

# ESTUDOS DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO BAUXÍTICO POR FLOTAÇÃO

## BAUXITE ORE CONCENTRATION STUDIES BY FLOTATION

**Bárbara Monsores Simioni**

Aluna de Graduação em Processos Químicos, 6º período, Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)  
Período PIBITI/CETEM: julho de 2023 a julho de 2024  
barbara.monsores@outlook.com

**Elves Matiolo**

Orientador, Engenheiro de Minas, D.Sc.  
ematiolo@cetem.gov.br

**Thais Oliveira de Siqueira**

Coorientadora, Engenheira Química, B.Sc.  
tsiqueira@cetem.gov.br

### RESUMO

O beneficiamento da bauxita é realizado, geralmente, por meio de operações unitárias, como cominuição, cicloneamento, separação magnética, entre outras. Entretanto, estudos de flotação têm sido realizados como uma alternativa na produção de concentrados de alumínio. Assim, esse trabalho teve por objetivo avaliar a concentração de alumínio por meio da flotação de caolinita (sílica reativa) na configuração reversa a fim de atingir as seguintes especificações técnicas de processo: teor de SiO<sub>2</sub> reativa (re) < 4%, teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aproveitável (ap) > 50% e razão Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> > 10. Após os testes realizados, verificou-se que as recuperações metalúrgicas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ap variaram entre 51,9% e 95,7% para o Flotador 16939, e entre 72,2% e 97,4% para o Flotador 5530. O Flotador 16939 apresentou razões de Al/Si, que variaram entre 6,9 e 12, enquanto o Flotador 5530 atingiu valores de 6,7 a 9,8. O ajuste de pH 7 apresentou o melhor desempenho metalúrgico comparado aos outros valores de pH, alcançando um teor de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ap entre 41,9% e 47,9% com teor de SiO<sub>2</sub> re entre 4% e 6,3% para o Flotador 16939, bem como teores de 43,1% a 46,1% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ap e teor de SiO<sub>2</sub> re entre 4,4% e 6,5% para o Flotador 5530. Apesar de atingir as especificações de SiO<sub>2</sub> re e a razão Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub>, as perdas de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ap foram elevadas, demonstrando que a flotação não é uma técnica eficiente na concentração de alumínio, conforme já é corroborado pela Literatura devido à dificuldade intrínseca à flotabilidade de minerais como a caolinita.

**Palavras-chave:** bauxita, alumínio, flotação.

### ABSTRACT

Bauxite is generally processed using unit operations such as comminution, cycloning, magnetic separation, among others. However, flotation studies have been carried out as an alternative in the production of aluminum concentrates. Therefore, the aim of this work was to evaluate the concentration of aluminum through the flotation of kaolinite (reactive silica) in the reverse configuration in order to achieve the following technical process specifications: reactive SiO<sub>2</sub> content (re) < 4%, usable Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content (ap) > 50% and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> ratio > 10. After the tests carried out, it was found that the metallurgical recoveries of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ap varied between 51.9% and 95.7% for Flotador 16939, and between 72.2% and 97.4% for Flotador 5530. Flotador 16939 showed Al/Si ratios ranging from 6.9 to 12, while Flotador 5530 reached values of 6.7 to 9.8. The pH 7 setting showed the best metallurgical performance compared to the other pH values, achieving an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ap content of between 41.9% and 47.9% with a SiO<sub>2</sub> re content of between

4% and 6.3% for Flotador 16939, as well as  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap contents of between 43.1% and 46.1% and a  $\text{SiO}_2$  re content of between 4.4% and 6.5% for Flotador 5530. Despite reaching the  $\text{SiO}_2$  re specifications and the  $\text{Al}_2\text{O}_3$  / $\text{SiO}_2$  ratio, the losses of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap were high, demonstrating that flotation is not an efficient technique for concentrating aluminum, as is already corroborated in the literature due to the intrinsic difficulty in the flotability of kaolinite.

**Keywords:** bauxite, aluminum, flotation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos globais de bauxita estão estimados entre 55 e 75 bilhões de toneladas, sendo o Brasil detentor de 2.700.000 reservas de bauxita (USGS, 2023). No primeiro trimestre de 2024, o minério de bauxita obteve uma participação de 1,9% no setor mineral, o que equivale a 1,3 bilhões de reais arrecadados. Apesar dessa participação não ser tão significativa, as exportações de bauxita aumentaram cerca de 40,4% em relação a 2023 (IBRAM, 2024). Anualmente, a produção de bauxita atinge cerca de 120 milhões de toneladas, no qual 95% dessa produção, aproximadamente, é destinada à obtenção de alumínio metálico, resultando em um produto metálico final de 40 milhões de toneladas por ano (MÁRTIRES, 2001).

O alumínio metálico é obtido a partir do minério de bauxita beneficiada através do processo Bayer, seguido do processo Hall-Héroult. No entanto, para que a produção de alumínio seja economicamente viável, é necessário que o minério apresente entre 50 e 55% de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e um teor mínimo de 30% de alumínio aproveitável (SAMPAIO; ANDRADE; DUTRA, 2005). Um fator importante a ser considerado no beneficiamento da bauxita metalúrgica é a razão de  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  (Al/Si), a qual deve ser superior a 10, tendo em vista que essa relação afeta diretamente o processo Bayer. Razões de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  abaixo de 10 requerem a sinterização do minério previamente ao processo Bayer, resultando assim em um alto consumo de energia e, conseqüentemente, aumentando os custos da produção (MASSOLA, 2008). No Brasil, o beneficiamento de bauxita ocorre por meio de etapas de adequação de granulometria e redução das lamas, como britagem, escrubagem, classificação, separação densitária e magnética, filtração (GANCEV, 2009).

Nesse contexto, pesquisadores têm estudado a possibilidade de implementar a flotação como uma alternativa aos métodos tradicionais de concentração de bauxita. A ausência da flotação direta das bauxitas na prática industrial é justificada por fatores como a adsorção de coletores no concentrado que afetam o processo Bayer e elevado custo para atingir maiores recuperações (HU et al., 2003). Além disso, o uso da flotação reversa da bauxita não é aplicado pela dificuldade de flotabilidade dos aluminossilicatos no processo, como a caolinita, um dos principais minerais de ganga presentes na bauxita. Tal fato se deve ao caráter hidrofílico do mineral, constatado por Li et al., (2020) pela medição do ângulo de contato das suas partículas com as bolhas. Dessa forma, no presente estudo foi avaliado a viabilidade técnica do uso da flotação reversa de caolinita como um método de concentração.

## 2. OBJETIVOS

Esse estudo tem como finalidade a avaliação da viabilidade técnica de concentração do minério bauxítico por meio da flotação de caolinita na configuração reversa objetivando atingir as especificações técnicas previamente determinadas e listadas a seguir:

- Teor de sílica reativa ( $\text{SiO}_2$  re) abaixo de 4%;
- Teor de alumina aproveitável ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap) acima de 50%;
- Razão  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap/ $\text{SiO}_2$  re (Al/Si) acima de 10.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Preparação da Amostra

Foram recebidos 1200 kg de amostra na forma de polpa acondicionada em 48 bombonas de 15 litros, proveniente de uma planta de concentração de minério bauxítico, localizada na região amazônica. Previamente aos ensaios de flotação, a amostra passou pelas seguintes etapas:

- Caracterização física da amostra da alimentação da flotação (determinações da porcentagem de sólidos da polpa, da densidade por meio da picnometria a gás hélio e da distribuição granulométrica por difração a laser e peneiramento a úmido);
- Caracterização química da amostra do minério bauxítico;
- Caracterização mineralógica por Difração de Raios X (DRX) através do método *Rietveld*.

#### 3.2. Ensaios de Flotação

Foi avaliado o efeito do tipo e dosagem de coletor e também o efeito do pH. Foram avaliados os coletores Flotador 16939 e Flotador 5530 na flotação de caulinita em escala de bancada. Utilizou-se uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 5% para ajustar o pH para três valores diferentes (pH 7, 8 e 9). Os ensaios de flotação foram realizados em escala de bancada com uso de uma célula mecânica convencional da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência. O circuito consistiu apenas de uma etapa *rougher*, utilizando uma cuba de 3L. A porcentagem de sólidos no condicionamento foi de 35% e, posteriormente, diluiu-se a polpa para 20% na flotação. O ar foi autoaspirado e a vazão foi de 3,6 L/min. O tempo de condicionamento do coletor foi de 3 minutos. A rotação no condicionamento foi de 750 RPM, enquanto a da flotação foi de 1.500 RPM. Ao final dos testes, os produtos gerados na flotação, o concentrado (fração afundada) e o rejeito (fração coletada na espuma) foram filtrados, pesados e enviados para a análise química.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

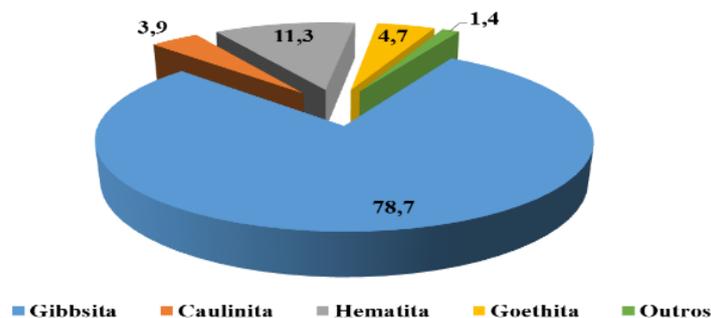
#### 4.1. Caracterização da Amostra

A amostra da alimentação da flotação foi caracterizada quanto a sua composição química através do método de Fluorescência de Raios X (FRX), a qual está representada na Tabela 1, destacando-se os teores de  $Al_2O_3$  ap de 42,05% e de  $SiO_2$  re de 7,0%.

**Tabela 1.** Composição química da amostra alimentação da flotação.

Teores (%)					
$Al_2O_3$ ap	$SiO_2$ re	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$SiO_2$	$TiO_2$
42,05	7,0	49,35	11,7	7,9	3,8

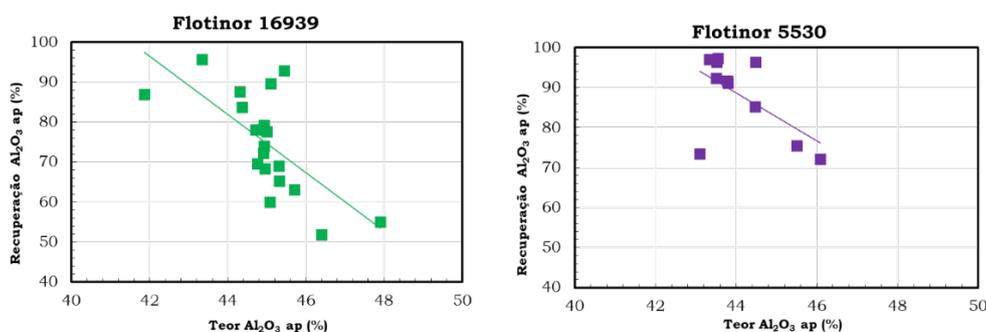
Em relação à distribuição granulométrica, o  $P_{80}$  apresentado foi de 109  $\mu m$  e 29% da amostra é passante em 38 $\mu m$ . A Figura 1 apresenta a composição mineralógica da amostra cabeça, determinada através do DRX (*Refinamento Rietveld*), que é composta por 78,7% de gibbsita ( $Al(OH)_3$ ), principal mineral portador do alumínio. Os demais componentes são a hematita com 11,3%, 4,7% de goethita, 3,9% de caulinita e 1,4% de outros minerais (zirconita, quartzo e anastásio).



**Figura 1:** Caracterização mineralógica da amostra cabeça.

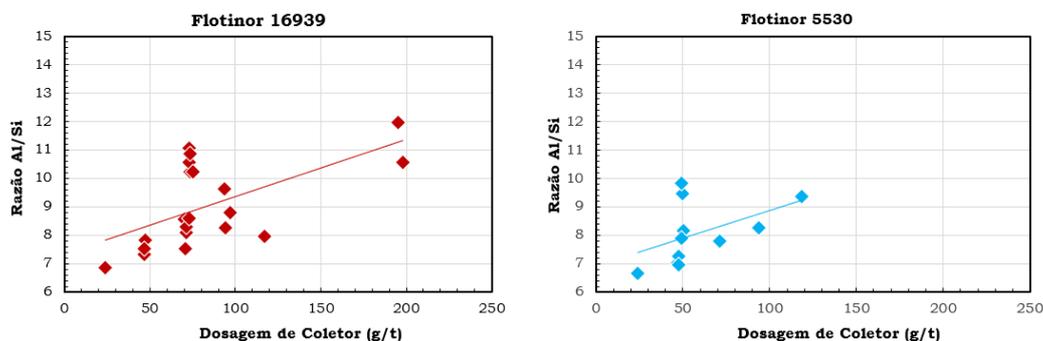
## 4.2. Ensaios de Flotação

A Figura 2 apresenta as curvas do teor versus recuperação de  $Al_2O_3$  ap para cada coletor. O Flotador 16939 apresentou um teor médio  $Al_2O_3$  ap de 45% com recuperações metalúrgicas que variaram entre 51,9% e 95,7%. O Flotador 5530, por sua vez, apresentou um teor médio de  $Al_2O_3$  ap de 44,1% e recuperações que variaram entre 72,2% e 97,4%.



**Figura 2:** Curva teor versus recuperação de  $Al_2O_3$  ap.

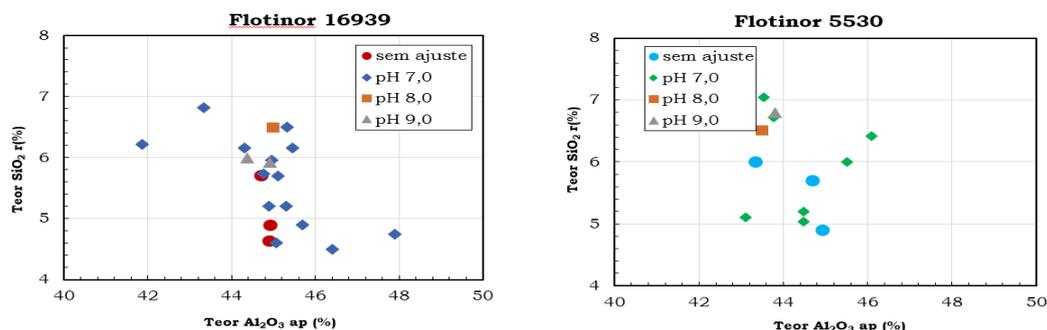
Nos ensaios de flotação foram utilizadas dosagens de Flotador 16939 de 25 a 200 g/t e Flotador 5530 de 25 a 125 g/t. A Figura 3 apresenta o efeito da dosagem de coletor sobre a razão de Al/Si no afundado. Os resultados indicaram que o emprego do Flotador 16939 resultou em razões maiores de Al/Si, que variaram entre 6,9 e 12, enquanto o Flotador 5530 atingiu valores de 6,7 a 9,8.



**Figura 3:** Efeito da dosagem dos coletores sobre a razão Al/Si no afundado.

A Figura 4 exibe as curvas do teor de  $Al_2O_3$  ap versus teor de  $SiO_2$  re, considerando diferentes valores de pH. Os testes com o ajuste de pH para o valor 7,0 apresentaram um melhor desempenho metalúrgico, uma vez que esse ajuste possibilitou alcançar teores mais altos de  $Al_2O_3$  ap e menores valores do contaminante  $SiO_2$  re, em geral, para ambos os coletores usados.

Para o Flotador 16939, o teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap variou entre 41,9% e 47,9% com teor de  $\text{SiO}_2$  re entre 4% e 6,3%. Já o uso do Flotador 5530 resultou em teores de 43,1% a 46,1% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap e teor de  $\text{SiO}_2$  re entre 4,4% e 6,5%.



**Figura 4:** Curva teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap versus teor de  $\text{SiO}_2$  em cada ajuste de pH.

## 5. CONCLUSÃO

Mediante os resultados obtidos, observou-se que os dois coletores apresentaram teores próximos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap, porém o Flotador 5530 atingiu uma maior recuperação metalúrgica (97,4%) quando comparado ao Flotador 16939 (95,75%). O Flotador 5530 não atingiu a especificação técnica da razão de Al/Si acima de 10, objetivo já alcançado com o uso do Flotador 16939. Apesar da maior razão de Al/Si (12) ser atingida na condição de 200 g/t do Flotador 16939, a dosagem definida como ótima foi de 75 g/t, pois com essa dosagem foi possível atingir a razão Al/Si acima de 10, utilizando uma quantidade menor de coletor. Os testes realizados com o ajuste de pH 7 apresentaram um melhor desempenho metalúrgico dentre todos os ajustes de pH testados, atingindo valores máximos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap tanto com o Flotador 16939 quanto com o 5530 (47,9% e 46,1% respectivamente) e valores mais baixos de  $\text{SiO}_2$  re, 4,2% (Flotador 16939) e 5,9% Flotador (5530). Embora alguns ensaios de flotação tenham atingido a especificação técnica de  $\text{SiO}_2$  re, não foi possível obter um concentrado com teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap acima de 50%, além de uma recuperação de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ap consideravelmente baixa, o que inviabiliza a aplicação dessa tecnologia na concentração de alumínio em escala industrial. Tal fato pode ser justificado pela dificuldade inerente à flotabilidade da caolinita cuja superfície mineral possui caráter naturalmente hidrofílico, apresentando baixa probabilidade de adesão às bolhas de ar.

## 6. AGRADECIMENTOS

Minha eterna gratidão aos orientadores, Elves Matiolo e Thais Siqueira, pela assistência, pelo apoio e conhecimento fornecido. Agradeço ao CETEM pela estrutura. Sou grata ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por conceder a bolsa de iniciação tecnológica, a qual foi imprescindível para este trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GANCEV, RENATA KURUSU. Concentração de bauxita por flotação reversa. Universidade de São Paulo, 2009.

HU, Y.; X. LIU, X. e ZHENGHE, X. (2003). Role of cristal structure in flotation separation of diaspre from kaolinite, pyrophyllite and illite. Minerals Engineering, vol. 16, p. 219-227.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. Dados Ibram – Setor mineral - 1º tri de 2024. 2024. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acessado em: 05 jun 2024.

LI, Y.; XIA, W.; PENG, Y.; LI, Y.; XIE, G. Effect of ultrafine kaolinite particles on the flotation behavior of coking coal. Int J Coal Sci Technol 7, 623-632 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00304-5>.

MÁRTIRES, R.A.C. Alumínio. Balanço Mineral Mineral Brasileiro, DNPM. 2001.

MASSOLA, C.P. Flotação reversa da bauxita de Mirai, MG. 2008. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SAMPAIO, J.A.; ANDRADE, M.C.; DUTRA, A.J.B. Bauxita. In: LUZ, A.B. et al. Rochas e minerais industriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p. 279-303.

USGS. Mineral Commodity Summaries 2023. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey. 2023.