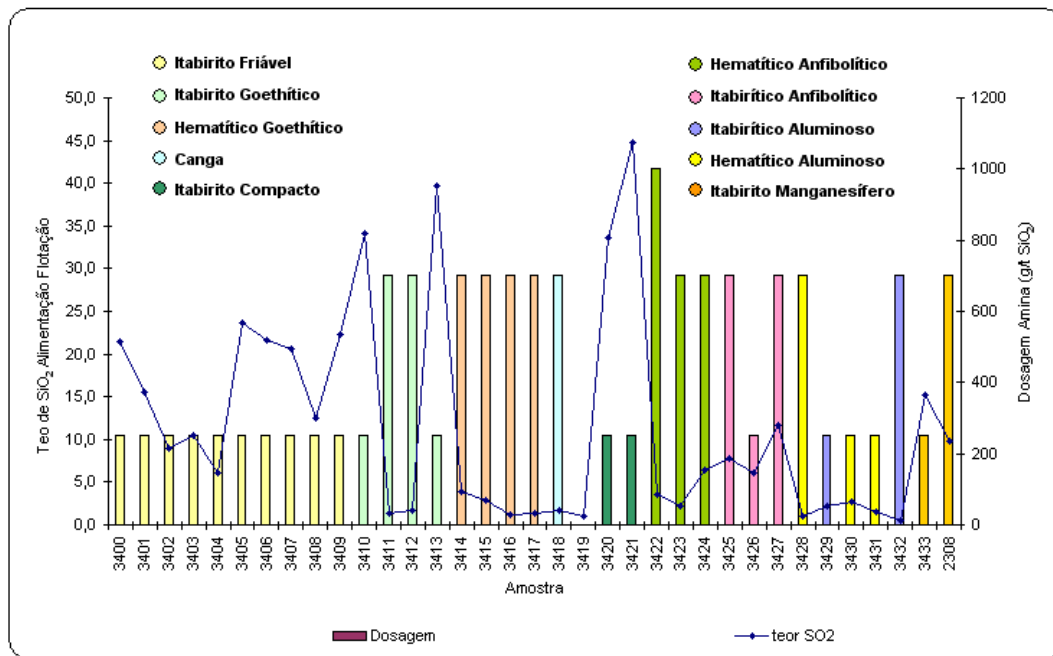
**Figura 5.36:** Fração -0,21mm – Teor SiO<sub>2</sub> “Pellet Feed”.

A figura 5.37 apresenta o teor de SiO<sub>2</sub> por litologia de acordo com a dosagem de amina.



**Figura 5.37:** Fração -0,21mm – Teor SiO<sub>2</sub> “Pellet Feed”, Litotipo e Dosagem de Amina.

O gráfico da figura 5.38 apresenta a dosagem de coletor em função do teor de SiO<sub>2</sub> na alimentação da flotação. Para as amostras mais ricas é necessária maior dosagem de coletor para obtenção de “pellet feed” com qualidade de redução direta.



**Figura 5.38:** Fração -0,21mm – Dosagem de Coletor.

A tabela V.14 apresenta o resumo dos resultados da caracterização tecnológica da fração -0,21mm e a tabela V.15 apresenta o resumo dos resultados da deslamagem.

**Tabela V.14: Resumo dos Resultados da Caracterização Tecnológica da Fração -0,21mm**

Tipologia	Amostra	Partição da Fração -0,21mm	Rec. Deslamagem	Partição da AL Flotação	Dosagem amina g/t SiO <sub>2</sub>	Fluxo	Química Global (%)							Recuperação (%)		Índice Seletividade		
							Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC		Mássica	Metálica
IF	3400	60,13	97,33	58,52	250	Alimentação	54,04	21,55	0,008	0,48	0,010	0,009	0,001	0,015	0,77	70,08	89,11	17,73
						Concentrado	68,71	0,78	0,008	0,28	0,013	0,013	0,002	0,017	0,77			
						Rejeito	19,67	70,19	0,008	0,94	0,003	0,000	0,000	0,009	0,76			
	3401	78,17	98,33	76,87	250	Alimentação	58,55	15,84	0,008	0,15	0,009	0,022	0,003	0,014	0,27	80,19	95,00	28,88
						Concentrado	69,36	0,44	0,008	0,16	0,011	0,028	0,003	0,016	0,31			
						Rejeito	14,78	78,18	0,007	0,13	0,000	0,000	0,003	0,008	0,11			
	3402	61,17	95,13	58,19	250	Alimentação	62,12	9,58	0,010	1,09	0,009	0,034	0,007	0,022	0,80	86,73	96,02	18,46
						Concentrado	68,77	0,73	0,010	0,58	0,010	0,038	0,007	0,025	0,63			
						Rejeito	18,64	67,42	0,013	4,41	0,002	0,006	0,006	0,003	1,91			
	3403	90,55	96,19	87,10	250	Alimentação	61,35	11,08	0,010	0,74	0,007	0,028	0,003	0,020	0,62	79,53	89,96	20,54
						Concentrado	69,40	0,29	0,010	0,26	0,008	0,034	0,003	0,025	0,47			
						Rejeito	30,08	53,01	0,010	2,60	0,001	0,007	0,005	0,003	1,20			
	3404	65,76	97,42	64,06	250	Alimentação	65,00	6,37	0,007	0,36	0,007	0,024	0,005	0,011	0,42	93,40	98,89	22,89
						Concentrado	68,82	0,99	0,007	0,32	0,007	0,026	0,005	0,011	0,42			
						Rejeito	10,95	82,54	0,008	0,92	0,000	0,000	0,004	0,008	0,49			
	3405	72,37	98,72	71,44	250	Alimentação	53,05	23,35	0,014	0,55	0,016	0,003	0,004	0,006	0,35	71,32	92,85	18,52
						Concentrado	68,91	1,16	0,012	0,20	0,017	0,004	0,003	0,006	0,22			
						Rejeito	13,60	78,51	0,018	1,41	0,012	0,000	0,008	0,005	0,66			
	3406	70,43	96,34	67,85	250	Alimentação	55,21	19,75	0,022	0,51	0,059	0,019	0,005	0,016	0,88	71,14	88,84	23,34
						Concentrado	68,95	0,40	0,025	0,33	0,072	0,025	0,004	0,019	0,99			
						Rejeito	21,35	67,46	0,013	0,96	0,028	0,003	0,007	0,010	0,60			
	3407	86,82	99,44	86,33	250	Alimentação	55,42	20,20	0,012	0,35	0,013	0,019	0,016	0,032	0,46	76,64	95,13	20,42
						Concentrado	68,79	1,18	0,013	0,22	0,015	0,023	0,016	0,028	0,46			
						Rejeito	11,55	82,63	0,007	0,76	0,005	0,005	0,015	0,044	0,47			
	3408	60,17	97,20	58,48	250	Alimentação	60,11	13,04	0,017	0,30	0,020	0,041	0,008	0,004	0,43	72,14	82,81	15,85
						Concentrado	69,00	0,34	0,019	0,22	0,022	0,046	0,008	0,005	0,47			
						Rejeito	37,10	45,93	0,012	0,50	0,014	0,027	0,008	0,000	0,34			
3409	91,36	99,29	90,71	250	Alimentação	53,30	22,39	0,007	0,96	0,009	0,026	0,007	0,010	0,39	63,37	82,46	23,05	
					Concentrado	69,35	0,31	0,006	0,18	0,010	0,033	0,008	0,010	0,12				
					Rejeito	25,52	60,59	0,008	2,30	0,006	0,014	0,006	0,009	0,87				
IGO	3410	60,20	95,95	57,76	250	Alimentação	45,76	33,75	0,026	0,18	0,020	0,052	0,011	0,030	0,66	61,56	92,51	33,42
						Concentrado	68,77	0,60	0,036	0,20	0,020	0,070	0,011	0,026	0,85			
						Rejeito	8,91	86,84	0,011	0,14	0,020	0,022	0,011	0,037	0,36			
	3413	66,18	97,24	64,35	250	Alimentação	41,83	40,04	0,012	0,23	0,043	0,011	0,009	0,023	0,19	47,11	77,91	17,86
						Concentrado	69,19	0,93	0,019	0,15	0,074	0,019	0,015	0,045	0,11			
						Rejeito	17,47	74,88	0,005	0,30	0,015	0,004	0,004	0,004	0,26			

Tipologia	Amostra	Partição da Fração <math>0,21\text{mm}</math>	Rec. Deslamagem	Partição da AL Flotação	Dosagem amina g/t $\text{SiO}_2$	Fluxo	Química Global (%)										Recuperação (%)		Índice Seletividade
							Fe	$\text{SiO}_2$	P	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Mn	$\text{TiO}_2$	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica		
HGO	3411	56,77	89,53	50,82	250	Alimentação	67,18	1,33	0,017	0,79	0,010	0,026	0,012	0,023	1,87	99,25	99,39	2,61	
						Concentrado	67,28	1,29	0,017	0,75	0,010	0,026	0,012	0,023	1,82				
						Rejeito	54,43	7,09	0,042	6,61	0,014	0,039	0,010	0,050	7,87				
	3411	56,77	89,53	50,82	700	Alimentação	67,04	1,42	0,018	0,80	0,015	0,027	0,016	0,020	1,85	98,61	99,28	9,26	
						Concentrado	67,50	0,89	0,018	0,73	0,015	0,027	0,016	0,020	1,80				
						Rejeito	34,47	38,96	0,027	6,10	0,015	0,027	0,017	0,021	5,51				
	3412	53,34	76,36	40,73	250	Alimentação	65,38	0,70	0,086	1,92	0,012	0,210	0,012	0,027	3,57	97,99	98,14	1,95	
						Concentrado	65,48	0,67	0,085	1,88	0,012	0,207	0,012	0,026	3,51				
						Rejeito	60,38	2,35	0,155	3,72	0,017	0,342	0,011	0,064	6,36				
	3412	53,34	76,36	40,73	700	Alimentação	65,03	0,88	0,089	1,97	0,011	0,209	0,011	0,025	3,55	92,68	92,90	1,81	
						Concentrado	65,19	0,76	0,088	1,92	0,010	0,200	0,011	0,022	3,52				
						Rejeito	63,05	2,42	0,098	2,55	0,017	0,324	0,011	0,068	3,92				
	3414	62,19	87,47	54,40	250	Alimentação	63,94	3,55	0,034	1,04	0,009	0,051	0,008	0,011	3,50	97,86	98,01	1,09	
						Concentrado	64,04	3,54	0,033	1,01	0,009	0,050	0,008	0,011	3,40				
						Rejeito	59,44	3,90	0,064	2,35	0,014	0,087	0,009	0,010	8,03				
	3414	62,19	87,47	54,40	700	Alimentação	64,13	3,41	0,034	1,05	0,023	0,048	0,013	0,023	3,97	87,55	90,00	5,86	
						Concentrado	65,93	0,81	0,034	1,06	0,023	0,049	0,013	0,022	4,00				
						Rejeito	51,49	21,69	0,031	1,01	0,023	0,044	0,014	0,030	3,73				
	3415	52,32	95,85	50,15	250	Alimentação	66,27	2,82	0,03	0,97	0,02	0,03	0,01	0,03	1,36	97,46	99,02	8,76	
						Concentrado	67,33	1,65	0,03	0,72	0,02	0,03	0,01	0,03	1,26				
						Rejeito	25,52	47,98	0,03	10,57	0,03	0,02	0,02	0,06	5,27				
	3415	52,32	95,85	50,15	700	Alimentação	65,95	2,96	0,027	0,94	0,019	0,027	0,010	0,011	1,38	95,40	98,22	14,86	
						Concentrado	67,90	0,62	0,027	0,61	0,019	0,027	0,010	0,010	1,26				
						Rejeito	25,49	51,40	0,021	7,81	0,018	0,026	0,017	0,025	3,90				
3416	41,42	86,64	35,88	250	Alimentação	65,79	1,08	0,041	1,20	0,011	0,067	0,015	0,025	3,41	99,45	99,51	1,65		
					Concentrado	65,82	1,07	0,041	1,19	0,011	0,067	0,015	0,025	3,38					
					Rejeito	59,46	2,62	0,076	3,59	0,019	0,128	0,010	0,049	8,05					
3416	41,42	86,64	35,88	700	Alimentação	66,10	1,09	0,037	1,19	0,012	0,068	0,008	0,005	3,26	98,49	98,62	1,82		
					Concentrado	66,19	1,06	0,037	1,16	0,012	0,067	0,008	0,005	3,20					
					Rejeito	60,22	3,19	0,069	3,02	0,017	0,125	0,007	0,009	6,95					
3417	58,40	91,04	53,17	250	Alimentação	67,97	1,05	0,019	0,49	0,008	0,031	0,012	0,021	1,27	99,31	99,42	2,67		
					Concentrado	68,04	1,01	0,019	0,46	0,008	0,031	0,012	0,021	1,24					
					Rejeito	57,73	6,13	0,044	5,23	0,012	0,031	0,011	0,023	5,54					
3417	58,40	91,04	53,17	700	Alimentação	68,15	1,10	0,019	0,50	0,008	0,031	0,013	0,025	1,23	98,08	98,43	4,07		
					Concentrado	68,40	0,89	0,019	0,44	0,008	0,031	0,013	0,025	1,17					
					Rejeito	55,55	11,99	0,035	3,78	0,009	0,028	0,014	0,039	4,16					
3418	57,63	91,43	52,69	250	Alimentação	59,05	1,64	0,284	4,74	0,047	0,372	0,009	0,011	8,25	96,93	97,17	2,10		
					Concentrado	59,20	1,50	0,284	4,72	0,046	0,366	0,009	0,010	8,22					
					Rejeito	54,44	6,08	0,295	5,35	0,066	0,564	0,011	0,031	9,30					
3418	57,63	91,43	52,69	700	Alimentação	57,67	3,62	0,268	4,61	0,055	0,429	0,017	0,028	8,24	50,62	52,39	2,37		
					Concentrado	59,69	1,17	0,284	4,57	0,050	0,357	0,016	0,025	8,28					
					Rejeito	55,59	6,13	0,252	4,65	0,061	0,503	0,018	0,031	8,20					
3419	62,56	70,01	43,80	700	Alimentação	57,67	0,97	0,13	5,27	0,01	0,39	0,01	0,03	10,15					
					Concentrado														
					Rejeito														
IC	3420	58,54	98,88	57,88	250	Alimentação	45,77	34,03	0,005	0,18	0,043	0,022	0,004	0,005	0,21	41,86	63,07	9,91	
						Concentrado	68,96	1,39	0,005	0,10	0,053	0,031	0,005	0,005	0,18				
						Rejeito	29,07	57,53	0,005	0,23	0,035	0,016	0,003	0,005	0,24				
	3421	61,25	98,26	60,18	250	Alimentação	37,40	45,64	0,007	0,19	0,019	0,014	0,006	0,005	0,18	37,78	68,66	11,24	
						Concentrado	67,96	2,06	0,009	0,12	0,030	0,025	0,010	0,005	0,15				
						Rejeito	18,84	72,10	0,005	0,23	0,013	0,007	0,003	0,005	0,20				

Tipologia	Amostra	Partição da Fração <math>0,21\text{mm}</math>	Rec. Deslamagem	Partição da AL Flotação	Dosagem amina g/t $\text{SiO}_2$	Fluxo	Química Global (%)										Recuperação (%)		Índice Seletividade
							Fe	$\text{SiO}_2$	P	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Mn	$\text{TiO}_2$	CaO	MgO	PPC	Mássica	Metálica		
HAF	3422	89,32	32,75	29,26	700	Alimentação	58,76	2,96	0,131	1,45	0,098	0,053	0,012	0,290	11,11	84,05	85,18	2,12	
						Concentrado	59,55	1,98	0,134	1,36	0,096	0,049	0,012	0,294	11,18				
						Rejeito	54,60	8,14	0,115	1,94	0,106	0,071	0,012	0,270	10,73				
	3422	89,32	32,75	29,26	1000	Alimentação	58,53	3,19	0,131	1,37	0,116	0,055	0,010	0,312	11,19	88,08	88,57	1,56	
						Concentrado	58,86	2,76	0,131	1,37	0,114	0,053	0,010	0,312	11,18				
						Rejeito	56,10	6,38	0,130	1,38	0,127	0,071	0,011	0,309	11,25				
	3423	75,10	27,07	20,33	700	Alimentação	57,84	2,17	0,150	2,52	0,095	0,055	0,011	0,335	12,11	91,03	91,31	1,65	
						Concentrado	58,02	1,89	0,151	2,53	0,094	0,054	0,011	0,333	12,12				
						Rejeito	56,02	4,97	0,142	2,44	0,106	0,063	0,012	0,353	12,01				
	3424	85,00	55,55	47,22	250	Alimentação	55,55	6,19	0,323	1,54	0,167	0,053	0,012	0,360	11,01	81,88	84,93	3,14	
						Concentrado	57,62	2,75	0,339	1,62	0,175	0,053	0,012	0,369	11,36				
						Rejeito	46,22	21,75	0,253	1,17	0,130	0,053	0,010	0,322	9,41				
3424	85,00	55,55	47,22	700	Alimentação	55,76	5,98	0,324	1,47	0,186	0,052	0,011	0,335	11,82	73,26	76,34	3,15		
					Concentrado	58,10	2,00	0,344	1,56	0,196	0,049	0,010	0,349	12,32					
					Rejeito	49,33	16,89	0,270	1,24	0,160	0,060	0,012	0,295	10,44					
IAF	3425	68,32	57,38	39,20	250	Alimentação	55,46	9,75	0,273	1,09	0,105	0,036	0,010	0,281	8,45	82,88	88,09	3,53	
						Concentrado	58,94	4,38	0,285	1,11	0,109	0,037	0,010	0,286	8,66				
						Rejeito	38,58	35,73	0,216	1,02	0,088	0,033	0,011	0,259	7,44				
	3425	68,32	57,38	39,20	700	Alimentação	56,42	8,42	0,277	1,09	0,124	0,037	0,010	0,276	9,05	75,67	81,25	4,16	
						Concentrado	60,58	2,23	0,288	1,09	0,127	0,038	0,010	0,273	9,20				
						Rejeito	43,47	27,66	0,242	1,09	0,113	0,033	0,010	0,285	8,57				
	3426	58,00	82,93	48,09	250	Alimentação	62,07	6,16	0,077	1,30	0,235	0,071	0,008	0,091	3,41	91,16	93,54	2,88	
						Concentrado	63,69	4,29	0,078	0,97	0,240	0,066	0,007	0,074	3,33				
						Rejeito	45,40	25,40	0,064	4,73	0,182	0,118	0,018	0,265	4,19				
	3427	74,54	65,95	49,16	250	Alimentação	55,22	12,21	0,184	1,20	0,215	0,039	0,010	0,303	6,74	72,29	81,24	6,35	
						Concentrado	62,06	1,64	0,209	1,27	0,250	0,040	0,010	0,338	7,52				
						Rejeito	37,38	39,79	0,118	1,03	0,122	0,036	0,011	0,213	4,70				
3427	74,54	65,95	49,16	700	Alimentação	55,18	12,09	0,189	1,22	0,231	0,041	0,011	0,288	7,00	55,46	61,78	4,41		
					Concentrado	61,47	1,67	0,229	1,39	0,283	0,040	0,010	0,322	8,25					
					Rejeito	47,34	25,06	0,140	1,01	0,166	0,042	0,012	0,246	5,45					
IAL	3429	88,46	61,18	54,12	250	Alimentação	63,07	2,57	0,039	3,17	0,019	0,424	0,004	0,008	3,27	92,99	94,05	2,12	
						Concentrado	63,79	2,15	0,038	2,79	0,018	0,405	0,004	0,002	3,07				
						Rejeito	53,54	8,12	0,055	8,18	0,029	0,679	0,007	0,088	5,87				
	3432	51,15	66,47	34,00	700	Alimentação	57,39	0,41	0,133	6,71	0,019	0,385	0,009	0,000	9,91	98,17	98,46	1,49	
						Concentrado	57,56	0,40	0,132	6,60	0,019	0,378	0,009	0,000	9,78				
						Rejeito	48,22	0,74	0,178	12,36	0,041	0,759	0,008	0,010	17,08				
HAL	3428	73,32	60,43	44,31	700	Alimentação	68,01	0,69	0,017	0,82	0,024	0,205	0,015	0,031	0,80	97,19	97,78	4,86	
						Concentrado	68,42	0,46	0,015	0,61	0,024	0,195	0,015	0,028	0,67				
						Rejeito	53,77	8,54	0,074	7,92	0,024	0,534	0,012	0,134	5,36				
	3430	76,16	79,85	60,81	250	Alimentação	66,14	1,49	0,029	1,21	0,019	0,206	0,006	0,007	1,99	97,63	98,30	4,07	
						Concentrado	66,60	1,19	0,029	0,98	0,019	0,205	0,006	0,005	1,87				
						Rejeito	47,37	13,99	0,050	10,54	0,024	0,259	0,005	0,090	6,76				
3431	81,94	75,94	62,23	250	Alimentação	65,74	2,08	0,029	1,53	0,019	0,103	0,005	0,007	2,15	97,24	98,08	3,52		
					Concentrado	66,31	1,72	0,028	1,23	0,019	0,103	0,005	0,005	2,00					
					Rejeito	45,71	14,71	0,049	12,08	0,020	0,113	0,003	0,069	7,38					
IMN	3433	89,25	91,22	81,41	250	Alimentação	57,27	16,70	0,012	0,70	0,054	0,079	0,011	0,025	0,41	60,24	72,89	17,93	
						Concentrado	69,29	0,23	0,012	0,22	0,054	0,086	0,010	0,025	0,25				
						Rejeito	39,06	41,66	0,012	1,42	0,055	0,069	0,012	0,026	0,64				
	2308	65,09	95,58	62,21	250	Alimentação	61,73	9,65	0,024	0,43	0,509	0,114	0,018	0,035	0,66	99,52	99,73	2,62	
						Concentrado	61,86	9,52	0,024	0,41	0,497	0,113	0,018	0,034	0,64				
						Rejeito	34,46	36,38	0,118	4,16	2,990	0,246	0,036	0,286	5,01				
2308	65,09	95,58	62,21	700	Alimentação	60,26	11,62	0,026	0,52	0,605	0,113	0,014	0,055	0,88	87,55	94,43	4,72		
					Concentrado	64,99	5,73	0,020	0,23	0,422	0,108	0,012	0,029	0,56					
					Rejeito	26,98	53,07	0,071	2,52	1,890	0,149	0,028	0,234	3,17					

Tabela V.15: Resumo dos Resultados da Deslamagem

Tipologia	Amostra	Fluxo	% -10µm	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Recuperação Mássica	% Massa Overflow	GT+CA+GB na Alimentação
IF	3400	Alimentação	5,98	53,91	21,03	0,008	0,59	0,014	0,020	0,003	0,021	1,01	97,33	2,67	2,53
		Underflow	2,08	53,94	21,41	0,006	0,43	0,012	0,020	0,003	0,020	0,76			
		Overflow	-	52,79	7,20	0,076	6,33	0,098	0,036	0,019	0,058	10,19			
	3401	Alimentação	3,13	58,47	15,28	0,009	0,19	0,013	0,032	0,003	0,010	0,38	98,33	1,67	0,74
		Underflow	0,67	58,46	15,50	0,006	0,13	0,009	0,032	0,003	0,009	0,23			
		Overflow	-	58,91	2,14	0,212	3,46	0,278	0,024	0,019	0,098	9,13			
	3402	Alimentação	12,68	60,95	9,47	0,010	1,83	0,013	0,047	0,007	0,015	1,30	95,13	4,87	4,78
		Underflow	5,31	62,31	8,95	0,007	0,95	0,010	0,042	0,006	0,012	0,78			
		Overflow	-	34,26	19,66	0,072	19,02	0,073	0,140	0,023	0,071	11,39			
	3403	Alimentação	8,41	60,39	10,86	0,013	1,23	0,011	0,037	0,004	0,007	1,03	96,19	3,81	1,86
		Underflow	1,76	61,32	10,55	0,008	0,63	0,008	0,037	0,004	0,004	0,61			
		Overflow	-	36,90	18,56	0,132	16,50	0,093	0,031	0,014	0,071	11,53			
	3404	Alimentação	6,49	64,59	6,25	0,008	0,67	0,011	0,039	0,005	0,009	0,62	97,42	2,58	2,82
		Underflow	1,14	65,14	6,11	0,005	0,31	0,009	0,035	0,005	0,007	0,36			
		Overflow	-	43,65	11,72	0,136	14,46	0,105	0,178	0,022	0,081	10,59			
	3405	Alimentação	0,53	52,40	23,52	0,023	0,68	0,031	0,016	0,006	0,013	0,40	98,72	1,28	1,68
		Underflow	0,51	52,64	23,59	0,012	0,46	0,018	0,015	0,005	0,012	0,26			
		Overflow	-	34,19	17,97	0,856	17,68	0,998	0,058	0,114	0,108	11,49			
	3406	Alimentação	6,30	53,62	21,10	0,027	0,72	0,085	0,029	0,004	0,023	1,13	96,34	3,66	1,05
		Underflow	1,07	53,73	21,60	0,019	0,46	0,059	0,029	0,004	0,021	0,79			
		Overflow	-	50,65	8,01	0,241	7,57	0,775	0,020	0,013	0,082	10,18			
	3407	Alimentação	0,60	55,05	20,60	0,019	0,44	0,011	0,010	0,010	0,024	0,54	99,44	0,56	0,70
		Underflow	0,36	55,08	20,66	0,018	0,40	0,010	0,010	0,010	0,024	0,49			
		Overflow	-	49,59	10,55	0,224	8,10	0,109	0,035	0,019	0,093	9,32			
3408	Alimentação	7,16	59,76	12,52	0,022	0,54	0,015	0,038	0,011	0,029	0,67	97,20	2,80	2,57	
	Underflow	0,92	60,11	12,54	0,015	0,27	0,010	0,038	0,011	0,028	0,43				
	Overflow	-	47,54	11,74	0,254	9,82	0,185	0,028	0,021	0,057	9,16				
3409	Alimentação	3,78	53,31	22,30	0,012	1,33	0,012	0,014	0,011	0,022	0,53	99,29	0,71	0,43	
	Underflow	3,70	53,55	22,23	0,010	1,15	0,011	0,014	0,011	0,022	0,45				
	Overflow	-	20,48	31,76	0,254	26,73	0,196	0,014	0,036	0,088	11,41				
IGO	3410	Alimentação	3,10	46,07	32,91	0,037	0,25	0,012	0,083	0,011	0,029	0,90	95,95	4,05	0,38
		Underflow	1,07	45,40	34,17	0,029	0,20	0,011	0,048	0,011	0,028	0,70			
		Overflow	-	61,83	3,02	0,232	1,37	0,041	0,913	0,013	0,053	5,62			
3413	Alimentação	4,39	41,70	39,26	0,018	0,49	0,065	0,012	0,011	0,032	0,44	97,24	2,76	0,26	
	Underflow	1,49	41,76	39,74	0,011	0,21	0,042	0,011	0,010	0,030	0,21				
	Overflow	-	39,54	22,35	0,276	10,32	0,873	0,064	0,032	0,114	8,46				
HGO	3411	Alimentação	11,49	66,10	1,52	0,025	1,28	0,012	0,025	0,012	0,030	2,89	89,53	10,47	3,15
		Underflow	2,37	67,27	1,35	0,017	0,81	0,010	0,014	0,012	0,029	1,94			
		Overflow	-	56,08	2,93	0,096	5,33	0,026	0,123	0,011	0,036	10,97			
	3412	Alimentação	18,81	62,31	2,04	0,132	3,37	0,014	0,259	0,011	0,044	5,17	76,36	23,64	5,39
		Underflow	4,99	64,60	1,62	0,085	2,27	0,010	0,216	0,010	0,033	3,64			
		Overflow	-	54,90	3,39	0,282	6,93	0,025	0,397	0,016	0,078	10,12			
	3414	Alimentação	10,60	64,29	3,49	0,036	1,37	0,014	0,031	0,011	0,029	2,69	87,47	12,53	3,77
		Underflow	2,89	65,16	3,88	0,026	1,03	0,014	0,013	0,011	0,027	1,37			
		Overflow	-	58,20	0,73	0,103	3,71	0,014	0,159	0,010	0,039	11,91			
	3415	Alimentação	3,77	65,16	3,07	0,032	1,38	0,021	0,028	0,005	0,046	2,00	95,85	4,15	2,38
		Underflow	2,12	65,68	2,93	0,027	1,13	0,019	0,027	0,005	0,045	1,63			
		Overflow	-	53,08	6,33	0,154	7,18	0,068	0,059	0,014	0,078	10,50			
	3416	Alimentação	13,14	64,68	1,41	0,050	1,72	0,013	0,090	0,013	0,028	4,30	86,64	13,36	4,53
		Underflow	1,86	65,90	1,25	0,038	1,25	0,012	0,070	0,013	0,027	3,33			
		Overflow	-	56,80	2,45	0,129	4,76	0,022	0,223	0,012	0,034	10,60			
3417	Alimentação	14,33	66,75	1,59	0,026	0,98	0,015	0,014	0,012	0,031	2,00	91,04	8,96	3,35	
	Underflow	4,49	67,80	1,29	0,017	0,53	0,013	0,010	0,012	0,031	1,33				
	Overflow	-	56,04	4,66	0,116	5,53	0,030	0,053	0,013	0,034	8,81				

Tipologia	Amostra	Fluxo	% -10µm	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC	Recuperação Mássica	% Massa Overflow	GT+CA+GB na Alimentação
CG	3418	Alimentação	36,94	57,83	1,71	0,294	4,94	0,038	0,411	0,010	0,022	9,04	91,43	8,57	24,27
		Underflow	5,33	58,26	1,65	0,283	4,65	0,036	0,371	0,010	0,022	8,85			
		Overflow	-	53,26	2,36	0,417	8,04	0,063	0,837	0,013	0,027	11,04			
	3419	Alimentação	14,09	56,14	1,81	0,138	6,21	0,015	0,556	0,011	0,024	10,40	70,01	29,99	13,73
		Underflow	4,97	57,67	0,97	0,128	5,27	0,011	0,392	0,012	0,026	10,15			
		Overflow	-	52,58	3,78	0,163	8,39	0,026	0,940	0,009	0,019	10,96			
IC	3420	Alimentação	3,35	45,63	33,63	0,007	0,25	0,071	0,021	0,017	0,027	0,22	98,88	1,12	0,93
		Underflow	1,74	45,77	33,65	0,004	0,16	0,031	0,020	0,016	0,026	0,14			
		Overflow	-	33,27	31,46	0,296	7,80	3,594	0,103	0,068	0,107	7,11			
	3421	Alimentação	3,72	38,06	44,50	0,013	0,26	0,027	0,013	0,019	0,032	0,23	98,26	1,74	1,48
		Underflow	3,03	38,05	44,81	0,006	0,14	0,017	0,012	0,019	0,028	0,09			
		Overflow	-	38,88	26,86	0,411	6,74	0,591	0,042	0,039	0,237	8,30			
HAF	3422	Alimentação	56,72	58,59	2,61	0,138	1,71	0,120	0,054	0,019	0,318	11,04	32,75	67,25	19,27
		Underflow	13,03	58,33	3,54	0,131	1,67	0,093	0,055	0,028	0,337	10,32			
		Overflow	-	58,71	2,15	0,142	1,73	0,133	0,054	0,015	0,309	11,39			
	3423	Alimentação	58,21	57,88	1,97	0,155	2,55	0,111	0,060	0,016	0,346	11,84	27,07	72,93	27,77
		Underflow	25,76	57,02	2,28	0,154	2,50	0,094	0,056	0,015	0,315	12,82			
		Overflow	-	58,20	1,85	0,156	2,57	0,117	0,062	0,016	0,357	11,48			
	3424	Alimentação	48,22	57,04	4,38	0,324	1,68	0,169	0,053	0,024	0,361	11,05	55,55	44,45	25,22
		Underflow	10,47	55,70	6,34	0,324	1,71	0,166	0,053	0,033	0,372	10,74			
		Overflow	-	58,72	1,92	0,324	1,65	0,172	0,052	0,013	0,348	11,44			
IAF	3425	Alimentação	52,44	57,41	5,31	0,322	1,41	0,131	0,043	0,013	0,303	9,69	57,38	42,62	23,78
		Underflow	13,11	56,73	7,80	0,283	1,08	0,112	0,036	0,012	0,276	8,40			
		Overflow	-	58,33	1,95	0,375	1,86	0,156	0,052	0,015	0,340	11,43			
	3426	Alimentação	41,01	60,02	6,05	0,114	2,19	0,343	0,073	0,013	0,119	4,74	82,93	17,07	22,35
		Underflow	4,49	61,71	6,11	0,081	1,28	0,256	0,072	0,012	0,096	3,38			
		Overflow	-	51,81	5,74	0,277	6,60	0,763	0,077	0,019	0,229	11,35			
	3427	Alimentação	49,51	56,25	8,54	0,238	1,72	0,233	0,058	0,017	0,335	7,96	65,95	34,05	6,78
		Underflow	5,05	55,66	11,66	0,185	1,27	0,203	0,042	0,017	0,310	6,19			
		Overflow	-	57,38	2,49	0,342	2,58	0,290	0,088	0,018	0,382	11,39			
IAL	3429	Alimentação	69,64	48,34	11,22	0,081	11,36	0,015	0,639	0,015	0,050	7,03	61,18	38,82	61,45
		Underflow	21,97	62,90	2,67	0,041	3,27	0,012	0,432	0,018	0,025	3,11			
		Overflow	-	25,39	24,69	0,143	24,12	0,019	0,965	0,011	0,090	13,20			
	3432	Alimentação	46,59	56,37	0,60	0,169	7,94	0,014	0,635	0,013	0,027	9,92	66,47	33,53	18,58
		Underflow	21,18	58,51	0,58	0,137	6,71	0,013	0,380	0,015	0,029	8,31			
		Overflow	-	52,13	0,63	0,233	10,37	0,016	1,140	0,010	0,024	13,12			
HAL	3428	Alimentação	58,11	56,47	8,09	0,044	7,15	0,008	0,430	0,014	0,074	3,56	60,43	39,57	27,05
		Underflow	3,00	67,98	1,00	0,020	0,91	0,002	0,204	0,017	0,048	0,69			
		Overflow	-	38,89	18,93	0,081	16,67	0,017	0,775	0,009	0,114	7,94			
	3430	Alimentação	36,49	61,51	3,88	0,057	3,79	0,022	0,246	0,009	0,022	3,81	79,85	20,15	22,12
		Underflow	3,94	66,24	1,58	0,031	1,24	0,018	0,205	0,008	0,010	1,88			
		Overflow	-	42,75	13,01	0,161	13,90	0,037	0,408	0,011	0,072	11,45			
	3431	Alimentação	40,25	59,39	5,10	0,059	4,81	0,013	0,119	0,016	0,026	4,59	75,94	24,06	22,06
		Underflow	9,49	65,52	2,14	0,029	1,67	0,011	0,104	0,018	0,020	2,08			
		Overflow	-	40,04	14,44	0,154	14,72	0,020	0,167	0,010	0,047	12,51			
IMN	3433	Alimentação	16,70	55,93	15,54	0,046	2,20	0,299	0,080	0,017	0,043	1,32	91,22	8,78	1,55
		Underflow	2,60	58,11	15,20	0,017	0,74	0,047	0,082	0,016	0,022	0,36			
		Overflow	-	33,30	19,06	0,352	17,38	2,913	0,060	0,033	0,264	11,26			
	2308	Alimentação	10,09	59,94	10,08	0,038	0,93	0,989	0,127	0,019	0,070	1,37	95,58	4,42	0,98
		Underflow	3,25	61,17	9,74	0,027	0,48	0,631	0,115	0,015	0,058	0,92			
		Overflow	-	33,46	17,46	0,274	10,54	8,732	0,383	0,097	0,331	11,05			

### 5.3 Matriz Utilizada para Análise Detalhada dos Testes Mineralógicos e Tecnológicos

A tabela V.16 mostra a matriz com os critérios utilizados para a avaliação dos resultados do presente estudo. Esta matriz foi estabelecida com base nas especificações de mercado a serem atendidas nos produtos da mina de Brucutu, sendo definida através de indicadores de performance e nas seguintes premissas: muito alto (↑↑), alto (↑), normal (→), baixo (↓), muito baixo: (↓↓).

A qualidade esperada nos ensaios tecnológicos é de 4,5% de SiO<sub>2</sub> para o “sinter feed”. Para o “pellet feed” para redução direta, foi considerada a qualidade menor ou igual a 1% de SiO<sub>2</sub>, obedecendo o resultado padrão do teste de bancada, sem as otimizações das variáveis operacionais. A tabela V.17 apresenta a análise dos resultados dos ensaios mineralógicos e tecnológicos.

**Tabela V.16:** Premissas Utilizadas para Análise

INDICADORES		PREMISSAS				
		↓↓	↓	→	↑	↑↑
Flotabilidade (% SiO <sub>2</sub> no Concentrado)		<0,6%	>0,6 e <0,8%	>0,8 e <1,0%	>1,0 e <3%	>3%
% SiO <sub>2</sub> na Alimentação da Flotação		<5%	>5 e <11%	>11 e <19%	>19 e <24%	>24%
% Fe no Rejeito da Flotação		<15%	>15 e <20%	>20 e <25%	>25 e <30%	>30%
% de Lama na Alimentação da Deslamagem		<10%	>10 e <25%	>25 e <40%	>40 e <55%	>55%
% de Lama na Alimentação da Flotação		<2%	>2 e <3%	>3 e <4%	>5 e <6%	>6%
Recuperação Mássica da Separação Magnética		<40%	>40 e <50%	>50 e <60%	>60 e <70%	>70%
Quantidade de Minerais Portadores de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (GT+GB+CA)		<5%	>5 e <12%	>12 e <18%	>18 e <25%	>25%
%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Global		<0,7%	>0,7 e <1,8%	>1,8 e <2,5%	>2,5 e <3,2%	>3,2%
%P Global		<0,005%	>0,005 e <0,020%	>0,020 e <0,035%	>0,035 e <0,05%	>0,050%
%Mn Global		<0,006%	>0,006 e <0,012%	>0,012 e <0,018%	>0,018 e <0,024%	>0,024%
% Massa	-8+1mm	<9%	>9 e <22%	>22 e <27%	>27 e <35%	>35%
	-1+0,21mm	<18%	>18 e <21%	>21 e <24%	>24 e <27%	>27%
	-0,21mm	<45%	>45 e <50%	>50 e <55%	>55 e <60	>60%
% SiO <sub>2</sub>	-8+1mm	<2,8%	>2,8 e <4,3%	>4,3 e <5,8%	>5,8 e <7,3%	>7,3%
	-1+0,21mm	<13%	>13 e <17%	>17 e <21%	>21 e <25%	>25%
	-0,21mm	<8%	>8 e <10,5%	>10,5 e <13%	>13 e <15,5%	>15,5%
Grau de Liberação do Quartzo		<35%	<35 e >50%	<50 e >75%	<75 e >90%	>90%
<b>LEGENDA</b>						
↑↑ = MUITO ALTO   ↑ = ALTO   → = NORMAL   ↓ = BAIXO   ↓↓ = MUITO BAIXO						



Tabela V.17: Quadro de Análise dos Resultados dos Testes Mineralógicos e Tecnológicos

Tipologia	Amostra	% SiO <sub>2</sub>			Grau de Liberação do Quartzo	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Global	Quantidade Mineral Portadores Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (GT+GB+CA)	%P Global	%Mn Global	%Massa			Recuperação Massica Separação Magnética	% de Lama na Alimentação da Deslamagem	% de Lama na Alimentação da Flotação	SiO <sub>2</sub> na Alimentação Flotação	Fe no Rejeito da Flotação	Flotabilidade (%SiO <sub>2</sub> no Concentrado)	
		≥1mm	-1+0,21mm	0,21mm						≥1mm	-1+0,21mm	0,21mm							
1	Habitito Friável	AFBR3400-BCO 1000	↓	↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓	→	↓	↓	↑↑	↓	↓↓	↓	↑	↓	↓	
		AFBR3401-BCO 960	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓	↑	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓↓	→	↓↓	↓↓	
		AFBR3402-BCO 1040	↓↓	↑↑	↓	↑↑	↓	↓↓	↓	↓	→	↓↓	↑↑	↓	↓	↑↑	↓	↓	
		AFBR3403-BCO 1010	↓↓	↑↑	→	↑↑	↓	↓↓	↓	→	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓↓	→	↑↑	↓↓
		AFBR3404-BCO 1050	↓↓	↑	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓	→	→	↓↓	↑↑	↑	↓↓	↓↓	↓	↓↓	↑
		AFBR3405-BCO 1010	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↓	↑	↓↓	→	↑↑	→	↓↓	↓↓	↑	↓↓	↑
		AFBR3406-BCO 940	↓	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	→	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓↓	↑	→	↓↓
		AFBR3407-BCO 930	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↓	↓	↓↓	↓↓	↑↑	↑	↓↓	↓↓	↑	↓↓	↑
		AFBR3408-BCO 950	↓↓	→	→	↑↑	↓↓	↓↓	→	→	↓	↓	↑↑	→	↓↓	↓↓	→	↑↑	↓↓
AFBR3409-BCO 790	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↓	↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓	→	↑	↑	↓↓		
2	Habitito Goethítico	AFBR3410-BCO 880	↓	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓	→	↓	↑	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	
		AFBR3413-BCO 900	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↓↓	↓↓	↓	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↓	
3	Hematita Goethítica	AFBR3411-BCO 1000	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓	↓	↑	↑	↓	↓	↓	↓↓	↑↑	→	
		AFBR3412-BCO 970	↓	↓↓	↓↓	↑↑	↑	→	↑↑	→	↑	↓↓	→	↓↓	↓	↑	↓↓	↑↑	
		AFBR3414-BCO 960	↓↓	↓	↓↓	↑↑	↓	↓	↑	↓↓	→	↓↓	↑↑	↓↓	↓	↓	↓↓	↑↑	
		AFBR3415-BCO 940	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↓	↑	↑	→	↑	→	↓↓	↓↓	↓	↓↓	↑	
		AFBR3416-BCO 990	↓↓	↓↓	↓↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑↑	↓↓	↓↓	↑	↓	↓↓	↓↓	↑↑	
AFBR3417-BCO 770	↓	→	↓↓	↑↑	↓↓	↓	↓	↓	↑	↓↓	↑	↓↓	↓	↑	↓↓	↑↑			
4	Canga	AFBR3418-BCO 1110	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↓↓	↑	↓↓	→	↑↑	↓↓	↑↑		
		AFBR3419-BCO 1020	↓↓	↓↓	↓↓	→	↑↑	→	↑↑	→	↑	↓↓	↑↑	↓↓	↓	↑	↓↓		
5	Habitito Compacto	AFBR3420-BCO 970	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓↓	↓↓	↓	↑↑	→	↓↓	↑	→	↓↓	↓↓	↑↑		
		AFBR3421-BCO 890	↑↑	↑↑	↑↑	→	↓↓	↓↓	↓	↑	↑	↓↓	↑↑	↑↑	↓↓	→	↑↑		
6	Hematita Anfíbolítica	AFBR3422-BCO 790	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↑↑		
		AFBR3423-BCO 770	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑↑	↑↑	↓↓		
		AFBR3424-BCO 800	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↓	↑	↑↑	↓		
7	Habitito Anfíbolítico	AFBR3425-BCO 800	↓	↓↓	↓↓	↑	↓	↑	↑↑	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑	↑↑	↓		
		AFBR3426-BCO 790	↓	↓↓	↓↓	↑	↓	→	↑↑	↑↑	↓	→	↑	↑↑	↑	↑	↓		
		AFBR3427-BCO 780	↓	↓↓	↓	↑↑	↓	↓	↑↑	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↓	↑	↑↑	→		
8	Habitito Aluminoso	AFBR3428-BCO 990	↑↑	↑↑	→	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	→	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑↑	↓↓	↑↑		
		AFBR3429-BCO 850	↓↓	↓↓	↓↓	↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↑	↓	→	↓↓	↑	↑↑	↓↓		
9	Hematita Aluminosa	AFBR3428-BCO 990	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↑↑	↑↑	↑	→	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↑↑	↓	↓↓		
		AFBR3430-BCO 960	→	↓↓	↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	→	↓	↓↓	↑↑	↓↓	→	→	↓↓		
		AFBR3431-BCO 990	↑↑	↑	↓↓	↑↑	↑↑	↑	↑↑	→	↓	↓↓	↑↑	↓	↑	↑↑	↓↓		
10	Habitito Manganífero	AFBR3433-BCO 800	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	→	↑↑	↓↓	↓↓	↑↑	↓↓	↓	→	↑↑		
		TCBR2308-BCO090-FR591	↑↑	↑↑	↓↓	↑↑	↓↓	↓↓	↓	↑↑	↓	↓↓	↑↑	↑↑	↓	→	↑		

## 5.4 Capacidade de Produção de “Pellet Feed” e “Sinter Feed” por Tipologia

De acordo com as análises das tipologias dos ensaios mineralógicos e tecnológicos e cubagem das reservas, fornecida pelo planejamento de mina, foi possível mensurar a capacidade de produção do “pellet feed” e “sinter feed” em relação à massa alimentada (tabela V.18).

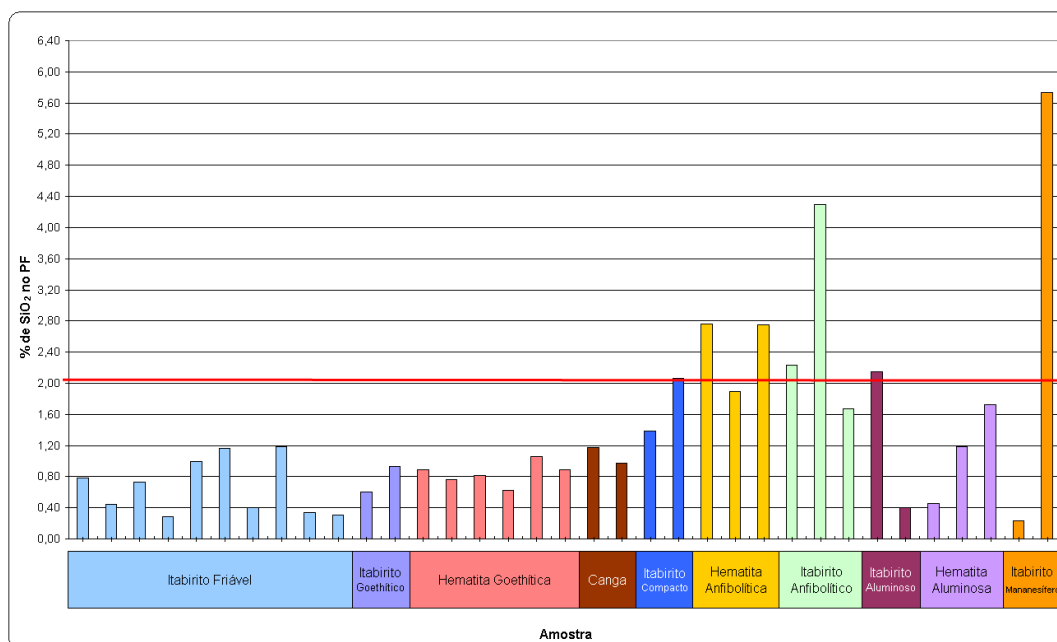
**Tabela V.18:** Capacidade de Produção de “Pellet Feed” e “Sinter Feed”

Descrição	IF	IGO	HGO	CG	IC	HAF	IAF	IAL	HAL	IMN
Fração na Reserva	75,48%	6,59%	2,14%	7,26%	0,71%	0,19%	0,03%	0,73%	0,38%	0,71%
Diluição de Mina	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Variabilidade da Pilha/Alimentação Direta	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Defeito de Usina	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
Produção de Sinter Feed Natural com Base nos Resultados Tecnológicos	46,17%	38,48%	76,95%	76,95%	0,00%	76,95%	76,95%	38,48%	25,65%	0,00%
Produção de Sinter Feed Natural Proporcional à Reserva	36,99%	2,69%	1,75%	5,93%	0,00%	0,16%	0,02%	0,30%	0,10%	0,00%
Produção de Sinter Feed Concentrado pela Jigagem com Base nos Resultados Tecnológicos	76,95%	38,48%	76,95%	76,95%	0,00%	76,95%	76,95%	38,48%	51,56%	38,48%
Produção de Sinter Feed Concentrado pela Jigagem Proporcional à Reserva	61,64%	2,69%	1,75%	5,93%	0,00%	0,16%	0,02%	0,30%	0,21%	0,29%
Recuperação em Massa da Separação Magnética >50% com Base nos Resultados Tecnológicos	30,78%	38,48%	12,83%	0,00%	76,95%	25,65%	25,65%	0,00%	0,00%	38,48%
Recuperação em Massa da Separação Magnética >50% Proporcional à Reserva	24,66%	2,69%	0,29%	0,00%	0,58%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,29%
Produção de Pellet Feed Especial (PEBR) com Base nos Resultados Tecnológicos	61,56%	76,95%	64,13%	38,48%	0,00%	0,00%	0,00%	38,48%	25,65%	38,48%
Produção de Pellet Feed Especial (PEBR) Proporcional à Reserva	49,32%	5,38%	1,46%	2,96%	0,00%	0,00%	0,00%	0,30%	0,10%	0,29%
Produção de Pellet Feed Exportação (PXBR) com Base nos Resultados Tecnológicos	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	38,48%	0,00%	0,00%	38,48%	51,30%	38,48%
Produção de Pellet Feed Exportação (PXBR) Proporcional à Reserva	61,64%	5,38%	1,75%	5,93%	0,29%	0,00%	0,00%	0,30%	0,21%	0,29%
Produção de Pellet Feed Brucutu (PFBR) com Base nos Resultados Tecnológicos	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	51,30%	76,95%	76,95%	38,48%
Produção de Pellet Feed Brucutu (PFBR) Proporcional à Reserva	61,64%	5,38%	1,75%	5,93%	0,58%	0,16%	0,02%	0,60%	0,31%	0,29%
Produção de Pellet Feed Alta Silica (PABR) com Base nos Resultados Tecnológicos	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	76,95%	38,48%
Produção de Pellet Feed Alta Silica (PABR) Proporcional à Reserva	61,64%	5,38%	1,75%	5,93%	0,58%	0,16%	0,02%	0,60%	0,31%	0,29%
Capacidade de Produção de Sinter Feed Natural considerando todas as tipologias									47,87%	
Capacidade de Produção de Sinter Feed Concentrado pela Jigagem considerando todas as tipologias									72,98%	
Capacidade de Produção de Sinter Feed Concentrado pela Separação Magnética considerando todas as tipologias (recuperação em massa >50%)									28,58%	
Capacidade de Produção de Pellet Feed Especial considerando todas as tipologias									59,95%	
Capacidade de Produção de Pellet Feed Exportação considerando todas as tipologias									75,97%	
Capacidade de Produção de Pellet Feed Brucutu considerando todas as tipologias									76,66%	
Capacidade de Produção de Pellet Feed Alta Silica considerando todas as tipologias									76,66%	
Observações:	1 - O percentual de massa apresentado não inclui a Hematita Friável e nem a Hematita Compacta, as quais perfazem aproximadamente 6% da reserva. 2 - HAF e IAF foram consideradas estéril a partir de março de 2008 e a HAL passou a ser considerado minério.									

A capacidade de produção foi calculada pelo produto dos seguintes critérios de análise:

- resultados dos ensaios tecnológicos;
- percentual da reserva conforme cubagem;
- diluição de mina (5%) pelas contaminações de lavra;
- variabilidade do ROM (10%) quando realizada a alimentação direta, ou seja, estando a recuperadora da alimentação da instalação de beneficiamento indisponível;
- defeito de usina (10%) provocado pela instabilidade da usina: alimentação reduzida e paradas não programadas;

A figura 5.39 apresenta a qualidade do “pellet feed”. O mesmo é classificado em subprodutos levando em consideração as especificações de mercado, sendo o “Pellet Feed Especial” (PEBR:  $<0,8\%$   $\text{SiO}_2$ ), o “Pellet Feed Exportação” (PXBR:  $>0,80$  e  $<1,50\%$   $\text{SiO}_2$ ), o “Pellet Feed Brucutu” (PFBR:  $>1,50$  e  $<3,00\%$   $\text{SiO}_2$ ) e o “Pellet Feed Alta Sílica” (PABR:  $>3,00$  e  $<5,50\%$   $\text{SiO}_2$ ).



**Figura 5.39:** Gráfico de Qualidade de “Pellet Feed”.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 Análise Conclusiva por Tipologia

- **Itabirito Friável**

É a tipologia de maior abundância na mina, com cerca de 75% da reserva, sendo que 46,17% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural, mas necessita de blendagem de outra tipologia para adequação granulométrica e química, ou seja, obtenção de um “sinter feed” mais grosso e rico.

O quartzo se encontra totalmente liberado facilitando os processos de concentração e a deslamagem foi eficiente para remoção de lamas (média de 1,75% de material menor que 10 $\mu$ m na alimentação da flotação). Cerca de 31% da população das amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

Cerca de 62% das amostras foram favoráveis à geração de “pellet feed” para redução direta e 70% das amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação inferior a 25%.

- **Itabirito Goethítico**

Apenas na fração -8,00+1,00mm o grau de liberação do quartzo é baixo (8%), não obtendo qualidade no concentrado em bateia (12,68% de SiO<sub>2</sub>). Em torno de 38% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural e 38,48% da população das amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

A composição química (63,65% de Fe) da fração acima de 1,00mm favorece a inclusão desta tipologia como adequação química de Fe do **itabirito friável**.

A deslamagem foi eficiente para remoção de lamas (média de 1,28% de material menor que 10 $\mu$ m na alimentação da flotação). Cerca de 77% das amostras foram favoráveis à geração de “pellet feed” para redução direta. A recuperação metalúrgica da flotação foi

satisfatória e todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação inferior a 25%.

- **Hematita Goethítica**

Cerca de 77% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural. A partição média nas frações acima de 1,0mm é grossa (28,65%). Esta tipologia pode ser considerada como corretivo granulométrico do **itabirito friável**. Em torno de 13% (12,83) da população das amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

A deslamagem foi eficiente para remoção de lamas (média de 3,12% de material menor que 10 $\mu$ m na alimentação da flotação). Cerca de 64% das amostras foram favoráveis à geração de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%, devido ao teor de Fe na alimentação ser mais rico (maior que 65%), indicando a necessidade de se trabalhar melhor as variáveis operacionais.

- **Canga**

Cerca de 77% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural. A partição média nas frações acima de 1,0mm é grossa (32%). Esta tipologia pode ser considerada como corretivo granulométrico do **itabirito friável**.

O percentual de minerais portadores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (goethita terrosa, gibsitita, caulinita) é elevado na alimentação da deslamagem (média de 19%) e o percentual de lama na alimentação da deslamagem também é elevado (25,51% menor que 10 $\mu$ m). A deslamagem não foi eficiente para remoção de lamas (média de 5,15% de material menor que 10 $\mu$ m na alimentação da flotação).

Em torno de 38% das amostras foram favoráveis à geração de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%, indicando a necessidade de se trabalhar melhor as variáveis operacionais.

- **Itabirito Compacto**

Apresenta baixo grau de liberação do quartzo nas frações granulométricas destinadas ao “sinter feed”, não sendo possível geração de “sinter feed” natural e através da jigagem. A partição nas frações acima de 1,0mm é grossa (27,67%).

Todas as amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético, porém com alto teor de SiO<sub>2</sub> (maior que 11%) no “sinter feed”.

Devido ao alto teor de SiO<sub>2</sub> na alimentação da flotação (maior que 34%), não obteve qualidade de “pellet feed” para redução direta. Cerca de 50% das amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação inferior a 25%.

- **Hematita Anfibolítica**

Cerca de 77% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural. A partição nas frações acima de 1,0mm é baixa (média de 11%), não sendo uma tipologia para adequação granulométrica do “sinter feed”.

Em torno de 26% (25,65) da população das amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

O percentual de minerais portadores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (goethita terrosa, gibsitita, caulinita) é elevado na alimentação da deslamagem (média de 24%) e o percentual de lama na alimentação da deslamagem é em média 55%. A deslamagem não foi eficiente para remoção de lamas (média de 16,42% de material menor que 10µm na alimentação da flotação).

Devido ao elevado teor de MgO (maior que 0,3%) na alimentação da flotação, não obteve qualidade de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%. Essa tipologia foi considerada como estéril e representa menos de 0,2% da reserva.

- **Itabirito Anfibolítico**

Cerca de 77% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural. A partição nas frações acima de 1,0mm é baixa (média de 17%), não sendo uma tipologia para adequação granulométrica do “sinter feed”. Em torno de 26% da população das amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

O percentual de minerais portadores de  $Al_2O_3$  (goethita terrosa, gibsitita, caulinita) é elevado na alimentação da deslamagem (média de 17,64%) e o percentual de lama é maior que 40%. A deslamagem não foi eficiente para remoção de lamas (média de 7,55% de material menor que  $10\mu m$  na alimentação da flotação).

Não obteve qualidade de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%. Essa tipologia foi considerada como estéril e representa menos de 0,2% da reserva.

- **Itabirito Aluminoso**

Cerca de 38% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” natural. Em torno de 38% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” através da jigagem. A partição nas frações acima de 1,0mm foi em média 18,17%. Esta tipologia não pode ser considerada como corretivo granulométrico do **itabirito friável**.

Para nenhuma das amostras, foi atingida uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

O percentual de minerais portadores de  $Al_2O_3$  (goethita terrosa, gibsitita, caulinita) é elevado na alimentação da deslamagem (maior que 19%) e o percentual de lama na alimentação da deslamagem é alto (média de 58,11%). A deslamagem não foi eficiente para remoção de lamas (média de 21,57% de material menor que  $10\mu m$  na alimentação da flotação).

Em torno de 38% das amostras foram favoráveis a geração de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%.

- **Hematita Aluminosa**

Cerca de 26% das amostras foram favoráveis a geração de “sinter feed” natural. Em torno de 52% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” através da jigagem, porém com alto teor de  $Al_2O_3$  (média de 5,82%). A partição nas frações acima de 1,0mm é em média 9,93%.

Para nenhuma das amostras, foi atingida uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

O percentual de minerais portadores de  $Al_2O_3$  (goethita terrosa, gibsitita, caulinita) é elevado na alimentação da deslamagem (média de 23,74%) e o percentual de lama na alimentação da deslamagem é alto (média de 45%). A deslamagem não foi eficiente para remoção de lamas (média de 5,48% de material menor que  $10\mu m$  na alimentação da flotação).

Em torno de 26% das amostras foram favoráveis a geração de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%.

- **Itabirito Manganífero**

Não foi favorável à geração de “sinter feed” natural. Em torno de 38% das amostras obtiveram resultados de “sinter feed” através da jigagem.

Cerca de 38% da população das amostras atingiram uma massa superior a 50% de minerais recuperados na separação de média e alta intensidade de campo magnético.

A deslamagem foi eficiente para remoção de lamas (média de 2,93% de material menor que  $10\mu m$  na alimentação da flotação). Cerca de 38% das amostras foram favoráveis à geração de “pellet feed” para redução direta. Todas as amostras apresentaram teor de Fe no rejeito da flotação superior a 25%.



## **6.2 Capacidade de Produção de “Pellet Feed” e “Sinter Feed” em Relação à Reserva**

A capacidade total de produção de “pellet feed” para redução direta, exportação, brucutu e alta sílica, proporcionalmente à reserva, foram de 59,95%, 75,97%, 76,66% e 76,66%, respectivamente.

A capacidade total de produção de “sinter feed” natural e “sinter feed” concentrado pela jigagem, proporcionalmente à reserva, foram de 47,87% e 72,98% respectivamente.

## **6.3 Modelo Geomatemático com Base nas Características Físicas e químicas do ROM**

Implementado o **simulador de produção** baseado em correlações lineares, que é feito por uma planilha eletrônica em EXCEL, executando um balanço de massa através do conhecimento prévio da qualidade química e granulométrica das pilhas que alimentam as operações de concentração da instalação de beneficiamento.

## **7 RELEVÂNCIA DOS RESULTADOS**

Os resultados obtidos através dos ensaios tecnológicos e mineralógicos permitiram uma ampla avaliação do sistema de produção da mina de Brucutu, desde a fase de planejamento e operação da mina até o beneficiamento, definindo variáveis importantes no controle do processo produtivo e sugerindo mudanças nas estimativas do ROM, com impacto significativo na rotina de produção. Também mostraram a necessidade de ampliar o conhecimento das variáveis associadas às tipologias.

A mina de Brucutu apresenta uma diversidade tipológica, sendo necessário acompanhar o desenvolvimento da cava, de forma sistemática, através de um modelo geomatemático, incluindo os ensaios de processos, que possibilitará avaliar a performance operacional.

## **8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Desenvolver estudos tecnológicos de modo a viabilizar o processamento das tipologias anfíbolíticas.

Inserir no simulador de produção a partição litológica cuja composição será informada pelo planejamento de mina e analisada a partir do banco de dados da instalação de beneficiamento, subsidiando o planejamento de mina durante o controle da formação das pilhas.

Deverá ser dada continuidade ao estudo de caracterização tecnológica, levando em consideração os domínios geológicos da mina de Brucutu, buscando coletas de amostras representativas dos mesmos.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A. C., SOUZA, C. C., AMARANTE, S. C., SILVA, R. R. R. Ore Mineralogy and its Relevance for the Selection of Concentration Methods in the Processing of Brazilian Iron Ores. Proceedings of the international Conference on Iron Ores, Perth, sep. 2002.

ARAUJO, A. C., VIANA, P. R. M. Minérios de ferro e seus métodos de concentração. Apostila curso ABM, 2004.

ARAUJO, A. C., SANTOS, L. D., GIRODO A. C., PINTO C. L. L., GALÉRY R., PAPINI R. M., VALADÃO G. E. S., CASTRO L. F. A., TAVARES R. P. Minérios de ferro: Processos de Obtenção e sua Utilização na Siderurgia. Apostila curso ABM, 2008.

BIZZI, L. A., *et al.* Geologia, Tectônica e recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG e Mapas na escala 1:2 500 000, Brasília: CPRM, 2001.

DEER, W. A., HOWIE, R. A., ZUSSMAN, J. Minerais Constituintes das Rochas -Uma Introdução. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1981. 558p.

DERBY, O. A. The iron ores of Brazil. In: The Iron Ores Resources of the World. Intern. Geol. Congr., Stocholm. 1910. 2:813-822.

DORR II J. V. N., BARBOSA, A. L. M. Geology and ore deposits Itabira District, Minas Gerais, Brazil. USGS Prof. Pap., 1963. 341-C: 1-108.

ENDO, I., SILVA A., MARIANO D., ESPINOZA R., LOPES A., ANGELI G. 2008. Estratigrafia e Arcabouço Estrutural de Brucutu e Dois Irmãos, Quadrilátero Ferrífero, MG. Relatório Interno. VALE/UFOP. 54p.

ERSAYIN, S., IWASAKI, I. Magnetic field application in cationic silica flotation of magnetic taconite concentrates, Minerals & Metallurgical Processing, Littleton, v.19 n.3, p 148-153, aug. 2002.

- ESCHWEGE, W. L. V. Pluto Brasiliensis. Berlin, Verlag G. Reimer. 1833. 622p.
- FERNANDES, E. Z. Aplicação da Caracterização Tipológica ao Planejamento Lava de Minério de Ferro. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2003. 183p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- FERNANDES, E. Z. Estudo de Caracterização Física, Química, Mineralógica e Metalúrgica dos Produtos Granulados de Minério de Ferro. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008. 325p. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- FLINT, I. M., WYSLOUSIL, H. E., LIMA ANDRADE V. L., MURDOCK D. J. Column Flotation of Iron Ore, Minerals Engineering, Great Britain, v. 5 n10-12, p1185-1194, 1992.
- GROSS, G. A. Geology of iron deposits of Canadá, v. I: General geology and evaluation of iron deposits. Geological Survey of Canadá Economic Geology Report, 1965. 22, 181p.
- HENRIQUES, A. B. Caracterização mineralógica e propriedades eletrocinéticas de hematitas do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2009. 121p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
- JAMES, H. L. Distribution of banded iron-formation in space and time. In: A .F. Trendal e R.C.Morris, (eds.), Iron-formation: Facts and Problems, Amsterdam, Elsevier, 1983. p.471-490.
- KLEIN, C., BEUKES, N. J. Proterozoic iron formations. In: K.C.Condie (ed.), Proterozoic Crustal Evolution, Amsterdam, Elsevier, 1992. p.383-418.
- KLEIN, C. Mineral Science. 22.ed. John Wiley & Sons, New York, 2002. 641p.
- KLEMM, D. D. The formation of paleoproterozóic banded iron formations and their associates Fe and Mn deposits, with reference to the Griqualand West deposits, South Africa. Journal of African Earth Science, 2000. 30:1. P.1-24.

MORRIS, R. C. Genesis of Ore in Banded Iron-formation by Supergene-metamorphic Processes - A Conceptual Model. In: WOLF, K.H. Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits. Netherlands: Elsevier Science Publishers' B.V., 1985, Vol.13, Cap.2, p.73-235.

MORRIS, R. C. Genetic modelling for banded iron-formation of the Hamersley Group, Pilbara Craton, Western Austrália. Precambrian Research, 1993. 60:243-286. 1993.

NATARAJAN, K. A., NAMITA D. Biotechnology for Iron Beneficiation and Environmental Control, Indian Institute of Science, Bangalore, India, 2003.

QUADE, H. Genetic problems and enviromental features of vulcano-sedimentary iron ores deposits os Lahn-Dill type. In: K.H. Wolf(ed.), Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits, 1976. 7(6):255-294.

QUEIROZ, L. A. Caracterização de minérios da Mina de Brucutu, Vale, focada na previsibilidade das operações de concentração mineral. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008. 355p. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

RAMDHOR, P. The Ore Minerals and Their Intergrowths. 2ed. Oxford: Pergamon Press Ltd., 1980. 1202p.

RAMOS, J. I. Características geológicas de minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero e suas influências na degradação granulométrica durante redução sob condições de baixas temperaturas (550°C). Belo horizonte: IGC-UFMG, 2002. 126p. (Dissertação, Mestrado em Geologia, IGC, UFMG).

ROCHA, J. M. P. Definição da Tipologia e Caracterização Mineralógica e Microestrutural dos Itabiritos Anfíbolíticos das Minas de Alegria da Samarco Mineração S.A. MG. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

ROCHA, J. M. P., BRANDÃO, P. R. G. Goethitas da Mina de Alegria, MG: Ênfase na Cristalinidade e na Hidroxilação. In: I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro:

Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, 1996, Ouro Preto. Anais... São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996. p.383-402.

ROSIÉRE, C. A., CHEMALE, F. Jr., GUIMARÃES, M. L. V. Um Modelo para a Evolução Microestrutural dos Minérios de Ferro do Quadrilátero Ferrífero. Parte 1 - Estruturas e recristalização. Geonomos, Belo Horizonte, v.1, p.65-84, 1993.

SANTOS, D. F., VIANA, P. R. M., ARAÚJO, A. C., ROCHA, S. D. F. Caracterização e Flotação de Minérios de Ferro Anfibolíticos. Anais do XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, vol. 1, p.287-292, Gramado-RS, Brasil, 2009

SANTOS, L. D., BRANDÃO, P. R. G., PERES, A. E. C. Caracterização Mineralógica de Minérios de Ferro Enfatizando a Determinação de Fases Aluminosas. Revista Metalurgia e Materiais, Caderno Tecnológico – Tecnologia Mineral, São Paulo, v.58, n.519, p.12-17, 2002.

SANTOS, L. D., BRANDÃO, P. R. G. Aspectos Microestruturais Finos de Minérios de Ferro: Estudo Visando Detectar Fases Portadoras de Alumínio. In: II Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Aglomeração, 1999, Ouro Preto. Anais...São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1999. p.427-443.

SILVA, C. C. Itabirito Anfibolítico de Timbopeba (Ouro Preto, MG): Sua Caracterização Mineralógica e Tecnológica. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 134p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

XAVIER, E. M. Relação entre o processo de redução direta e os atributos estruturais e texturais do minério de ferro granulado da Mina da Mutuca, Belo horizonte, MG. Ouro Preto: Escola de Minas da UFOP, 1994. 164p. (Dissertação, Mestrado).

YERRISWAMY, P., GOVINDARAJAN, B., BARNWAL, J. P., RAO, T. C. Application of the Multi-Gravitic Separator for Beneficiation of Iron Ore Fines, Regional Research Laboratory(SCIR), Bophal, India, 2003.