



MICROFLOTAÇÃO DE ESPESSARTITA E QUARTZO EM ETAPA EXPLORATÓRIA DA CONCENTRAÇÃO DO MANGANÊS: DEPRESSORES

RODRIGUES, G.H.G.¹, DE SÃO JOSÉ, F.², PEREIRA, C.A.³

^{1,3}Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia de Minas.
Laboratório de Flotação. e-mail: guilhermegualandi@hotmail.com

²Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG), Departamento de Minas e

RESUMO

As ocorrências do manganês na natureza como óxidos e hidróxidos, em formação residual ou de sedimentação marinha são mais comuns e até o momento não existem relatos sobre sua ocorrência na forma metálica, além dos poucos minerais que constituem mineral-minério de manganês. Tomando esse fato, fica evidente a dificuldade de encontrar um depósito que coexista a viabilidade técnica e econômica para o processamento de minérios de manganês. Ademais, os depósitos atuais exibem teores de manganês cada vez menores, impondo a necessidade de se desenvolver novas rotas de processamento, muitas vezes com alguma complexidade inerente. Neste cenário, estudos fundamentais são necessários com o intuito de definir parâmetros que viabilizam rotas de concentração dos minérios de manganês disponíveis. No presente trabalho foi realizado a concentração de um minério de manganês de baixo teor, partindo-se de testes preliminares para deprimir a ganga silicatada. Os resultados mostraram que a presença dos íons Mn^{2+} e Al^{4+} na superfície da espessartita contribui para a sua flotabilidade natural, além de facilitar a interação com os reagentes depressores, como silicato de sódio com o qual se obteve o melhor resultado.

PALAVRAS-CHAVE: Manganês, Microflotação, Espessartita, Depressores.

ABSTRACT

Occurrences of manganese in nature as oxides and hydroxides, in residual formation or marine sedimentation are more common and so far there are no reports on its occurrence in metallic form, besides the few minerals that constitute manganese ore. Taking into account this fact, it is evident the difficulty of finding a deposit that coexists the technical and economic viability for the processing of manganese ores. In addition, current deposits exhibit ever-lower manganese content, imposing the need to develop new processing routes, often with some inherent complexity. In this scenario, fundamental studies are necessary in order to define parameters that enable concentration routes of available manganese ores. In the present work the concentration of a low grade manganese ore was carried out, starting from preliminary tests to depress the silicate denim. The results showed that the presence of Mn^{2+} and Al^{4+} ions on the surface of the thickenartite contributes to its natural flotability, as well as facilitating interaction with depressant reagents such as sodium silicate with which the best result was obtained.

KEYWORDS: Manganese, Microflotation, Spessartines, Depressants.

1. INTRODUÇÃO

As aplicações de manganês na indústria siderúrgica são devidas às suas características físico-químicas, atuando como agente dessulfurante do gusa (diminuição da quantidade de enxofre) e desoxidante (maior afinidade pelo oxigênio do que o ferro) além, do crescente emprego de ferro-ligas à base de manganês. Com isso, a demanda por manganês está aumentando em paralelo com a demanda por insumos para produção de aço, enquanto os minérios de manganês de alto teor estão se exaurindo, por isso a utilização adequada dos recursos disponíveis atualmente é um grande desafio para a indústria de mineração. Desse modo, Tripathy (2015) considera o emprego da flotação como única técnica capaz de concentrar minérios de manganês de baixo teor e cada vez mais finos.

Há relações que consideram o minério de manganês como um material complexo em todos os fatores, principalmente em sua ganga, pelas diversidades de minerais agregados ao minério. Como exemplo, Andrade (1978) fez um estudo de concentração do gondito, um minério de manganês constituído principalmente de quartzo (SiO_2), óxidos de manganês e espessartita ($\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{O}_{12})$), um silicato de manganês e alumínio do grupo da granada, que forma série com a almandina, dentre outros minerais.

Com intuito de estabelecer um meio para concentrar o minério de manganês baseado em flotação, pode se utilizar do ângulo de contato, tubos de ensaio ou da microflotação para definir alguns fatores na flotação de bancada. Porém, os testes de microflotação apresentam resultados melhores quanto as janelas de seletividade já que, este método é caracterizado pelo uso da dispersão de pequenas bolhas voltada para estudar o desempenho de espécies minerais individualmente (mineral puro) na presença de reagentes, gases e condições especificadas. (ARAUJO et al., 2005; BARROS, 2013).

Desta forma, nesse artigo foi usado a microflotação com a finalidade de observar e analisar a flotabilidade dos minerais de ganga espessartita e quartzo quando em contato com os reagentes depressores e em diferentes valores de pH. Sabendo que, o depressor tem por finalidade inibir a adsorção do coletor nos minerais de ganga e aumentando assim a seletividade entre minerais-minério e minerais que não devem flotar.

Portanto, o presente artigo tem como objetivo reportar a investigação de alguns reagentes na microflotação de espessartita e quartzo (ganga no minério de manganês). Os melhores resultados obtidos podem auxiliar futuros estudos de flotação de um minério de manganês de baixo teor, proveniente da região de São João Del Rei (MG), através de ensaios em escala de bancada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Cominuição da espessartita e do quartzo

Para se alcançar a mais alta seletividade no processo de flotação, deve-se melhor entender as complexidades envolvendo os processos de adsorção dos reagentes e o máximo de fatores que podem influenciar tal processo.

A amostra de quartzo encontrava-se na forma de blocos com tamanho médio de 100mm e foram fragmentados em britador de mandíbulas. Os fragmentos mais limpos foram selecionados manualmente. Após a seleção, toda amostra foi britada em britador de

rolos lisos e moída em moinho de bolas (porcelana). Blocos de espessartita foi inicialmente marretado (cominuição manual).

Desta forma, finalizou com a pulverização do quartzo e da espessartita via gral de porcelana e classificada por peneiramento manual para uma adequação dentro da faixa de 0,104mm a 0,038mm.

Após a pulverização do material, foram obtidos 118g de quartzo e 137g de espessartita acumulando mais de 200 testes de microflotação por utilizar cerca de 1g de material cada.

2.2 Ensaio de microflotação

Com intuito, de estudar o comportamento da ganga do minério de manganês, foram avaliados depressores com diferentes dosagens, tempo de condicionamento e pH de flotação, de acordo com a Tabela 1 e 2.

Tabela 1 - Tabela de variáveis (condicionamento, pH e dosagem de reagente)

Tempo de Condicionamento (min)	2	5	7		
pH	Natural	6	8	10	
Dosagem de Reagente (mg/L)	20	40	80	160	320

Tabela 2 - Tabela de reagentes

Reagentes
Silicato de Sódio ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,26$)
Fluorsilicado de Sódio
Hexametáfosfato de Sódio

Foi utilizado o tubo de Hallimond, modificado por um extensor de 30cm de comprimento para reduzir o arraste de mineral ao flotar. Assim, foram realizados os mesmos procedimentos tanto para o quartzo quanto para espessartita.

Foram realizados testes variando o pH, o tempo de condicionamento, reagentes e dentre outros, porém, a vazão do gás (N_2) se manteve constante a $75\text{Nm}^3/\text{min}$ para todos os testes. Desta forma, sendo a única variável imutável no processo inteiro, pois, com alguns teste preliminares foi constatado que essa seria a vazão ideal ao levar em conta, tamanho das bolhas de ar e sua homogeneidade já que, o ideal seria bolhas menores e com tamanho similar, pois ao contrário pode ocorrer o arraste das partículas.

Os ensaios de microflotação seguiram os seguintes procedimentos:

- a) transferência de 1 g dos minerais em estudo na faixa de -0,104 +0,038mm para o tubo Hallimond e posteriormente a adição da solução (a depender do ensaio) na concentração desejada;
- b) aferição do volume do tubo de Hallimond com água destilada com o mesmo valor de pH da solução testada;
- c) completou-se com água destilada com mesmo valor de pH da solução o tubo de Hallimond até completar o volume de 400mL, e condicionar por 2min;

- d) mediu-se o pH da solução dentro do tubo de Hallimond;
- e) abriu-se a vazão de N₂ em 75nM³/min, deixando flotar por 1 min;
- f) desligou-se o agitador magnético em sequência e fechou a vazão de N₂;
- g) coletou-se o material flotado e afundado em béqueres, sendo os mesmos filtrados e secados em estufa a 100°C.

Os procedimentos foram repetidos diversas vezes até que todas variáveis preestabelecidas serem avaliadas.

2.3 Análises dos dados

Para analisar todos os resultados obtidos, foi elaborada a Tabela 3. Deste modo, contendo o reagente, pH, massa em grama e sua distribuição de acordo com a massa flotada, afundada e sua perda.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de microflotação

Silicato ID de sódio (mg/L)	pH	pH médio	Desvio	Massas (g)					Distribuição (%)					
				Alimenta ção	F	A	Soma	Perda	F	A	Perda	Média F	Média A	Desvio
64	N	6,04	0,21	1,0110	0,1120	0,8930	1,006	0,005	11,10	88,90	0,54	11,91	88,09	1,14
65	0	N	5,92	1,0910	0,1390	0,9120	1,051	0,040	12,71	87,29	3,66	14,22	85,78	0,12
8	20	6	6,21	1,1040	0,1580	0,9050	1,063	0,041	14,30	85,70	3,70	14,22	85,78	0,12
9		6	6,19	1,0190	0,1440	0,8550	0,999	0,020	14,13	85,87	1,95	14,22	85,78	0,12
10	40	6	6,27	1,0470	0,0620	0,9330	0,995	0,052	5,92	94,05	4,95	9,08	90,92	4,43
11		6	6,20	1,0530	0,1290	0,8510	0,980	0,073	12,21	87,79	6,95	9,08	90,92	4,43
12	80	6	6,17	1,0750	0,1470	0,5160	0,663	0,412	13,69	86,31	38,31	15,92	84,09	3,15
13		6	6,12	1,0610	0,1930	0,3260	0,519	0,542	18,14	81,86	51,11	15,92	84,09	3,15

Com intuito de dar conformidade aos resultados, foi utilizado a Equação 1, adotando o desvio padrão para gerar uma dispersão máximo igual a 5%, ou seja, uma uniformidade entre todos os valores tomados, seja o pH ou distribuição (níveis de flotabilidade).

$$Dp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M_a)^2}{n}} \quad (1)$$

Sendo:

Dp: Desvio Padrão;

Σ : Símbolo de somatório. Indica que temos que somar todos os termos, desde a primeira posição (i=1) até a posição n;

X_i: Valor na posição i no conjunto de dados;

M_a: Média aritmética dos dados;

n: Quantidade de dados;

Portanto, foi necessário a realização de duplicatas de cada teste para aplicação da fórmula do desvio. No caso de não adequação ao desvio máximo, o teste em duplicata é descartado e realizado novamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Das variáveis

Como mostrado na Tabela 1 e 2, as variáveis operacionais compõem um número alto de incógnitas, ou seja, foram vários testes realizados com intuito de montar um banco de dados para só assim, conseguir visualizar através de tabelas e gráficos quais foram os melhores parâmetros de cada variável, isso depois de finalizar todos os testes predefinidos.

3.1.1 Potencial hidrogeniônico

O pH utilizado nos estudos de depressão dos minerais é uma variável de muita importância, já que o mesmo influencia diretamente no potencial zeta da partícula, mecanismo de adsorção de minerais e estado de dispersão das suspensões. Com isso, depois de finalizar todos os testes foi interpretado qual o melhor valor para o pH tanto dos sistemas com espessartita quanto aqueles com quartzo. De acordo com as Figuras 1 e 2, pode-se observar que ao aumentar o pH os minerais tenderam a perder sua característica de flotabilidade.

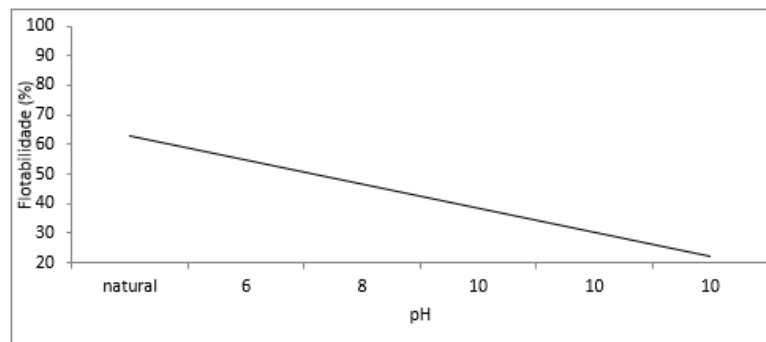


Figura 1 - Gráfico de tendência do pH para espessartita

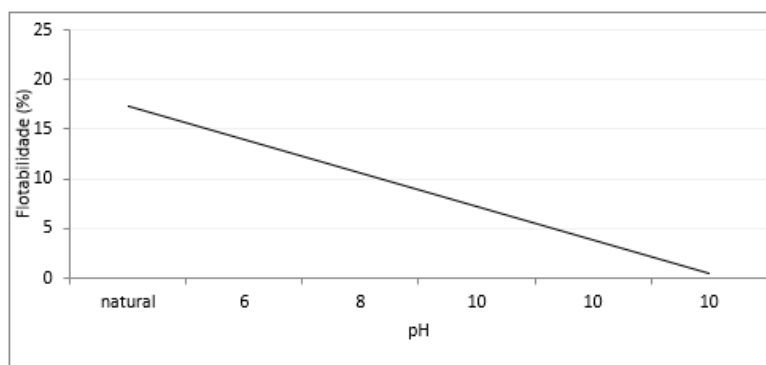


Figura 2 - Gráfico de tendência do pH para o quartzo

Em pH 10 obteve-se a menor flotabilidade dos minerais não desejáveis, de acordo com os estudos, seria a melhor opção para trabalhar na próxima etapa de concentração, a flotação de bancada.

3.1.2 Dosagem dos reagentes

A flotabilidade natural da espessartita é superior a 70% sem qualquer uso de coletor, provavelmente pelos íons Mn^{2+} e Al^{3+} na superfície da espessartita, que podem contribuir para a sua fluotabilidade natural, da mesma forma que pode facilitar a interação com os reagentes depressores.

De acordo com a Figura 3 e 4, em pH 10 obteve-se a menor flotabilidade dos minerais não desejáveis com dosagem de 80mg/L dos depressores utilizados sendo o “SS”, “HS” e o “FS” respectivamente, silicato de sódio, hexametáfosfato de sódio e fluorsilicato de sódio. Com o aumento da dosagem, nota-se que todos depressores propostos foram eficazes em sua requerida função, com exceção do hexametáfosfato de sódio que mostrou maior flotabilidade para o quartzo quando do aumento da dosagem deste reagente (Figura 4).

As espécies predominantes em solução contendo fluorsilicato e no pH 10 são o ânion SiF_6^{2-} e o $Si(OH)_4$. Assim, a adsorção do ânion SiF_6^{2-} sobre o quartzo pode ter sido por meio de ligações tipo interação de hidrogênio entre essa espécie e as hidroxilas da superfície do mineral (Andrade et al., 2011). Desta forma, na figura 4 tanto o FS quanto o HS não disponibilizam única e exclusivamente as espécies efetivamente depressoras (por exemplo, o SiF_6^{2-}) e sim uma competição entre a fórmula iônica e molecular, que depende diretamente de fatores como: qualidade do reagente, confiabilidade no valor de pH dentre outros que provavelmente influenciou no aumento da flotabilidade do HS em dosagem de 80 para 160mg/L e do FS em dosagem de 20 para 40mg/L.

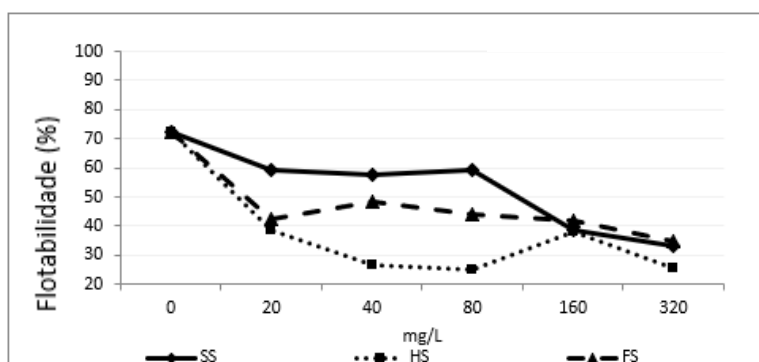


Figura 3 - Flotabilidade de espessartita na presença de depressores por dosagem (pH10)

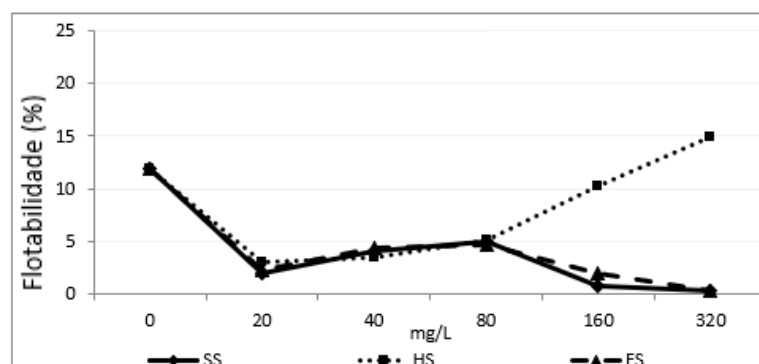


Figura 4 - Flotabilidade de quartzo na presença de depressores por dosagem (pH10)

O hexametáfosfato de sódio se mostrou como o reagente que provocou depressão da espessartita em toda faixa de dosagem testadas. No entanto, para quartzo esse reagente

gerou considerável alteração na tendência com retomada da flotabilidade, devido provavelmente a uma ação dispersante que se fez mais pronunciada com o aumento da dosagem.

3.1.3 Teste de cinética

Com os ensaios variando o tempo de condicionamento foi possível concluir que o melhor tempo de condicionamento foi de 5 (cinco) minutos, como pode ser analisado na Figura 5 e 6. Na qual, "SS", "FS" e "HS" significam respectivamente silicato de sódio, fluorsilicato de sódio e hexametáfosfato de sódio.

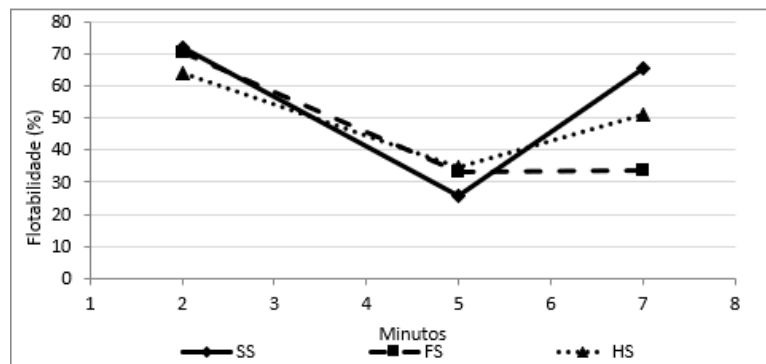


Figura 5 - Gráfico de cinética da espessartita 320mg/L de depressor

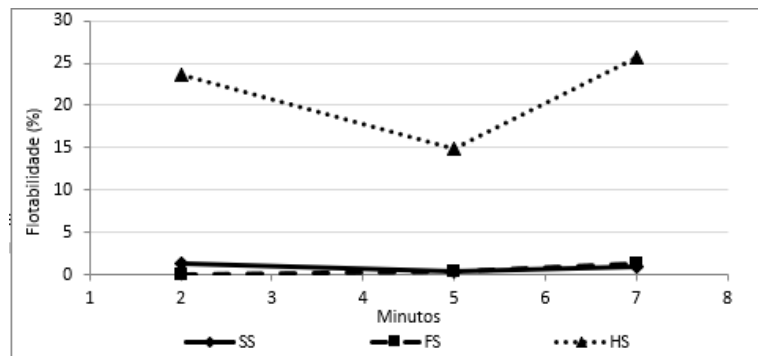


Figura 6 - Gráfico de cinética do quartzo 320mg/L de depressor

De acordo com as Fig. 5 e 6 foi revisto o hexametáfosfato de sódio como o melhor reagente na depressão de quartzo e de espessartita, pois o silicato de sódio com 5 (cinco) minutos de condicionamento reduzia a flotabilidade do quartzo e aumentava levemente a curva de flotabilidade da espessartita. Nesta perspectiva, foi decidido o uso do silicato de sódio em 320mg/L como o depressor do manganês para qualquer próxima etapa de concentração do minério de manganês.

4. CONCLUSÕES

Como o trabalho abrangeu um número de variáveis suficientes, foi possível chegar a um resultado satisfatório. Pois, o andamento da pesquisa indicava o hexametáfosfato de sódio na dosagem de 80mg/L como melhor depressor, obtendo uma queda na flotabilidade das partículas de quartzo em 42,74% e da espessartita em 34,33% comparado com a sua

flotabilidade natural dos minerais em pH 10. Portanto, a continuação dos testes na parte da cinética mostrou que, ao condicionar os minerais com silicato de sódio por 5 minutos e dosagem de 320mg/L, a flotabilidade do quartzo cai para 2,6% diminuindo em 93,91% comparado ao hexametáfosfato no mesmo tempo e para a espessartita ocorreu um leve aumento para 25,69% em sua flotabilidade, um aumento de 3,17%.

A espessartita acompanhou o histórico de outros minerais silicatados, tais como talco, $(Mg_3(OH)_2Si_4O_{10})$ e montmorillonita $((Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \times nH_2O)$, que apresentam elevada hidrofobicidade natural, impactando no processos de flotação. Segundo Kusaka et al. (1997) e Sarquis e Gonzalez (1998) a superfície dos cristais no talco é composta por dois tipos de estruturas, uma com planos de clivagem basais e as quinas. Os planos não possuem cargas e, portanto, acredita-se que são não-polares e hidrofóbicos, enquanto que as quinas são hidrofílicas devido à presença de íons Mg^{2+} e OH^- . Desta forma, implica diretamente na flotabilidade da espessartita além do arraste hidromecânico da microflotação que contribui para a flotação do mineral.

Portanto, ambos os resultados são consideráveis e a sua escolha caberá de acordo com o coletor e seu espumante, que podem alterar o resultado obtido nesta pesquisa.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Ouro Preto, GAUSTEC-Separadores Magnéticos, Fundação Gorceix, CAPES, FAPEMIG e ao CNPq.

6. REFERÊNCIAS

- Almeida A.B. Caracterização químico-mineralógica de minérios de manganês. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG; 2010.
- Andrade, V. L. L. Estudos de concentração do gondito. [Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG; 1978.
- ARAUJO A, GALERY R, VIANA P.R, ARENARE D.S. Revisitando as técnicas de avaliação de flotabilidade: uma visão crítica. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa, organização. XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa; 2005 Nov 20– 24; Natal, Brasil. p. 325–332.
- BARROS L.A. Flotação de minérios fosfáticos. Em A. P. CHAVES, A flotação no Brasil (pp. 116-154). 2013. Cubatão, SP: Oficina de Textos.
- Neves M.V. Microflotação de apatita com injeção de dióxido de carbono, gás nitrogênio e ar comprimido. [Trabalho de conclusão de curso]. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá - MG; 2018.
- Sampaio J.A, De Andrade M.C, Dutra A.J.B, Penna M.T.M. Rochas e minerais industriais. 2a. ed. CETEM; 2008. Chapter 28, Manganês, p. 639-48.
- Tripathy, S.K., Banerjee, P.K., Suresh, N. Effect of desliming on the magnetic separation of low-grade ferruginous manganese ore. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. v. 22, n. 7, pp. 661, 2015.
- ANDRADE, E.M., LEÃO, V.A., LIMA, R.M.F. Influence of sodium fluorsilicate addition on manganese minerals and quartz floatability with sodium oleate. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 2011, 64(2), p. 219-225.
- KUSAKA, E., AMANO, N., NAKAHIRO, Y. Effect of hydrolysed aluminum (III) and chromium (III) cations on the lipophilicity of talc. International Journal of Mineral Processing, 1997, v.50, p. 243–253.
- SARQUIS, P. E., GONZALEZ, M. Limits of the use of industrial talc—the carbonate effect. Minerals Engineering, 1998 v.11, n.7, p. 657–660.