

A floculação seletiva/ flotação de carvão mineral

Șônia Margarida de Assis *
Élcio Marques Coelho, PhD **

1. INTRODUÇÃO
2. MATERIAIS E APARELHAGEM
3. METODOLOGIA
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO
5. CONCLUSÃO
6. BIBLIOGRAFIA

* Engenheiro do Depto. de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFMG

** Engenheiro do Depto. de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da UFMG

Resumo

Esta investigação estudou a aplicabilidade do processo de floculação seletiva/flotação ao carvão mineral, através de testes realizados em escala de bancada e divididos em três etapas: floculação seletiva, flotação e floculação/seletiva flotação.

Objetivou-se nas duas primeiras etapas a obtenção de parâmetros físico-químicos (pH da polpa, tipo e quantidade de reagentes) que tornassem factíveis ambos os processos. Na terceira etapa foi realizada a floculação seletiva/flotação nas condições as quais eram simultaneamente favoráveis a ambos os processos

1. Introdução

O aparecimento de novas técnicas na siderurgia torna possível o aproveitamento de frações finas de carvões coqueificáveis e não-coqueificáveis, até então de uso restrito (1) (2).

Nas usinas de beneficiamento dos carvões brasileiros os finos (material < 0,5 mm) constituem perdas que representam fração significativa da alimentação (3).

Dentre os métodos alternativos potencialmente aplicáveis ao beneficiamento destes finos, destaca-se a floculação seletiva/flotação.

O processo de floculação seletiva/flotação vem sendo utilizado industrialmente há algum tempo nos Estados Unidos na Usina de Beneficiamento de Tilden, para tratamento de minério de ferro de baixo teor (4), e na Usina de Cominco Ltd. Potash para beneficiamento de potássio (5).

A floculação seletiva/flotação de carvão foi testada por Hucko (6) e, segundo este pesquisador, os resultados mostraram-se insatisfatórios porque os reagentes usados na floculação seletiva (amido e poliacrilamida) inibiam a flotação subsequente.

Neste trabalho procurou-se estudar a floculação seletiva/flotação de carvão mineral.

A floculação seletiva/flotação realizada com os reagentes amido de milho, óleo de pinho e óleo diesel em pH 10, forneceu um produto com 29% de cinzas (60% de recuperação) a partir de um carvão com 43% de cinzas.

Testes de floculação seletiva/flotação realizados com carvão mais hidrofóbico mostraram maior seletividade e menor consumo de reagentes.

Os estudos sobre a influência do amido na flotação mostraram que as curvas de recuperação de matéria carbonosa e altura de espuma, em função da concentração de amido, para flotação em pH 10 são similares.

Os testes foram realizados em escala de bancada e desenvolvidas em três etapas principais:

- i. testes de floculação seletiva;
- ii. testes de flotação;
- iii. testes de floculação seletiva/flotação.

2. Materiais e aparelhagem

A amostra de carvão utilizada na maioria dos testes foi procedente da mina de Leão, cidade de Butiã (RS). Este carvão além de ser de baixo "rank" (*), segundo estudos petrográficos realizados por Teixeira (7), apresenta grande quantidade de argila finamente disseminada no interior da matéria carbonosa. Sua superfície apresentava-se provavelmente oxidada.

As amostras foram preparadas adotando-se o seguinte procedimento: secagem em estufa a 70°C, fragmentação a -1 mm e moagem a seco (obtendo-se um material 95% passante em 325 mesh Tyler).

(*) "Rank" refere-se ao grau de maturação dos carvões, atingido ao longo da evolução, pelo enriquecimento relativo de carbono.

A análise imediata, base seca, forneceu um teor de 43% de cinzas.

Testes comparativos foram realizados com um carvão mais hidrofóbico, o qual apresentava aproximadamente a mesma granulometria e o mesmo teor de cinzas que o carvão de Leão.

Os reagentes utilizados nos testes foram^(*):

- i. dispersante - hexametafosfato de sódio;
- ii. floculante - amido de milho Collamil, Proveniente das Refinações de Milho Brasil;
- iii. coletor-óleo diesel;
- iv. espumante - óleo de pinho;
- v. modificador de pH-hidróxido de sódio.

A preparação do amido de milho foi realizada através de gelatinização com hidróxido de sódio.

Os testes de floculação seletiva foram realizados em béquer com capacidade para 4000 ml e os de flotação, em uma célula Denver D-1.

3. Metodologia

3.1. Floculação seletiva

Os testes de floculação seletiva foram realizados conforme técnica descrita por um dos autores (9) obedecendo-se à seguinte sequência: agitação mecânica; correção do pH e adição do dispersante; adição do floculante com agitação manual durante 1 min; sedimentação (2 min) e sifonamento.

Quando a floculação era realizada em duas etapas, a fração floculada da primeira etapa era adicionada água até que se recompusesse o volume inicial. A polpa era submetida a agitação, o pH era acertado e a refloculação realizada adicionando-se a metade da concentração inicial do floculante.

3.2. Flotação

Os testes de flotação foram realizados a uma porcentagem de 10% de sólidos na polpa. Os reagentes coletor e espumante foram condicionados respectivamente durante 5 minutos e 1 minuto. Nos casos em que estava previsto a deslamagem do material (flotação pH 10), esta era realizada através de sifonamento, após 5 minutos de sedimentação.

3.3. Efeito do amido na espuma formada pelo óleo de pinho

Estes testes foram realizados com água, óleo de pinho e amido, sem adição do carvão. Uma cuba de acrílico transparente com altura graduada em milímetro, foi usada. A vazão de ar, a rotação e as concentrações de óleo de pinho utilizadas foram as mesmas dos testes de flotação. As medidas da altura de espuma

(*) Estudos anteriormente realizados mostram ser estes os reagentes mais promissores (8).

foram realizadas após 1,5 min. da abertura do ar, tomando-se a altura inicial da polpa (60 cm) como referência.

3.4. Floculação seletiva/flotação

O material floculado foi colocado em uma cuba de 1 litro e a flotação realizada na mesma rotação e vazão de ar que os testes de flotação referidos no item 3.2.

Todos os produtos obtidos foram secados em estufa a 70°C, pesados, e amostras foram extraídas para determinação dos teores de cinzas.

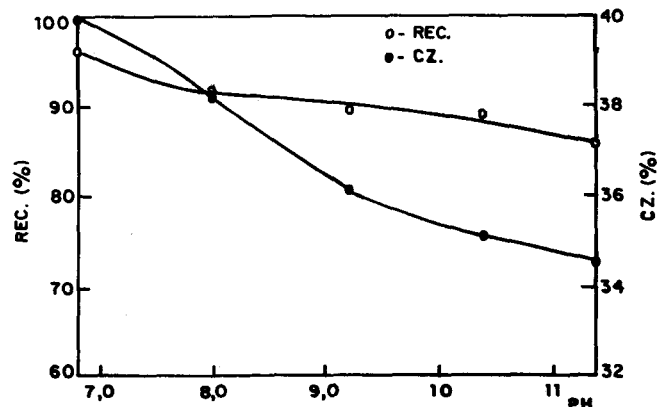
Os resultados dos testes foram avaliados em termos de recuperação de matéria carbonosa (% Rec) e do teor de cinzas no concentrado (% CZ).

4. Resultados e discussão

4.1. Floculação seletiva

A floculação seletiva, como mostra a figura 1, é favorecida por valores mais altos de pH. Isto era de se esperar, tendo em vista o fato de ocorrer heterocoagulação em pH mais baixos (8). Em pH 11,0, obteve-se um produto floculado com 34,5% de cinzas e 86% de recuperação de matéria carbonosa, utilizando-se 130 g/ton de amido.

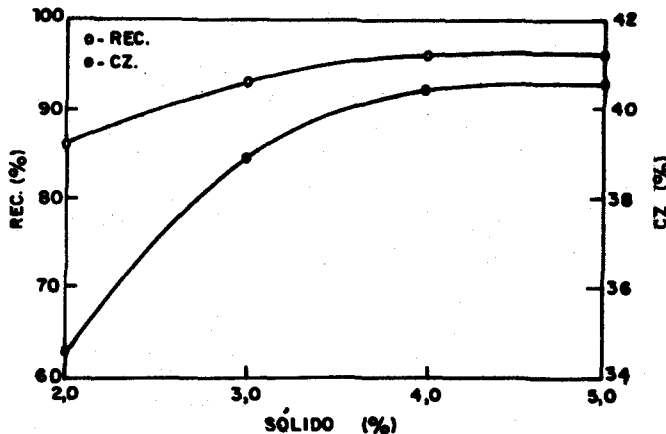
FIGURA 1 - Efeito do pH na floculação seletiva. Condições: 130 g/t amido, 2000 g/t de hexametafosfato de sódio, 2% de sólidos na polpa.



O efeito da porcentagem de sólidos na floculação seletiva é mostrado na figura 2. Maior seletividade é obtida a baixas porcentagens de sólidos. Isto poderia, talvez, ser atribuído ao fato que, à medida que se aumenta a % de sólidos na polpa aumenta-se também o tamanho dos flóculos (pela possibilidade de maior contato entre as partículas), acarretando a oclusão de minerais no flóculo formado (10).

Os testes que se seguiram foram realizados a 2% de sólidos, tendo em vista que o melhor resultado foi obtido nesta porcentagem.

FIGURA 2 - Influência da porcentagem de sólidos na floculação seletiva. Condições: 130 g/t de amido, pH 11. 2000 g/t de hexametáfosfato de sódio.



Nas figuras 3 e 4 pode-se ver o efeito da concentração de amido de milho na floculação seletiva em pH 11,0 e pH 10,0. O melhor resultado foi obtido em pH 11, com um produto floculado de 34% de cinzas e 85% de recuperação, utilizando-se 130 g/ton de amido.

FIGURA 3 - Efeito da concentração de amido na recuperação de matéria carbonosa na floculação seletiva. Condição: 2000 g/t de hexametáfosfato de sódio.

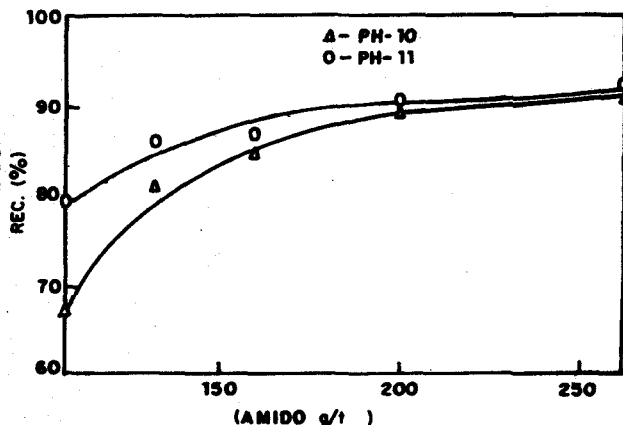
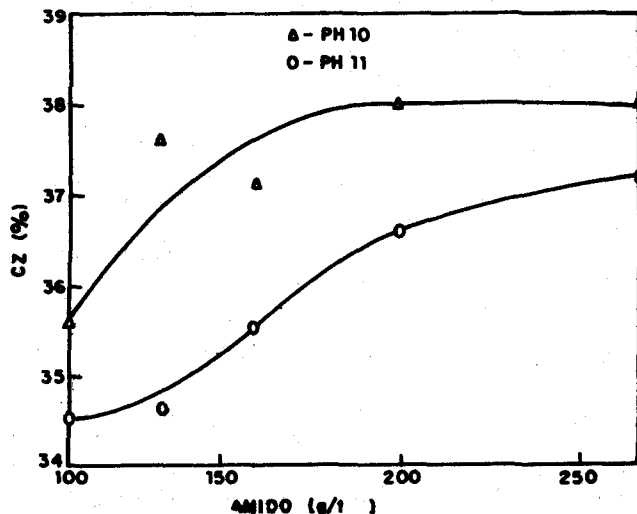


FIGURA 4 - Efeito da concentração de amido no teor de cinzas do floculado. Condição: 2000 g/t de hexametáfosfato de sódio.



Quanto maior a concentração do floculante, maior o tamanho do flóculo. Flóculos maiores tendem a aprisionar no seu interior partículas minerais da fase dispersa, diminuindo consequentemente a seletividade (11).

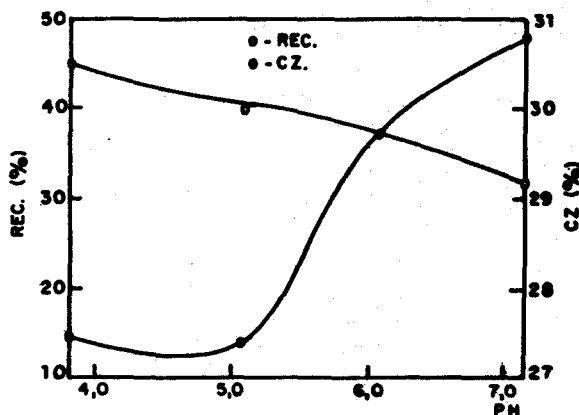
Testes de floculação seletiva realizados em duas etapas, praticamente não alteraram o teor do floculado em pH 11,0. Em pH 10,0 este teor atingiu 36% de cinzas, utilizando-se um total de 200 g/ton de amido, sendo que a recuperação foi de 75%.

Para efeito de comparação realizou-se um teste sem adição do floculante. Este forneceu um produto sedimentado com 41% de cinzas e recuperação de 40% de matéria carbonosa.

4.2. Flotação

O estudo do efeito do pH na flotação mostra, conforme a figura 5, que melhor recuperação é obtida em pH natural da polpa (~ 3,8).

FIGURA 5 - Efeito do pH na flotação. Condições: 750 g/t óleo diésel, 800 g/t de óleo de pinho.

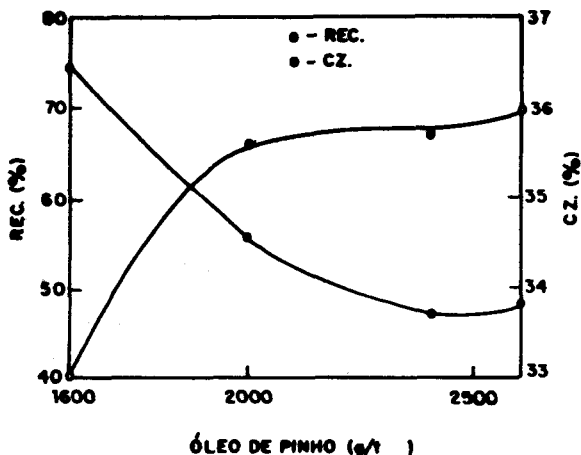


Como pode ser visto na literatura (12), variando-se o pH, modifica-se também a carga de superfície do carvão, sendo que melhores recuperações são obtidas em faixas de pH próximas ao pH em que a carga na interface mineral/solução aquosa é nula; e que quanto maior o grau de oxidação de carvão, mais baixo será o valor deste pH. Pode-se justificar desta maneira, tendo em vista a provável oxidação do carvão, o fato de se obter melhores recuperações em pH ácido.

A flotação em pH alcalino (faixas de pH onde obteve-se melhores resultados de floculação), utilizando-se óleo diésel, foi conseguida com o uso de elevadas concentrações de óleo de pinho. A figura 6 mostra o efeito da concentração de óleo de pinho na flotação em pH 10,0. Para uma recuperação de 70% de matéria carbonosa, conseguiu-se um concentrado com 34% de cinzas.

Foi verificado nestes testes que a flotação só ocorria a partir de concentrações de óleo de pinho superiores a 1400 g/ton e um tempo mínimo de 1,5 min de condicionamento para o mesmo.

FIGURA 6 - Efeito da concentração de óleo de pinho na flotação pH 10. Condições: 1500 g/t de óleo diesel, 2000 g/t de hexametáfosfato de sódio.

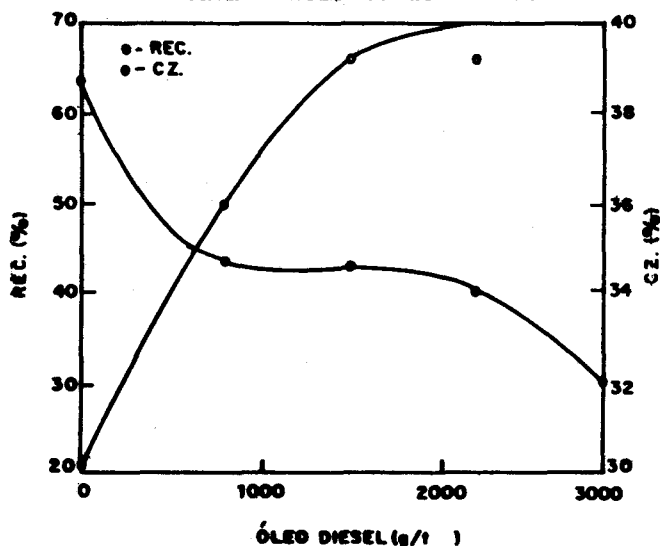


Um mecanismo no qual uma extremidade do óleo de pinho (*) (através dos grupos OH) liga-se por ponte de hidrogênio aos grupos OH dos radicais carboxílicos e fenólicos do carvão, explica a interação carvão/óleo de pinho (3) (13). A parte apolar do óleo de pinho aponta para fora da superfície do carvão, tornando-o mais hidrofóbico.

Desta forma, pode-se explicar, talvez, o fato do carvão necessitar de tempo de condicionamento e quantidade de óleo de pinho maiores que o usual (ação espumante), como sendo necessário à formação de cobertura hidrofóbica, visto sua alta hidrofiliicidade (carvão de baixo "rank" e oxidado).

A figura 7, ilustrando o efeito da concentração de óleo diesel na flotação em pH 10,0, mostra que na ausência de óleo diesel, praticamente não há flotação.

FIGURA 7 - Efeito da concentração de óleo diesel na flotação pH 10. Condições: 2000 g/t de óleo de pinho, 2000 g/t hexametáfosfato de sódio.



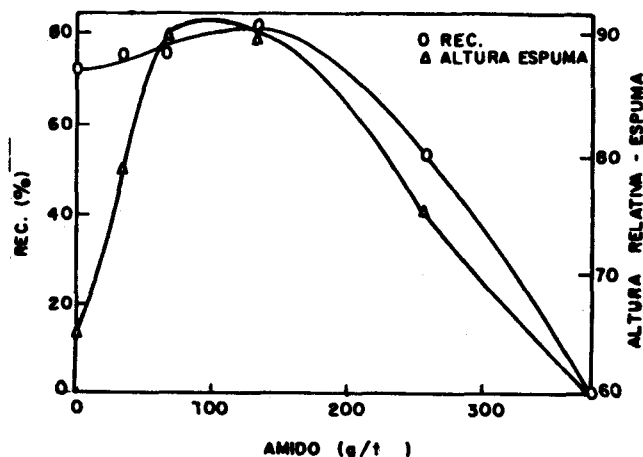
(*) Pode-se imaginar o óleo de pinho representado pelo α -terpineol que é um dos seus componentes mais ativo.

Os resultados dos testes realizados para se caracterizar o efeito do amido na flotação estão ilustrados na figura 8. Pode-se verificar que para adições de amido de até 130 g/ton, a flotação é favorecida através de aumentos na recuperação de matéria carbonosa. A partir desta concentração, a recuperação começa a decrescer, chegando a ser nula para adições da ordem de 400 g/ton. O teor de cinzas (não representado na figura), permaneceu aproximadamente inalterado.

4.3. Efeito do amido na espuma formada pelo óleo de pinho

A figura 8 ilustra a similaridade entre as curvas de recuperação na flotação em pH 10,0, e altura da espuma em função da concentração de amido. Ambas apresentam valor máximo próximo a 130 g/ton começando a decrescer a partir daí. Com a adição de 400 g/ton de amido, a espuma torna-se praticamente inexistente e também a recuperação de matéria carbonosa cai quase a zero.

FIGURA 8 - Efeito da concentração de amido na altura da espuma formada pelo óleo de pinho e na recuperação de matéria carbonosa da flotação pH 10. Condições: 1000 g/t de óleo diesel, 2000 g/t de óleo de pinho (flotação).



O mecanismo pelo qual alguns polímeros flocculantes podem provocar alterações no volume e estabilidade da espuma é explicado por Ostryi e colaboradores (14). Segundo estes pesquisadores, os grupos OH dos polímeros hidratam a parede da bolha, provocando um reforço das capas hidratadas das películas das bolhas de ar. Isto contribui para o aumento da estabilidade mecânica das bolhas. Quando os grupos OH chegam a uma saturação na película hidratada, a estabilidade e o volume da espuma começam a diminuir.

4.4. Flocculação seletiva/flotação

Os resultados da flocculação seletiva/flotação estão nas figuras 9 e 10. Os testes foram realizados em pH 10,0 e 11,0, flocculação em duas etapas, utilizando-se uma concentração

total de amido equivalente a 200 g/ton. Melhores teores e recuperações são obtidos em pH 10,0, onde para uma adição de 1650 g/ton de óleo de pinho e 800 g/ton de óleo diesel, a recuperação foi de 63% e o teor de cinzas no concentrado 29%.

FIGURA 9 - Efeito da concentração de óleo de pinho na recuperação de matéria carbonosa da floculação seletiva/flotação. Condição: 800 g/t de óleo diesel.

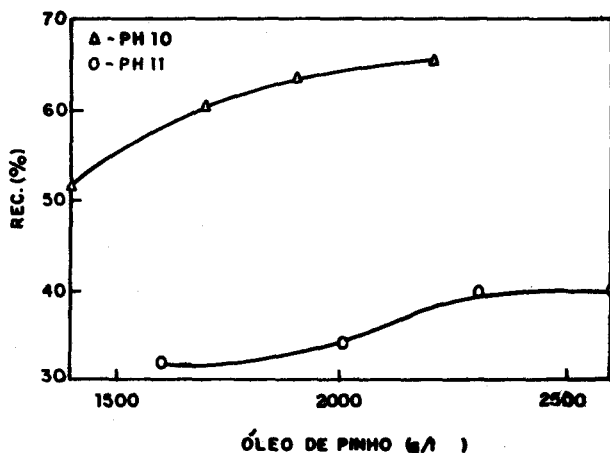
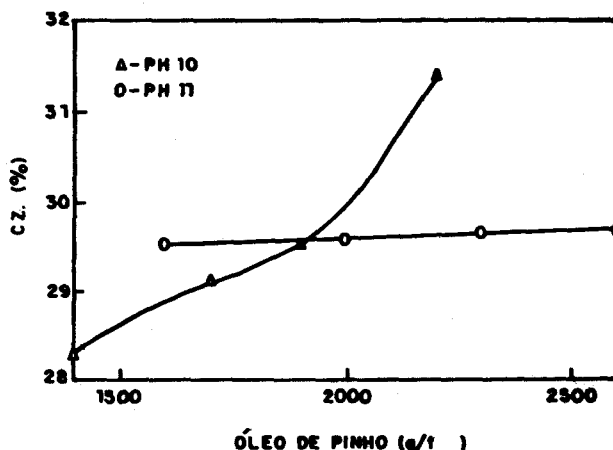


FIGURA 10 - Efeito da concentração de óleo de pinho no teor do concentrado da floculação seletiva/flotação. Condição: 800 g/t de óleo diesel.

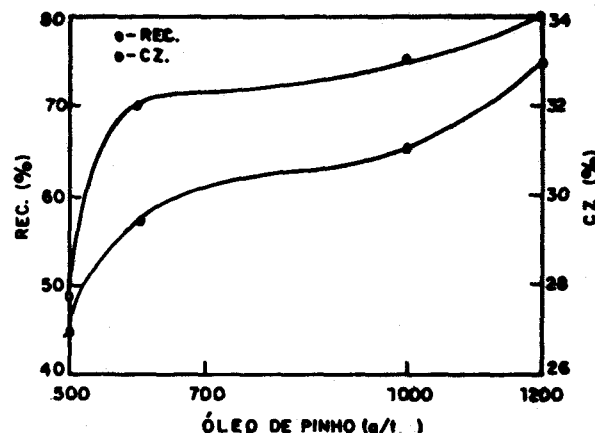


Testes de floculação seletiva/flotação realizados com o carvão mais hidrofóbico, mostraram melhores resultados, conforme pode ser visto na figura 11. Um produto com 27% de cinzas foi obtido e o consumo de óleo de pinho foi muito menor que na floculação seletiva/flotação do carvão mais hidrofóbico.

5. Conclusão

- i. a floculação seletiva/flotação realizada com os reagentes amido de milho, óleo de pinho e óleo diesel em pH 10,0 forneceu um produto com 29% de cinzas (recuperação de 60%), a partir de um carvão com 43% de cinzas. Testes comparativos realizados com carvão mais hidrofóbico mostraram maior seletividade e menor consumo de reagentes;
- ii. os estudos sobre a influência do amido

FIGURA 11 - Efeito da concentração de óleo de pinho na floculação seletiva/flotação (testes comparativos). Condição: 700 g/t de óleo diesel.



na flotação mostraram que as curvas de recuperação de matéria carbonosa e altura de espuma, em função da concentração de amido, para flotação em pH 10,0 são similares. Ambas crescem até concentração próxima a 130 g/ton e chegam quase a se anular próximo a 400 g/ton.

6. Bibliografia

- 1- BORBA, P.E.M. Utilização de carvões não-coqueificáveis nas misturas a coqueificar. Metalurgia ABM, 33 (240): 667-672, 1977.
- 2- TEIXEIRA, J.A. Injeção de misturas carbonosas em alto forno. Metalurgia ABM, 36 (266): 53-59, 1980.
- 3- WODTKE, R.M.P. Beneficiamento de finos de carvão de leão por flotação. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1981. (Tese de mestrado).
- 4- COLOMBO, A.F. Selective flocculation and flotation of iron-bearing materials. In: SOMASUNDARAN, P. Fine particles processing. New York, AIME, 1980. v.2, p. 1034-56.
- 5- BANKS, A.F. Selective flocculation flotation of slimes from a sylvinitic ore. In: SOMASUNDARAN, P. Fine particles processing, New York, AIME, 1980. v.2 p. 1104-11.
- 6- HUCKO, R.E. Beneficiation of coal fines by selective flocculation, a laboratory study. USBM Report of Investigation, 8234. 1977. 17 p.
- 7- TEIXEIRA, E.C. Beneficiamento de carvões Sul Brasileiros - flotação por espuma. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1979. (Tese de mestrado).

- 8- ASSIS, S.M. A floculação seletiva/ flotação de carvão mineral. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1983 (Tese de mestrado).
- 9- COELHO, E.M. Aspectos relevantes da floculação seletiva. In: VI ENTMH. Rio de Janeiro, 1979. 24 p.
- 10- ANDRADE, V.L.L. et alii. Floculação seletiva. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 1. Poços de Caldas, DNPM, 1977. p. 177-83
- 11- COELHO, E.M. Floculação seletiva: princípios básicos e aplicações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS, São José dos Campos, 1975, p.53-65.
- 12- WEN, W.W. et alii. An electrokinetic study on the amine flotation of oxidized coal. Trans AIME, 262: 174-80, 1977.
- 13- BROWN, D.J. Coal flotation. In: Froth Flotation 50 th Anniversary volume E.D.W. Fuerstenaw, AIME, 1962. p.158-83.
- 14- OSTRYI, V.A. et alii. Influence of flocculation polymers on froth stabilisation. Coke and Chemistry, (2), 1974. p. 10-16.