

EMPREGO DA FÉCULA DE MANDIOCA COMO DEPRESSOR DE SÍLICA E CARBONATOS NA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO FOSFÁTICO

Thaíla Ravena Santana Carvalho¹; Beatriz Pinheiro Dias²; Luiza Zeneide Santana Requião de Sousa³; Amanda Barreto Soares⁴; Luan do Nascimento de Moura⁵; Victor Teixeira da Silva Aragão⁶.

¹ Bolsista; EMBRAPIL; thailaravena-c@hotmail.com

² Bolsista; EMBRAPIL; beatriz.dias@fbter.org.br

³ SENAI CIMATEC; Salvador - BA; luiza.souza@fieb.org.br

⁴ SENAI CIMATEC; Salvador - BA; amanda.soares@fieb.org.br

⁵ SENAI CIMATEC; Salvador - BA; luan.moura@fieb.org.br

⁶ SENAI CIMATEC; Salvador - BA; victor.aragao@fieb.org.br

RESUMO

A demanda por tecnologias de processamento de rocha fosfática no Brasil, que garantam uma boa recuperação e reaproveitamento das reservas minerais, tem se tornado alvo de diversas pesquisas, impulsionada principalmente pelo crescimento contínuo do comércio de fertilizantes. Aliados a isso, a busca por reagentes seletivos na flotação da apatita se tornou um campo promissor, uma vez que a mineralogia dos depósitos fosfáticos varia de acordo com a sua localização. A utilização do depressor fécula de mandioca, não comumente empregado em circuitos de flotação no Brasil, combinado com um coletor a base de TOFA alquilglicinato (Atrac 2600), foi testada em ensaios de flotação em escala de bancada a fim de avaliar o efeito desses reagentes na remoção de contaminantes compostos por minerais silicatos ferromagnesianos e carbonatos. Os resultados obtidos indicaram que a combinação é promissora, alcançando um teor de 27% de P_2O_5 , com possibilidade para ser aplicado em escala industrial.

PALAVRAS-CHAVE: Fosfato; Beneficiamento; Mineração.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, emprega-se a flotação como principal método de concentração de apatita contida em depósitos fosfáticos com ganga sílico-carbonatado. O baixo teor de P_2O_5 presente nas reservas nacionais tem impulsionado a busca por reagentes seletivos que proporcionem o melhor aproveitamento possível da rocha processada. Alguns trabalhos abordaram diferentes combinações de reagentes com o intuito de alcançar boas recuperações de apatita, como por exemplo, pode-se empregar uma sequência de flotação direta seguida de flotação reversa da apatita usando oleato de sódio como coletor de carbonatos e ácido fosfórico e cítrico como depressores.¹

No Brasil, os circuitos de flotação geralmente empregam o amido de milho como principal depressor de ganga contendo minerais carbonáticos (calcita, dolomita) e ferro.^{2,3} No entanto, é comum deparar-se com alguns desafios relacionados a seletividade entre apatita, carbonatos, devido à similaridade das características superficiais desses minerais, o que pode resultar em uma interação sem seletividade durante a flotação. Além disso, é frequente encontrar nos depósitos fosfáticos brasileiros, a presença desses minerais associados a silicatos ferromagnesianos, o que torna ainda mais complexa a separação eficiente da apatita e consequente recuperação de P_2O_5 .

Nesse contexto, o presente estudo visa investigar a eficácia da combinação do depressor fécula de mandioca com um coletor sintético industrial (Atrac 2600), com o objetivo de avaliar sua capacidade de remover contaminantes e concentrar apatita. Com esse objetivo, foram utilizadas amostras de rocha fresca de um depósito de fosfato sílico-carbonatado brasileiro.

2. METODOLOGIA

As amostras foram cominuídas e classificadas a uma granulometria inferior a 150 mesh, adequando-as para posteriormente serem submetidas aos ensaios de flotação em etapas *rougher* e *cleaner*. A preparação dos reagentes utilizados (fécula de mandioca e coletor), seguiram as recomendações dos fabricantes e orientações contidas nos trabalhos que também investigam o uso de ambos em circuitos de flotação de apatita. Os ensaios de flotação foram realizados no laboratório de Tratamento de Minérios do SENAI CIMATEC Park, em célula de flotação mecânica com auxílio de cubas de acrílico com capacidades para 2,0 e 1,4 kg/batelada. Os parâmetros de flotação e as dosagens dos reagentes empregados nos ensaios foram definidos com base nos resultados previamente obtidos em testes exploratórios e no levantamento de estado da arte.

Para os testes de flotação do estágio *rougher*, foram fixadas dosagens para todos os ensaios, sendo considerado para depressor fécula de mandioca (400 g/t) e para o coletor Atrac 2600 (300 g/t). No entanto, para os ensaios de flotação do estágio *cleaner*, foi adotada a metodologia experimental que seguiu a técnica de planejamento de experimentos, com fatorial 2^k ($k=2$), onde as variáveis independentes foram dosagem de coletor e dosagem de depressor, com a adição de 3 pontos centrais, totalizando assim 7 ensaios (Tabela 1). A alíquota que alimentou o estágio de flotação e os concentrados de cada ensaio foram secos em estufa a aproximadamente 100 °C e seguiram para caracterização por Fluorescência de Raios X (FRX).

Tabela 1 – Matriz do planejamento fatorial para os ensaios de flotação do estágio *cleaner*.

Ensaio	Código da unidade		Unidade natural	
	Níveis		Dosagem Depressor (g/t)	Dosagem Coletor (g/t)
1	+	+	300	200
2	-	-	100	100
3	+	-	300	100
4	-	+	100	200
5	0	0	200	150
6	0	0	200	150
7	0	0	200	150

Fonte: SENAI CIMATEC (2023)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de caracterização por meio de FRX para as amostras do depósito fosfático, apontou tratar de uma rocha carbonatítica com predominância de elementos como CaO (24,97%), SiO₂ (23,69%), Fe₂O₃ (15,37%), MgO (12,72%) e P₂O₅ (10,23%).

Os ensaios de flotação foram realizados a fim de aplicar os procedimentos experimentais propostos e avaliar a eficiência do uso da combinação da fécula de mandioca como agente depressor de silicatos e carbonatos. Após a análise dos ensaios de flotação *rougher*, foi verificado que houve considerável seletividade entre apatita e contaminantes neste estágio, onde os parâmetros e dosagens dos reagentes foram fixados. Foi promovido um significativo ganho de seletividade entre a fluorapatita e minerais de ganga, enriquecendo o teor de P₂O₅ que partiu de 11,69% após a etapa de classificação para 20,93% ao final da flotação *rougher*. Logo, o concentrado deste estágio alimentou o seguinte, que consistiu em flotações *cleaners* variando-se as dosagens dos reagentes, conforme planejamento experimental apresentado.

Nos ensaios de flotação *cleaner*, houve significativa recuperação de apatita, remoção de silicatos ferromagnesianos e carbonatos. O melhor teste consistiu no ensaio 1 (Tabela 2), onde foi alcançado um teor de 27,40% de P₂O₅ ao se utilizar as dosagens máximas de fécula de mandioca (300 g/t) e coletor (200 g/t).

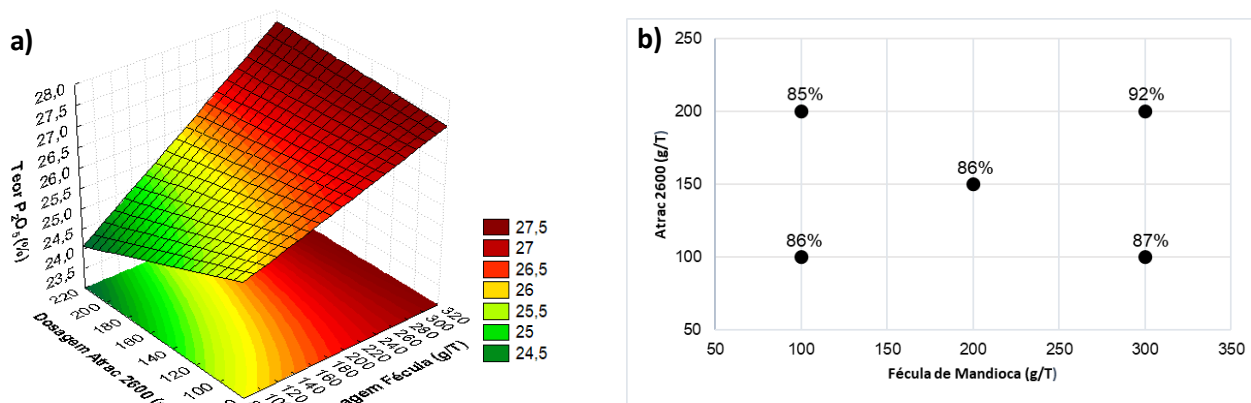
Tabela 2 – Resultados da análise química dos concentrados da etapa de flotação *cleaner*.

Ensaio	P ₂ O ₅ (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Outros (%)
1	27,40	1,66	1,45	62,03	2,44	0,24	4,78
2	25,71	3,03	2,47	59,50	3,76	0,41	5,12
3	27,29	2,83	2,01	59,24	2,94	0,41	5,28
4	24,59	3,30	2,86	59,40	4,06	0,46	5,33
5	24,36	3,02	2,59	60,31	3,68	0,42	5,62
6	24,59	3,00	2,46	60,79	3,57	0,39	5,20
7	24,26	4,29	3,25	57,82	4,29	0,56	5,53

Fonte: SENAI CIMATEC (2023)

Baseado nos resultados de FRX referentes aos concentrados obtidos ao final da flotação, foi realizada análise estatística dos resultados do planejamento experimental fatorial, sendo avaliado a influência dos parâmetros operacionais nas variáveis de resposta, a representação dessa influência pode ser analisada por meio de superfícies de resposta em três dimensões (Figura 1a). Observou-se que independentemente da dosagem do coletor testada, o aumento no P₂O₅ foi influenciado fortemente pelo aumento na dosagem de fécula de mandioca combinada, o que pode ser visto pelo aumento crescente na superfície ao gradualmente aumentar-se a dosagem do depressor. Vale salientar que não só houve aumento no teor de P₂O₅, mas a condição de máxima dosagem de coletor e depressor também promoveu aumento na remoção de SiO₂, em torno de 92% (Figura 1b).

Figura 1 – a) Superfície de resposta representando os efeitos combinados das dosagens de coletor e depressor no teor de P_2O_5 . b) Influência das dosagens de fécula de mandioca e coletor na remoção de SiO_2 .



Fonte: SENAI CIMATEC (2023)

De maneira geral, os testes de flotação conseguiram reduzir cerca de 92% de SiO_2 , 80% de MgO e 89% de Fe_2O_3 , representando resultados satisfatórios. Essa eficiência pode ser atribuída ao efeito depressor da fécula de mandioca sobre minerais silicáticos que contém ferro e magnésio em suas composições, estando em conformidade com outros estudos desenvolvidos por outros autores que também confirmaram a eficácia do uso da fécula em ensaios de flotação aniônica direta usando fosfato sílico-carbonatado brasileiro.^{4,5}

Vale salientar, que a boa seletividade pode ser dada em virtude do alto teor de amilopectina (83%), presente na fécula de mandioca não modificada, quando comparada com a do amido de milho (74% amilopectina). Durante os testes exploratórios e preparação das soluções, notou-se que a viscosidade da solução de fécula de mandioca gelatinizada era maior que a do amido de milho, depressor comumente utilizado nos circuitos de flotação hoje em dia, o que pode indicar assim um alto peso molecular e efetiva ação depressora, conforme também observado em outros estudos.⁶

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados e análise estatística dos dados, pode-se afirmar que a combinação do coletor a base de TOFA alquilglicinato (Atrac 2600) juntamente com a fécula de mandioca, possibilitou um concentrado final de apatita com considerável remoção dos contaminantes SiO_2 , Fe_2O_3 e MgO , sinalizando que as separações apatita/silicatos e apatita/carbonatos foram adequadas para as dosagens testadas.

Agradecimentos

A EMBRAPIL pelo apoio e fomento ao projeto, ao SENAI CIMATEC por viabilizar a condução dos ensaios, a CMOC (*China Molybdenum Company Limited*) e a Nouryon.

5. REFERÊNCIAS

- PAIVA, P.R.P., MONTE, M.B.M., GASPARGAR, J.C. **Concentração de apatita proveniente de rochas de filiação carbonatítica**. Desvendando a Engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade, Vol. 2, 2021.
- SOUZA, D.N. **Avaliação do uso da farinha e amido de milho como depressores na flotação de minerais**. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal de Goiás. Catalão, 2019.
- GUIMARÃES, R.C., ARAUJO, A.C., PERES, A.E.C. **Reagents in igneous phosphate ores Flotation**. Minerals Engineering, Vol. 18, n. 2, p. 199-204, 2005.
- SOUZA, A.L., ALBUQUERQUE, R.O., LAMEIRAS, F.S., PRAES, P.E., PERES, A.E.C. **Use of depressants in the direct Flotation of a silicate-carbonate phosphate ore**. Revista Escola de Minas, Vol. 67, n. 2, p. 191-196, 2014.
- TEIXEIRA, H. G., PAULA, P. T., SAITO, M., SIMOÕES, F. DE F., GOMES, L. DA S., COSTA, L. L. A. C., RODRIGUES, J. S. M. **Comparação do amido de milho, fécula de mandioca, hexametáfosfato de sódio e silicato de sódio como depressores para flotação direta de apatita**. In: 20º Simpósio De Mineração. Anais. São Paulo: Edgard Blucher, Ltda, v. 20 (20), p. 122 – 128, 2019.
- ARAUJO, A. C.; VIANA, P. R. M.; PERES, A. E. C. **Reagents in iron ores flotation**. Minerals Engineering. Vol. 18, n. 2, p. 219-224, 2005.