

DEPIRITIZAÇÃO DE REJEITOS DA JIGAGEM DE CARVÃO MINERAL (SC) POR ELUTRIAÇÃO AQUOSA E FLOTAÇÃO COM MICROBOLHAS

POMPEO, A.A.¹, PAIVA, M.P.², RUBIO, J.³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul. alberto.pompeo@ig.com.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul. meise.paiva@ufrgs.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul. jrubio@ufrgs.br

RESUMO

O trabalho apresenta e valida estudos de recuperação de pirita presente em rejeitos da jigagem de carvão mineral de Santa Catarina, por elutriação (fluidização em meio aquoso) em escala de bancada, com e sem adição de microbolhas (da ordem de 70 μm de diâmetro). Os estudos de elutriação (fluidização em meio aquoso) foram realizados em uma coluna de vidro (altura de 1 m e volume total de 1,3 L) avaliando diferentes concentrações de amina (40, 60, 80 e 100 g.t^{-1}), utilizada na coleta/hidrofobização dos minerais silicatados, pH's (8,0; 8,5; 9,0; e 10,0), ajustados com silicato de sódio e vazão de água saturada de 300 mL.min^{-1} injetada nos dois minutos iniciais de ensaio. A amostra da alimentação apresentou 31 % de ferro total (66 % de FeS_2) e 65% de teor de cinzas. Os melhores resultados foram obtidos utilizando 300 mL.min^{-1} de vazão de microbolhas (obtidas pela depressurização de água saturada com ar) e 1300 mL.min^{-1} de vazão total da elutriação atingindo recuperação mássica de 66,4 % e teor de pirita de 80 %. No caso da elutriação assistida com microbolhas, os melhores resultados: 86 % de teor de pirita e 50,2 % de recuperação mássica foram obtidos com 40 g.t^{-1} de amina e pH 8,5. A menor recuperação deve-se a uma pequena flotação dos finos de pirita, observada com este mesmo coletor. Estes resultados demonstram a viabilidade de obtenção de concentrados com elevados teores e recuperações de pirita, a partir de rejeitos piritosos da jigagem por elutriação (com água) e injeção de microbolhas.

PALAVRAS-CHAVE: elutriação; flotação com microbolhas; tratamento de rejeito de carvão; pirita.

ABSTRACT

The paper presents and validates recovery studies of pyrite present in a tailings jigging coal from Santa Catarina, by aqueous elutriation (fluidization), with and without addition of microbubbles (about 70 μm in diameter) at bench scale. Elutriation (fluidization in aqueous medium) was conducted in a glass column (height 1 m and total volume of 1.3 L) utilizing amine as silica bearing compounds collector at different concentrations (40, 60, 80 and 100 g.t^{-1} , pH adjusted with sodium silicate (8.0, 8.5, 9.0, and 10.0), and a saturated water flow of 300 mL min^{-1} (injected during the first two min). The sample feed had 30.8 % total iron (66.1 % FeS_2) and 65 % ash content. The best results were obtained using 300 mL min^{-1} flow of microbubbles (obtained by depressurizing the air saturated in water) and 1300 mL min^{-1} total flow of elutriation reaching mass recovery of 66.4 % and content of pyrite of 80 %. In the case of the elutriation assisted with microbubbles, best results reached 86 % FeS_2 with a 50 % recovery using 40 g.ton^{-1} amine and pH 8.5; a small flotation of FeS_2 was observed. These results demonstrated the feasibility of obtaining the concentrates containing high levels of pyrite from pyritic coal jig tailings by elutriation (with water) and silicates flotation with amine and microbubbles.

KEYWORDS: elutriation; flotation with microbubbles; reject coal; pyrite.

1. INTRODUÇÃO

O carvão brasileiro apresenta altos níveis de contaminação (rochas minerais e pirita) e por isso 50 a 60 % deste carvão é descartado, sendo estimado que haja 300 milhões de toneladas deste material no sul do Brasil, gerando uma grande quantidade de Drenagem Ácida de Minas (DAM) (Colling *et al.*, 2011). A drenagem ácida de minas (DAM) é o resultado da oxidação natural de sulfetos expostos à água e ao oxigênio, sendo um dos grandes problemas ambientais relacionados à mineração e está particularmente associado ao carvão (Kontopoulos, 1998). A DAM tem a característica de apresentar uma grande quantidade de íons de metais dissolvidos e pH ácido, quando migra para rios e córregos de água, deteriora a qualidade destes, causando grande impacto nesses corpos hídricos (Da Silveira *et al.*, 2009).

O rejeito do processamento de carvão mineral em Criciúma (SC, Brasil) apresenta uma grande quantidade de pirita. O processamento deste rejeito propicia a redução na formação de depósitos (pilhas de rejeito) e da drenagem ácida de minas, sendo, também, capaz de gerar um produto com valor agregado, matéria-prima para a produção de ácido sulfúrico, sulfatos férricos e ferrosos, utilizados como coagulantes, e na fabricação de óxidos de ferro (Vigâncio *et al.*, 2011).

A obtenção de soluções concentradas de sulfato férrico para a utilização como coagulante em tratamentos de água (Colling *et al.*, 2011) pode ser uma alternativa viável para a redução da quantidade de rejeito do processamento de carvão mineral. Para tanto, é preciso beneficiar o rejeito para a obtenção de um produto com alta concentração de pirita (80 %).

A elutriação é um processo de separação que consiste na passagem de um fluxo ascendente de um fluido através de uma coluna contendo partículas com diferentes densidades ou tamanho (Wills e Napier-Munn, 2006). Há uma diferença significativa entre as densidades da pirita ($5,2 \text{ g.cm}^{-3}$) e do carvão ($1,3$ a $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$) (Lakowski, 2001), portanto, o processo de elutriação de um rejeito piritoso torna-se potencialmente viável para a obtenção de um concentrado com alto teor de pirita.

O trabalho em questão apresenta o estudo de beneficiamento de um rejeito piritoso proveniente do beneficiamento do carvão mineral (em escala de bancada), via elutriação aquosa, com o objetivo de obter um concentrado de pirita com teores da ordem de 80 % de pirita e aperfeiçoar parâmetros operacionais estudados anteriormente.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiais e reagentes

Uma amostra de rejeito da etapa de processamento de carvão mineral (jigagem), proveniente da empresa Carbonífera Criciúma S.A., foi britada em britador de rolos para obtenção de produto 100 % passante em peneira com malha de 5 Mesh (4 mm). Após essa etapa, a amostra foi moída em um moinho de bolas e peneirada produzindo um material 100 % passante em peneira com abertura de 32 Mesh (500 μm). Todas as etapas foram realizadas a seco onde o material final foi homogeneizado com o método de pilha cônica, quarteado e armazenado.

Para os ensaios de elutriação foi utilizada água do abastecimento público de Porto Alegre (RS) e éter-alquil-amina primária (FLOTIGAN EDA[®] (CLARIANT[®] 1 % (p/v), como hidrofobizante/coletor das partículas de minerais de ganga (silicatos). Silicato de sódio (VETEC[®]) na concentração de 20 % (p/v) foi utilizado tanto como agente dispersante como para ajuste do pH. Os reagentes utilizados foram preparados com água destilada e deionizada.

2.2. Metodologia

2.2.1. Caracterização

A análise da distribuição volumétrica do tamanho das partículas foi realizada em um granulômetro a laser (CILAS[®], modelo 1064) em meio aquoso, com a utilização de ultrassom, para uma adequada dispersão das partículas no meio.

O teor de cinzas do material foi determinado conforme o procedimento descrito em norma técnica da ABNT, NBR 8289 “Carvão Mineral: Determinação do Teor de Cinzas” (ABNT, 1983). O teor de pirita foi determinado a partir de análises do teor de ferro pela técnica de espectrometria de absorção atômica e posterior cálculo estequiométrico. A abertura da amostra foi realizada com adição de água régia (3:1 HCl/HNO₃) sob aquecimento em uma chapa, à temperatura de 180 °C. Foi utilizado um espectrômetro de absorção atômica, da marca VARIAN[®], modelo SpetrAA 110, com uma lâmpada de cátodo oco, no comprimento de onda de 248,3 nm. A curva de calibração foi confeccionada a partir de uma solução padrão com concentração de 1000 mg.L⁻¹ de Ferro (Titrisol[®], MERCK[®]) para as concentrações de 2,5, 4, 6, 8 e 10 mg.L⁻¹, e apresentou uma correlação satisfatória ($R^2 = 0,9993$).

2.2.2. Elutriação

Nos ensaios de elutriação, alíquotas de 100 g de amostra foram condicionadas em um copo de Becker com agitação mecânica, durante 10 min., conforme a figura 1(a). Este sistema consistiu em uma coluna de vidro cilíndrica (1 m de altura e 5 cm de diâmetro interno) com uma saída lateral na parte superior (coleta do material elutriado) e uma torneira de 2 vias na parte inferior da coluna (alimentação de água e coleta do material afundado). Foram utilizados rotâmetros para medir a vazão da água de elutriação (OMEL[®], 0 – 1500 mL.min⁻¹) e para a vazão de água com ar saturado (OMEL[®], 0 – 300 mL.min⁻¹). Para a alimentação do elutriador-flotador foi utilizado um reservatório de água com capacidade de 50 L e uma bomba peristáltica (Masterflex L/S[®], COLE-PARMER[®]) e um vaso saturador, com capacidade de 4 L para saturação da água com ar (geração de microbolhas) comprimido à pressão de 4 atm. (Figura 1 (b)).

A técnica de elutriação consistiu na passagem de um fluxo de água (ascendente), com vazão definida, através do leito das partículas de rejeito do processamento do carvão mineral. As partículas com velocidade superior de sedimentação permanecem retidas no interior da coluna, enquanto as partículas com menor velocidade de sedimentação são arrastadas pelo fluxo de água e coletados pela saída lateral, situada na parte superior da coluna.

Foram avaliados a vazão de água de elutriação (1200-1400 mL.min⁻¹), o pH do meio (8-10), regulado com solução de silicato de sódio (Na₂SiO₄), evitando, assim, a formação de hidróxidos e coagulação das partículas, o tempo de adição de água saturada (1-4 min.) e a concentração de amina (40-100 g.t⁻¹), no processo de elutriação/flotação.

Após o ensaio, o material retirado na parte superior da coluna (rejeito) e na parte inferior (concentrado) foi filtrado em papel filtro quantitativo (J-Prolab[®]), seco em estufa por 2 h a temperatura de 110 °C, e determinado sua massa a temperatura ambiente. O material seco foi homogeneizado, quarteado e enviado a análise química.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Sistema de condicionamento da amostra. (b) Sistema de elutriação-elutriação/microflotação: (1) Coluna de vidro; (2) Saída do material elutriado; (3) Retirada do material afundado; (4) Rotâmetro para a injeção de água de elutriação; (5) Rotâmetro para a injeção de água saturada com ar; (6) Vazo saturador; (7) Reservatório de água e (8) Bomba peristáltica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta a distribuição de tamanho de partículas do material em estudo com diâmetro médio de 88 μm . Os dados obtidos por difração a laser mostram que 70 % da amostra apresentam tamanhos de partículas menores do que 100 μm , e 100 % apresenta um tamanho de partículas menor do que 500 μm , podendo assim ser referida como material classificado como “fino de carvão”, segundo descrito na literatura (Rubio, 1988).

O teor de cinzas (matéria mineral não combustível), determinado segundo o procedimento descrito na NBR 8289 (ABNT, 1983), foi mensurado em 65 % de cinzas, demonstrando que a composição do material é de predominância inorgânica. O material apresentou teor de ferro de 30,8 % e o teor de pirita da amostra foi determinado de forma estequiométrica em 66 %, considerando que o ferro apresenta-se na forma pirítica.

A figura 3(a) apresenta os resultados de teor de pirita para as diferentes vazões de água estudadas (1200-1400 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$). Foi observado um aumento significativo do teor de pirita no concentrado da elutriação em relação à amostra inicial (66 % de pirita). O melhor resultado foi obtido com 1300 $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ de vazão de água de elutriação, com teor de 82,3 % de pirita, recuperação mássica de 67 % e recuperação de pirita de 73%, como demonstrado na figura 3(b) e 3(c), respectivamente.

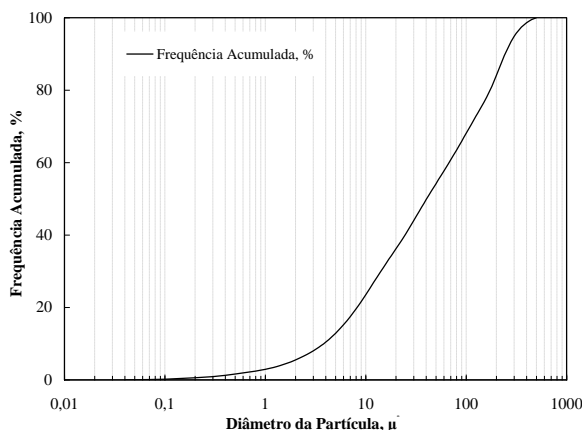


Figura 2. Distribuição do tamanho de partículas da amostra obtida por difração de laser.

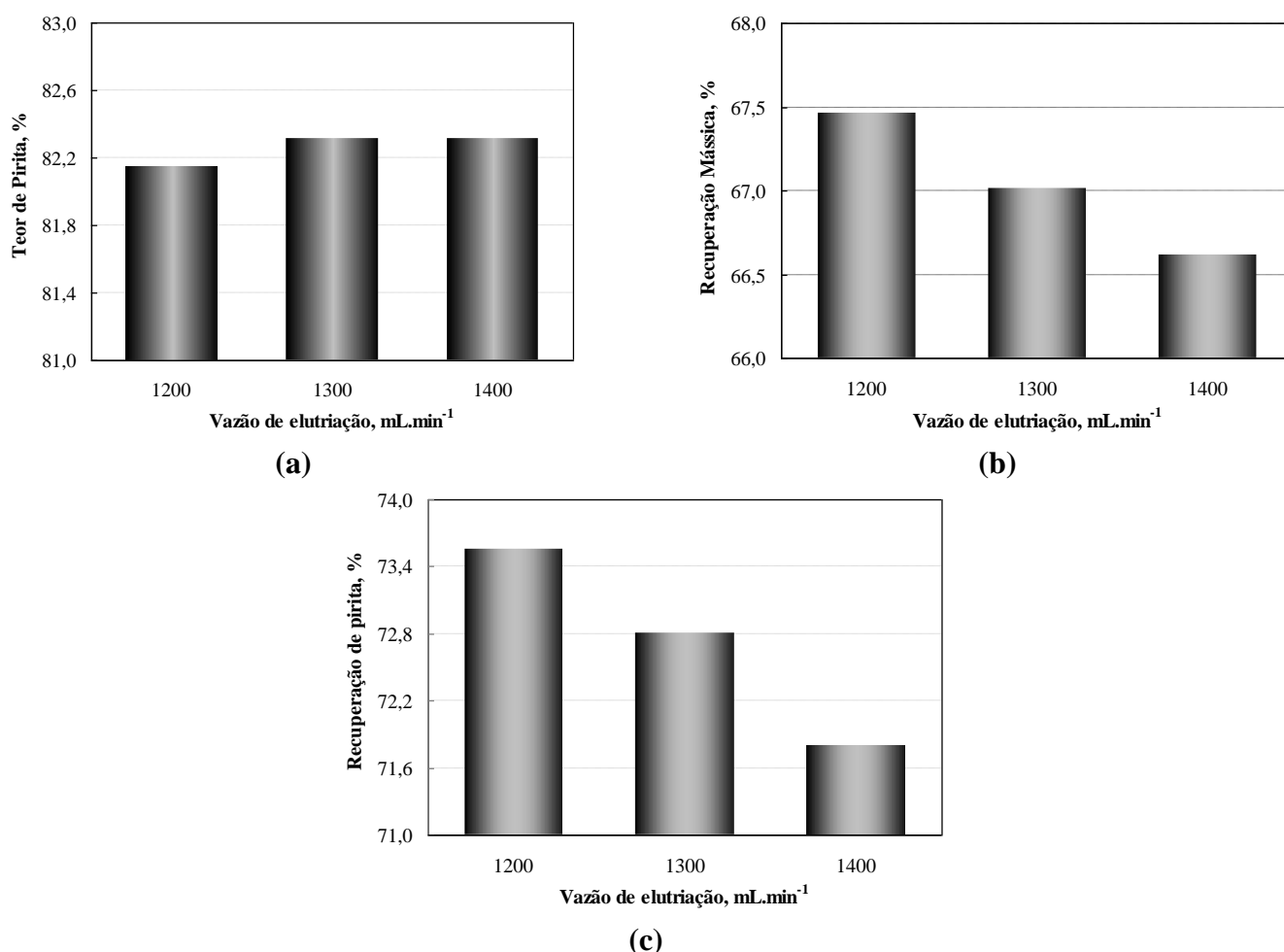


Figura 3. (a) Teor de pirita, (b) recuperação mássica e (c) recuperação de pirita dos concentrados obtidos na elutriação do rejeito piritoso de carvão com variação da vazão da água de elutriação de 1200 a 1400 mL.min⁻¹.

Na avaliação do pH do meio, com a vazão da água de elutriação fixada em 1300 mL.min⁻¹, foi observado que houve um acréscimo significativo no teor de pirita do concentrado, pois o silicato de sódio atua como dispersante das partículas, facilitando o arraste das partículas de minerais silicatados pelo fluxo ascendente de água. Os melhores resultados foram obtidos em pH 8,5, apresentando teor de pirita de 80 %, recuperação mássica de 52 % e recuperação de pirita de 60%, conforme figura 4(a), 4(b) e 4(c), respectivamente.

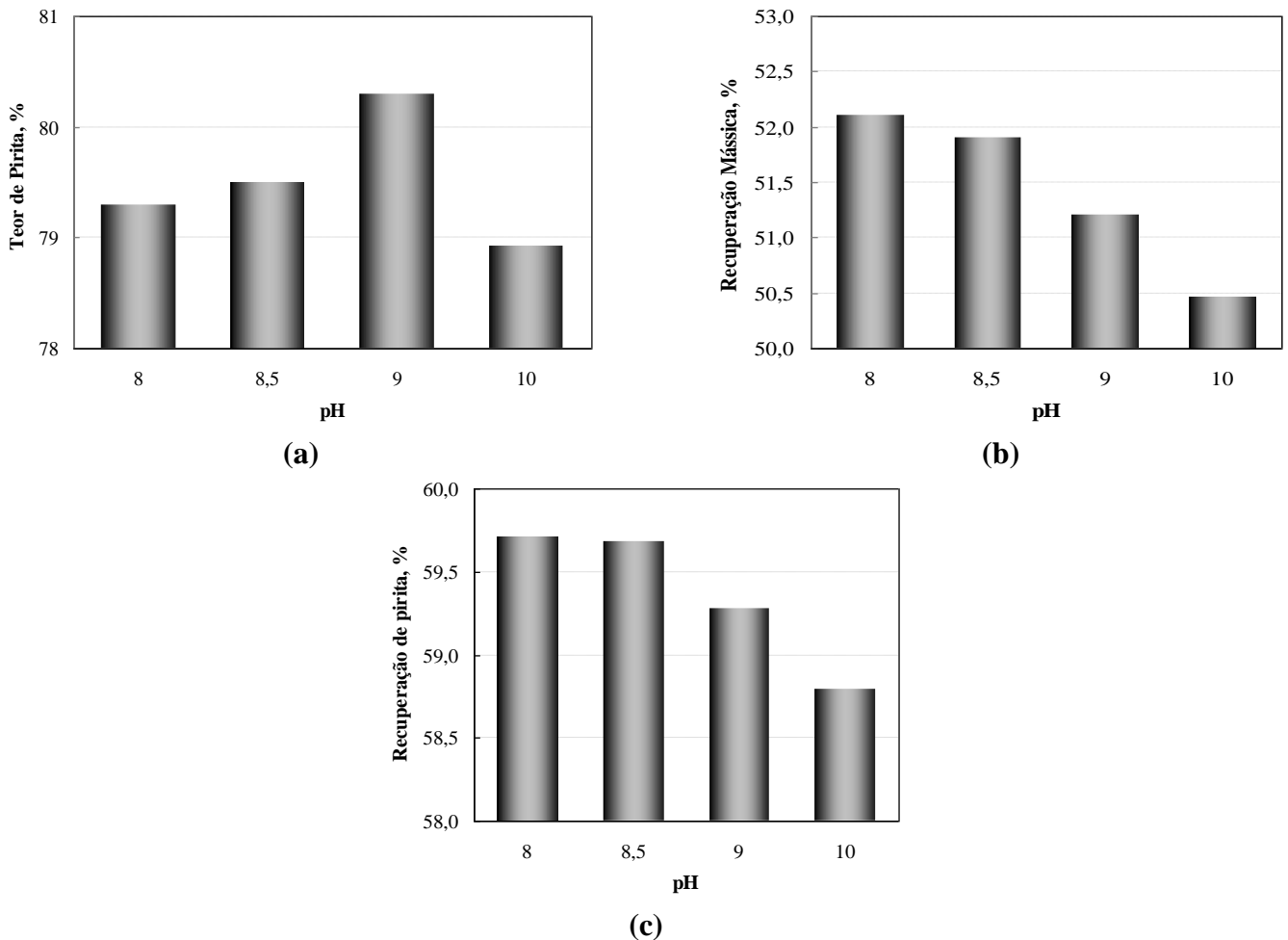
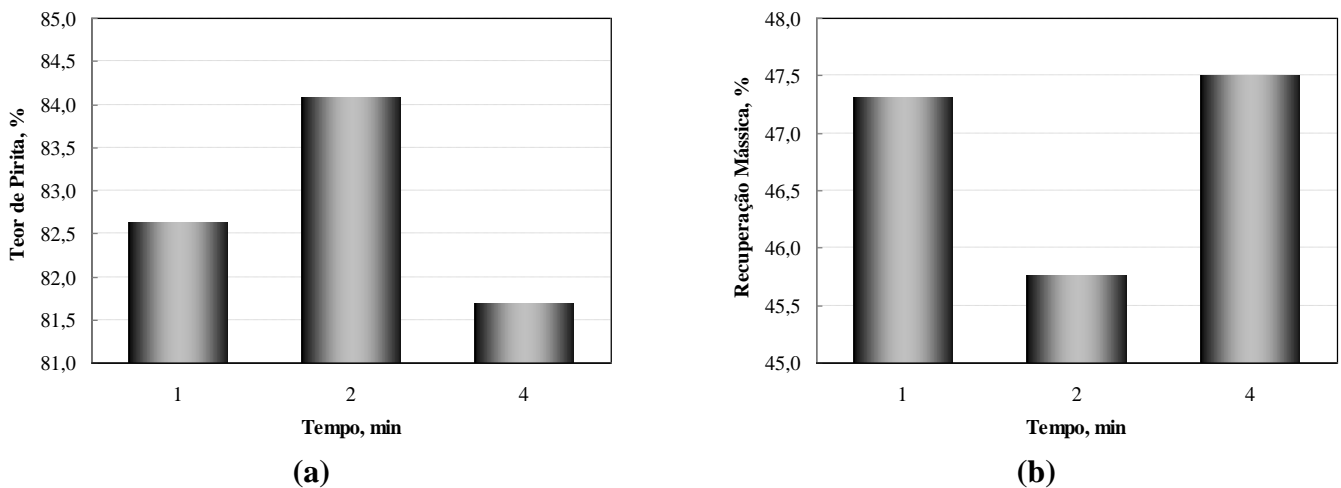
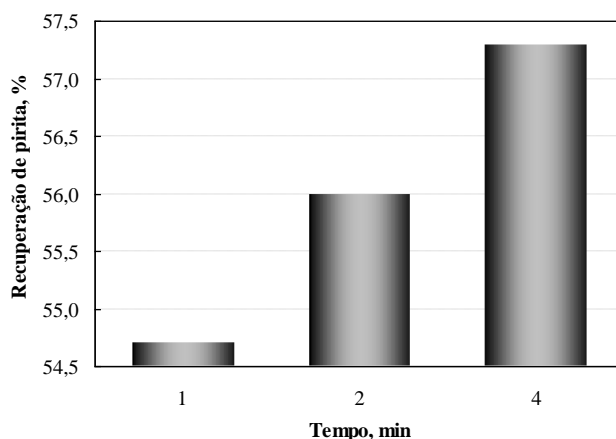


Figura 4. (a) Teor de pirita, (b) Recuperação mássica e (c) Recuperação de pirita dos concentrados obtidos na elutriação do rejeito de carvão, com vazão de água de elutriação de 1300 mL.min⁻¹ e pH variando de 8 a 10.

Os resultados obtidos com diferentes tempos de adição de água saturada com ar (injeção de microbolhas) são demonstrados na figura 5. A vazão de água durante todo o ensaio de elutriação foi mantida constante e a vazão da água saturada com ar foi fixada em 300 mL.min⁻¹. Assim, durante a injeção de água saturada, a vazão da água de elutriação foi diminuída para 1000 mL.min⁻¹, para manter a vazão total constante. A figura 5(a) mostra que a adição de água saturada durante 2 min. resultou em um maior teor de pirita. No entanto, nesta condição foi obtida a menor recuperação mássica (figura 5(b)) compensado o resultado com um teor de recuperação de pirita de 56 % (figura 5(c)).

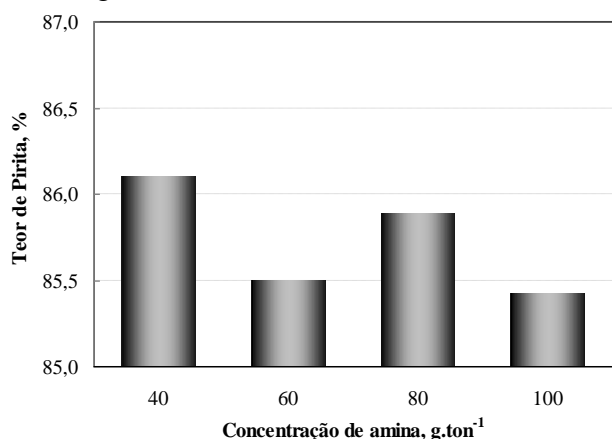




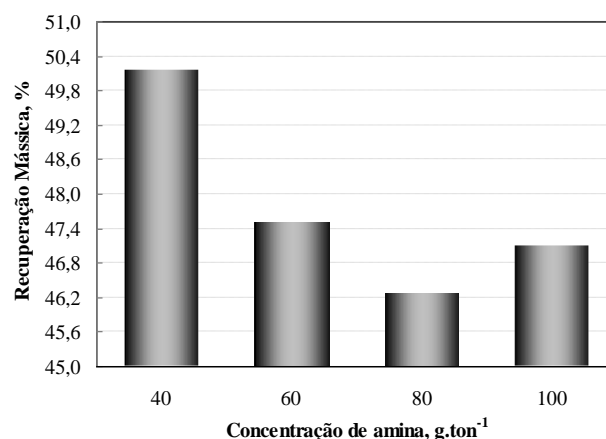
(c)

Figura 5. (a) Teor de pirita, (b) recuperação mássica e (c) recuperação de pirita dos concentrados obtidos na elutriação/microflotação do rejeito piritoso de carvão, com vazão de água de elutriação de 1300 mL.min⁻¹, pH 8,5 e tempo variado de injeção de água saturada com ar (1 a 4 min).

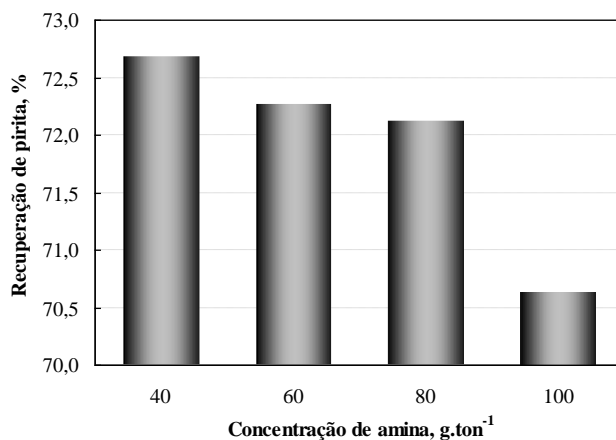
Os resultados dos ensaios de elutriação/microflotação com a adição de amina são mostrados na figura 6. O maior teor de pirita (86,1 %) obtido foi com a concentração de 40 g.ton⁻¹ (figura 6(a)), assim como a maior recuperação mássica (50,2 %) e recuperação de pirita (72,7 %) como mostrado na figura 6(b) e 6(c).



(a)



(b)



(c)

Figura 6. (a) Teor de pirita, (b) recuperação mássica e (c) recuperação de pirita dos concentrados obtidos na elutriação/microflotação do rejeito piritoso de carvão, com vazão de água de elutriação de 1300mL.min⁻¹, pH 8,5; tempo de injeção de água saturada com ar de 2 min com variação da concentração de amina (40 a 100g.ton⁻¹).

4. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou a viabilidade de obtenção de concentrados com elevados teores de pirita (> 80 % de FeS₂) a partir da elutriação do rejeito piritoso proveniente da jigagem de carvão mineral para a produção de coagulantes. A elutriação, assistida com microbolhas (flotação) aumentou consideravelmente a concentração de pirita do resíduo do processamento de carvão mineral, de 66 % para 86 % de pirita, na condição de 1300 mL.min⁻¹, pH 8,5, injeção de água saturada com ar (microbolhas) durante 2 minutos e 40 g.ton⁻¹ de amina. A melhor recuperação mássica atingida foi de 50 % e a melhor recuperação de pirita foi de 73 %, também nas mesmas condições. A técnica está em desenvolvimento e em uma próxima etapa serão estudados novos reagentes, outros desenhos de colunas, parâmetros operacionais, tais como taxa ar/sólido e um posterior estudo em escala piloto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colegas do LTM pela colaboração nos experimentos e análises químicas, ao CNPQ pelo apoio financeiro e a Carbonífera Criciúma pelo fornecimento das amostras de rejeitos da jigagem de carvão.

6. REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 8289 - Carvão Mineral: Determinação do Teor de Cinzas. 4 p., 1983.

Colling, A.V., Menezes, J.C.S.S. & Schneider, I.A.H. Bioprocessing of pyrite concentrate from coal tailings for the production of the coagulant ferric sulphate. *Minerals Engineering*, v. 24, p. 1185-1187, 2011.

Da Silveira, A.N., Silva, R. & Rubio, J. Treatment of acid mine drainage (AMD) in South Brazil: Comparative active processes and water reuse. *International Journal of Mineral Processing*, 93:2, p.103-109, 2009.

Englert, A. H.; Rubio, J. Beneficiamento de rejeito piritoso do processamento de carvão mineral por elutriação aquosa. In: III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011, Gramado. III Congresso Brasileiro de Carvão Mineral, 2011.

Kontopoulos, A. *Acide Mine Drainage Control. Effluent Treatment in the Mining Industry*, University of Concepción, Chile, 388 p., 1998.

Laskowski, J. *Coal Flotation and Fine Coal Utilization*. Elsevier Science, 384 p., 2001.

Rubio, J. *Carvão Mineral: Caracterização e Beneficiamento*. Vol. 1. Porto Alegre: Nova Linha Artes Gráficas, 240 p., 1988.

Vigânico, E.M., Colling, A.V., Silva, R.A. & Schneider, I.A.H. Biohydrometallurgical/UV production of ferrous sulphate heptahydrate crystals from pyrite present in coal tailings. *Minerals Engineering*, v. 24, p. 1146-1148, 2011.

Wills, B.A. & Napier-Munn, T. *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. 7a edição, Butterworth-Heinemann, 456 p., 2006.