

# APLICAÇÃO DE ESPIRAL CONCENTRADORA NA SEPARAÇÃO DE MINÉRIOS DE FERRO RICOS EM FÓSFATOS SECUNDÁRIOS

Diego S. Arenare<sup>1</sup>, A.P.L. Nunes<sup>1</sup>, Otávia M.S. Rodrigues<sup>1</sup>, Armando C. Araujo<sup>2</sup> & Matheus S. Arenare<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas/Universidade Federal de Minas Gerais  
Rua Espírito Santo, 35. Centro. Belo Horizonte/MG. CEP: 30160-030  
Telefone: (31)34091860 / Fax: (31)34191966  
E-mail: diegoarenare@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Mining and Mineral Processing Research Center, ARCELORMITTAL  
BP 30320, F-57283 Maiziè res-lès-Metz Cede x France  
Telefone: + 33(0) 38770 4072

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Minas / Universidade Federal de Minas Gerais  
Rua Espírito Santo, 35. Centro. Belo Horizonte/MG CEP: 30.160-030.

## RESUMO

Vários métodos de concentração são usados na redução do teor em fósforo de minérios de ferro, como a separação magnética, lixiviação e a flotação. No entanto, esses métodos têm apresentado eficiência apenas para os minérios contaminados com apatitas. Minérios cuja fonte de fósforos são minerais secundários, como a wavellita e senegalita, ainda não podem ser tratados com eficiência por esses métodos. Testes em espiral concentradora foram realizados com amostras de minério de ferro com alto teor de fósforo de um depósito do Quadrilátero Ferrífero. A amostra foi britada e classificada em três frações granulométricas: Amostra 1 - (-1,19+0,425 mm); Amostra 2 - (-0,425+0,212 mm); Amostra 3 - (-0,212+0,053 mm). Cada amostra foi submetida a testes de concentração na espiral em diferentes taxas de alimentação ( $m^3/h$ ). Os melhores resultados foram alcançados para a Amostra 2, cujo teor em fósforo era de 0,603% e de 64,42% de ferro. Os teores obtidos no concentrado foram de 0,289% de fósforo e 67,66% de ferro, a recuperação mássica foi 91,2% e a recuperação de ferro foi 89,0%. Para a amostra 3 (0,663% de fósforo e de 63,99% de ferro), o teor de fósforo obtido no concentrado foi de 0,292%, com recuperação mássica de 88,1% e teor de ferro no concentrado de 67,22%. Os melhores resultados foram alcançados para as taxas de alimentação mais elevadas, onde o carregamento de material menos denso para a região externa da calha da espiral é mais efetivo, assim como o arraste de partículas densas para essa região, reduzindo a recuperação mássica do concentrado. O pior desempenho da amostra 1 é atribuído ao rolamento das partículas mais grosseiras para a zona de leves. A perda na recuperação de ferro no concentrado para a amostra 3 é atribuída ao arraste de partículas finas para a zona de leves.

**PALAVRAS-CHAVE:** minério de ferro, fósforo, espiral concentradora.

## ABSTRACT

Several methods of concentration are used to reduce the phosphorus content in iron ore, such as magnetic separation, leaching and flotation. However, these methods have shown effectiveness only for ores contaminated with apatites. Iron ores with secondary phosphorus minerals, such as wavellite and senegalite, can not be effectively yet treated by these methods. Spiral concentrator tests were performed with iron ore samples with high phosphorus content, from a Quadrilátero Ferrífero deposit. The sample was crushed and classified in three size fractions: Sample 1 - (-1.19 +0.425 mm); Sample 2 - (-0.425 +0.212 mm); Sample 3 - (-0.212 +0.053 mm). Each sample was subjected to tests in the spiral concentration with different feed rates ( $m^3/h$ ). The best results were achieved for sample 2, with a phosphorus content of 0.603% and 64.42% iron. The concentrate showed a phosphorus and iron content of 0.289% and 67.66% respectively. The mass recovery was 91.2% and the iron recovery was 89.0%. For the sample 3 (0.663% of phosphorus and 63.99% of iron) the phosphorus content in the concentrate was 0.292%, the mass recovery was 88.1% and the iron content in the concentrate was 67.22%. The best results were achieved for higher feed rates, where the loading of lighter for the external region of the spiral is more effective, even considering drag of the more dense particles to this region, reducing the recovery of the concentrated mass. The worst performance of the sample 1 is attributed to the displacement of more coarse particles to the lower dense zone. The iron recovery loss in the concentrate for the sample 3 is attributed to the drag of fine particles in the zone of lower density.

**KEY WORDS:** iron ore, phosphorus, spiral concentration.

## 1. INTRODUÇÃO

Nas gangas presentes nos minérios de ferro e em seus produtos de processamento, o fósforo é um elemento extremamente nocivo, devido à “fragilidade a frio”. Os aços produzidos a partir de minérios com alto teor de fósforo apresentam baixa resistência ao choque e baixa tenacidade.

Nos minérios de ferro de depósitos não intemperizados, a fonte primária do fósforo é a apatita e a remoção de fósforo desses minérios pode ser realizada por vários processos, como a sepa razão magnética, deslamagem por floculação seletiva e flotação. Já nos depósitos de minério de ferro intemperizados, o fósforo ocorre altamente disseminado na forma de minerais secundários. No Quadrilátero Ferrífero, por exemplo, as mineralizações por processos de enriquecimento supergênico geraram itabiritos ricos, porém, os fluidos gerados durante o intemperismo sobre materiais originais como a apatita levam à dissolução desta, e o fósforo liberado fixa-se com outros cátions em fases secundárias, formando vários fosfatos ricos em alumínio, como a wavellita e a senegalita (Toledo, 1999; Coelho *et al.*, 1999). Para esses tipos de minérios, a remoção do fósforo é mais difícil e os métodos de concentração até agora utilizados não apresentaram bons resultados.

Espirais concentradoras têm sido empregadas na concentração de minérios de ferro desde 1960, na concentração de hematita especular no Canadá (Burt, 1984). Desde então têm ganhado grande espaço na separação da hematita e minerais de ganga como quartzo e aluminossilicatos. Entretanto, não se tem conhecimento da sua aplicação na separação de outros minerais de ganga, como os fosfatos encontrados em algumas minas do quadrilátero ferrífero.

A espiral é um equipamento de funcionamento s imples, onde não há partes móveis. A polpa contendo o minério é alimentada na parte superior e ao descer pela calha gera dois fluxos, um primário (para baixo), e um secundário, que faz com que a polpa se movimente radialmente ao fluxo primário. A soma destes dois efeitos faz com que os minerais leves sejam suspensos para a lateral da calha, e que os minerais densos sedimentem na parte central da calha (Arenare e outros, 2008). A faixa de operação das espirais concentradoras varia de -1 mm a + 0,075 mm (Wills, 1981).

A taxa de alimentação da espiral pode ser considerada como a variável operacional primária, que tem efeitos consideráveis na recuperação da espécie densa e no teor do concentrado. Quando a taxa de alimentação é baixa, ocorre uma rápida sedimentação das partículas, não permitindo assim uma separação efetiva na zona de transporte, na qual os efeitos da força de atrito predominam, levando grande parte das partículas para a banda de densos. Neste caso, a recuperação é alta, mas o teor é baixo, pois muitas partículas de minerais leves estarão presentes no concentrado. Taxas de alimentação elevadas levam a um aumento da velocidade do fluxo primário, que por sua vez leva a um aumento na força centrífuga. Isso faz com que muitas partículas de finos densos e mistos sejam mantidas em suspensão na zona periférica, a lém das partículas leves, diminuindo a recuperação, mas aumentando o teor no concentrado. (Holland-Batt, 1995)

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Preparação das amostras

As amostras utilizadas para esse trabalho são amostras com alto teor de fósforo (0,82%) provenientes de um depósito do Quadrilátero ferrífero. As amostras foram preparadas passando por uma britagem primária e secundária em britador de mandíbulas e por peneiramento a úmido em três faixas granulométricas distintas:

- Amostra 1 - (-1,19 +0,425mm)
- Amostra 2 - (-0,425 +0,212mm)
- Amostra 3 - (-0,212 +0,053mm)

A escolha das três faixas distintas foi com o intuito de se evitar a ação classificadora dos fluxos na espiral.

### 2.2 Testes em espiral concentradora

Os testes foram feitos e numa espiral da Roche Mining com as seguintes características construtivas:

- Diâmetro: 34,5cm
- Passo: 21cm
- Inclinação: 17°
- Número de voltas: 4

Para cada uma das três amostras foram feitas coletas de amostras para quatro vazões de alimentação distintas. A porcentagem de sólidos foi mantida fixa em 10%. A posição dos desviadores também foi mantida fixa em cerca de 6cm da coluna central.

Os testes foram feitos com recirculação da polpa, sendo amostras de concentrado e rejeito coletadas simultaneamente nas duas mangueiras de saída dos produtos da espiral.

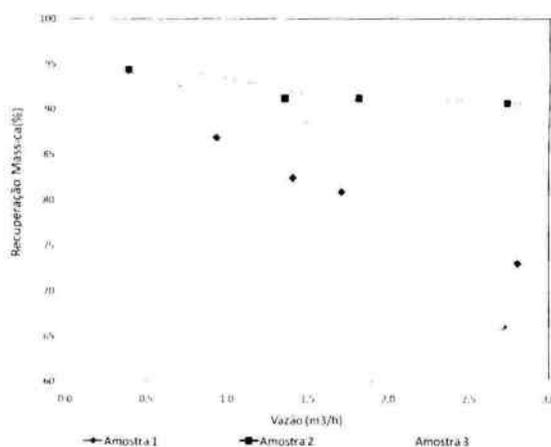
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos testes são apresentados na tabela I. A figura 1 mostra que a recuperação mássica no concentrado diminui com o aumento da vazão, o que é de se esperar devido ao aumento da força de arraste do fluxo secundário.

Esse efeito deveria ser observado com maior intensidade na Amostra 3, por ser a fração mais fina entre as três. Porém a maior variação da recuperação mássica em função da maior e menor vazão ocorre na Amostra 1, cerca de 14%; 4 % na Amostra 2; 5% na Amostra 3. Observa-se, também, que o teste 9 não segue a tendência de redução da recuperação mássica no concentrado com o aumento da vazão. Em ambos os casos, esse resultado é devido ao fato de quem se tratam de testes próximos ao limite operacional da espiral concentradora em função da granulometria.

**Tabela I:** Resultados dos testes conduzidos na espiral concentradora.

Amostra	Teor alim.		Teste	m <sup>3</sup> /h	Produto	%Fe	% P	Rec. Mássica (%)	Rec. Fe (%)		Rec. P (%)	
	% Fe	%P							Conc.	Rej.	Conc.	Rej.
1 (-1,19 +0,425)	66,33	0,407	1	2,81	conc.	67,65	0,214	73,0	79,7	20,3	36,3	63,7
					Rej.	61,60	0,837					
			2	1,71	conc.	67,70	0,212	80,9	82,5	17,5	36,5	63,5
					Rej.	60,57	0,865					
			3	1,41	conc.	67,95	0,237	82,4	74,1	25,9	43,3	56,7
					Rej.	62,10	0,898					
			4	0,94	conc.	67,82	0,258	86,9	74,0	26,0	49,6	50,4
					Rej.	62,43	0,944					
2 (-425 +212)	64,42	0,603	5	2,74	conc.	67,06	0,296	90,7	91,9	8,1	44,0	56,0
					Rej.	44,57	3,247					
			6	1,81	conc.	67,66	0,289	91,2	89,0	11,0	42,5	57,5
					Rej.	46,48	3,056					
			7	1,35	conc.	67,09	0,293	91,2	91,6	8,4	43,2	56,8
					Rej.	44,90	3,082					
			8	0,39	conc.	66,46	0,39	94,4	93,1	6,9	59,8	40,2
					Rej.	45,53	3,221					
3 (-0,212 + 0,053)	63,99	0,663	9	2,35	conc.	67,22	0,292	88,1	80,7	19,3	36,0	64,0
					Rej.	53,31	2,336					
			10	2,16	conc.	67,36	0,316	86,5	83,7	16,3	40,3	59,7
					Rej.	50,90	2,553					
			11	1,48	conc.	67,09	0,321	88,5	86,3	13,7	41,6	58,4
					Rej.	49,57	2,735					
			12	0,69	conc.	66,57	0,365	92,8	93,9	6,1	50,7	49,3
					Rej.	40,20	4,167					



**Figura 1:** Curva de Recuperação Mássica versus a vazão da alimentação.

A recuperação de fósforo e ferro, no rejeito, em função da vazão pode ser observada na figura 2. Observa-se que, para as Amostras 1 e 2 a perda de ferro no rejeito (ou recuperação de ferro no rejeito) praticamente não se altera com a elevação da vazão, no entanto, para a Amostra 3 observa-se o aumento da perda de ferro no rejeito com a elevação da vazão. Isso ocorre, pois a Amostra 3 é a que possui maior fração de finos. Assim, as partículas finas de ferro acabam sendo arrastadas para a zona periférica (rejeito). Em relação ao fósforo, observa-se uma elevação da recuperação deste elemento no rejeito com o aumento da vazão para as três granulometrias, conforme era de se esperar. Sendo o fósforo o elemento mais leve, ele é mais susceptível ao aumento da vazão e, conseqüentemente, arrastado para o rejeito.

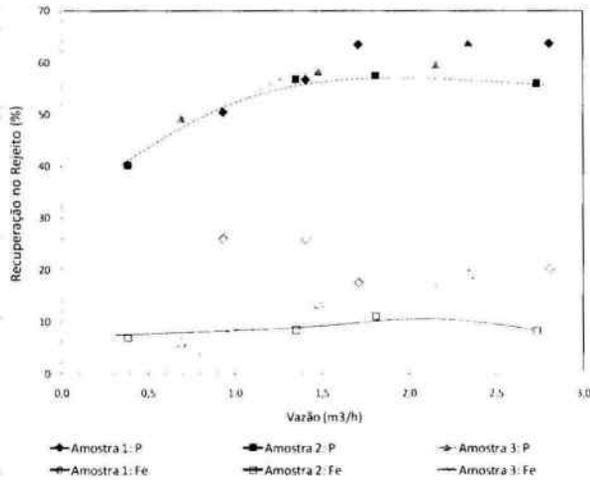


Figura 2: Curva de Recuperação de Fósforo e ferro no Rejeito versus a vazão da alimentação .

Por outro lado, a recuperação de fósforo no concentrado decresce consideravelmente com o aumento da vazão para as três amostras testadas (figura 3), sendo que para a amostra 1 há uma redução de 49% para 36,3%; de 59% para 44% para a amostra 2; de 50% para 36% para a amostra 3. A recuperação de ferro deveria diminuir com o aumento da vazão, mas a única amostra cuja curva apresenta este comportamento de forma clara é a amostra 3 (figura 3). Este comportamento pode ter ocorrido pois, nas Amostra 1 e Amostra 2, que são faixas de partículas mais grossas, o aumento da vazão aplicado não foi suficiente para arrastar as partículas de ferro para o rejeito.

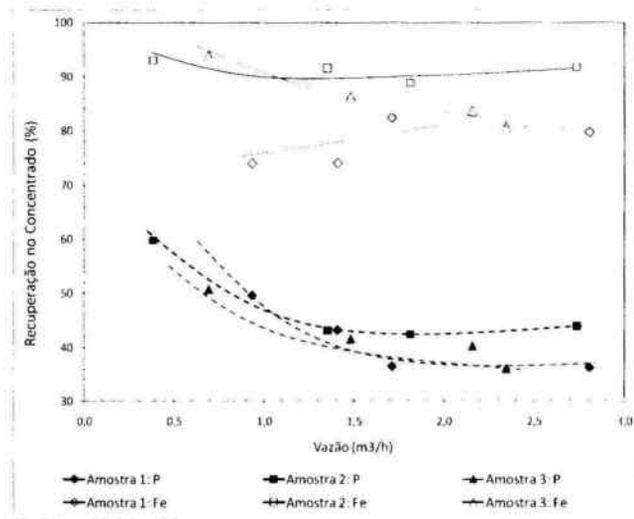


Figura 3: Curva de Recuperação de Fósforo e ferro no Concentrado versus a vazão da alimentação .

Os gráficos de barras da figura 4 mostram a diferença da qualidade dos concentrados em termos de ferro e fósforo. Os melhores resultados em termos de teor de fósforo foram obtidos com a amostra 1 nas duas maiores vazões, sendo em torno de 0,21%. Entretanto, é importante lembrar que essa amostra é a que contém menor teor de fósforo na alimentação. Os melhores resultados para Amostra 2 são da ordem de 0,29% e correspondem às vazões intermediárias, assim como os resultados da Amostra 3.

De maneira geral, o melhor resultado apresentado em termos de teor de fósforo no concentrado foi o teste 2 da amostra 1, com vazão de 1,71m<sup>3</sup>/h, teor de ferro de 67,7% e teor de fósforo de 0,212%.

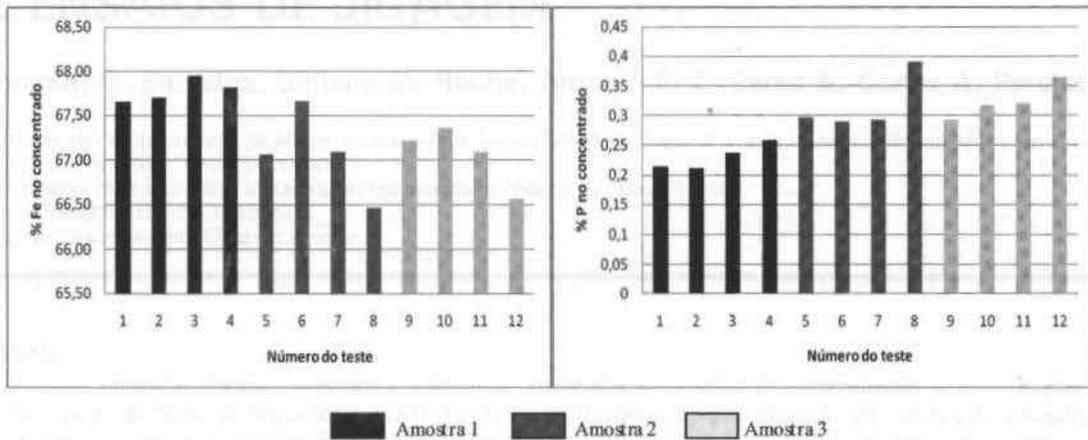


Figura 4: Teores de ferro e fósforo no concentrado.

#### 4. CONCLUSÕES

Para as três amostras a recuperação mássica no concentrado diminui com o aumento da vazão, o que é de se esperar devido ao aumento da força de arraste do fluxo secundário. Para a amostra 1, que apresentava 0,407% de fósforo e 66,33 de ferro, os resultados não foram satisfatórios com relação às recuperações mássica e de ferro no concentrado, cujos valores alcançados foram 80,9% e 82,5%, respectivamente, para o melhor resultado em teor de fósforo (0,212%).

Para as Amostras 1 e 2 a perda de ferro no rejeito praticamente não se alterou com a elevação da vazão. Para a amostra 3 observou-se o aumento da perda de ferro no rejeito com a elevação da vazão. Em relação ao fósforo, observou-se uma elevação da recuperação desse elemento no rejeito com o aumento da vazão para as três granulometrias. As melhores recuperações de fósforo foram obtidas para a amostra 1. A recuperação de fósforo no concentrado decresce consideravelmente com o aumento da vazão para as três amostras testadas. O melhor resultado apresentado em termos de teor de fósforo no concentrado foi o teste 2 da amostra 1, com vazão de 1,71m<sup>3</sup>/h, teor de ferro de 67,7% e teor de fósforo de 0,212%.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração da Vale (Dr. Eunírio Zanetti Fernandes) pelo fornecimento das amostras e pelas análises químicas e pelo apoio da FAPEMIG, CNPq e CAPES.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Arenare, D.S., Araujo, A.C., Viana, P.R.M., Rodrigues, O.M.S. Revisiting spiral concentration as applied to iron ore beneficiation. In: 2<sup>nd</sup> International Symposium on Iron Ore, 2008, São Luís, MA, Brasil.
- Burt, R. O. *Gravity Concentration Technology*. Amsterdam: Elsevier, 1984.
- Coelho, L. H.; Fonseca, L.; Kaneko, K. M.; Melo, J. C. A Origem do Fósforo e sua Localização Espacial nos Minérios de Ferro Enriquecidos Supergenicamente. In: II Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Ouro Preto. Anais. Editora ABM, 1999. p.44-52, 1999.
- Holland-Batt, A. B. Some design considerations for spiral separators. *Minerals Engineering*, Vol 8, N° 11 | 1995, pp. 1381-1395.
- Toledo, M. C. M. Os Fosfatos Aluminosos da Série da Crandalita – Uma Revisão. *Revista do Instituto Geológico, IG São Paulo*. São Paulo, v.20, p.49 -63, jan/dez 1999.
- Wills, B.A. *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Pergamon Press, England, p.18, 1981.

