

O Aproveitamento integral dos rejeitos do beneficiamento de carvão mineral do Sul do Brasil

Lauro Santos Norbert Costa

Bolsista Capacitação Institucional, Eng^o Metalúrgico e de Materiais, M.Sc.

Cláudio Luiz Schneider

Coordenador, Eng^o. de Minas , Ph.D.

Resumo

Este estudo visa a dessulfurização dos rejeitos de beneficiamento de carvão. O processo envolve tratamentos gravimétricos, flotação e, se for o caso, biolixiviação a fim de se chegar a tal objetivo. Foram concluídas a caracterização tanto dos rejeitos frescos da jigagem quanto dos rejeitos contidos nas pilhas de estocagem. Por enquanto os resultados de flotação com os rejeitos de jigagem têm se mostrado promissores, tendo sido obtidos bons concentrados de carvão e boa retirada da pirita nos rejeitos, o que permite comercializar concentrados de carvão e pirita que paguem, pelo menos parte dos custos do processo proposto. Conseguiu-se recuperar quase 86,0% do carvão da amostra original nos concentrados de carvão e 72,33% do enxofre nos concentrados de carvão e de pirita. Outros ensaios de flotação serão feitos visando reduzir o teor de enxofre no rejeito final.

1. Introdução

De há muito, é fato bem conhecido, o problema ambiental que ocorre há longos anos, na região sul do Brasil, decorrente de mais de 120 anos de exploração de carvão, mais especificamente no estado de Santa Catarina, decorrente da disposição sem critérios técnicos, dos rejeitos piritosos do beneficiamento deste carvão. Chaves (2008) e Schneider (2010) ilustram bem este problema.

Ao longo dos anos, muitos estudos foram feitos visando mitigar este sério problema, mas nenhum logrou obter uma solução economicamente viável. Multas e punições aplicadas pelos órgãos ambientais inviabilizaram a operação das mineradoras, levando muitas delas à falência, causando sérios problemas sociais, causados pelo desemprego da mão-de-obra.

Vale dizer que esta mão-de-obra, descendente, em grande parte, de imigrantes europeus que para o Brasil vieram na segunda metade do século XIX, anteriormente à abertura das minas de carvão, se dedicava à agricultura de subsistência. Porém, com o início das operações das minas, passou a ver uma oportunidade de ganhar a vida com uma atividade que não dependesse dos humores do tempo e migrou para o trabalho nas minas. Isso se passou de geração para geração. No entanto, as áreas em que seus antepassados outrora cultivavam, se tornaram estéreis pela ação dos dois problemas

ambientais decorrentes da disposição inadequada de rejeitos do beneficiamento do carvão e uso do mesmo nas termelétricas locais, inviabilizando um retorno à agricultura local, por aqueles que perderam seus empregos.

Esses dois problemas são a drenagem ácida de minas (DAM) e a chuva ácida. O primeiro decorre da percolação, por água de chuva, das pilhas enormes de rejeitos piritosos, dissolvendo o sulfeto através da umidade, do ar e ação bacteriana. Quanto ao segundo, sabe-se que, o enxofre e o nitrogênio, sob a forma de pirita e nitratos, duas das impurezas do carvão, em contato com umidade e oxigênio do ar, levam, por uma série de reações, à formação de ácidos sulfúrico e nítrico quando ascendem à atmosfera após a queima dos carvões em termelétricas. A DAM contamina o lençol freático e os rios da região e a chuva ácida, no momento em que o carvão é queimado para gerar energia, os gases de combustão ascendem à atmosfera e retornam ao solo sob a forma de ácidos nítrico e sulfúrico no fenômeno denominado chuva ácida, que destrói a vegetação na área em que cai. Uma boa explicação sobre os mecanismos da DAM pode ser vista, por exemplo, em Kontopoulos (1998).

Neste estudo visa-se desenvolver uma rota de processamento, de baixo custo, para a dessulfurização dos rejeitos do beneficiamento das minas de carvão. A ideia é desenvolver uma técnica de flotação para o material abaixo de 420 μm e um processo gravimétrico para frações de tamanho entre 2,0 mm e 420 μm , ambos visando dessulfurizar estes rejeitos.

2. Objetivo

O que se tem como meta é o desenvolvimento de uma rota de remoção do enxofre residual dos rejeitos do beneficiamento do carvão na região sul do Brasil que seja, ao mesmo tempo econômica e considerada de baixo impacto ambiental.

3. Materiais e Métodos

O material trabalhado são os rejeitos de jigagem da Carbonífera Criciúma S/A e os rejeitos de sua pilha de estocagem. Os estudos de caracterização mineralógica e de liberação foram efetuados por microscopia eletrônica de varredura com mineralogia automatizada de segunda geração (MLA-Mineral Liberation Analyzer) . A seguir, foram efetuados os ensaios de moabilidade (índice de Bond). A determinação quantitativa dos elementos maiores, constituintes dos rejeitos, foi realizada por fluorescência de Raios-X.

Os ensaios de flotação foram realizados em equipamento sub-aerado Denver com cuba de vidro de 3,0 litros, utilizando água corrente. Durante as flotações o pH e o E_h foram monitorados constantemente. A flotação era feita em duas etapas, a primeira para flotar as partículas contendo matéria carbonosa e a segunda, com o rejeito

da primeira etapa como alimentação, para flotar a pirita com a intenção de produzir um rejeito inerte e um concentrado rico em pirita. Estas duas etapas são necessárias para melhorar a eficiência do processo como um todo e a qualidade dos produtos desejados.

As soluções empregadas eram feitas diariamente à base de 1% p/v. A água utilizada nas soluções era Mili-Q. Somente o óleo diesel era feito também diariamente na base de 40 g por 100 ml de água Mili-Q. Na etapa de flotação de carvão se usava 1000 g de rejeitos de jigagem na fração de tamanho <420 μm com 1000 g de água. O condicionamento com água era feito a 1800 rpm por 5', após o que eram adicionados 800 g/t de óleo diesel S-50 pré-emulsificado por mais 5', seguidos da adição do espumante Flotanol D25™ à razão de 130 g/t. O pH era então ajustado para 12,0, de acordo com Monte et al (2002) com soluções de NaOH e mantido neste valor por bomba dosadora, após o que reduzia-se a velocidade de rotação para 1500 rpm, abria-se o ar e flotava-se até a exaustão, o que ocorria em 10'. Nisso consistia a flotação de carvão. O concentrado de carvão era reempalpado em célula idêntica à primeira e novamente flotado por 8' da mesma forma, porém sem a adição de qualquer reagente, apenas se mantendo o pH em 12,0 de forma a deprimir a pirita.

O rejeito da flotação de carvão era refltado na mesma célula em que estava. Porém nesta flotação se desejava flotar a pirita, portanto o pH era regulado para 3,5 (de forma a estabilizar o coletor) com soluções de H_2SO_4 , mantido neste valor por bomba dosadora. Após 3' de condicionamento a 1800 rpm, adicionava-se 310 g/t de solução de CuSO_4 (ativador para a pirita) por 3' seguido de solução de coletor MBT (mercaptobenzotiol) à razão de 250 g/t por mais 3', seguido de 206 g/t de solução de Flotanol D25™ da Clariant. Ajustava-se então o pH para 3,5 com soluções de H_2SO_4 e mantinha-se este pH por bomba dosadora. Uma vez atingido o valor de pH requerido, reduzia-se a velocidade de rotação para 1500 rpm, abria-se o ar e flotava-se até a exaustão que ocorria em 4'. Nisso constituía a flotação de pirita.

O rejeito desta flotação era refltado com pH 3,5 e com 60% das quantidades de reagentes adicionadas na etapa anterior. As soluções, tanto de NaOH quanto de H_2SO_4 , eram feitas nas concentrações de 5% e 20%. As mais fortes para serem administradas manualmente por seringas para se atingir o valor desejado, as mais fracas para serem admitidas pela bomba dosadora programável automática italiana DLX-DLXBpH-RX-CL da ETATRON D.S. Spa. Os parâmetros de controle eram o pH, o E_n , os teores de C_{fixo} , S_{total} , Matéria Volátil, Umidade e cinzas dos produtos, mais as recuperações de carbono, enxofre e cinzas. A Figura 1 ilustra o esquema de flotação adotado para os rejeitos de jigagem.

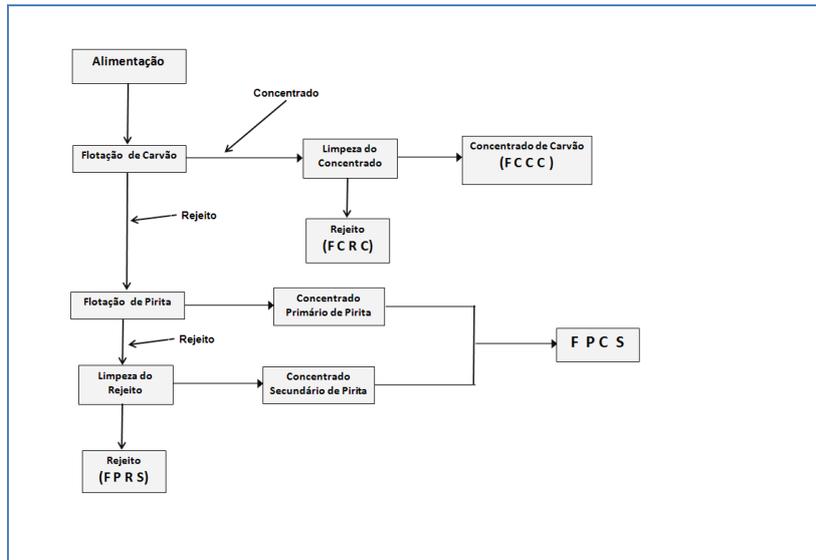


Figura 1 Esquema do processo de flotação dos rejeitos de jigagem

4. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra a distribuição da massa de pirita (100%) e ganga (representada por 0%) em função das faixas de tamanho e classe de teor obtida pela técnica MLA, para a amostra de rejeito proveniente do processo de jigagem. Conforme pode ser observado, a pirita no rejeito apresenta teores baixos (<2%) e as maiores classes de teor deste mineral (80% x 100%) foram obtidas na faixa de tamanho entre 600 e 210 μm e na fração <math><38\ \mu\text{m}</math>.

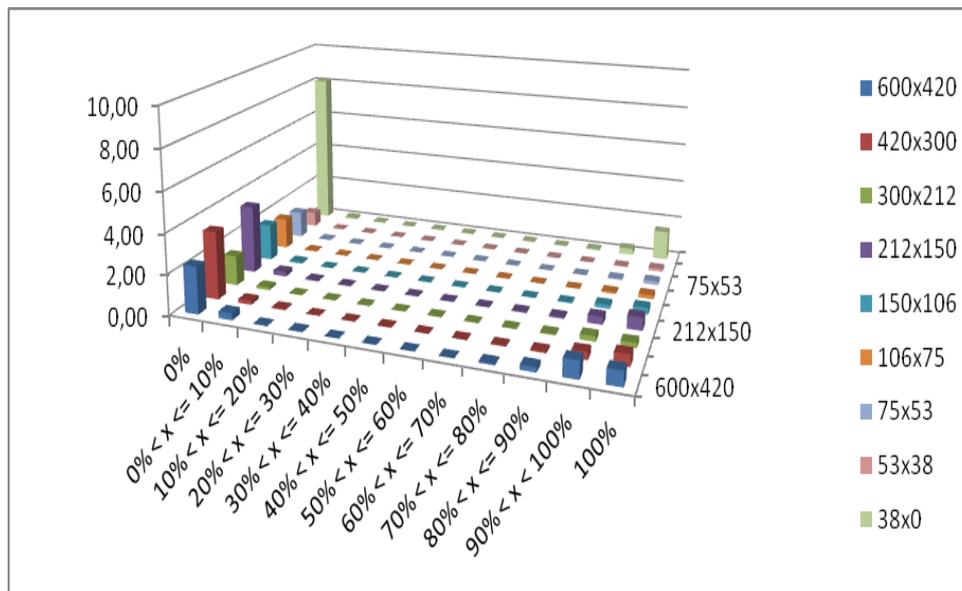


Figura 2 Distribuição das massas de pirita nas diversas frações de tamanho e classes de concentração.

Sendo: FCCC Flotação de carvão conc. do “cleaner”;FPCS Flotação de pirita conc. “scavenger

FCRC Flotação de carvão rejeito do “cleaner”;FPRS Flotação de pirita rej.”scavenger”

Na Figura 3 é mostrado o gráfico E_h x pH para a pirita em contato com água e íons férricos 10^{-3} M a 25°C , o que demonstra que é na faixa ácida que o sulfeto melhor responde à flotação, embora o mineral possa flotar até na faixa básica, conquanto esteja em potenciais redutores, o que não foi o caso em nossas flotações nas quais o potencial da polpa variou entre $-0,13$ e $-0,15$ mV, portanto bem dentro da faixa em que prevalece a forma pirítica.

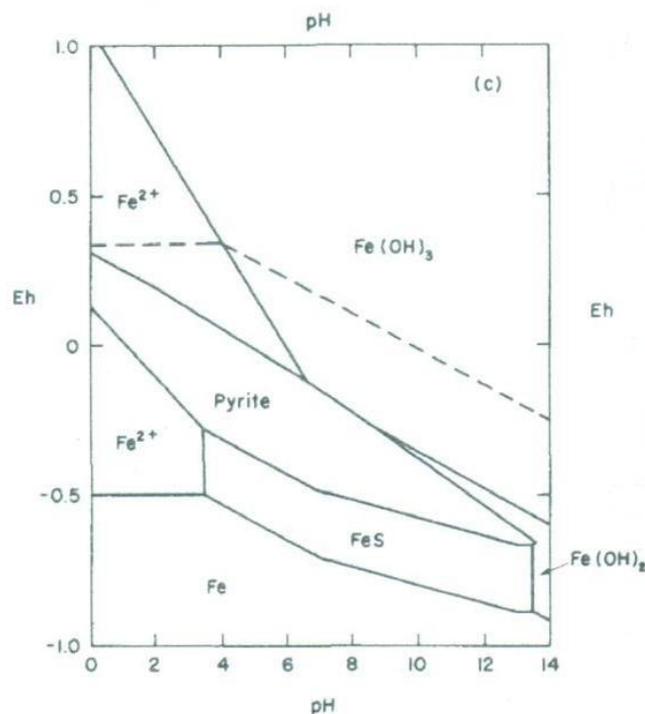


Figura 3 Diagrama E_h x pH para $\text{FeS}_2/\text{H}_2\text{O}/\text{Fe}$. Fonte: Hamilton, I.C.; Woods, R (1981)

Os resultados de análise imediata obtidos nos ensaios de flotação estão na Tabela 1 onde se observa um teor de 28,75% de C_{fixo} no concentrado de carvão, ao mesmo tempo que nos demais produtos, o mesmo teor não chega a 4%. Já quanto ao concentrado de pirita, o teor de S_{total} é bem inferior (14,51%). Porém, no mesmo concentrado de carvão o teor de S total é 17,23%, o que, no entanto, não constitui problema. Na Tabela 2 vê-se que o concentrado de carvão contém quase 86,0% do carvão total da amostra, enquanto o combinado dos dois concentrados contém 72,33% do enxofre

total da amostra. O rejeito final contém pouco mais de metade da massa total alimentada, quase 60,0% da cinza total e 1,57% de enxofre. Outros ensaios de flotação serão feitos visando baixar um pouco mais este teor de S_{total} nos rejeitos finais.

Tabela 1 Resultados de análise imediata médios dos ensaios de flotação do rejeito de jigagem

Análise imediata média em base seca (%)						
Produtos	C	S	MV	Umidade	CZ	Massas médias(%)
FCCC	28,75	4,58	17,23	1,23	59,38	30,16
FCRC	2,48	2,08	9,65	1,62	89,71	9,56
FPCS	3,11	14,55	14,51	1,26	83,04	8,63
FPRS	1,78	1,57	6,74	1,06	92,74	51,65
Total	10,1	3,65	10,85	1,18	81,55	100,00

Tabela 2 Recuperações médias de C_{fixo}, S_{total} e cinzas nos produtos

Recuperação média (%)			
Produtos	C _{fixo}	S _{total}	Cinzas
Conc.Carvão	85,89	37,89	21,96
Rej.carvão	2,35	5,45	10,52
Conc.Stotal	2,66	34,44	8,79
Rej.Stotal	9,10	22,22	58,73
Alimentação	100,00	100,00	100,00

5.Conclusão

O fato da pirita flotar juntamente com o carvão, apesar do valor de pH não favorecer sua flotação , sugere um arraste da mesma junto ao carvão, o que não constitui problema, no caso. Pode-se ver, dos resultados acima, que 85,89% do carvão da amostra foi recuperado no concentrado de carvão e 37,89 + 34,44 = 72,33 % do enxofre foi conseguido retirar dos rejeitos, o que ainda deixam 22,22% de enxofre nos mesmos, o que pede aprimoramento no processo. O teor de enxofre nestes rejeitos, da ordem de 1,57% deve ser objeto de estudos

de neutralização pelo método EPA (Sobek) para verificação de seu potencial de poluição. Novos ensaios de flotação deverão ser feitos com outros reagentes e outro equipamento de flotação visando reduzir o teor de S_{total} nestes rejeitos.

6. Agradecimentos

Agradeço ao CETEM pela minha inclusão no PCI, ao PPGE3M da UFRGS, na pessoa do Prof. Ivo André Homrich Schneider, que me acolheu como postulante ao Doutorado, aos Engenheiros Cláudio Luiz Schneider, Marisa B.M. Monte pela ajuda e apoio, ao Eng^o Jean Carlo Grijó Louzada pelo auxílio nas flotações e pela dedicação das técnicas do Depto de Análises Químicas, Jacqueline Veloso de Oliveira e Francisca Sobral que fizeram o possível para entregar os resultados de análise em tempo hábil.

7. Referências Bibliográficas

CHAVES, A.P. Os problemas do carvão em geral e do carvão brasileiro em particular In: **Carvão Brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Soares, P. S. M; dos Santos, M.D.C.; Possa, M. V.(Eds.), cap. 1, Rio de Janeiro, Brasil, CETEM/MCT, 2008,p.14-24.

SCHNEIDER, I. A. H. Inovações tecnológicas para o aproveitamento integral dos rejeitos do beneficiamento de carvão mineral, **Editado MCT / CT Mineral / Vale / CNPq Nº 12/2009**, Porto Alegre, RS, Brasil, 2010, 28 p.

KONTOPOULOS, A. Acid Mine Drainage Control In: Castro, S.H.; Vergara, F.; Sánchez, M.A.(Eds.) **Effluent Treatment in the Mining Industry**, Universidad de Concepción, Chile, 1998, p. 58-118.

MONTE, M. B. M.; DUTRA, A.J.B.; ALBUQUERQUE, C.R.F., TONDO, L.A., LINS, F.F. The influence of the oxidation state of pyrite and arsenopyrite on the flotation of an auriferous sulphide ore **Minerals Engineering**, Elsevier Science Ltd, London, v. 15, pp. 1113-1120, 2002.

HAMILTON, I. C.; WOODS, R. An investigation of surface oxidation of pyrite and pyrrhotite by linear potential sweep voltametry. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, Elsevier Sequoia S/A, Lausanne, Suisse, v.118, p.327-343, 1981.