

PENEIRAMENTO DA CARGA CIRCULANTE DA FLOTAÇÃO*

Carlos Magno Nascimento¹
Júlio César da Silva¹
Lorene Resende Fonseca¹
Henrique Dias GattiTurrel¹
José Francisco Cabello Russo¹

Resumo

O complexo Minas-Rio, pertencente à Anglo American, iniciou suas operações em agosto de 2014. A usina de tratamento produziu, em 2017, cerca de 15 milhões de toneladas de concentrado de minério de ferro base seca. O minério, explorado no município de Conceição do Mato Dentro e Alvorada de Minas (MG), passa pelas etapas de cominuição, classificação, concentração e separação sólido-líquido antes de ser bombeado através de um mineroduto por 529 km até o município de São João da Barra (RJ), onde é filtrado, estocado e embarcado para exportação. A etapa de concentração por flotação é responsável por produzir um produto com qualidade química que atenda a necessidade do cliente, portanto, sua estabilidade é de extrema importância. Sabe-se que os circuitos são muito sensíveis as variações operacionais ou variação do minério alimentado. O objetivo desse trabalho é avaliar o efeito da retirada de sílica grosseira por meio de peneiramento de alta frequência, e consequentemente os impactos dessa extração efeito na flotação.

Palavras-chave: Minério de ferro, peneiramento e flotação

SCREENING OF THE FLOTATION CIRCULATING LOAD

Abstract

The Anglo American-owned Minas-Rio complex began operations in August 2014. The treatment plant produced in 2017 approximately 15 million tons of dry iron ore concentrate. The ore, exploited in the municipality of Conceição do Mato Dentro and Alvorada de Minas (MG), goes through the stages of comminution, classification, concentration and solid-liquid separation before being pumped through a pipeline for 529 km to the municipality of São João da Barra (RJ), where it is filtered, stored and shipped for export. The flotation concentration step is responsible for producing a product with chemical quality that meets the customer's need, therefore, its stability is extremely important. It is known that the circuits are very sensitive to the operational variations or variation of the ore fed. The objective of this work is to evaluate the effect of the removal of coarse silica through high frequency sieving, and consequently the impacts of this extraction effect on flotation.

Keywords: Iron ore, screening, flotation

¹ Anglo American, Bulk Commodities and Other Minerals Brazil, Minas-Rio – Rodovia MG 10, Km 180, Córrego Pereira, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O minério de ferro processado no complexo industrial do Minas-Rio, Anglo American, totalizou quase 15 milhões de toneladas de concentrado em 2017. O minério é lavrado na mina da Serra do Sapo em Conceição do Mato Dentro MG. O seu tratamento contempla as etapas de cominuição, por britadores de mandíbulas e grelhas, britadores cônicos e peneiras, prensas de rolos, moinhos de bolas e hidrociclones, seguido por deslamagem, flotação, remoagem em moinhos verticais (para adequação da granulometria de transporte), espessamento, bombeamento por 529 km de mineroduto e separação sólido-liquido para embarque, conforme Figura 1.

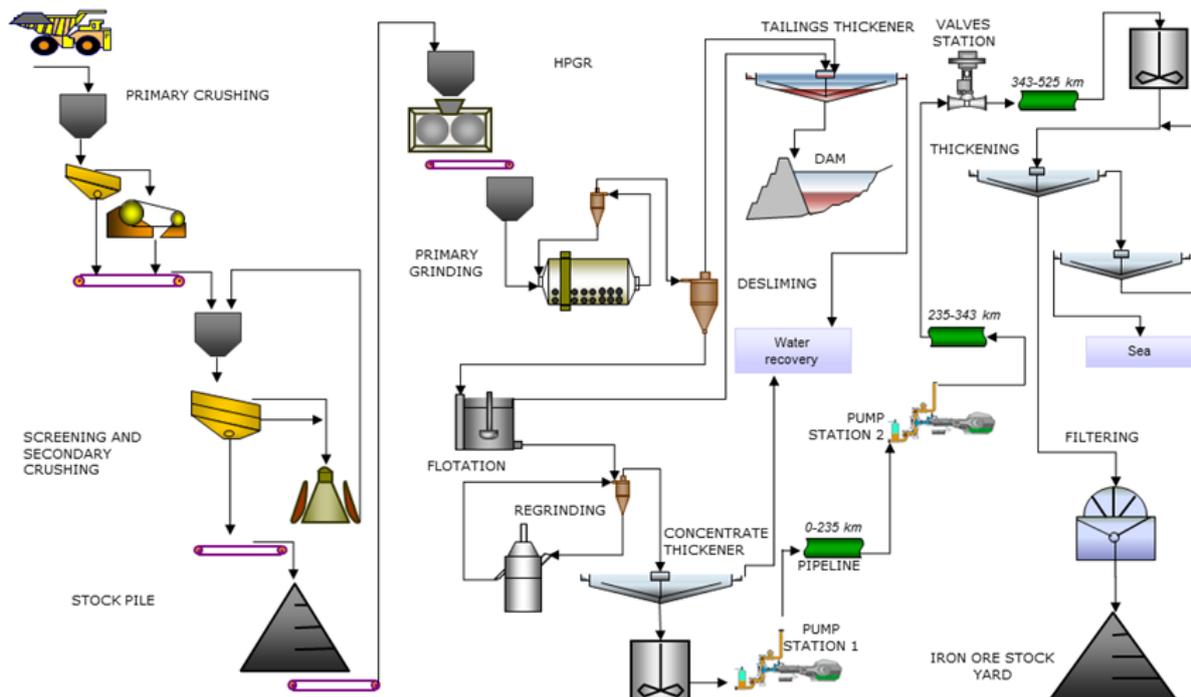


Figura 1 - Fluxograma de processo Minas/ Rio

Com o aumento do teor de sílica alimentado na usina de beneficiamento do projeto Minas-Rio, a carga circulante tem apresentado elevado percentual de material retido na malha de 150 μm . De acordo com as amostragens cerca de 80% da sílica nesse fluxo está contida nessa fração.

A sílica retida na malha de 150 μm presente na carga circulante, tem sido a responsável pelo desequilíbrio do circuito. Esse material acaba não sendo retirado facilmente do circuito e ocasionando a elevação gradual de contaminantes na carga circulante. Como medida corretiva, objetivando-se minimizar a elevação do teor de sílica na carga circulante, é comum ocorrer a drenagem da célula scavenger. Isso causa instabilidade no circuito e diminuição da recuperação.

O presente estudo apresenta a avaliação da extração do material retido na malha de 150 μm por meio de peneiramento de alta frequência.

Para Vieira (2005), flotação catiônica para minério de ferro contendo partículas abaixo de 150 μm , ocorre sem grandes dificuldades, mesmo com baixa dosagem de

reagentes. No entanto, a baixa flotabilidade das frações mais grossas ($>150 \mu\text{m}$) tem apresentado grande problemas na concentração de minério de ferro por flotação catiônica reversa, partículas de quartzo com tamanho acima $150 \mu\text{m}$ apresentam baixa resposta à flotação, emprobecendo o produto final.

O tamanho da partícula possui grande influência no processo hidrodinâmico. Partículas grossas e finas, flotadas em conjunto podem apresentar diferentes comportamentos, tais como grau de hidrofobicidade, colisão e adesão com as bolhas de ar, o que pode afetar negativamente a seletividade do processo de flotação (Vieira, 2005).

Para Amorim (2013), partículas que passam pelo processo de flotação precisam estar em uma faixa granulométrica ideal para apresentarem recuperações e teores satisfatórios. Essa faixa ideal depende do minério a ser flotado, já que os minerais possuem características mineralógicas distintas. Para o minério de ferro, a faixa ideal em geral é menor que $0,15\text{mm}$.

Braga (2010) verificou que aproximadamente 2,57% da massa alimentada na flotação está presente na fração $>150\mu\text{m}$, apresentando elevado teor de sílica. Segundo o autor, esse material sobrecarrega o sistema de flotação e aumenta o consumo de reagentes e tempo de residência.

Casemiro (2015) relata que a peneira de alta frequência se diferencia dos peneiramentos convencionais por apresentar baixa amplitude e alta frequência. Essa combinação promove o rompimento da tensão superficial das partículas, submetendo vibração rígida do material fino na superfície da peneira e permitindo, assim, maior contato das partículas ultrafinas com a tela.

No entanto, não foi encontrado referências de estudo voltado para o peneiramento da carga circulante da flotação, alguns estudos tratam do peneiramento de outros fluxos, inclusive do produto final.

O objetivo desse trabalho é justamente avaliar o peneiramento da carga circulante para a extração do material grosseiro que possivelmente poderia causar instabilidade no processo de flotação .

2 DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas diferentes. A primeira etapa foi realizada em escala de laboratório e limitou-se à amostragens da carga circulante e da alimentação nova durante 06 semanas. Dessas amostras coletadas, realizou-se:

- Análise química dos fluxos. As composições químicas das amostras foram determinadas pelo método analítico de fluorescência de raios-x, por meio do aparelho Axios Fast da Panalytical, em pastilhas fundidas.
- Granulometria. Realizou-se as análises granulométricas em um peneirador suspenso a úmido. O peneiramento foi realizado com injeção de água e

finalizado quando o passante na última malha estava totalmente clarificado. As malhas utilizadas foram 425, 300, 212, 150, 106, 75, 53, 44 e 38 μm .

- E química por faixa das principais frações;

Após coleta das amostras e definição das partições teóricas dos fluxos, foram realizados 8 testes de flotações em bacanda com duas duplicatas, variando teor de alimentação nova e carga circulante (peneirada e não peneirada em 150 μm). Esses testes objetivaram:

- Avaliação dos teores de alimentação nova e carga circulante;
- Comprovar o benefício que a extração do material >150 μm pode trazer ao processo;

As flotações foram realizadas em célula de flotação CDC com extração automática de espuma, cuba de 2,5 L os percentuais de sólidos foram de 60% para condicionamento do amido, por 5 minutos e 40% para amina, condicionada por 1 minuto. A flotação ocorreu por 4 minutos, tempo necessário para exaustão da espuma. As dosagens de amido e amina foram de, 500 e 50 g/t respectivamente.

A segunda etapa foi realizada em peneira de alta frequência (Ultra Fine Screen-Metso Minerals) em escala industrial, com a utilização de dois decks do equipamento. Foram preparadas cerca de 1200 kg de amostra em polpa de carga circulante com um teor de aproximadamente 37% de Fe e P_{80} de 237 μm .

A figura 02 apresenta um desenho esquemático da UFS e o fluxograma dos testes realizados na Metso.

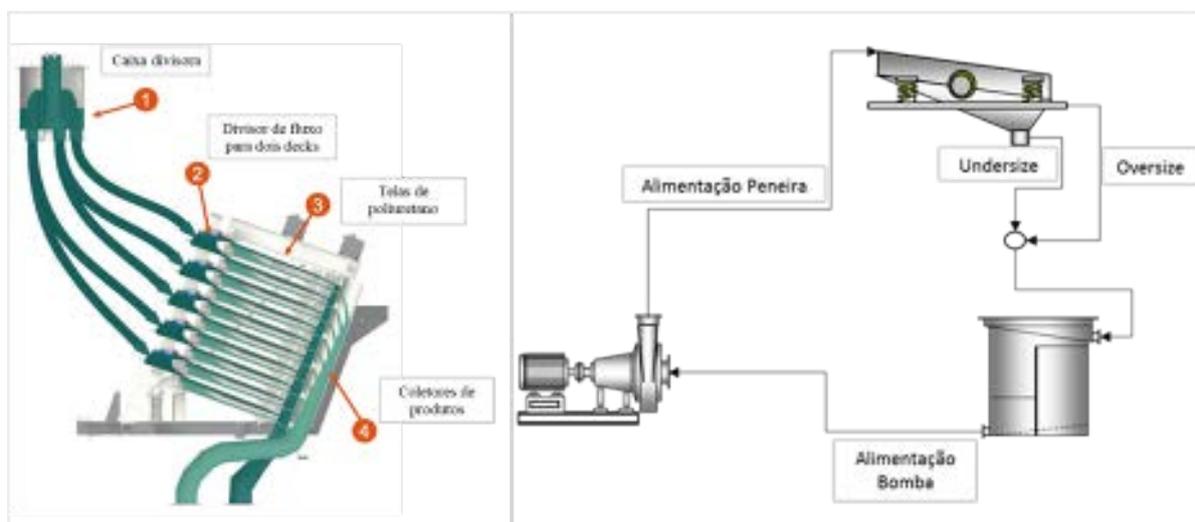


Figura 2 - Desenho esquemático UFS e fluxograma de testes

Para melhor avaliação do comportamento da carga circulante no peneiramento alguns parâmetros foram modificados: abertura das malhas das telas, densidade da polpa e rotação do motor da peneira. Amostras dos produtos desses testes foram coletadas para determinação da granulometria, composição química e densidade de polpa. Esses resultados foram reconciliados e modelados para determinação da partição em massa, eficiência de peneiramento e distribuição do ferro nos respectivos fluxos. A taxa de alimentação foi fixada em 22m³/h e utilizou-se uma

peneira com 2 decks de mesma abertura da malha. A ideia inicial foi produzir um pre-concentrado como undersize da peneira, minimizando perda de Fe para o oversize.

Foram utilizadas malhas de peneiramento de 150, 180 e 210 μ m, rotações da peneira de 1200, 1800 e 2500 rpm e densidade da polpa de alimentação de 1,35, 1,50 e 1,68 t/m³. O objetivo das variações foram para tentar otimizar os parâmetros operacionais para o circuito do peneiramento em uma possível implantação de circuito industrial. Para cada teste foram amostrados os fluxos de alimentação, undersize e oversize para posterior caracterização e avaliação de desempenho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização das amostras

As análises das cargas circulante e das alimentações feitas através de amostragens industriais, que compuseram as amostras de testes de flotação em bancada, apresentaram uma expressiva diferença em relação a granulometria. A carga circulante apresentou um P80 médio de 238 μ m, enquanto a alimentação nova exibiu P80 médio de 130 μ m, conforme observado na figura 03 abaixo.

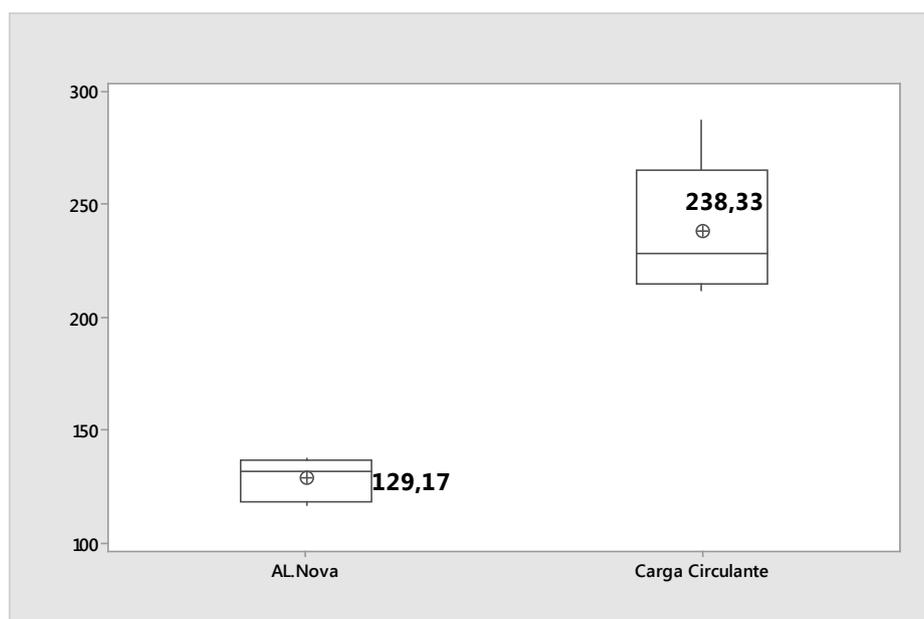


Figura 3 - P80 carga circulante e alimentação da flotação

A figura 4 representa a distribuição de Fe e SiO₂ na carga circulante para a fração >150 μ m.

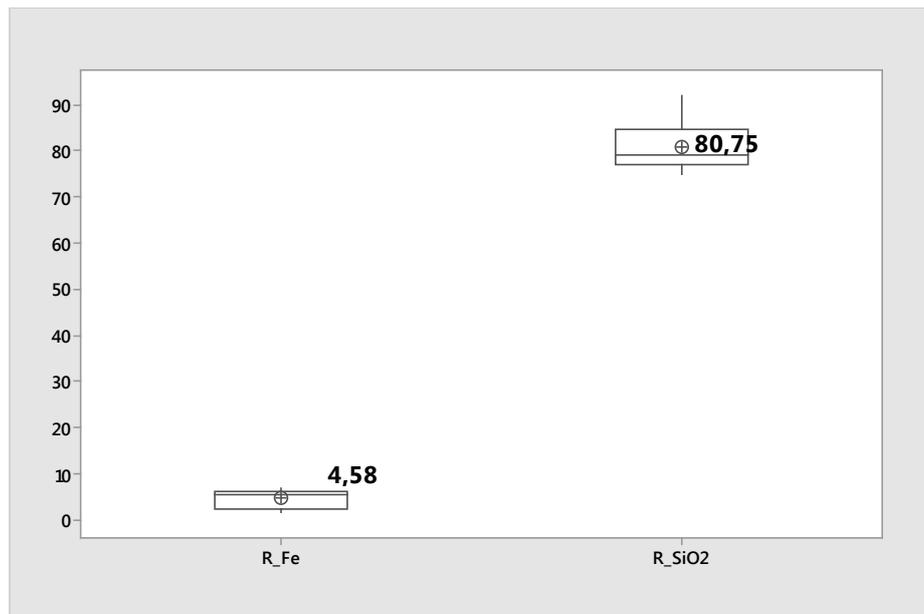


Figura 4 - Distribuição de Fe e SiO₂ da carga circulante na fração retida em 150µm

As análises granulométricas das amostras da carga circulante, mostra que, aproximadamente 80% da sílica presente nesse fluxo se encontra retida na malha de 150 µm, com apenas 4,6% de ferro.

3.2 Testes de flotação bancada

As flotações foram realizadas com variações de teores da alimentação nova e carga circulante (peneirada e não peneirada) seguindo o planejamento da tabela 01:

Tabela 1. Planejamento dos testes de flotação

Teste	Teor Fe- Alimentação	% Partição	Teor Fe- Carga circulante	% Partição	Carga Circulante
1	37,6	86,3	43,6	13,7	Sem peneirar
2	37,6	86,3	25,8	13,7	Sem peneirar
3	31,8	86,3	37,7	13,7	Sem peneira
4	31,8	86,3	25,8	13,7	Sem peneirar
5	31,8	86,3	25,8	13,7	Sem peneirar
6	37,6	93	62,4	7,0	Peneirada
7	37,6	93	37,2	7,0	Peneirada
8	31,8	93	62,4	7,0	Peneirada
9	31,8	93	37,2	7,0	Peneirada
10	31,8	93	37,2	7,0	Peneirada

Resumidamente, a flotação utilizando carga circulante peneirada resultou num teor médio de 3,6% de SiO₂ no concentrado, recuperação metalúrgica de 71,6%, e índice de seletividade de 10,0. Para os testes de flotação com carga circulante sem peneirar o teor médio de SiO₂ no concentrado foi de 4,6%, recuperação metalúrgica de 70,2% e índice de seletividade de 8,76. A figura 5 representa os principais efeitos nos testes para sílica no concentrado e recuperação metalúrgica:

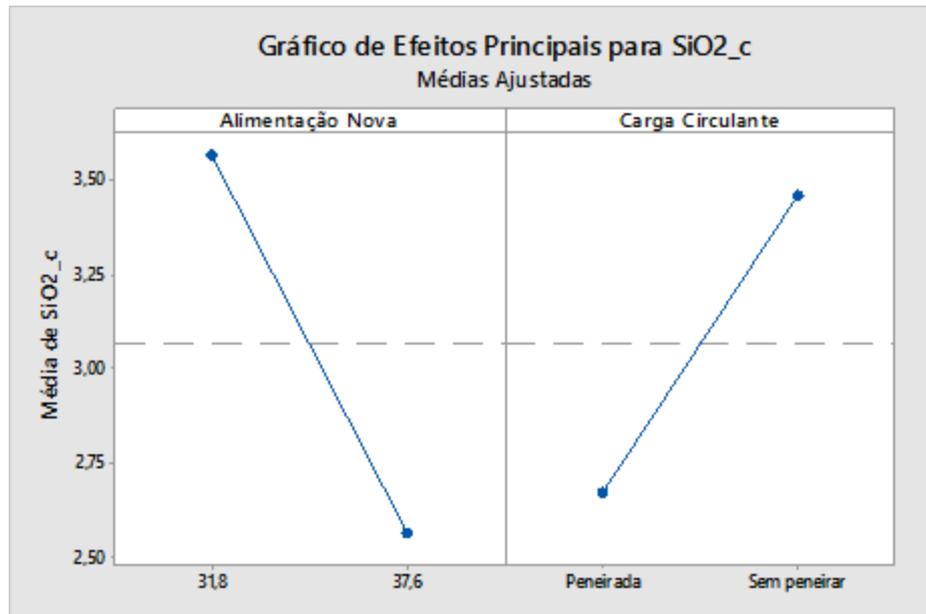


Figura 5. Principais efeitos para SiO₂ no concentrado.

O gráfico acima apresenta o benefício da extração do material >150µm da carga circulante com relação a qualidade do produto final.

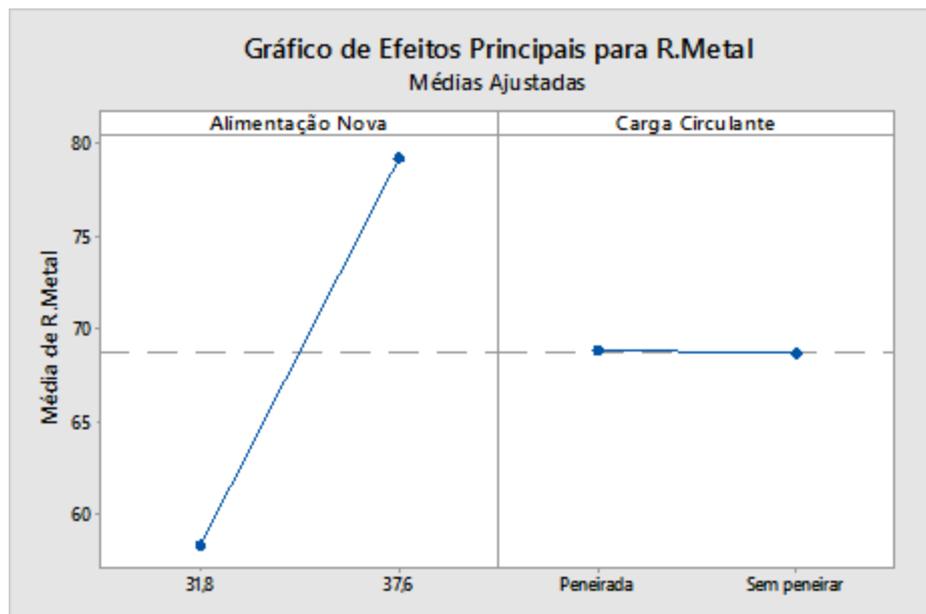


Figura 6 – Principais efeitos para recuperação metalúrgica

A extração do material >150µm não foi significativa para a recuperação metalúrgica, conforme apresentado na figura 6.

3.3 Testes na peneira de alta frequência

Os testes realizados na peneira de alta frequência industrial, foram realizados de acordo com a tabela 02:

Tabela 2 - Sequência de testes UFS

Teste	Densidade (g/cm ³)	Rotação (RPM)	Tela (µm)
1	1,35	1800	150
2	1,35	1200	150
3	1,55	1800	150
4	1,55	1200	150
5	1,68	1800	150
6	1,68	1200	150
7	1,35	1800	180
8	1,35	1200	180
9	1,55	1800	180
10	1,55	1200	180
11	1,68	1800	180
12	1,68	1200	180
13	1,35	1800	212
14	1,35	2500	212
15	1,55	1800	212
16	1,55	2500	212
17	1,68	1800	212
18	1,68	2500	212

O objetivo dos testes é extrair totalmente ou parcialmente a sílica grossa, sem que haja excessiva perda de Fe para o oversize, visto que, esse produto será tratado como rejeito final. Os principais efeitos estão representados a seguir pelas figuras 7 e 8:

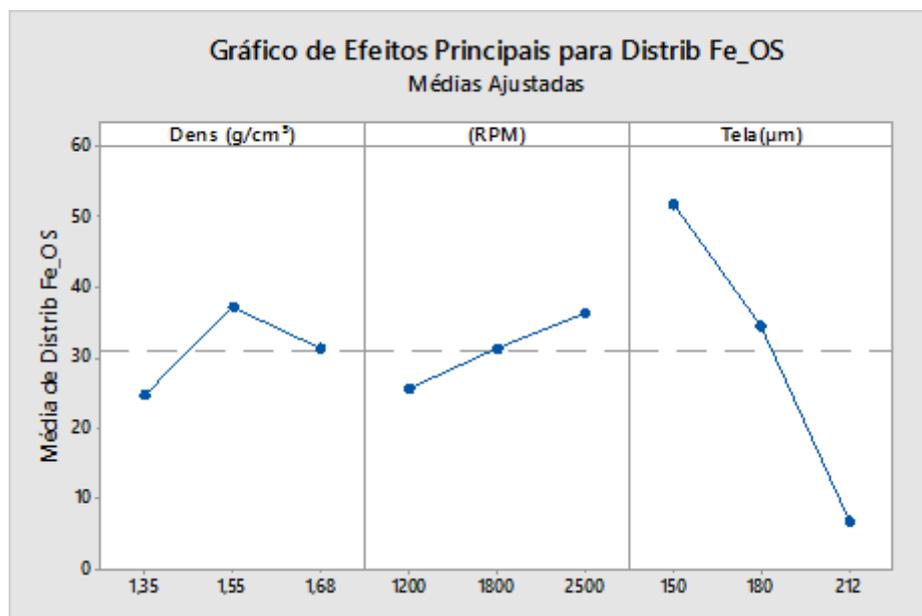


Figura 7 - Efeitos principais na distribuição de ferro para o oversize.

A figura 7 apresenta a distribuição de Fe para o oversize, nessa avaliação o principal efeito foi a malha, onde a de 212 µm apresentou melhor resultado.

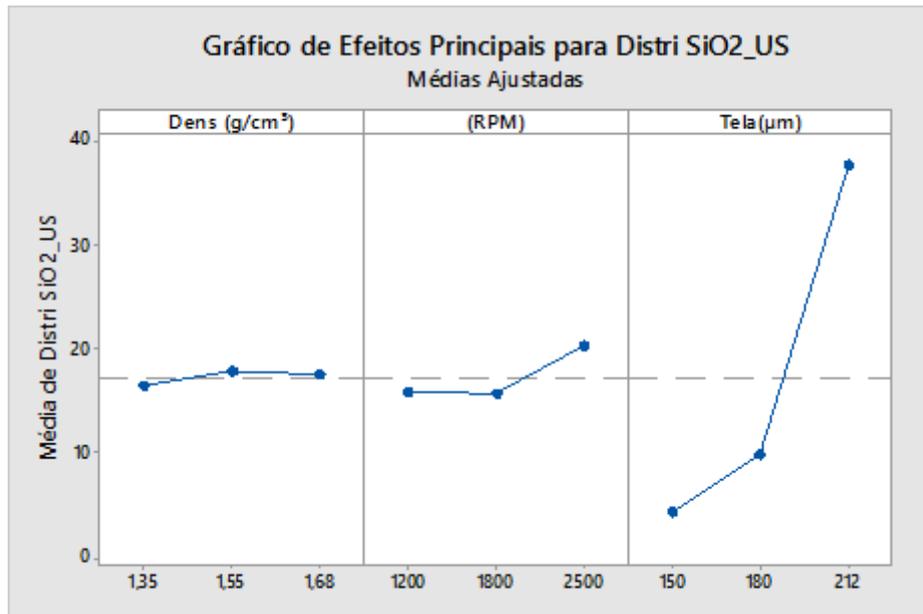


Figura 8 - Efeitos principais recuperação metalúrgica para o undersize

A distribuição de SiO₂ para o undersize a malha de 212 µm apresentou o pior resultado, porém, aceitável do ponto de vista de processo, pois houve uma redução da ordem de 55% do teor de SiO₂ no undersize. Outro ponto relevante é que o P80 foi de 237 µm para 120 µm, tornando o material mais adequado para alimentar a flotação, visto que, o valor de projeto é 118 µm.

Nota-se que para a malha de 212 µm foi obtido um oversize com um teor de 7,02% de ferro, porém uma distribuição de SiO₂ acima de 150 µm menor.

A tabela 02 abaixo resume os melhores resultados encontrados nos testes com as malhas de 180 µm e 212 µm. A malha de 150 µm não foi usada nessa avaliação, devido ao seu baixo desempenho:

Para determinação das massas e vazões dos produtos, as granulometrias foram modeladas de acordo com as equações 3.1 e 3.2 Rogers (1982):

$$c(di) = 1 - A(1 - e(di)) \quad (3.1)$$

Sendo:

$c(di)$ = função classificação corrigida;

$e(di)$ = função classificação real;

A = partição da água para o undersize;

A função classificação real $e(di)$ é modelada através da função 2.

$$e(di) = \frac{\frac{di}{d50c}}{\left(\frac{di}{d50c}\right) + \exp\left[\alpha\left(1 - \left(\frac{di}{d50c}\right)^2\right)\right]} \quad (3.1)$$

Sendo:

di = o diâmetro das partículas no intervalo de tamanho i (mm);

$d50$ = o diâmetro (corrigido) no qual a partícula tem 50% de chance de ir para o *underflow* ou *overflow*;

α = expoente de uniformidade; Referência (Rogers, 1982)

Tabela 3 – Principais resultados do peneiramento de alta frequência

Tela (μM)	Rec.Massa OS (%)	Rec.Metal OS (%)	> 150 μm OS (%)	Fe undersize(%)	% SiO ₂ >150 μm Extraída
180	54,5	24,13	25,2	63,2	95,9
212	36	7,02	10,1	55,2	78,2

Para as duas situações também foram medidos a eficiência de peneiramento para 150 μm , na qual, a maior eficiência foi obtida pela malha de 212 μm . Os cálculos foram realizados por meio as equações a seguir:

$$U = \frac{(100 \times (C - A))}{(C + D - 100)} \quad (3.3)$$

$$O = 100 - U \quad (3.4)$$

$$Eu = \frac{U \times D}{B} \quad (3.5)$$

$$Eo = \frac{O \times C}{A} \quad (3.5)$$

$$E = \frac{U \times D + O \times C}{100} \quad (3.6)$$

Sendo:

A - % de oversize retido na malha da tela em questão da alimentação;

B - % de undersize passante na malha em questão da alimentação;

C - % de oversize retido na malha em questão no produto do oversize;

D - % de undersize passante na malha em questão no produto do undersize;

U - % em peso de undersize;

O - % em peso de oversize;

EU – Eficiência para o undersize;

EO – Eficiência para o oversize;

EG – Eficiência global;

Tabela 4 – Resultados eficiência de peneiramento

Tela (μM)	U (%)	O (%)	E.U (%)	E.O (%)	E.G (%)
180	44,3	55,7	74,5	95,4	83,6
212	63,3	36,7	93,4	76,5	86,1

3 CONCLUSÃO

Por meio das análises e testes realizados em escala laboratorial, observa-se uma tendência significativa de melhora na qualidade do produto final ao realizar o peneiramento da carga circulante. Através das análises granulométricas constatou-se que, o material presente na carga circulante $>150\mu\text{m}$ é basicamente composto por SiO_2 , e essa característica o torna adequado para o descarte (rejeito final).

Os testes em escala industrial na peneira de alta frequência mostraram-se promissores principalmente para a malha de $212\mu\text{m}$, que eliminou aproximadamente 80% de $\text{SiO}_2 >150\mu\text{m}$ com um oversize(rejeito) com baixo teor de Fe. Ao passo que, apresentou um undersize (carga circulante da flotação) com características físico/química recomendada ao processo de flotação.

REFERÊNCIAS

- 1 AMORIM, Isabella Boaventura de Souza Frezza. **Influência do Tamanho das Partículas na Flotação**. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Minas) –Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2013.
- 2 BRAGA JUNIOR, M.M. Efeito do scalping de Quartzo Grosso na Flotação Catiônica Reversa de Minério de Ferro. Dissertação de mestrado apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, 159p.,2010.
- 3 CASSEMIRO, A.S.; **Limpeza de telas de peneiras de alta frequência, seleção do melhor reagente e concentração com aplicação industrial**. Apresentado ao Curso de Especialização da universidade Federal de Goiás. 2015; 12;13.
- 4 Rogers, RSC.; **A classification function for vibrating screens**. Powder technology,1982, 31:135-137.
- 5 VIEIRA, A.M. **Efeito da Granulometria na Flotação de Quartzo**, Tese de Doutorado, apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, 156 p.,2005.