

# PROJETO PEDRA DE FERRO – A RUPTURA DE PARADIGMAS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO<sup>1</sup>

Maurício Rocha Drumond<sup>2</sup>  
Alexis Yovanovic<sup>3</sup>  
Lafayette Caporali<sup>4</sup>  
Willians de Souza Arruda<sup>5</sup>  
Augusto Miranda de Resende<sup>6</sup>  
Bruno Franca de Morais<sup>7</sup>

## Resumo

Durante 2008, levando em conta as mudanças globais do mercado para o negócio mineral, a Bahia Mineração Ltda. (BAMIN), no seu projeto Pedra de Ferro localizado em Caetité, sul da Bahia, chamou para uma roda de discussões as equipes mais competentes na área mineral do Brasil, tentando flexibilizar a abordagem inicial da rota de processos, baseada em filosofia de “risco zero”, com as necessidades do negócio (do acionista), visando sua efetiva viabilidade, mesmo optando por soluções mais ousadas. Este trabalho apresenta os resultados alcançados após esta nova dinâmica de gestão do projeto, estimulando as diversas equipes (processos, análise econômica, engenharia, planejamento, entre outras), depois de centenas de testes executados e avaliados, inclusive em escala piloto. O trabalho ilustra análises comparativas entre as diversas opções estudadas, onde as posições mais ousadas apresentaram ganhos surpreendentes, como por exemplo: Britagem 3ª de impacto ao invés de britagem convencional; moagem aberta (com baixo enchimento de bolas) ao invés de moagem fechada convencional; classificação por peneiramento de alta frequência ao invés dos classificadores convencionais (espirais e ciclones) e, em geral, a importância de abrir os circuitos frente à visão clássica de fechamento das diversas operações unitárias. A redução expressiva do CAPEX e do OPEX, somado a um ganho de mais de 10% de massa concentrada em relação ao ROM, para o mesmo teor de alimentação e qualidade de produto, comparando o projeto atual com a sua concepção original, não apenas conseguiram viabilizar o projeto, mas fazem desta experiência uma excepcional alternativa para enfrentar novos projetos minerais no Brasil.

**Palavras-chave:** Otimização; Projeto; Paradigmas; Mineração; Beneficiamento; Ferro.

## PEDRA DE FERRO PROJECT – THE RUPTURE OF PARADIGMS IN THE DEVELOPMENT OF AN IRON ORE MINERAL PROCESSING PROJECT

### Abstract

During 2008, taking into account the changing market for the mineral business, Bahia Mineração Ltda. (BAMIN) in his Pedra de Ferro project, located in Caetité, southern Bahia, invited to a discussion table the most competent teams in Brazil in the mineral field, trying to soften the initial approach of the route of processes, based on the philosophy of "risk zero" with the needs of the business (the shareholders), to its actual feasibility, even opting for bolder solutions. This paper presents the results after the new dynamics of project managing, encouraging the various teams (processes, economic analysis, engineering, planning, among other), after hundreds of tests performed and evaluated, including pilot scale. The work illustrates comparative analysis of different options studied, where the bolder positions showed surprising gains, such as: 3rd impact crushing instead of conventional crushing, exemption of homogenization pile, open grinding circuit (low ball loading) instead of conventional closed milling circuit; classification by high-frequency screening instead of the conventional hydraulic classification (screws and cyclones), and, in overall, the importance of opening the circuits facing the classical approach of unit operations closure. A significant reduction of CAPEX and OPEX, added to a gain of more than 10% of concentrated mass in relation to the ROM, for the same feed grade and product quality, comparing the current project to its original conception, make this experience an exceptional alternative to face new projects.

**Key words:** Project optimization; mineral paradigms; Iron Ore Treatment

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

<sup>2</sup> Diretor de Implantação, Projeto Pedra de Ferro (BAMIN – Bahia Mineração Ltda.).

<sup>3</sup> Diretor Técnico, MOPE - Modelo Operacional Ltda.

<sup>4</sup> Gerente de Processos, Projeto Pedra de Ferro (BAMIN – Bahia Mineração Ltda.).

<sup>5</sup> Gerente de Implantação Usina, Projeto Pedra de Ferro (BAMIN – Bahia Mineração Ltda.).

<sup>6</sup> Engenheiro de Minas, MOPE - Modelo Operacional Ltda.

<sup>7</sup> Engenheiro de Minas, MOPE - Modelo Operacional Ltda.

# 1 INTRODUÇÃO

As operações unitárias na área de beneficiamento de minérios são consideradas, em geral, como “artes” pelos maiores especialistas dentro da comunidade científica mundial.<sup>(1)</sup> O grande vazio existente entre os fundamentos teóricos e a prática dessas operações unitárias tem sido preenchido, durante quase um século, pela utilização de inúmeros mitos tecnológicos ou paradigmas. Esses paradigmas correspondem a determinadas fórmulas empíricas, tabelas indicadas nos catálogos dos fabricantes, fatores de “correção” e até algumas “dicas” tradicionalmente utilizadas na indústria mineral.

As heterogeneidades ou distúrbios derivados do ROM foram aceitos não como problemas, mas como boas oportunidades de acompanhamento e de pré-concentração do fluxo principal. Os testes finais, em escala piloto, apresentam números confiáveis e bastante consolidados. O projeto Pedra de Ferro pode ser um novo e interessante exemplo de evolução da tecnologia mineral brasileira, consolidando uma nova cultura tecnológica local na área de minério de Ferro.

Na Figura 1 se ilustra de forma resumida a sequência de trabalhos que deu origem à atual concepção do projeto.

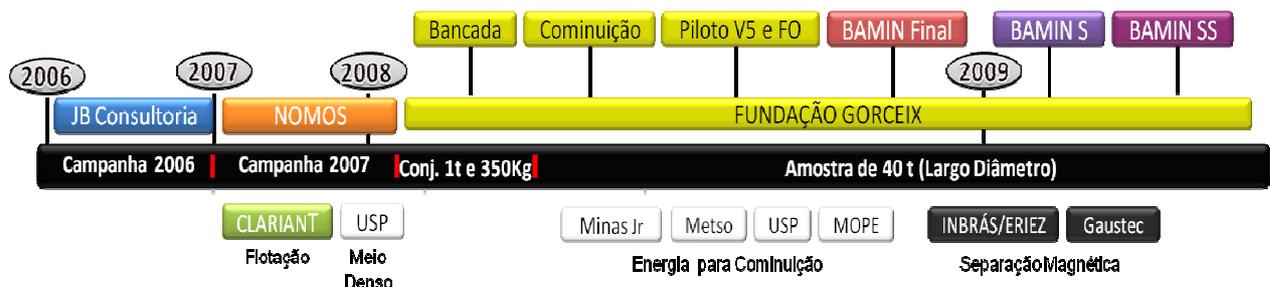


Figura 1. Linha de tempo dos trabalhos de pesquisa metalúrgica executados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Testes em Escala Piloto

Quase a totalidade dos ensaios foi realizada no Núcleo de Inovações Tecnológicas (Nutec) da Fundação Gorceix (FG), em Ouro Preto, sob acompanhamento de equipe técnica da Bamin e dos técnicos da FG. Quase 40 toneladas de amostra, constituídas numa única e representativa pilha, deram origem a dezenas de trabalhos, cujo detalhe é indicado no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1. Resumo dos ensaios realizados em escala piloto, maio de 2008 a março de 2009

OPERAÇÃO	Ensaio Efetuado Escala Piloto	
	No	Conclusões / Opção Seleccionada
BRITAGEM	11	Britador de Impacto em aberto
MOAGEM	8	Moagem aberta com 20% bolas
CLASSIFICADOR ESPIRAL	4	Baixa Eficiência de Separação
CLASSIF. COM HIDROCLONE	1	Baixa Eficiência no Underflow
PENEIRAMENTO FINO	4	Excelente Eficiência
CONCENTRADOR ESPIRAIS	2	Baixa Seletividade
SEPARADOR MAGNÉTICO WHIMS	14	Boa Seletividade
FLOTAÇÃO MECÂNICA	5	Boa Seletividade / Atinge Produto
FLOTAÇÃO COLUNA	1	Idem (ainda em 2o teste, no CDTN)

### 2.1.1 Britagem terciária

Em julho de 2008, foram executados testes de britagem terciária na Fundação Gorceix. Comparou-se o desempenho entre a opção convencional (mandíbula) com a de impacto (martelos). Estes ensaios tinham como principais objetivos determinar qual tipo de britagem geraria maior quantidade de material <1,00 mm e qual opção seria mais seletiva e produziria uma liberação preferencial dos minerais de ferro. Testes piloto de impacto foram executados nos laboratórios da USP e da Metso, para verificar o grau de abrasão e a competência do material para britagem por impacto.

### 2.1.2 Pré-concentração

A pré-concentração tem como principal objetivo diminuir a quantidade de massa a ser tratada na planta de beneficiamento, neste caso, eliminando quartzo grosseiro e reduzindo o seu conteúdo antes da flotação. Para avaliação dos ensaios foram realizados ensaios granuloquímicos de concentrado e rejeito de cada ensaio. Foram estudadas as opções de espirais concentradoras e de Separação Magnética (WHIMS).

### 2.1.3 Wi de Bond

Foram realizados diversos ensaios de Wi de Bond (BWi) ao longo do projeto. Por se tratar de uma metodologia padronizada e amplamente conhecida, esta não será discutida neste artigo. Foram executados ensaios em diversos laboratórios e foi verificado o efeito sobre o Wi para diferentes tamanhos de alimentação (F80).

### 2.1.4 Moagem

No projeto Pedra de Ferro, a moagem tinha como principal intuito a liberação de partículas de SiO<sub>2</sub> visando a sua retirada do circuito antes da Flotação (pré-concentração). Os principais critérios operacionais estão relacionados no Quadro 2.

**Quadro 2.** Critérios operacionais para ensaios piloto de moagem.

<b>Tipo de Moagem</b>	<b>Circuito Fechado</b>	<b>Circuito Aberto</b>
Nº de testes	2	4
Massa total utilizada (t)	11,0	13,6
Taxa de alimentação (kg/h)	250 / 300	500/600/800/1000
Dimensões do moinho (m)	0,6 x 0,9	0,6 x 0,9
Enchimento de bolas (%)	36 a 40	20 a 25
% Sólidos	60 a 65	55

A amostra tinha um F80 próximo de 3 mm e 41%Fe. Para avaliação dos ensaios foram realizadas análises granuloquímicas para os fluxos de alimentação e produto de todos os ensaios realizados. Para avaliação do consumo de energia o método utilizado foi o Wio (Work Index Operacional) <sup>(2)</sup>, que utiliza os seguintes fatores para seu cálculo: Peso da carga de bolas; dimensões do moinho; velocidade de rotação, % de sólidos da polpa; F80 e P80 (metodologia sugerida pela MolyCop).

### 2.1.5 Classificação

O estudo comparativo entre sistemas de classificação foi realizado utilizando os resultados de três diferentes ensaios piloto, de acordo com o equipamento de classificação utilizado em cada um deles (todos objetivando o corte em 0,15 mm):

Classificador de Espiral; Hidrociclone e Peneiras (malha de 0,15 mm). Para avaliação, foram realizados análises granulométricas dos fluxos de alimentação, underflow (oversize) e overflow (undersize) pra todos os ensaios. Para verificar os resultados obtidos no peneiramento, testes piloto foram executados nos laboratórios da Derrick (Buffalo, Estados Unidos).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Britagem Terciária

Foram avaliados os produtos para duas opções de britagem estudadas: impacto (martelo) e convencional (mandíbula). A Figura 2 mostra as curvas de descarga para ambos os britadores. Também, é ilustrada a distribuição de Ferro obtida em ambas as condições, de onde se observa que mais material e mais Ferro foram dirigidos às frações finas no caso do britador de impacto.

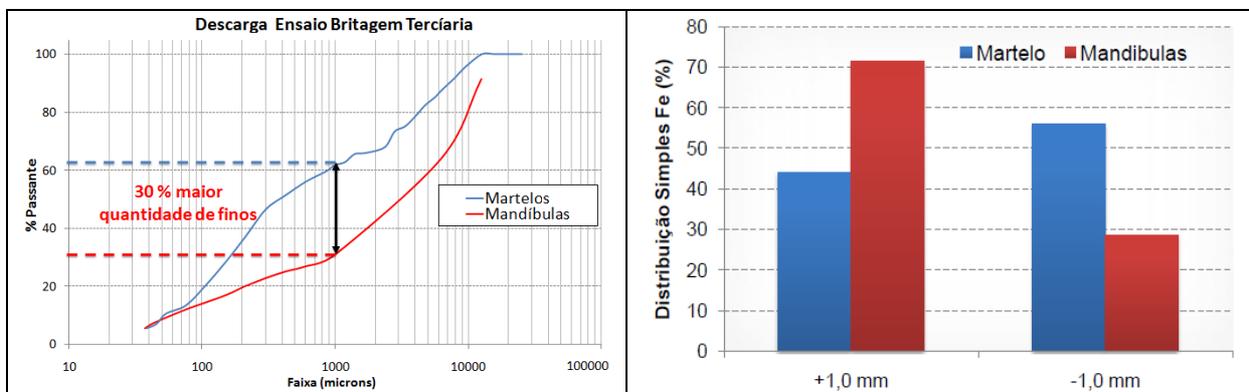


Figura 2. Seletividade e geração de finos na britagem terciária.

#### 3.2 Pré-concentração

Aproveitando a heterogeneidade do material, com dois componentes principais: quartzo e hematita, o objetivo da pré-concentração foi de reduzir a massa do fluxo principal, descartando antecipadamente alguma parcela de quartzo granulado ao invés de moer ele tão finamente quanto o minério de ferro e, ainda, incrementando o teor de ferro no fluxo que alimentará a flotação.

Os ensaios provaram que quase 14% do ROM poderiam ser descartados, com teor entre 2,5% a 3,5%Fe (95%SiO<sub>2</sub>), elevando o teor médio de Ferro na alimentação da flotação desde 41% (valor médio do depósito) para quase 50%Fe.

#### 3.3 Consumo Específico de Energia

Os resultados dos diversos ensaios de Wi de Bond foram plotados em relação ao F80. O resultado pode ser visto na Figura 3.

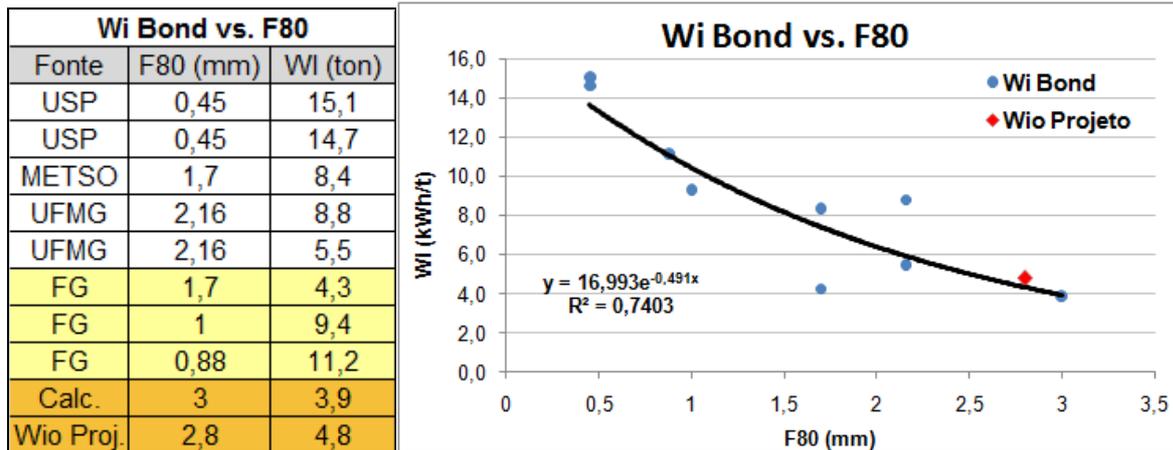


Figura 3. Variabilidade do BWi em material heterogêneo.

Pode-se observar claramente que o Wi não é constante em relação ao F80, conforme sua definição. Também, deve ser destacado que o Wio obtido em planta piloto e utilizado como critério de projeto, é muito coerente ao ser plotado na Curva da Figura 3 (ponto vermelho). Esta situação ocorre principalmente em partículas heterogêneas, caso do itabirito, que, quando em maior granulometria a quebra ocorre principalmente para liberar os grãos de quartzo e hematita, rompendo as ligações que ocorrem entre os diferentes minerais. Diminuindo o F80, as partículas são predominantemente compostas por grãos do mesmo mineral, havendo maior consumo de energia para reduzir o tamanho médio do fluxo.

### 3.4 Moagem

O Quadro 3 mostra os resultados granulométricos, químicos e a distribuição de SiO<sub>2</sub> gerado nos produtos da etapa de pré-moagem, para circuito aberto e fechado.

Quadro 3. Resultados granulo-químicos da descarga da moagem aberto e fechado

Comparativo Seletividade				
Tipo de Circuito	+ 0,15 mm		- 0,15 mm	
	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado
% Massa	27,0	25,9	73,0	74,1
% Fe	18,0	27,3	51,8	48,1
%SiO <sub>2</sub>	73,0	58,8	23,3	29,1

Com similar granulometria de descarga, se observa que a moagem em circuito aberto libera mais ferro para as frações finas. Também, a massa retida na peneira possui mais quartzo granulado. Ou seja, o moinho em circuito aberto mói preferencialmente a hematita, gastando menos energia e, ainda, gerando uma pré-concentração maior no fluxo passante pelas peneiras, e que irá alimentar a flotação. Pelo contrário, o moinho fechado mói quartzo desnecessariamente. Foi calculado o Wio – *Work Index Operacional* e o consumo específico industrial previsto para os dois ensaios.<sup>(2)</sup> No Quadro 4 demonstra-se que a alternativa de operar a moagem em circuito fechado envolveria quase 50% a mais de energia na escala industrial. O

Wio do teste em circuito fechado é compatível com a energia típica para o quartzo e não para a hematita.

**Quadro 4.** Comparativo entre os gastos energéticos para moagens em circuito aberto e fechado

Comparativo Consumo de Energia					
Teste	Taxa (kg/h)	F80 (microns)	P80 (microns)	Wio (kWh/t)	Cons. Específico (kWh/t)
Aberto	300	390	143	13,2	4,35
Fechado	300	210	110	23,2	6,11

### 3. 5 Classificação

Os resultados de granuloquímica do underflow e overflow estão no Quadro 5, para três opções de classificação. Entende-se que, para o caso da peneira, o underflow se refere ao fluxo retido (grossos) e o overflow ao fluxo passante (finos).

**Quadro 5.** Comparativo entre opções de classificação

Finos							Grossos						
Faixas (µm)	Clas. espiral		Ciclone		Peneira		Faixas (µm)	Class. Espiral		Ciclone		Peneira	
	% Fe	% SiO <sub>2</sub>	% Fe	% SiO <sub>2</sub>	% Fe	% SiO <sub>2</sub>		% Fe	% SiO <sub>2</sub>	% Fe	% SiO <sub>2</sub>	% Fe	% SiO <sub>2</sub>
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
212	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	82,0	425	18,9	71,3	0,0	0,0	0,0	0,0
150	4,7	90,8	7,4	88,1	17,0	75,1	300	13,2	78,9	8,7	84,5	7,0	87,6
125	7,5	88,2	0,0	0,0	20,6	68,8	212	16,0	76,0	11,2	81,4	9,3	84,9
105	10,8	83,9	11,4	81,8	24,1	64,2	150	23,2	66,7	18,8	71,5	16,9	75,1
75	30,5	56,6	17,4	73,1	37,3	45,2	125	33,8	51,4	24,6	63,6	23,5	64,9
53	50,6	27,1	30,8	54,4	51,4	25,4	105	39,4	42,6	31,0	54,2	25,6	61,8
45	58,3	15,5	45,2	34,0	57,0	17,6	75	55,4	19,3	45,4	34,1	28,9	57,2
38	59,5	14,2	58,9	14,0	63,1	9,1	53	64,7	6,5	59,9	14,2	0,0	0,0
< 38	56,4	13,7	52,8	18,6	55,7	15,9	45	67,9	3,9	64,5	6,9	0,0	0,0
Total	44,4	35,7	41,4	35,4	47,5	29,8	38	66,4	2,8	67,5	3,1	38,9	42,7
							< 38	66,2	3,8	64,7	6,7	I.S.	I.S.
							Total	40,9	41,8	43,0	36,9	17,0	74,7

\*Teores iguais a zero ou I.S são faixas sem massa suficiente para análise

O maior problema dos classificadores hidráulicos, para materiais heterogêneos, onde as substâncias possuem enorme diferença de peso específico, como neste caso, é no lado dos finos, cuja eficiência é muito baixa, e uma grande parcela de finos de minério de ferro (mais pesados) seguiriam desnecessariamente para a etapa de pré-concentração, elevando o número de separadores magnéticos a serem utilizados. Seguem abaixo, na Figura 4, as curvas granulométricas e análises granuloquímicas correspondente aos fluxos retido, passante e alimentação da peneira, localizada na descarga do moinho, ilustrando sua alta eficiência.

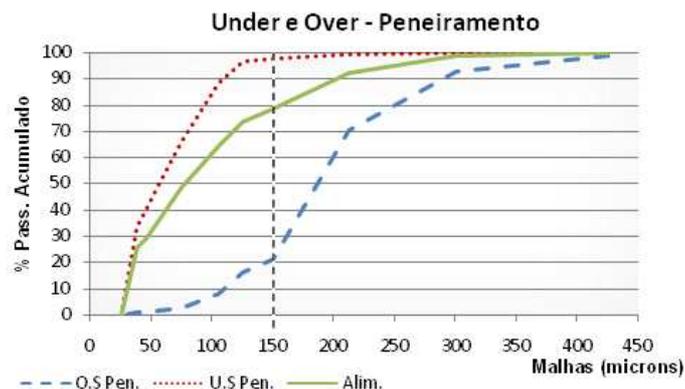


Figura 4. Curvas granulométricas para a classificação em peneira.

## 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Britagem Terciária

Mesmo operando em circuito aberto, o britador de impacto apresentou, na descarga, quase 50% de material abaixo de 1 mm e um P80 de 12 mm, compatível com a alimentação de um moinho industrial de bolas. A Figura 5 a seguir mostra os produtos da britagem de Impacto e de Mandíbulas, respectivamente.



Figura 5. Produto Martelo (acima) e Mandíbula (abaixo).

Pode-se observar visualmente que o ensaio com Britador de Impacto gerou um produto muito mais fino que aquele obtido com britador de mandíbulas. Como relatado no item 3.1, a britagem por impacto permitiu que maior quantidade de Ferro fosse dirigida até os finos gerados. Obviamente, menos Ferro permaneceu na faixa grosseira. Estes resultados são interessantes para um minério heterogêneo como o do Projeto Pedra de Ferro, que possui partículas de minerais de diferentes comportamentos em operações de cominuição, basicamente hematita e quartzo.

Durante setembro de 2008, foram enviadas para o Laboratório de Simulação e Controle da EPUSP (LSC/EPUSP) amostras de minério grosseiro para a execução do teste DWT (Drop Weight Test) – utilizado para obter parâmetros de quebra (impacto) e de abrasão.

O minério do Bloco III apresentou excepcionais condições para ser cominuído mediante impacto, ainda com baixíssima abrasividade. Os resultados indicam valor do parâmetro IQ de 288 para a amostra DWT, que é classificada como de resistência extremamente baixa à fragmentação por impacto. Também, é obtido o valor de 4,42 para a amostra no ensaio de abrasão. A classificação a indica como sendo com resistência extremamente baixa à fragmentação por abrasão. Ambos os valores excedem em mais do dobro os valores padrões que já classificariam este material dentro das categorias indicadas.

Ensaio adicionais efetuados nos laboratórios da METSO tiveram como objetivo conhecer quanto o minério pode desgastar uma determinada placa (o ensaio realizado na USP objetiva conhecer a resistência à fragmentação por abrasão). No Quadro 6 se mostram os resultados obtidos na METSO e, mais uma vez, se demonstra que o britador de impacto não irá apresentar problemas de resistência nem de abrasão para o projeto Pedra de Ferro. No mesmo relatório da Metso se observa que, ao considerar isoladamente os dois componentes principais do minério, o que aconteceria em faixas mais finas onde eles estiverem liberados, a abrasão seria bem superior: Hematita: 0,27 g/h e Quartzo 0,77 g/h. Em compensação, na faixa de trabalho do britador 3º a abrasão será baixa.

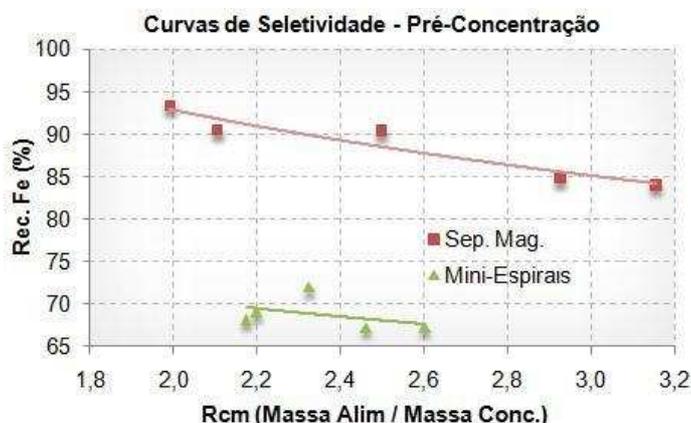
**Quadro 6.** Avaliação Britagem segundo a metodologia da Metso

Índice	Valor	Observações
Abrasão (Bond)	0,086 g/h	Ligeiramente abrasivo
Abrasão (Macon)	718 g/t	Média abrasão
Britabilidade (Macon)	82,45% - 1,6 mm	Muito fácil
Índice de trabalho (Bond)	< 6 kWh/st	Muito fácil

A operação de britagem terciária por impacto se mostrou mais eficiente e seletiva para o minério do Projeto de Pedra de Ferro, garantindo um F80 adequado para a moagem e direcionando mais partículas de ferro para as frações finas. No que diz respeito ao layout desta operação, optou-se pelo circuito aberto, uma vez que, além de diminuir o desgaste do britador, esta opção reduz o CAPEX, ao eliminar a massa reciclada, reduzindo assim as instalações, correias transportadoras, peneiras e etc.

## 4.2 Pré-Concentração

A etapa de pré-concentração, além de estabilizar os teores de SiO<sub>2</sub> na alimentação da flotação, soma-se aos sistemas de controle otimizante que serão implantados nas diversas operações, para permitir iniciar o projeto sem pilha de homogeneização, tão característica nos projetos de concentração de minérios de Ferro. Os WHIMS foram bem mais seletivos que os concentradores de espirais nesta etapa.



### 4.3 Moagem

Já para a operação de moagem, o projeto Pedra de Ferro tem como principais objetivos a adequação granulométrica para operações posteriores de concentração, a liberação dos grãos de hematita e quartzo ao maior tamanho possível, o menor consumo energético e a flexibilidade operacional suficiente para absorver os distúrbios gerados pela variação das características do minério alimentado.

A eficiente liberação dos grãos de quartzo e de hematita, ainda em faixas grosseiras, se deve não apenas à particularidade mineralógica do material e a sua heterogeneidade, mas pela forma seletiva como a moagem é realizada: baixo enchimento de bolas, circuito aberto, baixa velocidade de rotação e baixa densidade alimentada ao moinho, permitindo uma adequada sedimentação no interior deste, onde as partículas de hematita, de maior gravidade específica, afundam até a “zona de moagem”<sup>(2)</sup> e são atingidas pelos corpos moedores.

Os resultados vistos no item 3.4 mostram claramente que a moagem em circuito aberto foi bastante eficiente, ainda sem apresentar nenhum problema de refugo na descarga. É preciso salientar que estes resultados foram obtidos com um moinho de 0,6 m de diâmetro e com F80 similar ao que existirá na escala industrial.

Nas faixas mais finas da descarga da moagem em circuito fechado houve um aumento significativo dos teores de SiO<sub>2</sub>. Essa “contaminação” de sílica nas faixas finas mostra que, com a moagem em circuito fechado, houve uma cominuição excessiva de partículas de quartzo, elevando o consumo de energia e, ainda, levando excesso de quartzo fino para a etapa de flotação. A moagem em circuito aberto, com baixo enchimento de bolas, tem como principal objetivo a liberação das partículas e não a perfeita adequação granulométrica de todas as partículas presentes na moagem.<sup>(2)</sup> Devido à maior densidade das partículas mais ricas em Fe (liberadas ou não) há uma preferência para a moagem destas partículas, que sedimentam para o fundo do moinho.

O alto consumo de energia apresentado nos ensaios com circuito fechado de moagem foi fundamental para o descarte desta opção para a rota de processo do projeto Pedra de Ferro. Afinal, o maior consumo de energia implicaria também numa maior quantidade de moinhos no projeto industrial desta opção de rota.

### 4.4 Classificação

A moagem para o projeto Pedra de Ferro respeita as características do minério, separando para cada operação de concentração os minerais com características adequadas para sua operação. Assim, uma grande parcela de quartzo duro, que geraria alto consumo de energia, simplesmente não é moída. O primeiro objetivo, de granulometria, é atendido mediante a utilização de peneiras de 0,15 mm na descarga dos moinhos, que impedem que material acima desta malha sejam levados até a flotação. Dada esta importante função da classificação primária no projeto, o uso de peneiras de alta frequência se revelou essencial para garantir uma eficiência superior a dos classificadores convencionais.

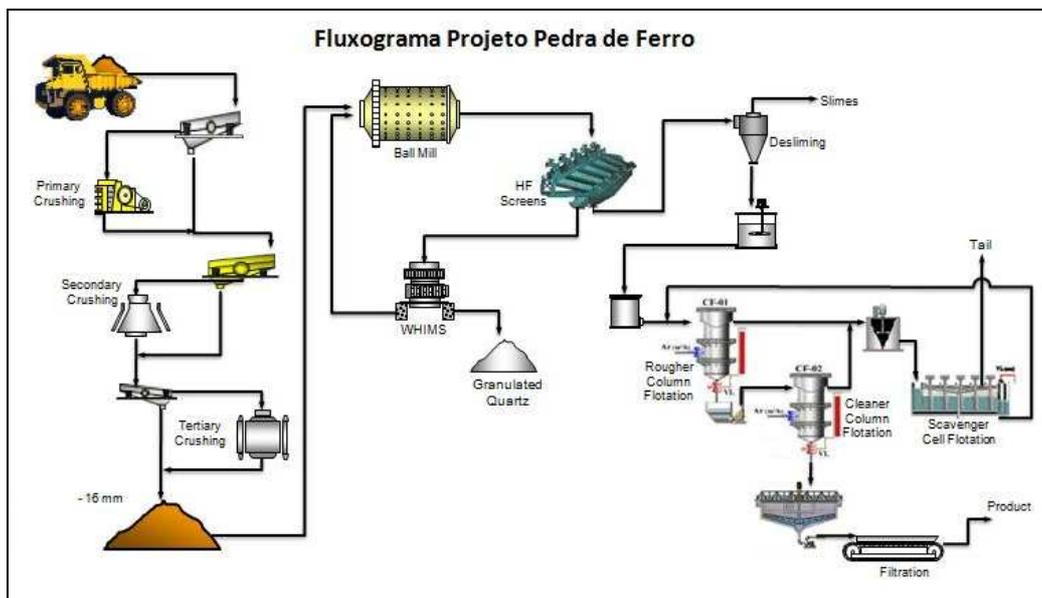
**Quadro 7.** Eficiências calculadas para os equipamentos de classificação estudados

Condições		Espiral	Ciclone	Peneira FG	Peneira HF*
Parâmetros	Ret. 0,15 (A)	28,4	22,8	21,7	16,8
	Pas. 0,15 (B)	71,7	77,2	78,3	83,2
	Ret. 0,15 Und (C)	41,2	26,5	78,7	51,5
	Pas. 0,15 Over (D)	86,9	95,3	98,1	98,9
	U	45,8	17,0	74,2	68,8
	O	54,2	83,0	25,8	31,2
Eficiência (%)	Efic. Finos	55,5	20,9	93,0	81,8
	Efic. Grossos	78,8	96,5	93,4	95,5
	<b>Efic. Total</b>	<b>62,1</b>	<b>38,1</b>	<b>93,1</b>	<b>84,1</b>

\*Ensaio realizado no laboratório do fabricante

O Quadro 7 mostra um resumo com os parâmetros utilizados para definição das eficiências no *underflow*, *overflow* e total, para as três opções estudadas. Lembrando que o *underflow* dos classificadores hidráulicos corresponde ao oversize das peneiras (retido) e, o *overflow* ao undersize da peneira (passante). Este quadro mostra claramente que as peneiras possuem eficiência muito maior que a obtida com métodos hidráulicos, propiciando melhor seletividade na etapa de concentração. Por isso, o projeto Pedra de Ferro utiliza peneiras de alta frequência nesta etapa do processo.

Finalmente, a opção preferencial pelos circuitos abertos, tornou o projeto bastante enxuto no tocante ao manuseio e bombeamento de polpa. Os tempos de residência foram maximizados, pela redução de carga circulante, e os equipamentos foram mais bem aproveitados. Na Figura 6 se ilustra resumidamente o fluxograma de processamento do projeto Pedra de Ferro, para uma escala de produção de 18 MTPA de concentrado entre 67,5% e 68,5%Fe.



**Figura 6.** Fluxograma resumido projeto Pedra de Ferro.

## 5 CONCLUSÕES

A concepção original deste projeto, dentre outras diferenças, para uma escala de produção um pouco maior que a atual (25 MTPA), considerava 14 britadores terciários convencionais (hoje são apenas 3 britadores de impacto); mais uma etapa de britagem 4ª com 3 britadores HPGR (que hoje não existe); 5 moinhos primários de bolas de 26 pés (hoje são apenas 2 moinhos de 22 pés), dentre outros muitos aspectos. A menor quantidade de fluxos, pela abertura dos circuitos, levou para menos de 1/3 as necessidades de bombeamento de polpa, ciclones, etc.

Do ponto de vista do CAPEX e OPEX, estudos internos da BAMIN demonstram que ambos indicadores são hoje expressivamente menores que os valores originalmente considerados para o projeto.

Ainda, por causa da nova filosofia operacional e pela opção não-convencional das diversas operações, o projeto Pedra de Ferro elevou em quase 10% a recuperação de massa concentrada e a sua qualidade, em relação aos valores observados em 2007, quando a rota do tipo “risco zero” foi inicialmente assumida, como ilustrado na Figura 7.

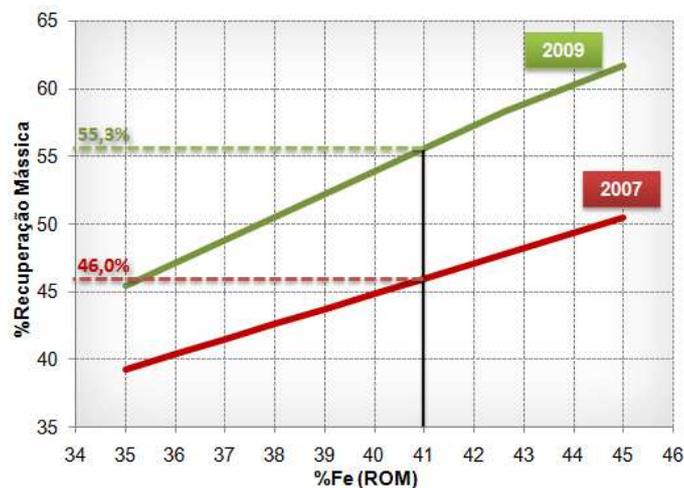


Figura 7. Recuperação Mássica do projeto Pedra de Ferro.

A qualidade do concentrado final é bastante competitiva e, para teores próximos de 68%Fe, a usina não apresentaria quedas significativas de recuperação, como ilustrado na Figura 8.

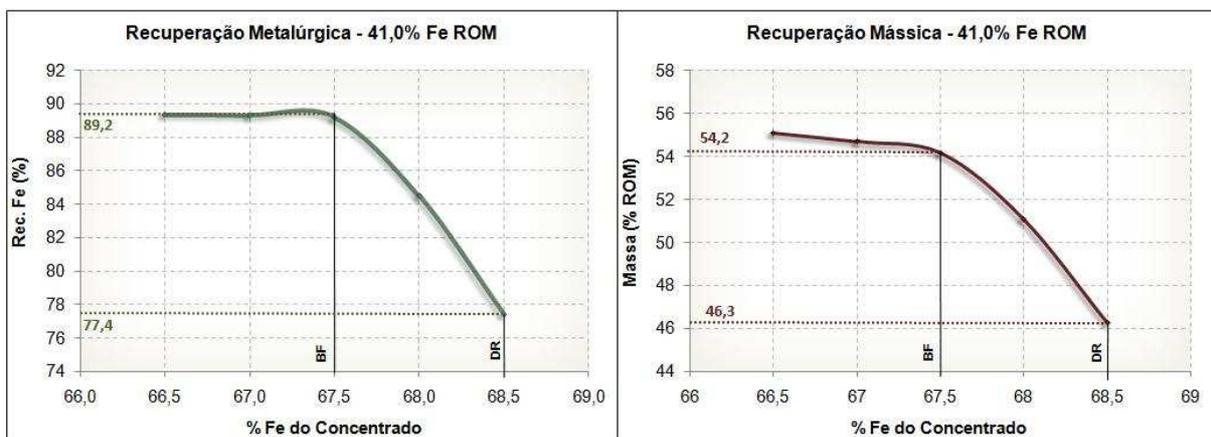


Figura 8. Recuperação Metalúrgica em função da qualidade do concentrado.

## **Agradecimentos**

Gostaríamos de agradecer á BAMIN – Bahia Mineração Ltda. pela autorização para divulgar estes resultados. Também, se destaca o trabalho experimental de alta qualidade executado pela Fundação Gorceix (Ouro Preto), durante quase 2 anos de apoio. Finalmente, agradecemos a ajuda fundamental oferecida por diversos fornecedores de equipamentos industriais, tanto no apoio experimental e critérios de dimensionamento, como pela sintonia com a dinâmica de gestão deste projeto, abrindo espaço para idéias inovadoras e dando sustentação a esta nova rota de processamento.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 YOVANOVIC, A.P., Engenharia da Concentração de Massa por Flotação, Volume I: Fundamentos da Flotação, Editado por Alexis Yovanovic, 2004, Brasil.
- 2 YOVANOVIC, A.P., Engenharia da Cominuição e Moagem em Moinhos Tubulares, Editado por Alexis Yovanovic, 2006, Brasil.