

# CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA PRELIMINAR DE AMOSTRA DE MINÉRIO DE FERRO<sup>1</sup>

Ildo Souza de Lima Junior<sup>2</sup>  
Rosa Malena Fernandes Lima<sup>3</sup>  
Rodrigo Fina Ferreira<sup>4</sup>  
Daniela Moreira de Oliveira<sup>5</sup>

## Resumo

Neste trabalho são apresentados os resultados de ensaios de caracterização tecnológica, corriqueiramente utilizados nos laboratórios da Vale S.A., de uma amostra de itabirito comum, visando a previsibilidade do comportamento da mesma frente às diversas etapas de processamento, que esse minério será submetido na planta de beneficiamento. Verificou-se que a amostra é essencialmente hematítica, tendo o quartzo como principal mineral de ganga e que é possível a produção de pellet feed para redução direta por flotação catiônica inversa com este minério. As áreas do espessador de lamas variaram de 0,54 m<sup>2</sup>/t/dia a 0,97 m<sup>2</sup>/t/dia, dependendo da dosagem e do tipo de flocculante utilizado.

**Palavras-chaves:** Caracterização tecnológica; Minério de ferro; *Pellet feed*.

## PRELIMINAR TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF IRON ORE SAMPLE

## Abstract

In this work are presented the results of technological characterization tests, normally used in Vale S.A.'s laboratories, of one common itabirite sample, with the objective to predict the behavior of this sample in several process steps, that this ore will be submitted in the beneficiation plant. It was verified that this sample is essentially hematitic with the quartz is the main gangue mineral and it is possible to produce the pellet feed for direct reduction by inverse cationic flotation with this ore. The areas of gravity thickening of limes varied from 0.54 m<sup>2</sup>/t/day to 0.97 m<sup>2</sup>/t/day, depending of dosage and type of flocculent reagent used.

**Key words:** Technological characterization; Iron ore; Pellet feed.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

<sup>2</sup> Engenheiro, Vale S. A. – Mina da Alegria – E-mail: ildo.lima@vale.com.

<sup>3</sup> Dr<sup>ª</sup>, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFOP. E-mail: rosa@demin.ufop.br.

<sup>4</sup> Engenheiro, Vale S.A. - Mina da Alegria – E-mail: rodrigo.fina@vale.com.

<sup>5</sup> Geóloga, Vale S. A.- Mina do Pico – E-mail: danielamoreia01@gmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do DNPM, as reservas mundiais medidas de minério de ferro é de 160 bilhões de toneladas. As reservas brasileiras medidas são de 20 bilhões de toneladas, que estão localizadas nos estados de Minas Gerais (teor médio de 43,6% de Fe), Pará (teor médio de 67,6% de Fe) e Mato Grosso do Sul (teor médio de 55,6% de Fe). O estado de Minas Gerais foi responsável por cerca de 70% da produção de minério de Ferro em 2009.<sup>(1)</sup>

Rosier, Chamele Junior e Guimarães,<sup>(2)</sup> em função da composição mineralógica, classificaram os minérios de ferro do Quadrilátero Ferrífero em itabirito comum, dolomítico, anfíbolítico e minério de alto teor. Os principais minerais-minérios destes tipos de minérios são óxidos de ferro (hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), goethita ( $\text{HFeO}_2$ )). Para o itabirito comum, o principal mineral de ganga é o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). No caso do itabirito dolomítico, a dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) e para o itabirito anfíbolítico são a tremolita/actinolita, hornblenda e grunerita. Como minerais acessórios são encontrados a clorita ( $\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2\text{Mg}_3(\text{OH})_6$ ), sericita ( $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ ), dolomita, pirofilita ( $\text{Al}_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ ), óxido de manganês, talco, anfíbio, fosfatos de ferro e sulfetos, que podem ocorrer ocasionalmente. Além dos minerais citados anteriormente é comum a presença de caolinita ( $\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_9$ ) em minério de ferro.<sup>(3)</sup>

Para concentração de minérios de ferro brasileiros, são utilizados com sucesso concentração gravítica (jigagem e espiral de Humphrey), separação magnética e flotação. A escolha da técnica mais adequada para concentração, obviamente depende de fatores tais como: teor da alimentação, da mineralogia, da malha de liberação, fatores econômicos, controle do teor do concentrado e efeito sobre a pelotização.<sup>(3)</sup> Pelo exposto anteriormente fica evidente a importância da caracterização tecnológica das diversas tipologias de minério para a definição e previsão do comportamento das mesmas frente ao beneficiamento a que as mesmas serão submetidas.

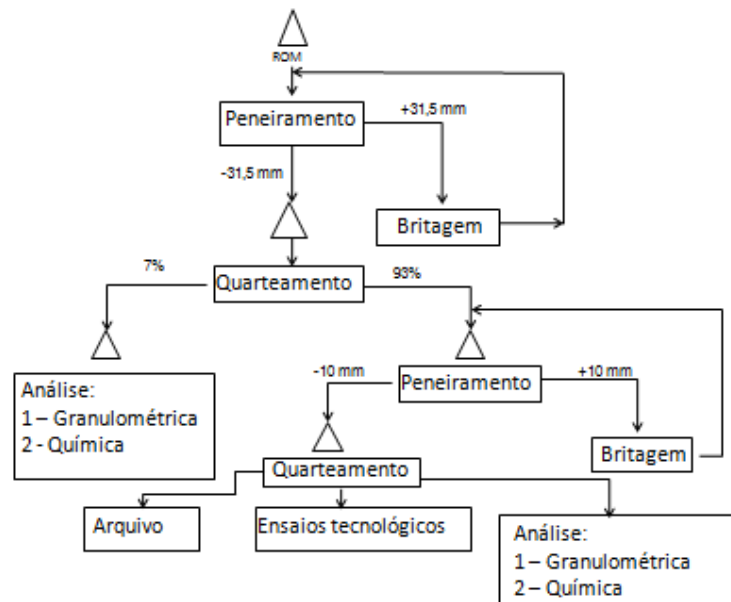
Neste trabalho são apresentados estudos de caracterização tecnológica de rotina aplicada a uma amostra de itabirito comum, visando a determinação do comportamento do mesmo frente ao fluxograma de beneficiamento da usina de Alegria.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma das etapas de preparação e caracterização da amostra de minério de ferro estudada. Conforme pode ser observado, a amostra (ROM) primeiramente foi classificada granulometricamente em peneira quadrada (50 cm x 50 cm) de abertura igual a 31,5 mm. Somente a fração retida na peneira de 31,5 mm foi britada. Em seguida, foi efetuada a homogeneização e quarteamento, utilizando quarteador tipo carrocel para retirada de alíquotas para análise granulométrica (efetuada a úmido) e química por faixa granulométrica. O restante da amostra foi classificado em peneira de 10 mm. A fração retida nessa peneira foi rebritada. Após a britagem, abaixo de 10 mm, a amostra foi homogeneizada e quarteada para retirada de alíquotas para os ensaios de caracterização granulométrica (efetuada por peneiramento a úmido), química por faixa granulométrica e da amostra global e ensaios tecnológicos, que constaram de testes de moagem, deslamagem e flotação. Cerca de 50% da amostra foi arquivada.

Para os ensaios tecnológicos e caracterização mineralógica a amostra de minério abaixo de 10 mm foi moída a úmido em moinho de bancada (moinho de jarro - diâmetro de 8" e comprimento de 12") com polpa de 65% de sólidos. A carga de bolas utilizada foi distribuída em bolas de dimensões iguais a 38,1 mm; 25,4 mm; 19,1 mm e 12,7 mm. Aplicou-se rotação de 72 RPM por 6 minutos. Posteriormente, foi efetuado deslamagem, visando a diminuição dos finos, que podem causar perda de seletividade na etapa de flotação.

A análise mineralógica do minério fragmentado abaixo de 10 mm foi efetuada por microscopia ótica de luz refletida. Inicialmente, foi retirada uma alíquota da amostra para preparação da seção polida. Posteriormente, a mesma foi levada ao microscópio ótico, para identificação dos constituintes mineralógicos. A semi-quantificação dos minerais presentes na amostra e a determinação do grau de liberação do quartzo foi efetuada com auxílio de análise de imagem, corriqueiramente utilizada nos laboratórios da Vale S.A.



**Figura 1.** Fluxograma das etapas de preparação e caracterização de amostra de minério de ferro.

O procedimento experimental dos ensaios de deslamagem constou de: transferência da polpa do minério moído abaixo de 10 mm para um balde, onde efetuava-se a diluição da mesma; ajustava-se o pH para 9,8 com adição de solução de soda cáustica e submetia-a a uma agitação de 1.400 RPM, usando agitador mecânico. Posteriormente, a polpa era deixada em repouso por 10 minutos e finalmente, retirava-se o sobrenadante (*overflow*) por sifonamento, cuja porcentagem média de sólidos era de 1%.

Normalmente, nas plantas de beneficiamento de minério de ferro, faz-se recuperação de água das etapas de deslamagem para ser recirculada para o processo. Por essa razão, efetuaram-se ensaios de sedimentação em proveta com o *everflow*, provenientes dos ensaios de deslamagem. Em uma primeira etapa, efetuava-se o ajuste da porcentagem de sólidos pela adição do reagente Flocculan para promover a coagulação e sedimentação das partículas. Em seguida, era efetuado o sifonamento do sobrenadante até que fosse obtida a porcentagem de sólidos desejada (2,5%). Posteriormente, ajustava-se o pH para 7 e transferia-se a polpa para uma proveta de 2.000 mL e adicionava-se flocculante. Nesta etapa foram

testados um floculante com alta carga e peso molecular - Flonex 943 SH (dosagens de 0 g/t, 10 g/t, 20 g/t e 40 g/t) e um floculante aniônico de alta carga e peso molecular médio (Flonex 932) na dosagem de 20 g/t. Finalmente, com os dados levantados nas curvas de sedimentação calculou-se a área do espessador, usando procedimento padrão da Vale para dimensionamento de espessador.

Os ensaios de flotação em bancada foram realizados em pH 10,5, usando célula Denver a 1.400 RPM, com a polpa ajustada a 50% de sólidos (massa seca de aproximadamente 2,5 kg). Utilizou-se como depressor 1.000 g/t de Amisol gelatinizado com soda (solução a 1% p/v), como coletor Amina EDA-C da Clariant com dosagem específica de 300 g/t de SiO<sub>2</sub>, que corresponde a 79,44 g/t de minério. Após o condicionamento da polpa com amido durante 3 minutos e com amina por mais 1 minuto, abria-se o ar e efetuava-se a coleta do flotado até a exaustão da espuma e sempre que necessário, adicionava-se água para completar o volume da cuba (aproximadamente 1.550 mL) com pH ajustado em 10,5.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2 estão apresentadas as análises granuloquímicas da amostra fragmentada abaixo de 31,5 mm e 10 mm. Conforme pode ser observado pelos teores recalculados da amostra global abaixo de 31,5 mm (Tabela 1) e abaixo de 10 mm (Tabela 2), houve uma pequena discrepância nos valores obtidos, mas que se encontram em uma faixa considerada aceitável.

Pelos resultados das análises químicas apresentadas nas Tabelas 1 e 2 pode inferir que na amostra de minério estudada pode estar presentes os aluminossilicatos (clorita, pirofilita, sericita e caolinita), dolomita (pelos teores de CaO e MgO), talco (teor de MgO), óxido de manganês como a pirolusita (MnO<sub>2</sub>) e goethita, devido ao alto valor de PPC bem como caolinita, pelos mesmos motivos citados anteriormente.<sup>(2,3)</sup>

A composição mineralógica do minério de ferro, determinada por microscopia ótica, é constituída por: hematita compacta (58,2%), hematita martítica (0,2%), magnetita (0,1%), goethita (8,3%), goethita terrosa (5,2%), quartzo (28,1%). A porosidade e o grau de liberação do quartzo são de 2,4% e 99,85%, respectivamente. Como pode ser observado, trata-se de um minério de alta proporção de hematita compacta (58,2%), teor baixíssimo de magnetita (0,1%) e como o principal mineral de ganga é o quartzo pode-se pensar na utilização de flotação e separação magnética de alta intensidade para concentrá-lo, conforme reportado por Araújo et al.<sup>(4)</sup> No entanto, a presença de goethita terrosa pode levar a geração de finos no beneficiamento, o que pode ocasionar perda de seletividade na flotação devido ao recobrimento das partículas de quartzo por esses finos, o que causaria diminuição do teor do concentrado da flotação inversa, usando amina. Por essa razão, faz-se necessário a deslamagem do minério antes da etapa de flotação.

**Tabela 1.** Análise granuloquímica da amostra fragmentada abaixo de 31,5 mm

Fração granulométrica (mm)	% peso	Teores (%)								
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC
-31,5+10,0	9,9	57,16	12,72	0,196	0,60	0,028	0,051	0,010	0,025	4,30
-10,0+1,0	13,7	62,55	5,30	0,176	0,68	0,031	0,040	0,013	0,014	4,00
-1,0+0,3	6,1	56,40	15,07	0,124	0,73	0,030	0,039	0,010	0,016	3,12
-0,3+0,15	5,5	29,76	55,30	0,051	0,61	0,012	0,009	0,009	0,022	1,34
-0,15	64,8	46,43	31,20	0,033	1,12	0,009	0,037	0,009	0,034	1,07
Global calculada	100,0	49,40	26,16	0,075	0,96	0,015	0,037	0,010	0,029	1,93

Na Tabela 3 estão apresentados o balanço de massa e composição química dos produtos da deslamagem do minério moído abaixo de 10 mm. Conforme pode ser observado, o teor de Fe no *underflow* ficou praticamente inalterado após a deslamagem. Observou-se decréscimo nos teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e PPC, devido à remoção dos argilominerais e (aluminossilicatos) presentes na amostra. Observa-se também que o teor de Fe no *overflow* é bastante alto (43,27%), que provavelmente está associado ao mineral goethita, que se degradou devido à agitação da polpa a 1.400 RPM.

Na Figura 2 estão apresentadas as distribuições granulométricas da alimentação, *underflow* e *overflow* da deslamagem. Conforme pode ser observado, a porcentagem de lamas (partículas menores do que 10 µm) no *underflow* foi de cerca de 2,2%, que está dentro dos valores aceitáveis para floação de minério de ferro.

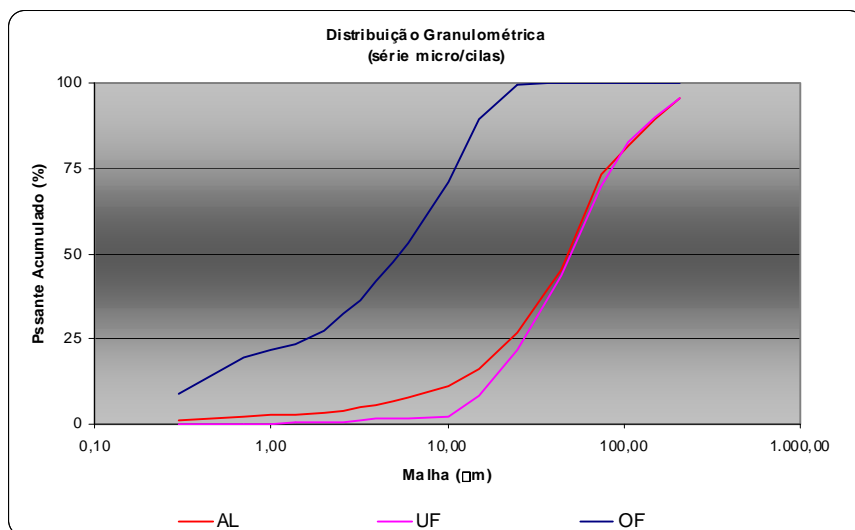
**Tabela 2.** Análise granuloquímica da amostra fragmentada abaixo de 10 mm

Fração granulométrica (mm)	% peso	Teores (%)								
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	PPC
-10,0+4,7	10,3	61,54	6,23	0,203	0,54	0,031	0,020	0,010	0,007	4,56
-4,7+1,0	13,7	63,00	4,94	0,0164	0,69	0,031	0,056	0,010	0,012	3,70
-1,0+0,71	2,6	63,04	4,87	0,155	0,81	0,038	0,050	0,008	0,007	3,62
-0,71+0,3	4,8	53,93	18,75	0,124	0,76	0,032	0,038	0,008	0,010	2,94
-0,3+0,21	2,4	33,87	49,04	0,075	0,59	0,022	0,015	0,005	0,020	1,68
-0,21+0,15	3,8	25,86	61,33	0,047	0,49	0,013	0,006	0,007	0,013	1,03
-0,15+0,106	4,7	27,33	59,67	0,031	0,44	0,008	0,010	0,038	0,013	0,64
-0,106+0,075	8,3	33,79	50,65	0,020	0,40	0,005	0,019	0,005	0,007	0,50
-,0,075+0,045	14,4	39,28	42,95	0,017	0,35	0,004	0,028	0,005	0,006	0,38
-0,045	35,2	55,09	18,09	0,037	1,60	0,015	0,055	0,009	0,019	1,26
Global calculada	100,0	50,03	25,36	0,075	0,91	0,018	0,039	0,009	0,013	1,87

Na Tabela 4 está apresentado o resultado do ensaio padrão de flotação inversa, efetuado com o *underflow* da etapa de deslamagem. Observa-se que foi obtido concentrado dentro das especificações para redução direta (somatório dos teores de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 1,5%) para uma recuperação em massa de 43,24% na etapa *rougher*. O que era de se esperar, pois o minério foi previamente deslamado.

**Tabela 3.** Balanço de massa e composição química dos produtos da deslamagem da amostra de minério de ferro

Produto	% peso	Teor (%)					
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	PPC
Alimentação	100,0	50,03	25,36	0,079	1,00	0,016	2,18
<i>Underflow</i>	92,9	50,06	26,48	0,087	0,54	0,016	1,54
<i>Overflow</i>	7,1	43,27	23,03	0,0208	7,06	0,101	7,61



**Figura 2.** Distribuição granulométrica da alimentação (AL), *underflow* (UF) e *overflow* (OV) do ensaio de deslamagem do minério de ferro.

**Tabela 4.** Balanço de massa e composição química os produtos da flotação do minério de ferro

Produto	Massa (%)	Teor (%)					
		Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	PPC
Concentrado	43,24	66,48	0,73	0,146	0,498	0,033	3,13
Rejeito	56,76	34,22	45,54	0,021	0,473	0,008	0,55
Alimentação	100,00	50,06	26,48	0,067	0,540	0,016	1,54

Pela Tabela 5 verifica-se que o floculante de alta carga e peso molecular médio (932 SH) deu melhor resultado do que o floculante de alta carga e alto peso molecular, pois a área unitária do espessador requerida para a dosagem de 20 g/t com o floculante 932 SH foi de 0,80 m<sup>2</sup>/t/dia. Observa-se também que houve redução de cerca de 50% da área unitária do espessador com o aumento da dosagem de 20 para 40 g/t do floculante 934 SH.

**Tabela 5.** Ensaio de sedimentação em proveta e área unitária do espessador

Floculante		% de sólidos final	Velocidade de sedimentação (m/h)	Área unitária (m <sup>2</sup> /t/dia)
Nome	Dosagem (g/t)			
932 SH	20	27	21,17	0,80
934 SH	20	29	20,29	0,97
934 SH	40	26	42,32	0,54
pH – 7,05		% de sólidos inicial – 2,26%		

## 4 CONCLUSÕES

A amostra estudada é essencialmente hematítica. O quartzo é o principal mineral de ganga, com grau de liberação acima de 99% na malha de 0,15 mm. Por essa razão, foi possível a produção de *pellet feed* com especificações para redução direta deste minério por flotação inversa.

As áreas unitárias do espessador de lamas, calculadas pelos dados dos ensaios de sedimentação em proveta, variaram de 0,54 m<sup>2</sup>/t/dia a 0,97 m<sup>2</sup>/t/dia, dependendo da dosagem e do tipo de floculante utilizado.

## Agradecimentos

À Vale S.A.

## REFERÊNCIAS

- 1 Sumário Mineral Brasileiro 2010. Disponível em <http://www.dnrm.gov.br>. Acessado em 19/06/2011.
- 2 ROSIÈRE, C. A., CHAMELE JR., F., GUIMARÃES, M.L.V. Um modelo para a evolução microestrutural dos minérios de ferro do Quadrilátero ferrífero. Parte I – Estruturas e recristalização. Geonomos, CPMTC/IGC/UFMG, \*\*UNISINOS,\*\*\*FUNDEPE, 1(1); p.65-84.
- 3 IWASAKI, I. Iron Ore Flotation, Theory and Practice. Mining Engineering, p.662-631, June, 1983.
- 4 ARAÚJO, A. C., AMARANTE, S. C., SOUZA C. C., SILVA R. R. R. Ore mineralogy and its relevance for selection of concentration methods in processing of Brazilian iron ores. Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C). 2003. v.112, p. C44-C64.