

## **DESENVOLVIMENTO DE ESTRATÉGIA DE FLOTAÇÃO PARA REDUÇÃO DE TEOR DE FERRO DE FOIAÍTO**

**COSTA, J. H. B.,<sup>1</sup> BERGERMAN, M. G.,<sup>3</sup> HORTA, D. G.<sup>4</sup>**

<sup>1,3</sup>Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Campus de Pocos de Caldas, [costas.juliana@gmail.com](mailto:costas.juliana@gmail.com), [daniela.horta@unifal-mg.edu.br](mailto:daniela.horta@unifal-mg.edu.br) <sup>3</sup>Universidade de São Paulo (USP), [mbergerman@gmail.com](mailto:mbergerman@gmail.com)

### **RESUMO**

Por ser caracterizado pela sua fusibilidade, o principal mercado consumidor do feldspato é a indústria de cerâmica. No entanto, para garantir a brancura elevada do porcelanato, o feldspato deve possuir teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1\%$ . O objetivo do trabalho foi testar estratégias de concentração por flotação reversa em uma amostra de foiaíto de Poços de Caldas para reduzir o teor de minerais portadores de ferro. A amostra foi, inicialmente, cominuída (britagem e moagem) para que atingisse a granulometria adequada para realização dos ensaios de flotação ((-0,119 + 0,042)  $\times 10^{-3}$  m). Em seguida foi caracterizada quanto a sua composição química por Fluorescência de raios-X (FRX), composição mineralógica por Difração de raios-X (DRX), características superficiais por Microscopia Óptica (MO) e distribuição granulométrica por peneiramento. Nos ensaios de flotação testou-se o desempenho de diferentes coletores de minerais portadores de ferro (sulfato, sulfonato e ácido graxo) em distintas dosagens (0,2, 0,4 e 0,6 kg/t) e pHs (3,4 e 5). A estratégia de flotação que obteve maior desempenho foi a condição na qual utilizou-se o coletor sulfato MDB908 (Akzo Nobel) na dosagem de 0,4 kg/t e pH 4, obtendo assim um concentrado com 75,73% de recuperação em massa, teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  de 1.12%, o que implica em uma redução de ferro de 66,54%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cerâmica, Concentração, Feldspato, Flotação, Foiaíto.

### **ABSTRACT**

For being characterized by its fusibility, the feldspar's main consumer market is the ceramic industry. However, to help ensure the porcelain tile's high whiteness the feldspar has to have  $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1\%$  as concentration. The goal of this research was to

test strategies of concentration using reverse flotation in a sample of Poços de Caldas' foidite to reduce the concentration of the minerals that contains iron. The sample, first of all, comminuted (crushing + milling) to get the properly grain size to begin the flotation test ( $(-0,119 + 0,042) \times 10^{-3}$  m). Second, the sample was characterized by its chemical composition using X-ray Fluorescence (XRF), mineralogical composition by X-ray Diffraction (XRD), superficial characteristics by Optical Microscopy (OM) and grain size by sifting. In the flotation's tests was checked the performance of the diferents minerals that contains iron (sulfate, sulfonate and oily acid) in differents dosages (0,2, 0,4 and 0,6 kg/t) and pHs (3, 4 and 5). The flotation's strategy that had highest performance was the one which the collector used was the sulfate MDB908 (Akzo Nobel) in 0,4 g/t as dosage and pH 4, getting a concentrate with 75,73% of mass recover, 1,12% as  $Fe_2O_3$  concentration, which implies an iron decrease of 66,54%.

**KEYWORDS:** Ceramic, Concentration, Feldspar, Flotation, Foidite.

## 1. INTRODUÇÃO

Por ser caracterizado pela sua fusibilidade e fornecer resistência e durabilidade às peças queimadas, as indústrias de cerâmica e vidro são os principais consumidores de feldspato (BRAGA; SAMPAIO; LEAL FILHO, 1998; ALMADA; VLCEK, 2000; PEREIRA JUNIOR, 2013). O maciço de Poços de Caldas (800 km<sup>2</sup>) é constituído por rochas ricas em feldspatos denominadas, do ponto de vista geológico, predominantemente como foiditos (plutônicas) e tinguaítos (sub-vulcânicas), com presença de fonólitos, leucititos, lavas, tufos, aglomerados e brechas vulcânicas, distribuídos ao longo do planalto (ALBERTI, 2008; MORAES; JIMÉNEZ-RUEDA, 2005; JERÔNIMO, et al., 2013).

A aplicação de feldspato no Brasil é restrita e, geralmente, limitada ao seu estado bruto, ou seja, sem beneficiamento mineral. Os feldspatos lavrados nos pegmatitos da Província Borborema-Seridó (RN) por exemplo, apresentam teores elevados de álcalis e baixos teores de ferro, dessa forma tal minério é adequado para uso nas indústrias de cerâmica branca e de vidro (BARBATO et al., 2007; AZEVEDO FILHO et al., 2013). Por outro lado, o fonolito de Lajes (SC), e o granitoide de Jundiá (SP) por apresentarem elevado teor de  $Fe_2O_3$ , suas aplicações são limitadas à fabricação de massas cerâmicas (BRAGA; SAMPAIO; LEAL FILHO, 1998). Cabe ainda dizer que, o mesmo ocorre com a rocha potássica de Poços de Caldas que apresenta teores de  $Fe_2O_3$  entre 2 e 6%. Nestes casos, para aplicação desses feldspatos na produção de cerâmica branca, faz se necessário a concentração do mesmo para a remoção de ferro.

De acordo com Del Roveri e Bergerman (2013) a aplicação da rocha rica em feldspato de Poços de Caldas na produção de porcelanato é viável, sendo que a

obtenção da brancura necessária depende da remoção de minerais portadores de ferro. Ainda neste trabalho comprovou-se que somente a utilização de separação magnética não é suficiente para a redução do teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para ( $<1\%$ ). O presente trabalho teve como objetivo investigar estratégias (tipos de reagentes, dosagens e pHs) de concentração por flotação do foiaíto rico em feldspato proveniente do maciço de Poços de Caldas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Uma amostra de foiaíto rico em feldspato previamente cominuída, (100% passante em 100#) proveniente do maciço de Poços de Caldas foi fornecida pela empresa Mineração Curimbaba. A amostra foi homogeneizada, separada em padrões de 2kg que posteriormente foram deslamados para que 90% das partículas possuissem tamanho inferior a 44  $\mu\text{m}$ . Após a deslamagem a amostra foi homogeneizada em pilha alongada de onde foram removidos padrões de 0,4 kg que foram empregados nos ensaios de flotação (conduzidos na célula mecânica de bancada (Engendrar, modelo CFB 1000N)), com 3 atapas (*Rougher + 2 Cleaners*). A estratégia de flotação utilizada foi a rota reversa de flotação de minerais portadores de ferro com reagentes aniônicos e polpa em 50% de sólidos.

Investigou-se o desempenho de diversos coletores de minerais portadores de ferro (5 ácidos graxos, um sulfato e um sulfonato: MDB 908 (AkzoNobel), MDB 1425 (AkzoNobel), RADIACID (Oleon), LUPROMIN (BASF), FLOTIGAN 5806 (Clariant), KORTACID 0810 (Oleon), SYLFAT FA-1 SPECIAL (Arizona Chemical)). Uma vez selecionados os coletores de maior desempenho, investigou-se a influência da dosagem (200, 400, 600) g/t de coletor e posteriormente conduziu-se os ensaios para testar a influência do pH (3, 4 e 5).

Como reguladores de pH foram utilizados ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) e hidróxido de sódio (NaOH) a partir de soluções a 10%. O tempo de condicionamento do coletor foi de 4 minutos e após dois minutos adicionou-se o espumante, óleo de pinho (147g/t).

Da pilha foi retirada também uma amostra de cabeça destinada à caracterização do minério: análise química de Fluorescência de raios-X (FRX), análise de composição mineralógica por Difração de raios-X (DRX), microscopia óptica no microscópio (Carl Zeiss, modelo Stemi 200-C) e análise granulométrica por meio de peneiramento a úmido nas malhas 0,6; 0,5; 0,3; 0,212; 0,15; 0,106; 0,075; 0,045  $\mu\text{m}$ .

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise feita por Fluorescência de Raio X (FRX), cujo resultado está apresentado na Tabela 1, pode-se observar que a amostra utilizada no presente trabalho, não beneficiada, não é apropriada para o uso em indústrias de cerâmica, visto que, a mesma possui uma alta porcentagem de óxido de ferro (3,8%), se comparada com as limitações aceitas por essas indústrias alvo ( $> 1\%$ ).

Tabela 1 - Análise de FRX da amostra de cabeça.

Elemento	Alimentação (%)
$\text{SiO}_2$	55,60
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,10

K <sub>2</sub> O	8,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,00
Na <sub>2</sub> O	8,30

\*PF= perda ao fogo

A Figura 1 ilustra a imagem de Microscopia óptica do foiaíto. Observa-se a presença de partículas brancas, provavelmente feldspáticas, e partículas pretas ou amareladas, as quais podem ser portadoras do elemento ferro.

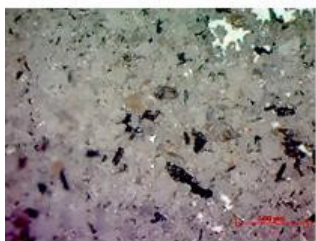


Figura 1 – Imagens de Microscopia óptica do foiaíto.

Por meio da difração de raios-X determinou-se a presença dos seguintes minerais: ortoclásio (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), nefelina (KNa<sub>3</sub>(AlSiO<sub>4</sub>)), analcima (Na(AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)(H<sub>2</sub>O)), feldspato potássico (K(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)), labradorita ((Ca,Na)(Si,Al)<sub>4</sub>O<sub>8</sub>), egirina ((Na,Ca)Fe<sup>+3</sup>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), sodalita (Na<sub>8</sub>(AlSiO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub>), forsterita (Mg<sub>2</sub>Si<sub>5</sub>Al<sub>4</sub>O). Dessa forma, o ferro parece estar presente na forma de silicato ((Na,Ca)Fe<sup>+3</sup>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>).

De acordo com a distribuição granulométrica representada na Figura 2, pode-se dizer que a amostra é adequada ao processo de concentração uma vez que 99,92% das partículas apresentam tamanho inferior a 3×10<sup>-11</sup>m.

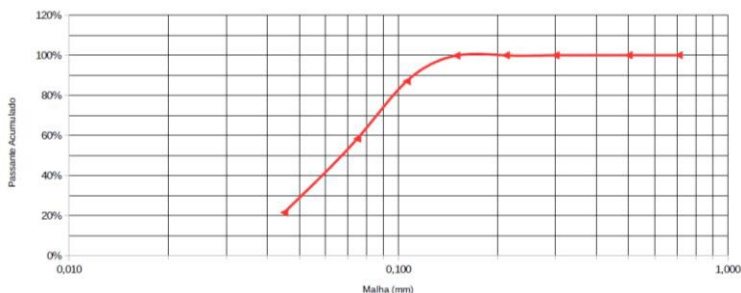


Figura 2 – Curva de distribuição granulométrica do foiaíto.

Os resultados dos testes de seleção de reagentes estão apresentados na Figura 3. O desempenho da concentração foi avaliado com base na recuperação em massa do concentrado de feldspato e na porcentagem de redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

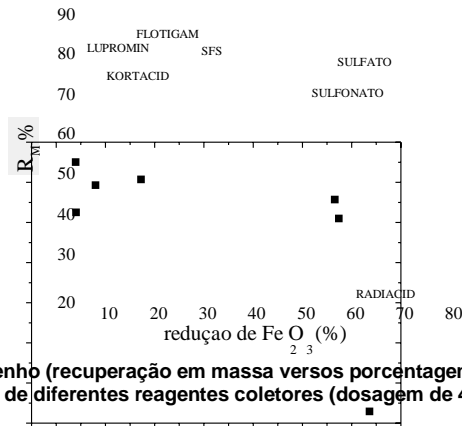


Figura 3 - Desempenho (recuperação em massa versus porcentagem de redução de ferro) da flotação de diferentes reagentes coletores (dosagem de 400 g/t e pH 4).

Os reagentes que apresentaram o maior desempenho foram o sulfato e o sulfonato, uma vez que eles foram os mais eficientes na redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com recuperação em massa do concentrado final superior a 70% (Figura 3). O ácido graxo RADIACID, no entanto, foi o reagente que ocasionou maior redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (74%) em detrimento de uma recuperação em massa significativamente baixa (< 25%). Porém o reagente foi selecionado, juntamente com o sulfato e o sulfonato, para ser aplicado nos ensaios de variação de dosagem, pois a perda de massa pode ser aprimorada com variações em parâmetros termodinâmicos (como dosagem e pH) ou hidrodinâmicos (como rotação e porcentagem de sólidos).

Após a seleção dos reagentes, os mesmos foram empregados em ensaios de flotação com variação de dosagem e pH, cujos resultados estão apresentados nas Figura 4 a 7.

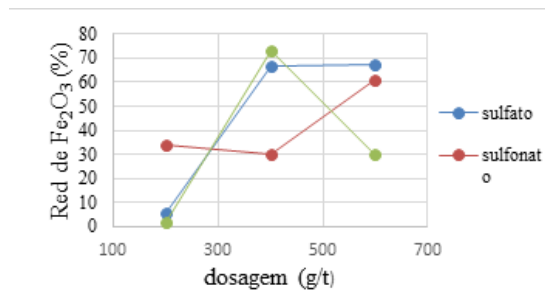


Figura 4 - Desempenho da redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em diferentes dosagens dos reagentes coletores.

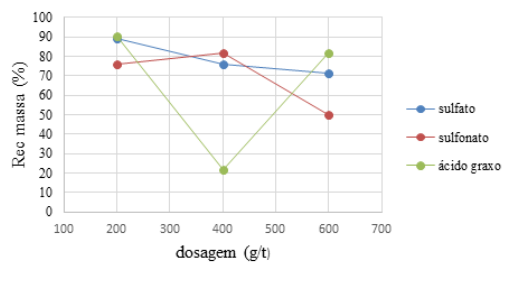


Figura 5 – Desempenho da recuperação em massa em diferentes dosagens dos reagentes coletores.

Com o aumento da dosagem de coletor de 200 para 400 g/t houve aumento significativo da redução de ferro (Figura 4) e uma diminuição da recuperação em massa (Figura 5) para os reagentes sulfato e ácido graxo. O aumento de dosagem de 400 para 600 g/t não influenciou o desempenho do sulfato, diminuiu o desempenho do ácido graxo e aumentou a redução de ferro pelo sulfonato com uma recuperação em massa inferior a 60% (Figuras 4 e 5).

Com relação à influência do pH no desempenho de flotação observa-se nas Figuras 6 e 7 que para todos os agentes coletores a porcentagem de redução de ferro aumenta com o aumento do pH de 3 para 4, e conseqüentemente a recuperação em massa diminui. Um posterior aumento de pH de 4 para 5 causa aumento de desempenho de concentração, apenas para o reagente sulfonato, enquanto a redução de ferro ocasionada pelos reagentes sulfato e ácido graxo foi reduzida. Embora a redução de ferro pelo agente coletor sulfonato seja elevada (70,26%) em pH 5,0, a baixa recuperação em massa (45,84%) não justifica a seleção dessa rota de flotação.

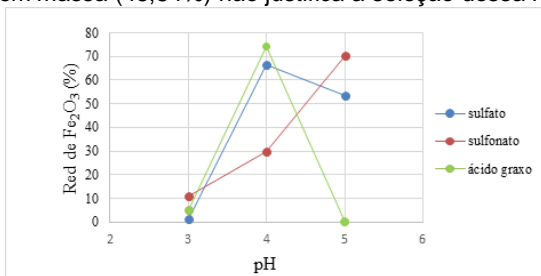


Figura 6 – Desempenho da redução de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em diferentes pHs

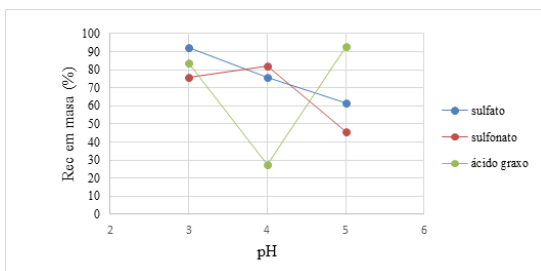


Figura 7 – Desempenho da recuperação em massa em diferentes pHs.

De acordo com a análise da influência do pH na flotação aniônica de minerais portadores de ferro, o pH mais adequado para a flotação é 4. Na dosagem de 400 g/t e pH 4 o reagente que apresentou maior desempenho foi o sulfato: redução de ferro de 66,54% e recuperação em massa de 75,73%. Nessa condição o teor de  $Fe_2O_3$  do concentrado final foi de 1,12% partindo-se de um teor calculado (por meio de balanço de massa) da alimentação de 3,35%. Este concentrado tem teor de  $Fe_2O_3$  muito próximo ao exigido pelo processo de produção de cerâmica branca (< 1%). Sendo assim, pequenos ajustes na estratégia proposta seriam suficientes para atender-se a especificação de mercado desejada.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os coletores de minerais portadores de ferro do tipo sulfato, sulfonato e ácido graxo apresentaram maior desempenho na remoção de minerais portadores de ferro.

Os valores de dosagem e pH dos ensaios de flotação que foram mais satisfatórios para a redução de teor de  $Fe_2O_3$  foram 400 g/t e 4, respectivamente. Nestas condições o coletor que apresentou o maior desempenho de concentração foi o sulfato MDB908 da empresa Akzo Nobel. Como resultado, a porcentagem de redução de ferro foi de 66,54% com recuperação em massa de 75,73% e o teor de  $Fe_2O_3$  do concentrado final foi de 1,12% partindo-se de um teor de alimentação de 3,35%. O teor de  $Fe_2O_3$  do concentrado é muito similar ao especificado para a produção de cerâmica branca (< 1%).

A análise da influência do pH na flotação revelou a divisão dos reagentes em dois grupos com comportamentos diferentes: sulfato e ácido graxo ou o sulfonato. Este fenômeno pode estar relacionado com o mecanismo de interação entre os diferentes reagentes testados e a superfície dos minerais portadores de ferro.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores são gratos a Mineração Curimbaba pelo fornecimento das amostras e execução das análises químicas e à FAPEMIG por fomentar com bolsa de Iniciação Científica o primeiro autor.

#### **REFERÊNCIAS**

##### **Artigos em Periódicos:**

MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Importância de estudos fisiográficos no planejamento municipal: exemplo do Jardim Botânico de Poços de Caldas, MG. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 24, n. 3, p.255-266, 2005. Mensal. UNESP.

##### **5.2. Conferências, Simpósios e Congressos**

AZEVEDO FILHO, J. B.; SOUZA, R. F.; MELO, J. V.; PAULO, J. B. A. Avaliação da eficiência na flotação de quartzo e feldspato potássico utilizando planejamento fatorial. Anais do Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa, Goiânia, v. 2, p. 53-60, 2013.

BARBATO, C. N.; ALMEIDA, R. N.; NÓBREGA, M. C. S.; BERTOLINO, L. C.; LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; OGASAWARA, T. Beneficiamento de feldspato pegmatítico para obtenção de vitrocerâmica reforçadas com leucita. Anais do XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa, Ouro Preto, v. 1, p. 693-700, 2007.

BRAGA, P. F. A.; SAMPAIO, J. A.; LEAL FILHO, L. S. Estudos de beneficiamento de feldspato em rochas alcalinas. Anais do Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro, p. 509-519, 1998.

JERÔNIMO, G. C. C.; GONÇALVES, C. C.; DEL ROVERI, C.; BERGERMAN, M. G.; NAVARRO, F. C. Caracterização tecnológica de nefelinasienitos XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa (XIV ENTMMME), Goiânia, p. 257-264-656, 2013.

### **5.3. Livros**

ALMADA, M. M.; VLCEK, T. F. Pilhas de homogeneização: Uma nova visão para feldspato cerâmico. Cerâmica Industrial, v. 5, n. 4, p. 31-34, 2000.

### **5.4. Homepage**

PEREIRA JUNIOR, R. F., Sumário Mineral 2013: Feldspato. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2013.

### **5.5. Teses e dissertações**

ALBERTI, H. L. C. Caracterização fisiográfica e avaliação hidrológica na bacia do Ribeirão das Antas, Planalto de Poços de Caldas, MG. 2008. 114 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Geologia e Recursos Naturais, Departamento de Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Cap. 1. Disponível em:  
<<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000446684&fd=y>>. Acesso em: 01 mar. 2014.