

## Concentração de itabirito silicoso da Mina do Sapecado/Complexo Pico - MBR, empregando o classificador hidráulico de fluxo transversal “crossflow”

Hely Simões Gurgel

Eng./MBR, Mestrando do PPGEM/DEMIN/EM/UFOP  
E-mail: hsg@caemi.com.br

Rosa Malena Fernandes Lima

Dr<sup>a</sup>., Professora Adjunta, PPGEM/DEMIN/EM/UFOP  
E-mail: rosa@demin.ufop.br

Maria Lúcia Magalhães de Oliveira

Dr<sup>a</sup>.MCE Consultoria e Engenharia Ltda  
E-mail: luciamo@uai.com.br

### Resumo

Nesse trabalho, foi efetuada a concentração da fração granulométrica compreendida entre 0,15 e 1 mm do minério itabirito silicoso da mina do Sapecado do Complexo Pico/MBR, usando o classificador hidráulico de fluxo transversal “crossflow” em duas rotas distintas, efetuando a etapa de concentração “rougher” e a etapa de limpeza dos concentrados de espirais de Humphreys. Para uma alimentação constituída por 60,19% de Fe e 11,81% de sílica, foram obtidos concentrados, de ambas as rotas testadas, com teores de impurezas dentro ou muito próximos aos teores de mercado para os produtos comercializados pela empresa.

**Palavras-chave:** Minério de ferro, concentração gravítica.

### Abstract

*The hydraulic classifier “crossflow” was used to concentrate one iron ore sample between 0,15 to 1 mm size from the Sapecado MBR mine. The feed iron and silic contents were 60,19 and 11,81%, respectively. This equipment was tested in two ways: in the rougher stage and in Humphreys concentrate cleaning stage. In both cases it was possible to produce concentrates inside or near the commercial MBR product specifications.*

**Keywords:** iron ore, gravity concentration.

## 1. Introdução

A escolha do método de concentração de minério de ferro (concentração gravítica, magnética e flotação) depende de alguns fatores, tais como teor da alimentação, mineralogia, malha de liberação, fatores econômicos, controle do teor do concentrado e efeito sobre a pelotização (Tovar e colaboradores, 1988 e Iwasaki, 1989).

Os separadores hidráulicos do tipo leito retardo têm sido usados em processamento mineral há muitos anos. Consistem de uma câmara de separação, onde a alimentação descreve uma trajetória descendente contra um fluxo de água distribuído ascendentemente. Tipicamente, esses equipamentos são usados para classificação, entretanto, se a distribuição granulométrica estiver dentro de limites aceitáveis, os separadores hidráulicos do tipo leito retardo podem ser usados para a concentração de partículas em função das diferenças de densidades entre as mesmas como é o caso do separador hidráulico de fluxo transversal "crossflow" (Dunn e colaboradores, 2000).

A diferença marcante entre o "crossflow" e os demais classificadores hidráulicos de leito retardado é que o mesmo utiliza um sistema de alimentação tangencial, de baixa velocidade para introduzir a polpa no equipamento. Essa configuração permite que a água alimentada atravesse o topo da unidade e vá para a câmara do "overflow" com menor distúrbio da água de fluidização dentro da câmara de separação. Para reduzir a velocidade do fluxo de alimentação, o sistema possui um anteparo antes da câmara de separação. O resultado desse sistema de alimentação é a eliminação de um excesso de água na câmara de separação. Kohmurech, 2000, e Heiskanen, 1993, fornecem detalhes sobre o princípio de funcionamento do equipamento.

Hearn (2003) relatou o emprego de separador hidráulico (Floatex) para concentração de minério indiano de ferro abaixo de 1 mm, que produziu concentrado ("underflow") com teor de sílica abaixo de 1%.

Os minérios hematíticos do complexo Pico da MBR produzem quatro produtos "lump ore", hematitinha, "sinter feed" e "pellet feed". Em 2008, os mesmos estarão totalmente exauridos. Logo, será necessário processar os minérios itabiríticos para garantir a própria sobrevivência da empresa. Em estudos de beneficiamento dos itabiritos do complexo Pico/MBR, em escala de laboratório e piloto, verificou-se a necessidade de fragmentar os mesmos abaixo de 6,3 mm. Essa operação, após o emprego de etapas de concentração, possibilita a produção de "sinter feed" e "pellet feed". Nesses estudos, ficou evidenciado que, para a faixa granulométrica do "sinter feed" grosso (1,0 a 6,3 mm), o método de concentração mais adequado é a concentração gravítica, utilizando jigagem. Para a faixa do "pellet feed fine" (>0,15mm), a flotação é o método mais eficaz. Para a fração fina do "sinter feed" (0,15 a 1mm), torna-se fundamental o estudo de novas técnicas de concentração, para se atingirem as especificações de mercado, sendo este o propósito desse trabalho, que efetuou o emprego do separador hidráulico de fluxo transversal "crossflow" para concentrar a fração do "sinter feed" fino.

## 2. Materiais e métodos

Nesse trabalho, foi utilizada uma amostra de itabirito silicoso na faixa granulométrica compreendida entre 0,15 e 1 mm, que era constituída de 84,5% de hematita e 6,8% de quartzo.

A análise granulométrica foi efetuada por peneiramento a úmido, usando a série Tyler de peneiras. Os teores de Fe foram determinados por via úmida (dicromatria), enquanto que os teores de silício, alumínio, fósforo e manganês foram determinados por espectrometria de plasma de acoplamento indutivo.

Os ensaios de concentração da amostra foram efetuados mediante o emprego do "crossflow" em uma etapa "rougher" e na etapa "cleaner", após a concentração da mesma em espiral de Humphreys.

Para a otimização dos ensaios de concentração, utilizou-se o planejamento fatorial de experimentos. As variáveis estudadas foram a vazão de água de elutriação (A - 3 e 18 l/min), altura da interface (B - 10 e 25 cm), % de sólidos na alimentação (C - 30 e 40%) e taxa de alimentação (D - 500 e 1750 g/min.).

No segundo planejamento de experimentos, utilizando o "crossflow" para os dois fluxogramas testados, fixou-se a interface em 10cm e fixou-se a % de sólidos em 40. Foram variadas a vazão de elutriação (1,8 e 9 L/min) e a taxa de alimentação (250 e 750 g/min.).

As variáveis-respostas consideradas para esse trabalho foram a recuperação em massa (X), teor de sílica no concentrado (Y) e índice de seletividade (Z).

## 3. Resultados e discussão

A distribuição granulométrica da amostra estudada, bem como dos produtos da separação, na espiral de Humphreys, e do "crossflow", na etapa "rougher" e "cleaner", está apresentada na Tabela 1. Observa-se que cerca de 59% da alimentação encontrava-se na faixa granulométrica compreendida entre 0,15 e 1 mm. Para o concentrado e rejeito da espiral de Humphreys, esses percentuais foram de 69 e 22%, respectivamente. No caso do "crossflow" etapa "rougher", foram de 70,88% e 13,46%, respectivamente. Na etapa "cleaner" foi de 80,8% e 20,2%, respectivamente no concentrado e no rejeito. Observam-se, também, maiores proporções de partículas menores que 0,037 mm (11,4%) e maiores que 1 mm (43,56%) no rejeito da espiral de Humphreys. Todas as partículas presentes no rejeito do "crossflow" etapa "rougher" encontravam-se abaixo de 1 mm. Na etapa "cleaner" foram de 0,2%. Cerca de 10% e 4,3% das partículas presentes no rejeito do "crossflow" etapa "rougher" e da etapa "cleaner" encontravam-se abaixo de 0,038mm.

Na Tabela 2, está apresentada a análise granulométrica do itabirito silicoso, bem como os teores globais (ca-

beça calculada) de Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P, que foram de, respectivamente, 60,19; 11,81; 0,34 e 0,038 %. Observa-se que os teores de ferro, na fração compreendida entre 0,053 a 0,150 mm, são mais baixos, ocorrendo o inverso para o teor de sílica. Os teores de alumina são mais altos na fração acima de 0,3 mm.

A fração responsável pelo maior percentual de sílica é a fração compreendida entre 0,15 e 0,3 mm. Como 78% da amostra encontra-se acima de 0,15 mm, pode-se afirmar que a distribuição de ferro, alumina, fósforo e manganês ocorre, preferencialmente, nessa fração.

As equações que descrevem os efeitos das variáveis investigadas no primeiro planejamento de experimentos sobre as variáveis-respostas recuperação em massa (X), teor de sílica no concentrado (Y) e índice de seletividade (Z) são:

i) Etapa “rougher”

$$X = 50,6 - 29,4A - 3,31D - 2,53BD + 2,48ABCD \dots\dots\dots (01)$$

$$Y = 4,54 - 0,74A - 0,28B + 0,40D \dots\dots\dots (02)$$

$$Z = 2,43 - 0,38A - 0,21D \dots\dots\dots (03)$$

ii) Etapa “cleaner”

$$X = 46,16 - 29,15A - 3,43B - 6,77D + 3,40AD - 2,18BD + 4,05ABD - 3,70CD \dots\dots\dots (04)$$

$$Y = 2,96 - 0,32A - 0,21B + 0,13AB + 0,02C + 0,02ABC + 0,15AD + 0,13BD - 0,10ABD - 0,11CD + 0,04ACD + 0,07BCD \dots\dots\dots (05)$$

$$Z = 2,74 - 0,53A - 0,10AB - 0,18D - 0,12BD + 0,18ABD \dots\dots\dots (06)$$

**Tabela 1** - Distribuição granulométrica da alimentação, concentrado e rejeito da espiral de Humphreys e “crossflow”.

Tamanho (mm)	% Retida acumulada							
	Alim.	Humphreys		“Crossflow”				
		Conc.	Rej.	Etapa “rougher”		Etapa “cleaner”		
			Conc.	Rej.	Conc.	Rej.	Conc.	Rej.
1	19,11	13,53	43,56	23,63	-	16,52	0,19	
0,6	33,99	29,51	57,01	49,45	0,43	42,34	0,39	
0,3	49,64	48,86	60,70	72,46	0,54	72,54	0,51	
0,15	77,97	82,31	65,36	94,51	13,46	97,28	20,42	
0,106	85,14	89,80	69,31	98,22	48,20	98,46	59,34	
0,075	90,68	95,03	74,64	98,47	72,04	98,66	80,61	
0,053	93,78	97,50	79,94	98,62	83,19	98,73	90,70	
0,045	95,68	98,75	86,84	98,71	87,02	98,76	93,62	
0,038	96,67	99,17	88,58	98,82	90,24	98,80	95,66	
-0,038	100	100	100	100	100	100	100	

Como pode ser visto na Figura 1 (a), obtém-se um concentrado com um teor de sílica em torno de 5,5%, sendo este teor próximo ao produto denominado de “sinter feed 05” (os teores de Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P para o produto SF5 são 64,8, 5,0, 0,85 e 0,042), com uma recuperação em massa satisfatória para essa etapa (74,1%). O índice de seletividade foi igual a 2,64. Esse concentrado é passível de ser processado em uma etapa “cleaner”, objetivando abaixar o teor de sílica, assim como o rejeito pode ser aproveitado através de uma etapa “scavenger”, objetivando aumentar a recuperação global.

Para o segundo fluxograma, Figura 1 (b), através dessa rota, chegar-se-ia a um concentrado com teor de sílica dentro das especificações de mercado do produto denominado “sinter feed 3,5 (os teores médio de Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e P são respectivamente, 65,8, 3,50, 0,88 e 0,046%), recuperando 62,16% da massa da fração do “sinter feed fino”.

## 4. Conclusões

Ficou comprovada a eficiência do classificador hidráulico de fluxo transversal “crossflow” para a concentração da fração granulométrica compreendida entre 0,15 e 1mm do minério de itabirito estudado, pois foi verificado maior percentual de partículas nessa faixa em relação à alimentação para ambos fluxogramas testados.

Os teores de Fe, na amostra global, eram mais baixos na faixa granulométrica compreendida entre 0,053 e 0,15mm (55 a 60%), ocorrendo o inverso para os teores de sílica (11 a 20%).

A recuperação em massa da condição otimizada para o primeiro fluxograma testado, etapa “rougher” com o “crossflow”, foi de 74,1%. Os teores de ferro e demais impurezas estavam próximos das especificações de mercado de um dos produtos comercializados pela MBR (“sinter feed 05”).

Para o segundo fluxograma testado com o “crossflow”, efetuando a etapa de limpeza do concentrado da espiral

Tabela 2 - Análise granulométrica do itabirito silicoso.

Abertura mm	%Retida Simples	Teores (%)								
		Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Mn	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	PPC
<b>Cabeça Calculada</b>		60,19	11,81	0,34	0,038	0,020	0,054	0,032	0,031	0,85
1,00	<b>19,1</b>	64,53	5,68	0,45	0,051	0,029	0,049	0,029	0,031	1,15
0,60	<b>14,9</b>	64,92	5,29	0,42	0,062	0,028	0,050	0,033	0,031	1,09
0,30	<b>15,7</b>	63,60	6,13	0,41	0,031	0,024	0,071	0,038	0,031	1,14
0,15	<b>28,3</b>	55,06	19,71	0,24	0,020	0,014	0,048	0,032	0,031	0,50
0,106	<b>7,2</b>	52,89	22,19	0,18	0,023	0,011	0,048	0,030	0,031	0,35
0,075	<b>5,5</b>	56,28	17,08	0,19	0,021	0,010	0,052	0,033	0,031	0,62
0,053	<b>3,1</b>	59,99	11,64	0,18	0,051	0,010	0,084	0,035	0,031	0,62
0,045	<b>1,9</b>	60,54	10,47	0,20	0,052	0,011	0,056	0,034	0,031	0,72
0,038	<b>1,0</b>	62,20	8,85	0,21	0,054	0,011	0,049	0,029	0,031	0,70
-0,038	<b>3,3</b>	63,34	6,43	0,72	0,072	0,026	0,064	0,034	0,032	1,48

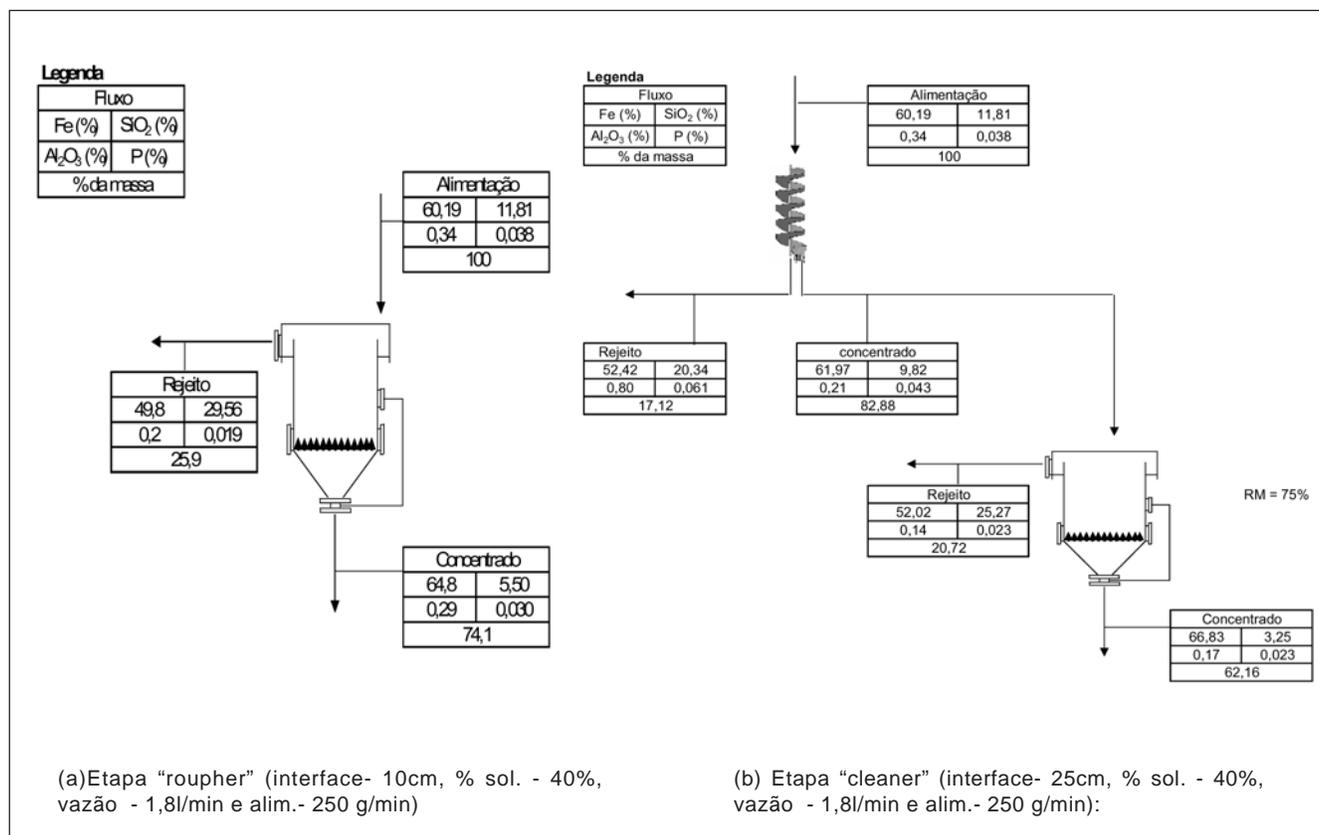


Figura 1 - Balanços de massa da concentração do minério itabirito silicoso, usando "crossflow" após otimização.

de Humphreys, gerou-se um concentrado final com teor de sílica igual a 3,25%, recuperando-se 62,16% da massa.

## 5. Referências bibliográficas

DUNN P. L., STEWART S. O., KOHMUENCH J. N., CADENA C. A hydraulic classifier evaluation: upgrading heavy mineral concentrates. In: *SME Annual Meeting Salt Lake City*, Utah - February 28 - March 1, 2000. p.3.

HEARN, S. *The use of hindered settlers to improve iron ore gravity concentration circuits*. Flórida, USA: 2003. p.936-943.

HEISKANEN, K. *Particle classification*. London: Powder Technology Series, Chapman and Hall, 1993.

IWASAKI, I. Briding theory and practice in iron ore flotation. In: CNANDER, S., KLIMPEL, R. R. eds. *Advances in coal and mineral processing using flotation*. Inc, 1989, Chapter 20. p. 177-190.

KOHMURENCH N. J. *Improving efficiencies in water-based separators using mathematical analysis tools*. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, 2000. p.42-46. (Thesis).

TOVAR, P. E., NAVARRO, J., PASTRANA, J. M. *Flotation of low-grade iron ore*. In: FLORES, S. H. C., MOISAN, J. A. (Ed.) 2<sup>nd</sup> Latin-American Congress on Froth Flotation, 1975, Concepcion, Chile. Froth Flotation. Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo: 1988. p.215-231.

Artigo recebido em 02/03/2006 e aprovado em 14/07/2006.

\*\*\*\*\*

# REM - Revista Escola de Minas 70 anos divulgando CIÊNCIA.

\*\*\*\*\*

REM: a mais antiga revista técnico-científica do setor mineiro-metalúrgico.

\*\*\*\*\*

[www.rem.com.br](http://www.rem.com.br)

\*\*\*\*\*