



CARACTERIZAÇÃO DOS ITABIRITOS COMPACTOS DA SERRA AZUL QUANTO À COMINUIÇÃO¹

Antonio Schettino Gomes Pereira²
Pedro Henrique Meijon²
Emir Birro de Castro³
Homero Delboni Junior⁴
Bianca Foggatto⁵

Resumo

A assim denominada Serra Azul localizada na área central do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais inclui grandes volumes de itabiritos que apresentam, entre outras características, combinação de teores relativamente baixos de ferro e alta compacidade. O presente trabalho descreve os resultados preliminares de campanha de caracterização física quanto à cominuição de amostras oriundas de tais recursos em área de concessão da Usiminas. Os resultados mostram resistências crescentes à fragmentação, em função do aumento da compacidade do minério.

Palavras-chave: Itabiritos compactos; Drop Weight Test; Work Index de Bond; Moagem.

Grinding characterization of the Serra Azul's Compact Itabirites

Abstract

Serra Azul is located in the central part of the Quadrilátero Ferrífero in Minas Gerais state, Brazil. It includes vast volumes of relatively low grade and high compactness itabirite ore types. This work describes preliminary results of a comminution test campaign carried out on samples from the Usiminas area.

The results indicate progressive resistance to breakage for increasing compactness.

Key Words: Compact Itabirites, Drop weight test; Bond work index; Grinding.

¹ Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Engenheiro de Minas – Usiminas Mineração

³ Engenheiro de Minas, M.E. - Especialista em Processos - Usiminas Mineração

⁴ Engenheiro de Minas, M.E., Ph.D - Consultor da HDA serviços

⁵ Engenheiro de Minas, M.E., Consultor da HDA serviços

1 INTRODUÇÃO

A Serra Azul está localizada na parte oeste do quadrilátero ferrífero, na região central de Minas Gerais. As reservas do Sistema Serra Azul, desde o século XIX atraem garimpeiros e mineradoras interessados no ouro, topázio, bauxita ou minério de ferro que ocorrem na área.

Até recentemente a exploração foi concentrada em pouco mais de uma dezena de pequenas e médias mineradoras, todas de capital nacional. No entanto, atualmente grandes empresas estão instaladas na região e, devido à escassez de minérios com alto teor de ferro, os itabiritos compactos estão sendo estudados em função de apresentarem grandes volumes nesta região. A finalidade é a produção de concentrados com alto teor de ferro.

Os assim denominados itabiritos compactos apresentam teor de ferro que varia entre 30% e 50%. O beneficiamento de tais minérios inclui estágios de cominuição, classificação e concentração, como forma de geração de produtos com baixo teor de sílica e alto teor de Fe.

Sendo a cominuição uma etapa crítica para o desenvolvimento de uma rota de processo robusta para estes minérios, uma campanha de caracterização foi conduzida pela Usiminas, sendo os resultados preliminares aqui descritos.

2 METODOLOGIA

2.1 Amostras Utilizadas nos Testes

A partir de ampla campanha de sondagens na Serra Azul, realizada pela equipe da Usiminas foram formadas amostras representativas de aproximadamente uma tonelada de cada um dos vários litotipos abaixo descritos:

- Itabirito Semi-Compacto Pobre (ISCP);
- Itabirito Semi-Compacto (ISC);
- Itabirito Semi-Compacto Rico (ISCR);
- Itabirito Compacto Pobre (ICP);
- Itabirito Compacto (IC);
- Itabirito Compacto Rico (ICR);
- Itabirito Compacto Maciço (IM); e
- Itabirito Compacto Maciço Magnetítico (IM-Mag).

A classificação dos itabiritos compactos tem como principal critério a granulometria do material, referida como a porcentagem retida na malha 6,3 mm, ou W1, conforme listada abaixo:

- Itabiritos Semi-Compactos: $30\% < W1 < 55\%$;
- Itabiritos Compactos: $55\% < W1 < 70\%$;
- Itabirito Maciço: $W1 > 70\%$.

A classificação entre pobre, médio e rico refere-se ao teor de ferro na amostra. Os itabiritos ricos possuem teor de ferro entre 50% e 60%, os itabiritos médios entre 40% e 50%, enquanto os itabiritos pobres apresentam teor de ferro entre 30% e 40%.

2.2 Ensaio

As amostras relativas a cada um dos oito litotipos listados no item anterior foram inicialmente homogeneizadas e posteriormente submetidas a ensaios de DWT (*Drop Weight Test*) e WI-B (*Work Index* de Bond).

Esta etapa visa subsidiar os estudos de definição da rota de processo de cominuição, bem como estabelecer as variações das mesmas, em função das características de amostras individuais. Os resultados obtidos representam, além de índices comparativos entre amostras, base para o estabelecimento de rotas de processo e dimensionamentos de equipamentos de britagem, moagem em moinhos AG/SAG e moagem em moinhos de bolas.

2.2.1 Drop Weight Test (DWT)

O método empregado neste estudo baseia-se na determinação da função quebra, que representa a relação entre energia aplicada e fragmentação resultante.

Tal método foi desenvolvido pelo JKMRC - *Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre*, na Austrália.⁽¹⁾ Os resultados do ensaio são largamente empregados no dimensionamento e otimização de circuitos industriais de cominuição.

O procedimento padrão do ensaio, conforme estabelecido pelo JKMRC estabelece que fragmentos sejam submetidos a impacto em cada uma das cinco faixas granulométricas que se seguem:

63,0 x 53,0 mm; 45,0 x 37,5 mm; 31,5 x 26,5 mm; 22,4 x 19,0 mm e 16,0 x 13,2 mm

Uma vez preparados, os fragmentos são reunidos em três lotes compostos de 30 fragmentos cada, que serão submetidos à impactos com energia que varia de 0,25 kWh/t e 2,5 kWh/t. O material fragmentado correspondente a cada lote é então submetido a peneiramento.

Para cada distribuição granulométrica é calculado o parâmetro t_{10} , que representa porcentagem passante na malha igual a 1/10 do tamanho original do fragmento.

A relação entre energia aplicada e fragmentação resultante para diferentes granulometrias é parametrizada pela seguinte função:

$$t_{10} = A (1 - e^{-bE_{cs}})$$

Sendo:

t_{10} = porcentagem passante na malha igual a 10% do tamanho original do fragmento;

E_{cs} = energia específica aplicada ao fragmento de minério (kWh/t);

A, b = índices paramétricos

A função acima apresenta um rápido crescimento inicial, modulado pelo parâmetro b, assim como um perfil assintótico ao parâmetro A, indicando portanto que a partir de um certo nível de energia, a fragmentação adicional é muito baixa para níveis crescentes de energia.

A Figura 1 apresenta na forma de gráfico a relação entre energia aplicada e fragmentação resultante, parametrizada pela função acima.

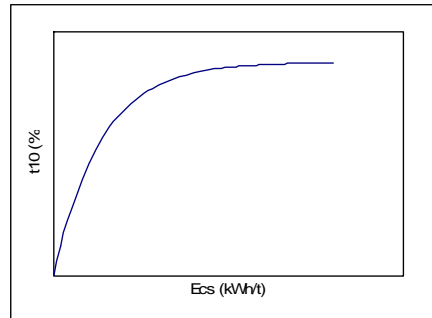


Figura 1 – Relação entre energia e fragmentação.

Desta forma quanto menores forem os parâmetros A e b, maior será a resistência da amostra a fragmentação. Por apresentarem a mesma tendência, a multiplicação dos dois parâmetros constitui o assim denominado IQ ou Índice de Quebra, empregado para comparar a resistência ao impacto entre minérios.

2.2.2 Work Index de Bond (WI-B)

No início da década de 1960, Bond criou um teste para caracterizar o a resistência à moagem de minérios. O assim denominado *Work Index* (Índice de Moabilidade) representa, segundo Bond, o consumo específico de energia (kWh/t) para moer um minério de granulometria praticamente infinita até um produto com P₈₀ igual a 0,100 mm.

A determinação deste índice é realizada através de um ensaio normatizado de laboratório, tanto em procedimentos como em equipamentos, conforme descrito na norma ABNT MB-3253.⁽²⁾ O teste consiste essencialmente em uma seqüência de ciclos de moagem e peneiramento, até que a o consumo de energia atinja o critério estipulado de estabilidade, para uma carga circulante de 250%.

O WI é obtido através da seguinte expressão:

$$WI = \frac{44,5}{(P1)^{0,23} \cdot G_{bp}^{0,82} \cdot \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right)}$$

Onde,

WI = *Work Index* (kWh/st)

F = P₈₀ da alimentação (μm)

P = P₈₀ do produto passante no último ciclo (μm)

P1 = malha de controle do teste (μm)

G_{bp} = média dos valores de gramas por revolução referente aos últimos ciclos do teste

3 RESULTADOS

Os resultados dos ensaios para o teste de DWT são apresentados na Tabela 1:⁽³⁾

Tabela 1 – Resultados do DWT

Amostra	Resultados		
	A	b	IQ (A x b)
ISCP	58,4	3,22	188
ISC	63,6	2,6	165
ISCR	62,3	2,09	130
ICP	55,5	1,98	110
IC	60,2	1,78	107
ICR	55,5	2,84	157
IM	60,5	0,64	38,8
IM-MAG	56,5	0,59	33,4

Observa-se que para os litotipos ICR, ISCR, ISC e ISCP foram obtidos valores altos de IQ, indicando resistência muito baixa à fragmentação por impacto. Já os litotipos IC e ICP apresentaram uma baixa resistência ao impacto. No entanto, as duas amostras de itabiritos maciços (IM e IM-Mag) apresentaram valores baixos para o IQ, o que indica alta resistência à fragmentação por impacto.

O teste de moabilidade de Bond apresentou os resultados listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de WI

Amostra	Malha Teste (mm)	F ₈₀ (mm)	P ₈₀ (mm)	G _{bp} (g/rev.)	WI (kWh/t)
ISCP	0,105	1,90	0,081	3,606	6,60
ISC	0,105	1,48	0,082	2,943	8,30
ISCR	0,105	1,66	0,080	2,316	9,70
ICP	0,105	2,70	0,081	2,498	8,70
IC	0,105	2,65	0,079	2,087	9,90
ICR	0,105	2,52	0,081	1,688	12,00
IM	0,105	2,65	0,081	1,723	11,80
IM-Mag	0,105	2,78	0,076	1,766	11,00

Nota-se na Tabela 2 valores crescentes de WI conforme a seqüência de itabiritos pobres, médios e ricos, tanto para aqueles classificados em semi-compactos como para os compactos. Os valores de WI das amostras de itabiritos maciços são próximos ao máximo obtido para os litotipos semi-compactos e compactos.

4 SUMÁRIO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nos ensaios para determinação de WI e IQ são apresentados nos gráficos da Figura 2, para os três litotipos submetidos a testes.

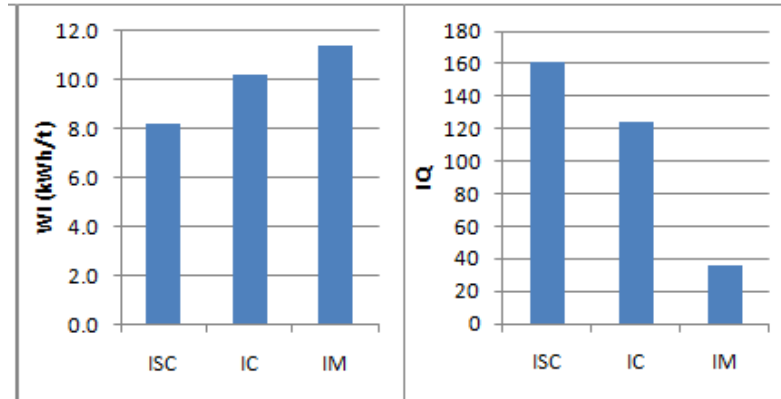


Figura 2 – Comparação entre WI e IQ.

A Figura 2 mostra para o WI e IQ, as médias entre os três litotipos semi-compactos, compactos e maciços.

Os resultados indicam resistência crescente à fragmentação, tanto a estimada pelo WI como pelo DWT, este último através do IQ.

Destaca-se o índice de resistência à fragmentação estimada pelo DWT da amostra de itabirito maciço. Este indica resistência alta a fragmentação de fragmentos relativamente grossos, o que resulta em maiores consumos energéticos para britadores e moinhos primários.

A seleção da rota de processo para o beneficiamento de itabiritos compactos deverá portanto incluir alternativas de moinhos que não contem com corpos moedores metálicos, de forma a diminuir do consumo de metais nos custos de operação dos futuros circuitos industriais. Devido à elevada resistência à fragmentação por impacto, os próprios litotipos maciços podem se constituir em corpos moedores adequados à moagem. Recomenda-se portanto análises de rotas de processo que incluam tal alternativa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Usiminas pelo apoio e permissão de publicar os resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 NAPIER-MUNN, T.J. et al. Mineral comminution circuits: their operation and optimization. Indooroopilly: Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre/University of Queensland, 1999 (JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing).
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. MB-3553: Moinho de bolas – determinação do índice de trabalho. Rio de Janeiro, set. 1990. 4p.
- 3 DELBONI, H., FOGGIATTO, B. - Desenvolvimento de Processo para Beneficiamento de Itabiritos Compactos da Usiminas – Parte I Caracterização do Minério. HDA Serviços Ltda, 2010. p.18-30. (Relatório Interno).