

ESTUDO DE REMOÇÃO DE SILICATOS VISANDO AUMENTO DA RECUPERAÇÃO DE PIROCLORO POR MEIO DA CONCENTRAÇÃO GRVÍTICA

STUDY ON THE REMOVAL OF SILICATES AIMING TO INCREASE THE RECOVERY OF PYROCHLORE THROUGH GRAVITY CONCENTRATION

Gabriel Dutra de Oliveira

Aluno de graduação da Química Industrial 9º período, UFRJ - Estagiário
gabrieldutr.o@eq.ufrj.br

Hudson Jean Bianchini Couto

Orientador, Engenheiro Químico, D.Sc.
hcouto@cetem.gov.br

Stéphanie Oliveira Moura e Sá

Coorientadora, Engenheira de Minas
ssa@cetem.gov.br

RESUMO

O circuito de concentração de pirocloro da planta BVFR da CMOC aplica operações de britagem, moagem, deslamagem, separação magnética, flotação de carbonatos, silicatos e por fim flotação de pirocloro. A recuperação global de Nb_2O_5 na BVFR varia entre 45%-50%, sendo de 70% na etapa de flotação de pirocloro. O objetivo geral deste trabalho foi aumentar a recuperação global de pirocloro avaliando a remoção de silicatos através da classificação por peneiramento e posterior concentração gravítica. A amostra da alimentação da flotação de pirocloro (AFP) da planta de concentração mineral da CMOC foi classificada por peneiramento em uma malha de 150 μm e a fração *oversize* ($>150 \mu m$) seguiu para a concentração gravítica utilizando a espiral concentradora e a mesa oscilatória. Na concentração gravítica foram avaliados os parâmetros de % sólidos e abertura das calhas coletoras sobre o desempenho metalúrgico de Nb_2O_5 e SiO_2 . O *oversize* da classificação alimentou a concentração gravítica com 0,5% de Nb_2O_5 e 31% de SiO_2 . Na espiral concentradora a melhor condição testada foi com 28% de sólidos, utilizando de 1/3 de partição do pesado na descarga da espiral, denominado “pesado tubo” alcançando um concentrado com teor de 3,5% e recuperação metalúrgica de 68,1% de Nb_2O_5 com teor e recuperação de SiO_2 de 14,5% e 4,9%, respectivamente. Já a melhor condição para a mesa oscilatória foi com uma partição de 1/3 a 1/2 denominado “fluxo pesado”, obtendo um concentrado com teor de 3,5% e recuperação de 69,1% de Nb_2O_5 com teor 14% de SiO_2 e recuperação metalúrgica de 6,3%. Estes resultados indicam que o minério retido em 150 μm é passível de concentração por concentração gravítica. Apesar dos resultados metalúrgicos similares a espiral concentradora é uma opção mais viável em termos operacionais, já que a mesma possui maior capacidade e melhor controle de processo, comparada à mesa oscilatória.

Palavras-chave: pirocloro, silicatos, classificação, espiral, mesa.

ABSTRACT

The pyrochlore concentration circuit at CMOC's BVFR plant includes crushing, grinding, desliming, magnetic separation, carbonate and silicate flotation and finally pyrochlore flotation. The global recovery of Nb_2O_5 in the BVFR varies between 45%-50%, being 70% in the pyrochlore flotation stage. The general objective of this work was to increase the overall recovery of pyrochlore by evaluating the removal of silicates through sieving classification and subsequent gravity concentration. The pyrochlore flotation (AFP) feed sample from the CMOC mineral concentration plant was classified by sieving through a 150 μm mesh and the oversize fraction ($>150 \mu m$) was sent to gravity concentration using the spiral concentrator and the shaking table. In the gravity concentration, the parameters of % solids and opening of the collector troughs were evaluated on the metallurgical performance of Nb_2O_5 and SiO_2 . The classification oversize fed the gravitational concentration with

0.5% Nb₂O₅ and 31% SiO₂. In the spiral concentrator, the best condition tested was with 28% solids, using 1/3 of the heavy partition in the spiral discharge, called "heavy tube", reaching a concentrate with a content of 3.5% and metallurgical recovery of 68.1 % of Nb₂O₅ with a content of 14.5% and recovery of 4.9% of SiO₂. The best condition for the shaking table was with a partition of 1/3 to 1/2 called "heavy flow", obtaining a concentrate with a content of 3.5% and recovery of 69.1% of Nb₂O₅ with a content of 14% and recovery of 6.3% of SiO₂. These results indicate that the ore retained in 150 µm is capable of concentration by gravity concentration. Despite similar metallurgical results, the spiral concentrator is a more viable option in operational terms, since it has greater capacity and better process control compared to the shaking table.

Keywords: pyrochlore, silicates, classification, spiral, table.

1. INTRODUÇÃO

O pirocloro é o principal mineral portador de nióbio (Na, Ca)₂ Nb₂O₆ (OH, F). As principais minas de exploração no Brasil, Araxá (MG) e Catalão (GO), são responsáveis por 90% da produção global de nióbio (CASTANHEIRA, et al, 2018; U.S Geological Survey, 2022). O processo de beneficiamento de minerais de nióbio envolve as operações de cominuição (britagem e moagem), deslamagem, separação magnética e concentração por flotação (ESPINOZA-GOMEZ et al, 1987).

A presença de diversas operações unitárias ocasiona baixas recuperações de Nb₂O₅ em grande parte das plantas industriais, em especial na planta industrial BVFR da CMOC, no qual a concentração de pirocloro por flotação é mais desafiadora devido à presença de minerais silicatados e carbonatados. A recuperação global de Nb₂O₅ na BVFR varia entre 45%-50%, com valor de 70% de recuperação de Nb₂O₅ na flotação de pirocloro. Em razão da baixa recuperação foi proposto um novo circuito na etapa de flotação de pirocloro, que consiste em classificar o material por peneiramento em uma malha de 150 µm, o passante segue para a etapa de flotação e o material retido passa para a etapa de concentração gravítica visando a remoção dos silicatos, devido à baixa recuperação metalúrgica de Nb₂O₅ encontrada em frações acima de 150 µm utilizando a tecnologia de flotação (LYNCH et al, 1981).

Para Lins (2004), a espiral concentradora e a mesa oscilatória são equipamentos gravíticos nos quais as partículas de diferentes densidades, tamanhos e formas podem ser separados por ação das forças de cisalhamento e centrífuga. O mineral pirocloro apresenta a densidade entre 4,45 – 4,9 g/cm³ e hábito octaédrico. Já os silicatos, em especial o quartzo e a mica, possui densidade entre 2,77 – 3,7 g/cm³ com hábito micáceo para as micas e hábito de cristais prismáticos com faces estriada para o quartzo (Dana, 1980; Castanheira, et al, 2018). Devido a estas características diferenciadoras entre os minerais será avaliado o desempenho metalúrgico em termos de teor e recuperação de Nb₂O₅ e SiO₂ para ambos os equipamentos. Contudo, devido ao baixo custo de manutenção, baixa demanda por espaço, aliado com uma maior capacidade de alimentação a espiral concentradora é a mais aplicada nas indústrias.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo aumentar a recuperação global de Nb₂O₅ através da remoção de silicatos presentes no minério de pirocloro da planta de concentração mineral da CMOC Brasil aplicando as operações unitárias de classificação e concentração gravítica (espiral e mesa oscilatória)

3. METODOLOGIA

3.1. Preparo de Amostra

Foram recebidas 3 bombonas em polpa com a alimentação da etapa de flotação de pirocloro (AFP) e 3 bombonas de água de processo para a realização dos ensaios de classificação e concentração gravítica (espiral e mesa vibratória). Para garantir a representatividade do material, a polpa de minério foi homogeneizada, com auxílio de um agitador mecânico e transferida para um tanque de agitação usando uma bomba de polpa vertical e ajustada para 30%*s*. Após esse processo, alíquotas representativas foram tomadas para realizar a caracterização física (granulometria por peneiramento) e

química (Fluorescência de Raios – X). Na Tabela 1 é possível verificar a caracterização física e química da amostra onde 95% do Nb₂O₅ está compreendido nas faixas granulométricas de 106 a 38 µm, com teores de 1% a 3,6% de Nb₂O₅, indicando uma maior concentração de Nb₂O₅ na fração abaixo de 150 µm. Quanto as principais gangas, o SiO₂ apresenta teor acima de 30% nas faixas granulométricas de 210 a 298 µm, constatando a maior presença de sílica na fração acima de 150 µm e o CaO apresentou teor médio de 14% na fração > 150 µm e valores próximos a 20% na fração < 150 µm. A amostra que alimentou a etapa de classificação apresentou teor médio de 2% de Nb₂O₅, 23% de SiO₂ e 20% de CaO.

Tabela 1: Distribuição granuloquímica da amostra AFP.

Tamanho Microns (µm)	Distribuição (%)		Teor (%)			Distribuição acumulada (%)		
	Retida	Acumulada	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	CaO
298	1,9		0,3	36,4	11,0	0,2	3,0	1,0
210	6,0		0,6	32,8	14,8	1,4	8,9	4,0
150	18,8		0,5	29,2	18,0	4,7	25,1	15,4
106	34,5		1,1	25,4	21,2	12,8	42,5	31,7
74	51,6		1,7	22,8	22,1	27,1	59,4	50,2
53	64,5		2,4	21,2	21,5	42,1	71,2	63,9
38	77,9		3,0	20,2	20,9	61,9	83,0	77,7
<38	100		3,6	17,7	20,6	100	100	100
Total			2,1	23,0	20,4			
150	18,8		0,5	31,0	17,0	4,7	25,1	15,4
< 150	81,2		2,4	21,0	18,0	95,3	74,9	84,6

A polpa com 30 %s alimentou a etapa de classificação, utilizando duas peneiras piloto com malhas de 150 µm e água de processo, recebida para a lavagem do material. Primeiro a amostra passou na peneira circular de maior diâmetro, 1,2 m, da marca MVL. O *oversize* desta primeira etapa alimentou a peneira quadrada, de 50 x 50 cm de comprimento e 11 cm de profundidade da marca Bertel. O *oversize* (>150 µm) da segunda peneira alimentou os ensaios gravíticos, com teor médio de 0,5% de Nb₂O₅, de 30,7% de SiO₂ e de 16,6% de CaO (Tabela 1).

3.2. Ensaios de Concentração Gravítica: espiral e mesa vibratória

Os ensaios de concentração gravítica foram realizados com o *oversize* da classificação (> 150 µm), utilizando como equipamentos a mesa oscilatória e espirais concentradoras em escala piloto. Antes de alimentar a mesa oscilatória a amostra passou por uma etapa de atrição em tanque de agitação mecânica de alta intensidade com objetivo de melhorar a dispersão das partículas minerais. Os ensaios utilizaram vazão de alimentação de 650 kg/h e 3.660 kg/h e, após estabilizar o ensaio foram coletados três produtos, denominado pesado, misto e leve variando a abertura das calhas de 1/3 a 1/2.

Para os ensaios de espiral foi usado o modelo HG11-MT-DS-106, fabricada pela Mineral Technologies (*Downer company*), junto com a espiral foi acoplado um tanque de homogeneização que alimenta a polpa de minério no topo do equipamento. Assim como a polpa, a água de lavagem (quando utilizada) é adicionada no topo da espiral, em um canal paralelo àquele interno à calha, pelo qual escoar a polpa. As variáveis operacionais testadas foram a taxa de alimentação e a porcentagem de sólidos na polpa de alimentação. Os ensaios foram realizados em circuito fechado utilizando uma vazão de alimentação de 650 a 3.360 kg/h variando a porcentagem de sólidos de 12 a 38 % coletando três produtos, denominados “pesado”, “misto” e “leve”. Outra variável foi o ajuste da régua que controla o corte do fluxo “pesado”, possibilitando uma separação do fluxo para o interior do tubo central. Este novo produto contém as partículas mais densas da polpa, e é denominado “pesado tubo”, já que esta faixa cortada escoar por dentro do tubo, ao invés de passar ao lado do tubo, como é o caso do fluxo pesado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as curvas de teor *versus* recuperação de Nb₂O₅ dos 4 testes realizados em mesa vibratória, com a fração *oversize* classificada em (>150 μm). Dos três fluxos gerados, o fluxo denominado “pesado” foi o que atingiu os melhores resultados, com teores de 0,8% a 3,5% de Nb₂O₅ e recuperação metalúrgica acima de 69% de Nb₂O₅. A Figura 1 também apresenta a curva de teor *versus* recuperação de Nb₂O₅ para os 12 testes realizados em espiral concentradora, com a fração *oversize* classificação em (>150 μm). Dos quatro fluxos amostrados, os fluxos “pesado tubo” e “pesado” atingiram os melhores resultados. O fluxo “pesado tubo” apresentou teor de Nb₂O₅ de 2,9 a 3,5% e com recuperação metalúrgica variando entre 62,8 e 68,1%, enquanto para o fluxo “pesado” o teor de Nb₂O₅ variou entre 0,62 e 3,9%, com recuperações de 48 a 97,4%. Quando feito o blend dos fluxos “pesado tubo e pesado”, foi possível obter melhores valores de recuperação metalúrgica de Nb₂O₅ (entre 84,1% e 87,5%), porém com teores de Nb₂O₅ menores, entre 0,9% e 1,2%.

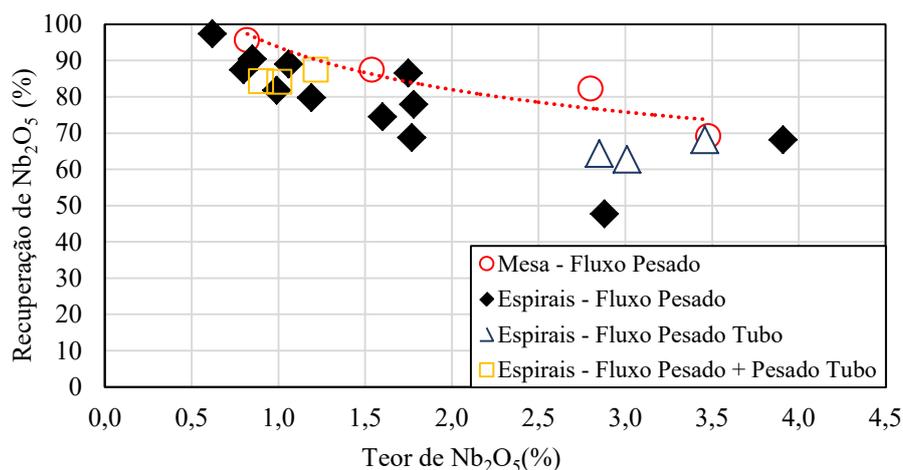


Figura 1: Curva de recuperação de Nb₂O₅ *versus* teor de Nb₂O₅ para os ensaios com espiral e mesa.

Em relação à recuperação de SiO₂ na mesa oscilatória o fluxo “pesado” apresentou recuperações de 6,3% a 68,7%, com teores de 27% a 14 % de SiO₂. Considerando teor e recuperação de SiO₂ o fluxo “pesado tubo”, dos ensaios da espiral, apresentou pequena variação, em torno de 14,5 a 16,1% de teor SiO₂ e 4,9 a 5,9% de recuperação SiO₂. A mesma tendência foi observada para o concentrado do fluxo “pesado”, que apresentou teores de 14,5 a 29% de SiO₂ e recuperações de 5,1 a 88,9% de SiO₂. Quando foi realizando o blend dos fluxos “pesado + pesado tubo” obteve-se teores de sílica de 22,2% a 25,4% com recuperação de 27,5% a 38,9% de SiO₂.

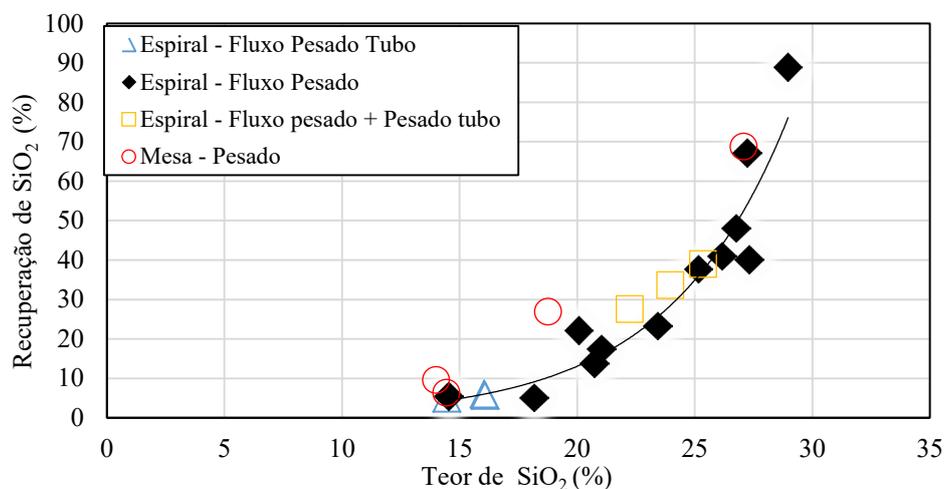


Figura 2: Curva de recuperação de SiO₂ *versus* teor de SiO₂ para os ensaios com espiral e mesa.

5. CONCLUSÕES

Ao verificar os resultados, foi possível notar que a mesa vibratória obteve no seu melhor resultado teor de 3,5% no fluxo “pesado”, com recuperação metalúrgica de 69,1% de Nb₂O₅ e teor de 14,4% com recuperação de 6,3% de SiO₂. Já na espiral concentradora o melhor resultado foi com o fluxo “pesado tubo” com teor de 3,5% e recuperação metalúrgica de 68,1% de Nb₂O₅ com teor de 14,5% e recuperação de 4,9% de SiO₂. Considerando a recuperação global (classificação e concentração) a espiral teve o seu melhor resultado com uma recuperação metalúrgica global de 3,6% de Nb₂O₅ e 1,1% de SiO₂. Já a mesa oscilatória alcançou um concentrado com uma recuperação global de 4,4% de Nb₂O₅ e 1,4% de SiO₂. Obtendo, na mesa e na espiral, um teor com grau de enriquecimento 7 vezes maior comparado com o teor global. Apesar do desempenho metalúrgico entre a mesa e a espiral serem semelhantes, a espiral apresentou é considerada ser mais viável devido a sua maior capacidade de alimentação e melhor controle operacional. Contudo, ainda é necessário mais estudos com este concentrado produzido para avaliar qual a etapa mais indicada para a inserção desta fração no circuito de processo da planta industrial BVFR.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, ao CETEM pelo apoio e infraestrutura e ao CNPq pela bolsa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASTANHEIRA, L. Recursos minerais de Minas Gerais: Nióbio. 2018, p.1-3.
- DANA, H. Manual de mineralogia. Livros técnicos e científicos, 1980.
- ESPINOZA-GOMEZ, R. Recovery of Pyrochlore From Slimes Discarded at Niobec by Column Flotation. Tese (Doutorado). McGill University, Montreal, 1987.
- GUIMRÃES, H.N.; WEISS, R.A. The complexity of the niobium deposits in the alkaline-ultramafic intrusions Catalão I and II – Brazil. Mineração Catalão, 2003, São Paulo, SP, Brasil.
- LINS, F.A.F. Concentração gravítica. In: LUZ, A.B., SAMPAIO, J.A. e ALMEIDA, S.L.M. (Ed.). Tratamento de Minérios. 4a ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004, p.241-270.
- SAMPAIO, C.H. & TAVARES, L.M.M. Beneficiamento Gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade. Editora da UFRGS. Porto Alegre, 2005.
- USGS – United States Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2023 – Niobium (Columbium). Mineral Commodity Summaries, 2023.