



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



THAÍS LACERDA MARROCOS

OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE AERAÇÃO NAS COLUNAS DE FLOTAÇÃO DA  
PLANTA CENTRAL USINA

OURO PRETO  
2018

THAÍS LACERDA MARROCOS

OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE AERAÇÃO NAS COLUNAS DE FLOTAÇÃO DA  
PLANTA CENTRAL USINA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Minas.

Área de concentração: Tratamento de minérios.

Orientador: Carlos Alberto Pereira

OURO PRETO

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 27 dias do mês de novembro de 2018, às 10h30min, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado **“OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE AERAÇÃO NAS COLUNAS DE FLOTAÇÃO DA PLANTA CENTRAL USINA”**, pela aluna **Thais Lacerda Marrocos**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira (orientador)**, **Eng<sup>a</sup>. de Minas Isabela dos Santos Stopa** e **Eng<sup>o</sup> de Minas Carlos Eduardo Domingues da Mata**.

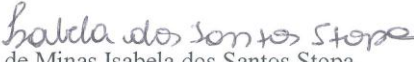
Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela ~~aprovação~~ da candidata, com a nota **9,5**, concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.


Ouro Preto, 27 de novembro de 2018.

  
Prof. Dr. Carlos Alberto Pereira  
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador

  
Eng<sup>a</sup> de Minas Isabela dos Santos Stopa  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Eng<sup>o</sup> de Minas Carlos Eduardo Domingues da Mata  
Membro da Comissão Avaliadora

  
Thais Lacerda Marrocos

  
Prof. M.Sc. José Fernando Miranda  
Professor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

Dedico este trabalho ao meu avô (*in memoriam*), pelos ensinamentos e por ser minha inspiração.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção.

À minha família, em especial minha mãe Sandra pelo cuidado e valores transmitidos e meu avô Nivaldo (*in memoriam*) por ser minha inspiração pessoal e profissional.

Ao professor Carlos Alberto Pereira pela experiência compartilhada, conhecimento transmitido e orientação ao longo da graduação, fundamentais ao desenvolvimento desse trabalho.

À Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino de qualidade e ao corpo docente por fazer parte de uma grande etapa de aprendizagem.

À toda equipe da Gerência de Produção Usina de Beneficiamento da Companhia Siderúrgica Nacional pela oportunidade de um excelente estágio, pela formação profissional e pessoal adquirida, e desenvolvimento do projeto que se tornou base para a elaboração desse trabalho. Ao engenheiro César de Paula Pinheiro, pela orientação e disponibilidade durante o projeto. Aos técnicos e demais colegas, pelo apoio constante na execução do controle dos indicadores do processo.

Ao Filipe pelo companheirismo e por estar sempre ao meu lado.

Aos amigos da graduação e todos aqueles presentes nessa jornada.

## RESUMO

A flotação é um método de concentração de partículas minerais que permite a separação do mineral útil do mineral de ganga. O melhor desempenho do processo de flotação está diretamente associado a um sistema de aeração eficiente, injetando bolhas de ar nas colunas de flotação, e tornando possível a coleta das partículas hidrofóbicas. Esse estudo foi desenvolvido de modo a otimizar o circuito de aeração nas colunas de flotação da Planta Central Usina (CSN Mineração) através do uso de um novo modelo de aerador (SonicSparger Jet) nas colunas de flotação. Para atingir esse objetivo, o novo aerador foi implantado em duas colunas *rougher* do circuito de flotação. Durante seis meses, a pressão de ar dos aeradores foi controlada, assim como o desgaste de peças, troca e gastos com sobressalentes, tempo dedicado às inspeções, calibração e manutenção dos aeradores; além de ensaios de amostragem para avaliar a qualidade do concentrado, recuperação metalúrgica e índice de seletividade. Os dados obtidos mostraram-se satisfatórios. A troca e os gastos com sobressalentes diminuíram consideravelmente, assim como o tempo com inspeção, calibração e manutenção, além de pouco desgaste nas peças do novo aerador. A porcentagem dos novos aeradores que apresentavam pressão de ar diferente da ideal foi muito baixa, e o índice de seletividade e qualidade do concentrado final da coluna *rougher* foi maior. Dessa maneira, foi possível comprovar o melhor desempenho do aerador SonicSparger Jet em relação ao aerador utilizado anteriormente nas colunas de flotação, influenciando na tomada de decisão da compra desses aeradores para todas as colunas, otimizando, assim, todo o circuito.

**Palavras-chave:** Aeração. Aerador. Flotação. Minério de ferro.

## ABSTRACT

Flotation is a method of concentrating mineral particles that allows separation of the useful mineral from the gangue mineral. The best performance of the flotation process is directly associated with an efficient aeration system, injecting air bubbles into the flotation columns, and making possible the collection of hydrophobic particles. This study was developed in order to optimize the aeration circuit in the flotation columns of the Central Plant (CSN Mining) through the use of a new aerator model (SonicSparger Jet) in the flotation columns. To achieve this goal, the new aerator was implanted in two rougher columns of the flotation circuit. During six months, the air pressure of the aerators was controlled, as well as wear of the parts, the exchange and spare costs of the parts, the time dedicated to inspections, calibration, and maintenance of the aerators; in addition, it was made sampling tests to evaluate the quality of the concentrate, metallurgical recovery and selectivity index. The control of these indicators showed a satisfactory result. The exchange and the expenditures with spare parts decreased considerably, as well as inspection, calibration and maintenance time, besides it was a low wear on the new aerator parts. The percentage of the new aerators that had air pressure different from the ideal was very low, the selectivity index and final concentrate quality of the rougher column were higher. In this way, it was possible to verify the best performance of the SonicSparger Jet aerator in relation to the aerator previously used in the flotation columns, making it possible to purchase these aerators for all the columns, and optimizing the entire circuit.

**Keywords:** Aeration. Aerator. Flotation. Iron ore.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1-Esquema básico de uma coluna de flotação.....  | 16 |
| Figura 2-Circuito de flotação.....  | 17 |
| Figura 3-Aerador tipo SlamJet.....  | 19 |
| Figura 4-Aerador SonicSparger Jet.....  | 20 |
| Figura 5-Fluxograma do circuito de flotação da Planta Central Usina.....  | 22 |
| Figura 6-Circuito Rougher - Flotação 02.....  | 23 |
| Figura 7-Desenho esquemático do aerador tipo SlamJet.....   | 24 |
| Figura 8-Aerador SlamJet na coluna de flotação.....   | 24 |
| Figura 9-Operador desmontando o aerador na oficina.....   | 26 |
| Figura 10- Matriz de PDCA.....  | 28 |
| Figura 11-À esquerda ponteira com desgaste. À direita, ponteira em bom estado....   | 31 |
| Figura 12-À esquerda diafragma estourado. À direita, diafragma em bom estado....  | 31 |
| Figura 13-Acima mola enferrujada. Abaixo, mola em bom estado.....   | 32 |
| Figura 14-Gráfico em relação ao consumo total de peças e equipamento (sobressalentes) no circuito 02 de flotação em 2017..... | 33 |
| Figura 15-Situação proposta de disposição dos aeradores na coluna rougher CL208 para fase de teste.....                       | 36 |
| Figura 16-Situação proposta de disposição dos aeradores na coluna rougher CL222 para fase de teste.....                       | 36 |
| Figura 17-Aerador em teste instalado na coluna Rougher CL208.....   | 39 |
| Figura 18 -Aerador em teste instalado na coluna Rougher CL222.....  | 40 |
| Figura 19-Comparativo tempo (minutos) de calibração atual aerador e aerador em teste.....                                     | 49 |
| Figura 20-Comparativo tempo (minutos) de manutenção atual aerador e aerador em teste.....                                     | 51 |
| Figura 21-Comparativo do gasto (%) com a troca de todas as peças atual aerador e aerador em teste.....                        | 52 |
| Figura 22- Projeção do consumo total anual de sobressalentes do aerador atual e aerador em teste.....                         | 54 |
| Figura 23-Comparativo % Recuperação metalúrgica - aeradores atual e teste.....  | 57 |
| Figura 24-Comparativo Índice de seletividade de Gaudin – aeradores atual e teste.....   | 58 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 25-Comparativo da qualidade do concentrado da coluna – aeradores atual e teste ..... | 58 |
|---|----|

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1-Equipamento e peças do aerador tipo SlamJet.....   | 25 |
| Tabela 2-Tempo gasto com manutenção do aerador utilizado atualmente (SlamJet)<br>.....  | 29 |
| Tabela 3-Tempo gasto para calibração do aerador utilizado atualmente (SlamJet) ..   | 30 |
| Tabela 4-Tempo produtivo gasto por um operador para calibração de todos os<br>aeradores (SlamJet) utilizados atualmente ..... | 30 |
| Tabela 5-Tempo gasto para calibração dos aeradores no período produtivo .....   | 31 |
| Tabela 6-Consumo total de peças e equipamento (sobressalentes) no circuito 02 de<br>flotação em 2017 .....                    | 32 |
| Tabela 7-Consumo e gasto total anual (R\$) de peças e equipamentos<br>(sobressalentes) no aerador atual tipo SlamJet .....    | 34 |
| Tabela 8-Atividades contidas no Plano de ação relacionado aos aeradores em teste<br>.....                                     | 38 |
| Tabela 9-Controle de pressão de calibração do SonicSparger Jet na coluna 208.....   | 46 |
| Tabela 10-Controle de pressão de calibração do SonicSparger Jet na coluna 222 ..  | 47 |
| Tabela 11-Fechamento de ar nos aeradores da Coluna 222.....   | 48 |
| Tabela 12-Tempo gasto para calibração do aerador utilizado para teste<br>(SonicSparger Jet).....                              | 48 |
| Tabela 13-Tempo gasto para calibração do aerador em teste (SonicSparger Jet)....  | 50 |
| Tabela 14-Tempo gasto para calibração dos aeradores no período produtivo.....   | 50 |
| Tabela 15-Tempo gasto com manutenção do aerador em teste (SonicSparger Jet).  | 51 |
| Tabela 16-Resultado do controle de inspeção nas colunas CL208 e CL222.....  | 53 |
| Tabela 17- Consumo total de peças e equipamentos (sobressalentes) no aerador<br>atual tipo SonicSparger Jet .....             | 54 |
| Tabela 18-Teste de amostragem para comparar o fluxo de ar.....  | 55 |
| Tabela 19-Teste de amostragem para comparar o fluxo de ar com dois aeradores<br>abertos e dois fechados.....                  | 55 |
| Tabela 20-Teste de amostragem para comparar o fluxo de ar com todos os<br>aeradores abertos.....                              | 55 |
| Tabela 21-Teste de amostragem nas colunas Rougher CL207 e CL208.....  | 56 |
| Tabela 22-Comparativo do desempenho dos aeradores – resultados amostragens.   | 57 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| SUMÁRIO.....   | 15 |
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 9  |
| 2 OBJETIVOS.....   | 11 |
| <b>2.1 Objetivos específicos</b> .....   | 11 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 12 |
| <b>3.1 Flotação: aspectos gerais</b> .....   | 12 |
| <b>3.2 Coluna de flotação: aspectos gerais</b> .....   | 15 |
| <b>3.3 Sistema de aeração nas colunas de flotação: aspectos gerais</b> .....                                       | 18 |
| <b>3.4 Flotação: Planta Central – Companhia Siderúrgica Nacional</b> .....   | 21 |
| <b>3.5 Colunas de flotação: Planta Central – Companhia Siderúrgica Nacional</b> .....                              | 22 |
| <b>3.6 Sistema atual de aeração nas colunas de flotação: Planta Central – Companhia Siderúrgica Nacional</b> ..... | 23 |
| 4 METODOLOGIA.....   | 28 |
| <b>4.1 Planejamento</b> .....  | 28 |
| <b>4.1.1 Identificação e análise do problema e do processo</b> .....   | 29 |
| <b>4.1.2 Situação proposta</b> .....   | 35 |
| <b>4.1.3 Plano de ação</b> .....   | 37 |
| <b>4.2 Execução</b> .....  | 39 |
| <b>4.2.1 Instalação do novo aerador</b> .....  | 39 |
| <b>4.2.2 Controle de pressão de calibração</b> .....   | 40 |
| <b>4.2.3 Controle de desgaste dos aeradores</b> .....  | 40 |
| <b>4.2.4 Inspeções de controle de entupimento e vazamento</b> .....  | 41 |
| <b>4.2.5 Controle mensal de manutenção e custos com peças e equipamento</b> .....                                  | 41 |
| <b>4.2.6 Plano de amostragem</b> .....   | 41 |
| <b>4.2.7 Comparativo</b> .....   | 43 |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>4.3</b> | <b>Checagem</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Ação</b> .....  | <b>44</b> |
| <b>5</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSAO</b> .....  | <b>45</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Controle da pressão de calibração</b> .....                                     | <b>45</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Inspeções de controle de entupimento ou vazamento</b> .....                     | <b>47</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Controle do tempo gasto com calibração e manutenção de sobressalentes</b> ..... | <b>48</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Controle das inspeções de desgaste de peças e equipamento do aerador</b> .....  | <b>52</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Controle dos testes de amostragem</b> .....                                     | <b>54</b> |
| <b>6</b>   | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | <b>59</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....  | <b>60</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A flotação é uma operação unitária que faz uso das diferenças das propriedades superficiais entre as partículas minerais como meio de separação, podendo ser a propriedade diferenciadora natural ou induzida. Sua aplicabilidade está relacionada à granulometria das partículas, à composição mineralógica e, sobretudo às propriedades físico químicas da superfície dos minerais. A flotação em coluna pode ser utilizada para o beneficiamento do minério de ferro, resultando em um concentrado com teor elevado do mineral útil e um rejeito pobre.

Na parte inferior da coluna de flotação estão dispostos os aeradores, responsáveis pela formação das bolhas de ar que, através de um movimento ascendente, coletam e transportam as partículas hidrofóbicas da polpa para a espuma, permitindo a separação do mineral de interesse do mineral não útil. Caso o mineral não útil seja flotaado e o mineral de interesse deprimido, a flotação será denominada reversa.

O processo eficiente de flotação e seu melhor desempenho estão associados diretamente ao sistema de aeração, e depende de três principais fatores: contato, adesão e coleta partícula-bolha de ar. Esse sistema é mais eficiente para menores tamanhos de bolhas geradas, melhor distribuição do ar por toda a coluna, fluxo de ar adequado para o minério, baixa turbulência, e bolhas uniformes.

O tamanho das bolhas geradas e a sua velocidade de ascensão na coluna podem influenciar na performance do processo de flotação. Um sistema eficiente de aeração pode gerar bolhas de 0,5 a 2,0 mm de diâmetro, com velocidade superficial de ar entre 1,0 e 3,0 cm/s (Aquino et al, 2018).

O fluxo de ar ideal dos aeradores para a polpa presente na coluna de flotação implica em uma quantidade suficiente de bolhas, aumentando a probabilidade de colisão bolha-partícula e, conseqüentemente, aumentando a cinética de flotação e a recuperação do processo. Além disso, o fluxo de ar insuficiente está diretamente ligado ao transporte desse agregado partícula-bolha, podendo ser prejudicial pôr as bolhas ficarem sobrecarregadas. O aumento excessivo do fluxo de ar também pode ser pre-

judicial devido ao aumento da turbulência na célula, arrastando partículas hidrofílicas para a espuma (Baltar,2010).

O uso de aeradores adequados ao processo de flotação é de fundamental importância para a separação eficaz dos minerais hidrofóbicos dos minerais hidrofílicos, e para um controle operacional e de manutenção mais rápido e simples. Os aeradores do modelo SonicSparger Jet são robustos e resistentes, apresentam ponteiros com menores diâmetros permitindo a formação de bolhas menores e mais uniformes, e são fáceis de manusear.

Os atuais aeradores das colunas de flotação da Planta Central Usina – CSN Casa de Pedra são do tipo SlamJet e necessitam de uma periodicidade de manutenção e calibração mensal em cada aerador para que seja atingida a performance necessária, sendo dedicado um elevado tempo a essa atividade. A implementação de um novo modelo de aerador, o SonicSparger Jet, nas colunas de flotação *Rougher* CL208 e CL222 possibilitou, através de uma fase de teste, avaliar a otimização do circuito de aeração nas colunas, com a melhora no desempenho de flotação para produção do *pellet feed*, redução de custos com sobressalentes e do tempo com inspeção, manutenção e troca de peças dos aeradores, além da melhoria das condições de trabalho e ganhos com segurança.

Foram realizados diversos procedimentos para a avaliação da fase de teste, e através do resultado do desempenho do novo modelo de aerador, foi possível avaliar a otimização de todo o circuito de aeração através da compra de novos aeradores para as colunas da flotação 01 e 02 da Planta Central Usina.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar, através da fase de teste, o desempenho do uso de um novo modelo de aerador, o SonicSparger Jet, nas colunas de flotação da Planta Central Usina, e sua viabilidade para substituição de todos os outros aeradores do processo, garantindo a otimização de todo o circuito de flotação.

### **2.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram:

- a. avaliar o desempenho do uso do novo aerador para redução do tempo gasto com inspeção, calibração e manutenção;
- b. avaliar o desempenho do uso do novo aerador para redução do consumo e do gasto com sobressalentes;
- c. avaliar a eficiência dos novos aeradores na produção de bolhas estáveis e na correta pressão de calibração;
- d. avaliar a melhora do desempenho da flotação para produção do pellet feed através do uso do novo aerador;
- e. caracterização dos aeradores antigos e comparação com os novos aeradores.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo contém a revisão bibliográfica necessária sobre o tema abordado e servir como base para o estudo e o desenvolvimento do projeto.

#### **3.1 Flotação: aspectos gerais**

Um minério é constituído pelo mineral minério (minerais de interesse) e pelo mineral de ganga (parte não aproveitável). A propriedade diferenciadora é responsável por possibilitar a separação dos diferentes minerais através da concentração de uma ou mais espécies em relação as outras presentes no minério, sendo essa propriedade natural ou induzida. Segundo Luz e Lins (2018), o tratamento de minérios compreende as operações para a separação física ou físico química dos minerais de interesse dos de ganga, sendo a separação seletiva baseada nas propriedades diferenciadoras, entre elas a susceptibilidade magnética, peso específico, condutividade elétrica e química de superfície.

A adequada liberação física do mineral minério é parte fundamental do processo para que possa ocorrer posteriormente as operações de concentração de minério. Para tal liberação, é necessário conhecer em qual granulometria e composição mineralógica ela acontece, através de estudos prévios de caracterização mineralógica. A britagem e moagem são utilizadas como etapas de cominuição para se atingir o grau de liberação ideal (Luz e Lins, 2018).

Após a liberação adequada dos minerais através das etapas de beneficiamento para redução de tamanho das partículas, os minerais podem ser utilizados nos processos de concentração, gerando um concentrado e um rejeito (Figueira et al, 2010). Para uma separação físico química eficiente, é necessário um alto grau de liberação das partículas minerais, além da escolha e aplicação do método mais adequado de concentração.

Segundo Baltar (2010), a utilização dos métodos de concentração mineral baseia-se em uma considerável diferença das propriedades físicas ou físico químicas das es-



pécies minerais. A flotação é um dos métodos de concentração das partículas minerais que utiliza propriedades físico químicas, prevalecendo as diferenças das características superficiais dos minerais. Atualmente um dos métodos mais utilizados na indústria mineral, sendo uma técnica eficiente e de alta aplicabilidade, porém também a mais complexa de beneficiamento de minérios.

Segundo Chaves *et al* (2010), a flotação por espumas é um processo de separação que utiliza as diferentes características de superfície dos minerais, podendo ser aplicado a misturas heterogêneas em fase aquosa (polpa). O processo baseia-se em alimentar a coluna de flotação com polpa e injetar ar no fundo da coluna para permitir a separação dos minerais. As bolhas de ar injetadas interagem e coletam os minerais hidrofóbicos dispersos na polpa e flutuam, sendo transportados à superfície, onde são removidos em uma camada de espuma. Os minerais hidrofílicos afundam e permanecem na fase aquosa, acompanhando o fluxo de água para fora do sistema.

O método baseia-se no conceito de hidrofobicidade das partículas minerais para ocorrer a separação dos minerais de interesse dos de ganga. Partículas hidrofóbicas são aquelas que não apresentam afinidade à água, e por isso tendem a se juntar às bolhas de ar e serem levadas até a superfície da coluna de flotação. As partículas hidrofílicas são aquelas que apresentam afinidade à água, e por isso permanecem misturadas à polpa. Segundo Chaves *et al.* (2018), uma substância hidrofílica pode ser definida como aquela que possui mais afinidade pela fase líquida, não aderindo às bolhas de ar. A molhabilidade da superfície de um mineral será maior quanto mais hidrofílico for esse mineral. Uma substância hidrofóbica é aquela que tende a repelir à água e possui maior afinidade por substâncias apolares, aderindo às bolhas de ar.

No processo de flotação, é necessário que o mineral que deseja-se flotar seja hidrofóbico, para aderir as bolhas de ar. Porém, grande parte dos minerais encontrados na natureza são hidrofílicos, sendo a grafita, talco, carvão e molibdenita os poucos minerais hidrofóbicos encontrados de forma natural. É possível modificar a propriedade superficial do mineral, induzindo a hidrofobicidade em apenas uma das espécies minerais, mantendo a outra espécie hidrofílica. Utiliza-se reagente em concen-

tração adequada na superfície dos minerais que deseja tornar hidrofóbico, recobrin-do a superfície mineral com uma nova superfície, revestida com substância hidrofó-bica, que irá aderir às bolhas de ar (Chaves *et al*, 2018).

Segundo Baltar (2010), o fato de poucos minerais serem naturalmente hidrofóbicos tornaria a flotação um processo limitado para ser aplicado. A possibilidade de modi-ficar a hidrofobicidade da superfície de uma espécie mineral através da adição de re-agentes torna praticável o processo da flotação, viabilizando a separação do mineral de interesse.

Os coletores são adicionados na polpa antes de iniciar o processo de flotação, sen-do necessário um tempo de condicionamento para que essas substâncias sejam adsorvidas pelas partículas minerais. Segundo Baltar (2010), os reagentes mais uti-lizados no processo de flotação são coletor, depressor, ativador, regulador de pH, espumante e dispersante. Os reagentes devem ser adicionados nos tanques de condicionamento de forma adequada e nas concentrações devidas, para permitir o sucesso de eventos essenciais, como adesão partícula-bolha e estabilidade das bo-lhas.

O reagente é denominado coletor e pode ser definido como uma substância que ad-sorve na superfície do mineral tornando-a hidrofóbica, permitindo a coleta do mine-ral. Os coletores podem não ser seletivos, por isso adiciona-se também depressores na polpa, que são substâncias auxiliares que deprimem a ação dos coletores nos minerais que não deseja-se flotar, garantindo a coleta seletiva por parte dos coleto-res. O ajuste correto do pH da polpa e a geração de uma espuma estável, são es-senciais para o processo de flotação, sendo adicionados reguladores e espumantes no processo, respectivamente (Chaves *et al*, 2018).

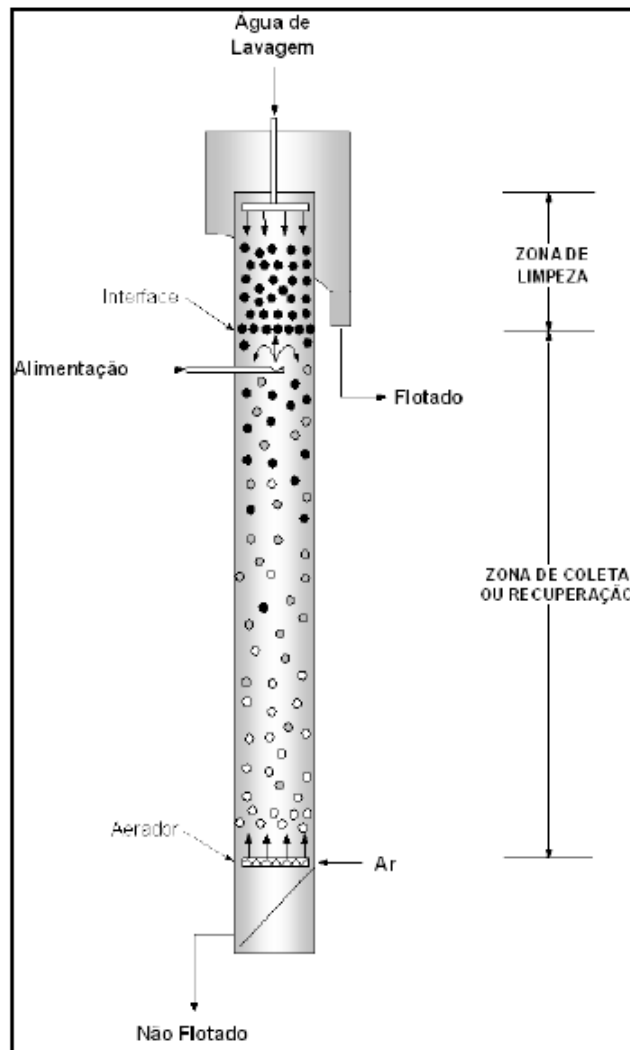
Segundo Chaves *et al* (2018), a flotação separa os minerais de interesse dos de ganga atuando na interface água/ar, sendo a flotação por espuma a mais comum e mais importante. Os minerais de interesse podem ser flotados e separados na es-puma ou podem permanecer na polpa mineral, dependendo do modo como a flota-ção será conduzida. Caso o mineral minério seja flotado e o mineral de ganga de-primido, a flotação será direta. Se o inverso acontecer, a flotação será reversa. No

circuito de flotação do minério de ferro, o mais comum é realizar a flotação reversa, flotando o quartzo e deprimindo a hematita, isso para evitar o arraste do quartzo junto a hematita, devido sua grande quantidade no minério.

### **3.2 Coluna de flotação: aspectos gerais**

A coluna de flotação (Figura 1) é um dos equipamentos utilizados para o processo de flotação, e se diferencia das células mecânicas (flotação convencional) principalmente em relação a geometria, ausência de agitação mecânica e presença de um sistema de aeração para geração de bolha de ar, tornando o processo mais eficiente e com melhores resultados. A geometria das colunas podem ser de seção circular, quadrada ou retangular, e altura geralmente entre 10 a 15m, variando de acordo com as condições operacionais solicitadas. É constituída por uma zona de coleta (ou recuperação) e uma zona de limpeza. A zona de recuperação é aquela que começa nos aeradores localizados na base da coluna (ponto de geração de bolhas de ar) e termina na interface polpa-espuma. É a zona referente ao contato das partículas minerais presentes na polpa com as bolhas de ar, podendo ocorrer a coleta das partículas hidrofóbicas. Já a seção de limpeza é aquela que começa na interface polpa espuma e termina no transbordo da coluna, ocorrendo a limpeza do material flotado pela água de lavagem. (Aquino *et al*, 2018).

Figura 1-Esquema básico de uma coluna de flotação



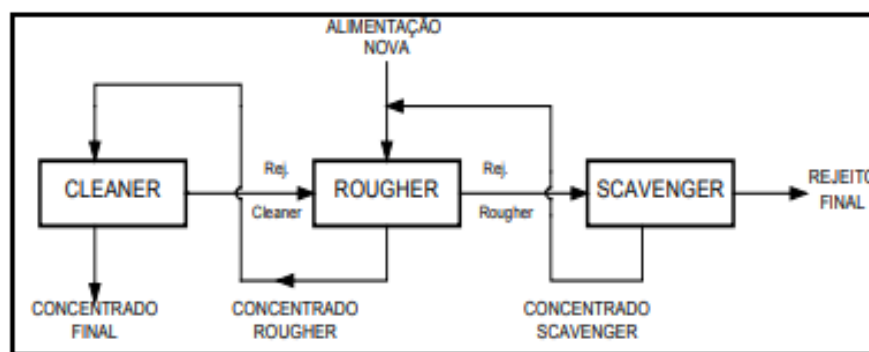
Fonte: CETEM (2018)

Segundo Aquino *et al* (2018), após a introdução dos reagentes na polpa e o tempo de condicionamento, a polpa alimenta a coluna de flotação em 2/3 da sua altura, a partir da base. As bolhas de ar injetadas pelo sistema de aeração na parte inferior da coluna irão encontrar com a polpa da alimentação e colidir com as partículas hidrofóbicas, sendo essas transportadas por um fluxo ascendente até a zona de espuma. As partículas hidrofílicas não aderem as bolhas de ar, e são arrastadas por um movimento descendente até o fundo da coluna de flotação.

No processo de flotação, é difícil se obter em, uma única etapa, o teor e a recuperação desejada do mineral de interesse. Para isso, as colunas de flotação podem ser dispostas em série, representando os estágios *Rougher*, *Scavenger*, *Cleaner* e *Re-cleaner* (Figura 2), para garantir que as características desejadas para o mineral mi-

nério e o mineral de ganga sejam alcançadas. O primeiro estágio da flotação será denominado *rougher*, onde é possível obter um concentrado pobre e um rejeito com determinadas quantidades de minerais úteis, que ainda podem ser aproveitados em próximas etapas. Para isso, o rejeito do estágio *rougher* é repassado no estágio *scavenger*, obtendo um rejeito pobre, com desprezível quantidade de mineral útil, sendo considerado rejeito final. O concentrado do estágio *rougher* passará pelo estágio *cleaner*, onde é produzido um concentrado final. O concentrado do estágio *scavenger* e o rejeito do estágio *cleaner* retornaram ao processo alimentando o estágio *rougher*. Ainda podem ser necessário o concentrado do estágio *cleaner* passar pelo estágio “*recleaner*”, para máxima recuperação” (Chaves, 2006).

Figura 2-Circuito de flotação



Fonte: CETEM (2010)

A colisão, adesão e transporte são as três etapas sequenciais do processo de flotação, e o êxito do processo depende do sucesso das etapas. A colisão não é um processo seletivo, e pode ser definida como a etapa de interações hidrodinâmicas, em que as bolhas de ar interagem com a polpa. A probabilidade de colisão tem forte influência na recuperação. A adesão está relacionada as interações interfaciais entre a bolha e a partícula mineral, sendo que apenas as partículas hidrofóbicas conseguem aderir as bolhas de ar. A última etapa, de transporte, está relacionada ao transporte da partícula hidrofóbica pela bolha de ar, sendo necessário a estabilidade do agregado partícula-bolha (Baltar, 2010).

Segundo Baltar (2010), diversos fatores podem influenciar o processo de flotação e garantir bons resultados. Os fatores podem ser associados ao minério (composição química, composição mineralógica, teor e grau de liberação), às instalações (tama-

nho e disposição das colunas), e também às condições operacionais (reagentes, água do processo, controle e altura da camada de espuma, pH da polpa, aeração, concentração de sólidos da polpa e tempo de flotação).

### **3.3 Sistema de aeração nas colunas de flotação: aspectos gerais**

A vazão de ar e tamanho de bolhas de ar são uma das principais variáveis que podem influenciar e modificar o processo de flotação. A vazão de ar está diretamente ligada à recuperação do mineral flotado, já que geralmente esta é maior quanto maior a vazão de ar pelos aeradores. Porém, uma vazão de ar muito acima da recomendada pode gerar turbulência ou formação de espuma na seção de recuperação da coluna, tornando prejudicial ao processo. A eficiência da coleta e transporte das partículas hidrofóbicas está relacionada ao tamanho médio e a distribuição das bolhas de ar na coluna de flotação, e esses podem ser ajustados de acordo com o sistema operacional de aeração. Bolhas pequenas apresentam elevada área superficial, permitindo a recuperação de partículas menores na polpa e melhor coleta e transporte dessas partículas. Porém, ao utilizar bolhas de ar muito pequenas, o sistema de flotação pode não ser eficiente, devido a uma velocidade inferior das bolhas de ar em relação à velocidade da polpa, ocorrendo perda de partículas hidrofóbicas. (Aquino *et al*, 2018).

Segundo Baltar (2010), a eficiência do processo de flotação será influenciado também pelo fluxo de ar nas colunas, sendo recomendado o controle desse fluxo. A aeração (fluxo de ar) escolhida afeta o processo de quatro formas: probabilidade de colisão bolha-partícula (quantidade insuficiente de bolhas para permitir uma maior colisão quando o fluxo de ar for abaixo do recomendado), probabilidade de transporte (dificuldade no transporte bolha-partícula quando o fluxo de ar é baixo), e turbulência (maior turbulência devido ao aumento do fluxo de ar, podendo gerar arraste das partículas hidrofílicas).

O sistema de aeração de uma coluna é responsável por gerar as bolhas de ar que coletam as partículas minerais hidrofóbicas, permitindo o processo de flotação. Para o sistema de aeração ser eficiente, deve haver anteriormente um projeto para a escolha mais adequada dos aeradores (equipamentos utilizados na aeração) levando

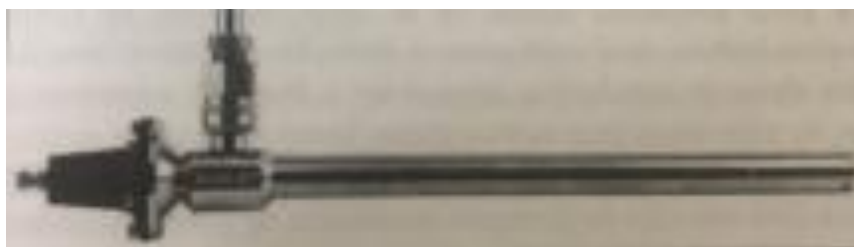
em conta a vida útil, eficácia e os custos operacionais, e também uma correta operação para um bom desempenho.

O tamanho das bolhas geradas e a sua velocidade de ascensão na coluna, podem influenciar na performance do processo de flotação. Um sistema eficiente de aeração, pode gerar bolhas de 0,5 a 2,0 mm de diâmetro, com velocidade superficial de ar entre 1,0 e 3,0 cm/s (Aquino et al, 2018).

Segundo Takata (2006), os aeradores são utilizados no sistema de geração de bolhas, e seu funcionamento consiste na passagem de ar por pequenos orifícios do aerador, com uma velocidade supersônica, permitindo a formação de pequenas bolhas de ar dentro da coluna de flotação. A elevação da pressão e formação de bolhas menores, proporcionam melhor desempenho nas colunas de flotação, principalmente em relação a flotação de finos e ultrafinos. Os aeradores podem ser classificados em internos ou externos.

Os primeiros aeradores externos utilizados em colunas industriais possuíam um funcionamento baseado na passagem do fluxo de ar e água com determinada velocidade, e eram formados por lanças perfuradas com orifícios de 0,9 mm. Apresentavam problemas frequentes, como entupimentos devido a obstrução dos furos do equipamento. Posteriormente, esses aeradores foram substituídos por aeradores que utilizam apenas ar para formação das bolhas, denominado aerador tipo SparJet. Após melhorias nesse aerador, foi desenvolvido o SlamJet (Figura 3), apresentando como principal modificação a substituição da válvula de controle por uma mola de alta tensão. A tensão da mola pode ser pré-ajustada. Outros aeradores foram e estão sendo desenvolvidos, apresentando melhorias no processo de formação das bolhas de ar, garantindo maior eficiência no processo de flotação (Aquino *et al*, 2018).

Figura 3-Aerador tipo SlamJet



Fonte: CETEM (2018)

O aerador SonicSparger Jet (Figura 4) é um novo modelo de aerador no mercado e possui inúmeras vantagens em relação aos outros aeradores. O seu sistema promove microbolhas através de injeção de ar em velocidade ultrassônica. É um sistema robusto e resistente, possui tamanhos distintos de equipamento (para que as extremidades e a parte central da coluna recebam o fluxo de ar de maneira uniforme) e uma ponteira de 4mm e 3mm, o que garante a dispersão de ar ao longo de toda a coluna e gerando bolhas menores e melhores distribuídas. A calibração pode ser feita em instantes, com o calibrador em campo, próximo da coluna. Possui também um manômetro na extremidade do aerador que permite a leitura de pressão sem retirá-lo da coluna, e um mecanismo de segurança que o bloqueia completamente em caso de falta de ar, evitando o retorno da polpa da coluna para dentro do aerador e da linha de ar. É um equipamento de fácil manutenção e não requer a parada da coluna para inspeção, trocas ou reparados.

Figura 4-Aerador SonicSparger Jet



Fonte: Catálogo Outotec

É composto também por um tubo de injeção de ar associado a um mecanismo de segurança e controle que o bloqueia completamente e de forma automática (utilizando diferenças de pressão) em caso de falha no suprimento de ar, evitando o retorno da polpa da coluna para dentro do aerador e da linha de ar. Esse mecanismo é de extrema importância, porque não pode haver retorno de polpa para dentro do aerador. Isso porque se a polpa retornar deixará partículas de minério dentro do aerador, e quando esse for ligado novamente, o ar a alta pressão e com alta velocidade irá arrastar estas partículas gerando abrasão muito grande e danificando o equipamento.



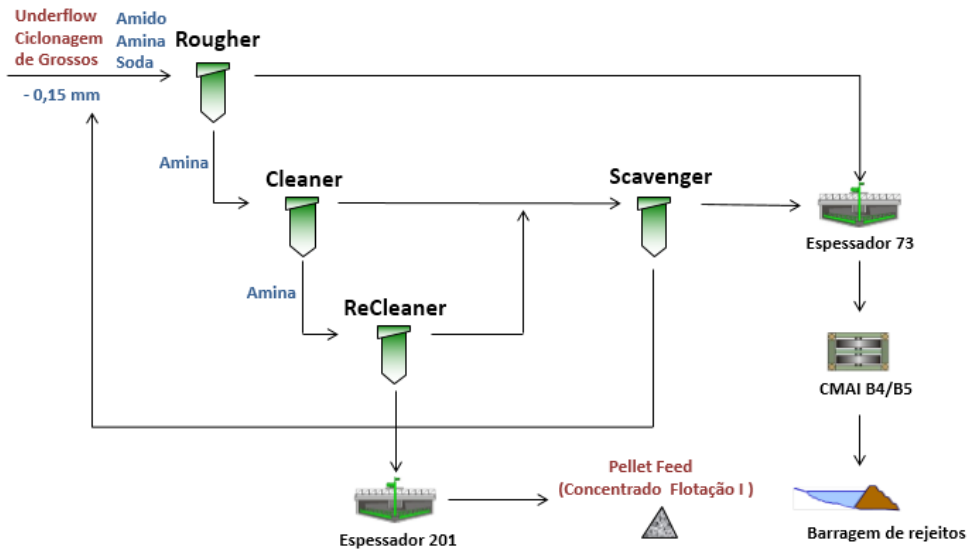
Esse aerador gera um jato de ar energético, cuja velocidade é ultrassônica, e proporciona a dispersão do ar em bolhas micrométricas. Além disso, permite excelente agitação na base da coluna, o que garante a suspensão e homogeneidade da polpa. Promove velocidades ultrassônicas a uma pressão de ar elevada, de 5,5 bar, o que permite melhor dispersão das bolhas e melhor desempenho do processo de flotação.

O aerador SonicSparger Jet foi desenvolvido visando a facilidade de inspeção e calibração em campo. Por isso, estes equipamentos contam com um manômetro em sua caixa de controle, que facilita a visualização das pressões de calibragem e trabalho pelos operadores. Associado ao aerador há um calibrador portátil que facilita a calibração dos aeradores em campo, visando maior segurança e ergonomia aos operadores, minimizando o manuseio e transporte dos mesmos até uma bancada de calibração.

### **3.4 Flotação: Planta Central – Companhia Siderúrgica Nacional**

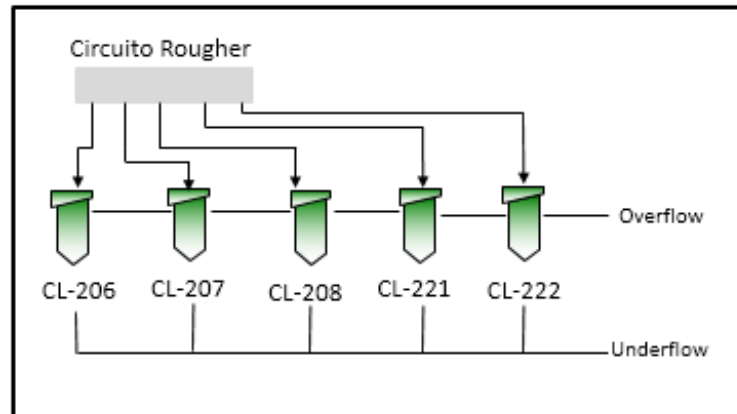
Atualmente, os circuitos de flotação 01 e 02 da Planta Central Usina possuem 11 colunas em cada circuito, sendo 5 *Rougher*, 2 *Cleaner*, 2 *ReCleaner* e 2 *Scavenger* (Figura 5). O circuito é alimentado pelo *underflow* da etapa de ciclonagem e utilizados para concentração de finos de minério de ferro e posterior geração de *pellet feed*, com uma produção de aproximadamente 14.000 toneladas/dia. A caracterização mineralógica do *pellet feed* indica a presença de Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, P, CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>.

Figura 5-Fluxograma do circuito de flotação da Planta Central Usina



### 3.5 Colunas de flotação: Planta Central – Companhia Siderúrgica Nacional

As colunas *Rougher* da flotação 02 são identificadas em: CL206, CL208, CL209, CL221 e CL222 (Figura 6). Essas colunas são as primeiras do circuito de flotação a receber a polpa proveniente do tanque de condicionamento, sendo responsáveis por separar o concentrado (que seguirá para a coluna *Cleaner*) do rejeito (que será direcionado direto ao espessador de rejeitos), permitindo que a concentração de ferro da polpa passe de 47% na alimentação da coluna para 62% no concentrado dessa coluna. A polpa seguirá pelas outras colunas de flotação com o intuito de atingir a maior recuperação de ferro no concentrado final, cerca de 66%, e menor concentração de sílica, com meta de 2,5%. O rejeito final do circuito de flotação apresenta cerca de 14% de ferro.

Figura 6-Circuito *Rougher* - Flotação 02

Fonte: CSN Mineração (2018)

O concentrado final será denominado *pellet feed*, com granulometria  $-0,15 \text{ mm} + 0,044 \text{ mm}$  e seguirá para o processo de filtragem de concentrados e posteriormente carregamento, sendo estocado como produto. O rejeito final do processo seguirá para o espessador de rejeitos, separador magnético de rejeitos, e direcionado à barragem de rejeitos ou à filtragem de rejeitos, empilhando esse material em um pátio.

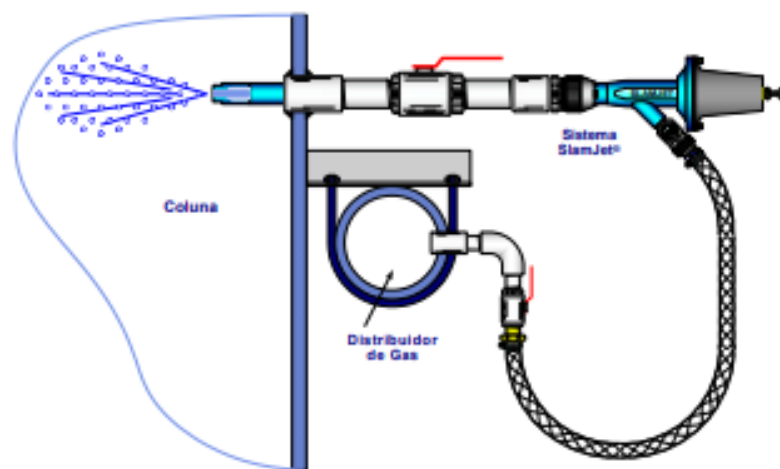
Os reagentes utilizados para o condicionamento da polpa são amina (coletor), amido (depressor), e soda (regulador de pH), e as atuais variáveis do processo de flotação são pressão Header ( $\text{kgf/cm}^2$ ), vazão do ar ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), concentração de amido e amina, pH, interface (espuma/polpa) e taxa de flotação.

### 3.6 Sistema atual de aeração nas colunas de flotação: Planta Central – Companhia Siderúrgica Nacional

Cada coluna de flotação da Planta Central Usina possui atualmente 22 aeradores do tipo SlamJet (Figura 7 e 8) em cada coluna, totalizando 484 equipamentos. Esses aeradores consistem em uma série de tubos simples de injeção de ar, com haste, válvula tipo agulha de aço inox, selo hermético, diafragma, ponta viton, ponteira de cerâmica de diâmetro 5,08 mm, e com um sistema de injeção de ar automático. O ar comprimido é fornecido para os tubos através de uma tubulação de ar comum, e a quantidade total de ar fornecida para a coluna é controlada pela regulação do fluxo de ar desta tubulação.

A haste fica inserida no tubo desses aeradores e está acoplada, em sua base, a um diafragma pressionado por mola. O ajuste de ar e o mecanismo de fechamento de ar consistem nessa mola e no diafragma, conectados à haste da válvula de agulha. A válvula, pressionada por mola, ambos na base da haste, promove o ajuste do aerador. Esses aeradores são responsáveis por injetar bolhas de ar na coluna de flotação para a coleta de partículas hidrofóbicas, permitindo a separação do mineral útil do mineral de ganga.

Figura 7-Desenho esquemático do aerador tipo SlamJet



Fonte: Catálogo da empresa fabricante


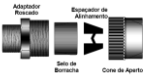

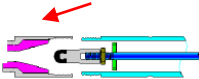
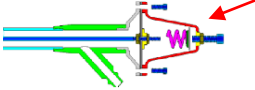
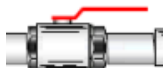

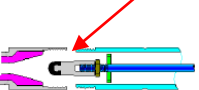
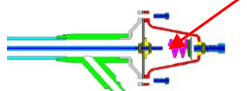

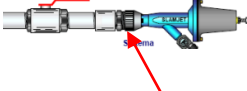



Figura 8-Aerador SlamJet na coluna de flotação



Fonte: CSN Mineração (2018)

As peças e equipamento que compõe o aerador do tipo SlamJet estão ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1-Equipamento e peças do aerador tipo SlamJet

| Equipamentos/Peças | Ilustração  |
|--------------------|---|
| Engates rápidos    |    |
| Selo hermético     |     |
| Hastes Grandes     |     |
| Ponteiros          |     |
| Diafragma          |     |
| Válvula 1"         |    |
| Válvula 1/2"       |  |
| Ponta Viton ou PU  |   |
| Mola               |   |
| Mangueira          |   |
| Niple 1"           |   |
| Luva 1"            |   |
| Abraçadeira 1/2"   |  |
| Slamjet Completo   |   |

Fonte: CSN Mineração (2017)

Para que a flotação ocorra de forma satisfatória, é necessário que o sistema de ar nos aeradores das colunas esteja funcionando de forma correta, com direção e uma boa velocidade de fluxo de ar por toda a coluna. Dessa forma, estes equipamentos necessitam de uma periodicidade de inspeção, calibração e manutenção mensal em cada um, para que seja atingido a performance necessária, buscando estabilidade na pressão de trabalho dos aeradores, livre de obstruções e avarias.

As atuais inspeções nos aeradores das colunas são realizadas mensalmente pelos operadores da área, e buscam avaliar as condições dos aeradores, quantos operam com bom funcionamento, quantos estão danificados e devem ser removidos, e quantos irão para a manutenção para calibração da pressão de ar e troca de ponteira, diafragma, mangueira de ar, registro, selo hermético, entre outras peças.

As inspeções duram mais ou menos uma hora em cada coluna e ocorre removendo cada aerador da coluna e inspecionando a saída de ar, válvulas, engate rápido, abraçadeira, estado da haste e da ponteira. Caso seja verificada alguma anormalidade, o aerador é levado até a oficina para desmontá-lo (Figura 9) e realizar a manutenção. O aerador é posicionado em uma morsa, o parafuso 3/8" é aliviado e posteriormente são retirados os parafusos do copo do aerador.

Figura 9-Operador desmontando o aerador na oficina



Nesse procedimento pode ser verificado também o diafragma e outras peças internas do aerador, como selo hermético, ponta viton e mola. A pressão de ar dos aeradores é inicialmente observada na área pelo operador pela força do jato de ar, porém, esse procedimento depende da percepção do operador, podendo apresentar erros. A verdadeira pressão do ar dos aeradores só pode ser medida na oficina, com o auxílio de um manômetro de calibração, e caso o aerador não apresente a pressão ideal de 2kgf/cm<sup>2</sup>, é necessário desmontar o aerador, e calibrar regulando o parafuso e mola, ou através da posição do diafragma e das roscas. Quando não há uma pressão ideal correta nos aeradores, não há vedação para impedir a entrada de material no orifício de injeção de ar do SlamJet, e conseqüentemente o aerador fica sujeito a entupimento e danos severos por contaminação de polpa, não ocorrendo a performance adequada de injeção de bolhas de ar nas colunas.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo contém a descrição da metodologia adotada durante a instalação e controle do desempenho dos aeradores em teste, bem como os procedimentos considerados para caracterização das amostras e qualidade do produto *pellet feed*.

Adotou-se a metodologia PDCA (Figura 10) para todo o controle do processo, através do “Planejamento” (identificação do problema, análise do problema, análise do processo e planos de ação), “Execução” (aplicar o plano de ação), “Checagem” (verificar atingimento de meta, acompanhar indicadores), e “Ação” (ação corretiva no insucesso instalado e padronização dos resultados positivos).

Figura 10- Matriz de PDCA



### 4.1 Planejamento

Esta parte contém a primeira etapa da metodologia PDCA, em que foram identificados e analisados os problemas e o processo, além da criação do plano de ação contendo as atividades necessárias para se atingir o objetivo.



#### 4.1.1 Identificação e análise do problema e do processo

Em função do grande volume de equipamentos (484 aeradores do tipo SlamJet) nos circuitos de flotação 01 e 02 da Planta Central Usina (CSN Mineração), foi observado elevado tempo dedicado as atividades de inspeção, calibração, manutenção, e correção das anormalidades nos aeradores, para que eles atinjam a performance necessária ao processo de aeração e flotação. Contabilizou-se o tempo gasto com cada atividade para manutenção (Tabela 2) de cada peça do aerador, e calibração (Tabela 3) da pressão de ar do aerador tipo SlamJet.

Tabela 2-Tempo gasto com manutenção do aerador utilizado atualmente (SlamJet)

| Manutenção – Aeradores atuais |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Atividade                     | Tempo                 |
| Remover o aerador da coluna   | 23 segundos           |
| Realizar inspeção do aerador  | 27 segundos           |
| Levar o aerador até a oficina | 1 min 50 seg.         |
| Desmontar o aerador           | 2 min 33 seg.         |
| Troca da mola                 | 3 segundos            |
| Troca do diafragma            | 2 min 19 seg.         |
| Troca da ponteira             | 29 segundos           |
| Troca da ponta viton          | 1 min 11 seg.         |
| Troca da haste                | 3 minutos             |
| Montar o aerador              | 2 min 30 seg.         |
| Levar o aerador até a coluna  | 2 min 5 seg.          |
| Inseri-lo na coluna           | 30 segundos           |
| Tempo total                   | <b>17 min 20 seg.</b> |

Tabela 3-Tempo gasto para calibração do aerador utilizado atualmente (SlamJet)

| Calibração - Aeradores atuais |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| Atividade                     | Tempo                |
| Remover o aerador da coluna   | 23 segundos          |
| Realizar inspeção do aerador  | 10 segundos          |
| Levar o aerador até a oficina | 1 min 50 seg.        |
| Calibração                    | 58 segundos          |
| Levar o aerador até a coluna  | 2 min 5 seg.         |
| Inseri-lo na coluna           | 30 segundos          |
| Tempo total                   | <b>5 min 56 seg.</b> |

O tempo gasto para desmontar o aerador, por exemplo, é de 2 minutos e 33 segundos, e caso houvesse a troca de todas as peças desse aerador, seria necessário um total de 17 minutos e 20 segundos. Para realizar todo o procedimento de calibração da pressão do aerador foi gasto 5 minutos e 56 segundos.

A Tabela 4 mostra o tempo produtivo por 1 operador na empresa, relacionando com o tempo gasto para calibração de cada aerador, sendo possível calcular quantos dias são necessários para que um operador realize todas as atividades necessárias à calibração dos 484 atuais aerador do tipo SlamJet. Calculou-se média de 9 dias de trabalho no mês para que um operador realize a calibração dos 484 aeradores presentes nas colunas de flotação dos circuitos 01 e 02 (Tabela 5), sendo recomendação do fornecedor calibração mensal de todos equipamentos.

Tabela 4-Tempo produtivo gasto por um operador para calibração de todos os aeradores (SlamJet) utilizados atualmente

| Tempo produtivo de 1 operador |      |                   |
|-------------------------------|------|-------------------|
| Horário ADM                   | 8,00 | Horas/dia         |
| Almoço                        | 1,00 | Horas             |
| DDS                           | 0,50 | Horas             |
| Ocorrência turno Final        | 0,50 | Horas             |
| Necessidades básicas          | 0,67 | Horas             |
| Tempo produtivo de 1 operador | 5,3  | Horas/dia efetivo |

Tabela 5-Tempo gasto para calibração dos aeradores no período produtivo

| Tempo necessário para calibração do aerador |               |                           |
|---|---------------|---------------------------|
| Cada aerador                                | 484 aeradores | Tempo produtivo<br>(dias) |
| 5 min 56 seg.                               | 2871,73 min.  | <b>9 dias</b>             |

Os problemas mais comuns identificados nas inspeções de 2017 nos aeradores das colunas de flotação dos circuitos 01 e 02, que tornaram necessária a manutenção dos aeradores e troca de equipamentos são: ponteira com desgaste (Figura 11), diafragma estourado (Figura 12), molas enferrujadas (Figura 13), entupimento do SlamJet e principalmente deficiência na calibração, que gera entupimentos e perdas de desempenho do processo de flotação por operar com equipamentos com baixa eficiência.

Figura 11-À esquerda ponteira com desgaste. À direita, ponteira em bom estado



Figura 12-À esquerda diafragma estourado. À direita, diafragma em bom estado



Figura 13-Acima mola enferrujada. Abaixo, mola em bom estado



De acordo com as inspeções e controle do consumo total de sobressalentes (Tabela 6), de janeiro a dezembro de 2017, houveram diversos gastos com a manutenção e troca de peças e equipamento em todas as colunas de flotação do circuito 02.

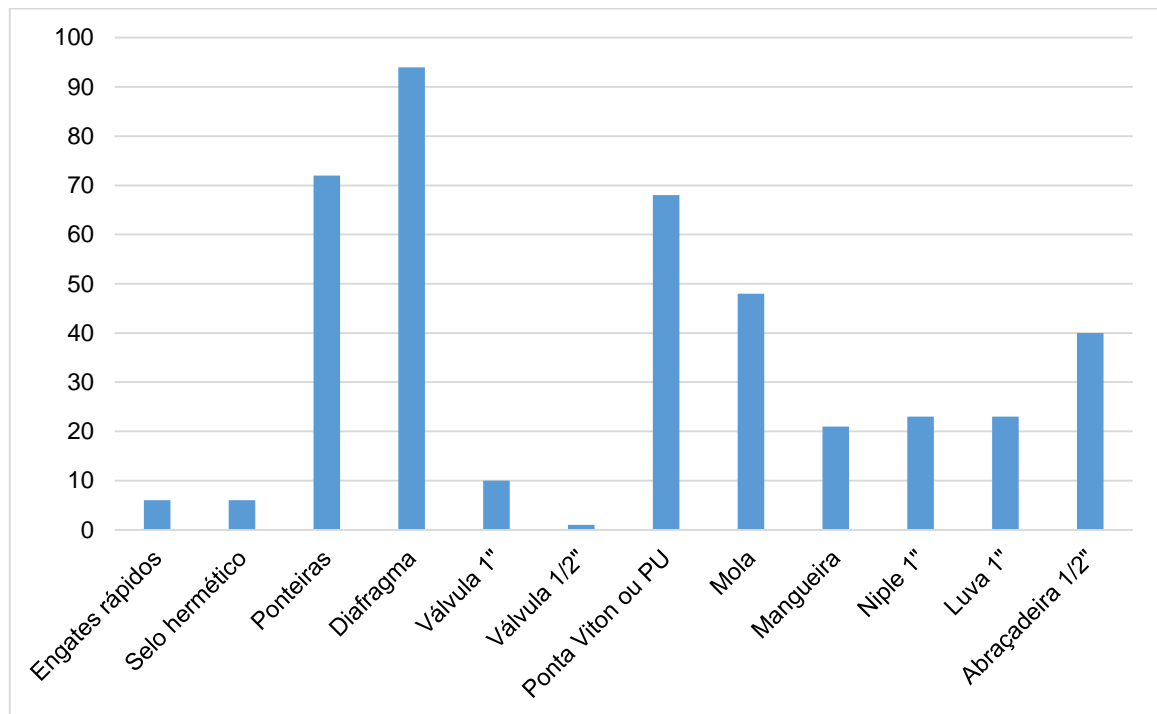
Tabela 6-Consumo total de peças e equipamento (sobressalentes) no circuito 02 de flotação em 2017

| Consumo total – 2017  |     |     |     |     |     |     |     |     |         |     |     |     |               |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|---------------|
| Pe-<br>ça/Equipamento | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Se<br>t | Out | Nov | Dez | Total<br>2017 |
| Engates rápidos       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0       | 4   | 0   | 1   | 6             |
| Selo hermético        | 1   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0       | 0   | 0   | 0   | 6             |
| Ponteiras             | 13  | 9   | 0   | 1   | 0   | 10  | 5   | 9   | 7       | 6   | 8   | 4   | 72            |
| Diafragma             | 17  | 11  | 0   | 0   | 0   | 11  | 10  | 8   | 10      | 9   | 10  | 8   | 94            |
| Válvula 1"            | 1   | 5   | 0   | 0   | 0   | 1   | 2   | 0   | 0       | 0   | 1   | 0   | 10            |
| Válvula 1/2"          | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0       | 0   | 0   | 0   | 1             |
| Ponta Viton ou<br>PU  | 12  | 6   | 0   | 1   | 0   | 10  | 6   | 7   | 8       | 4   | 6   | 8   | 68            |
| Mola                  | 8   | 1   | 0   | 0   | 0   | 3   | 8   | 6   | 5       | 5   | 7   | 5   | 48            |
| Mangueira             | 8   | 4   | 0   | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 4       | 2   | 1   | 0   | 21            |
| Niple 1"              | 0   | 2   | 0   | 21  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0       | 0   | 0   | 0   | 23            |
| Luva 1"               | 0   | 2   | 0   | 21  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0       | 0   | 0   | 0   | 23            |
| Abraçadeira 1/2"      | 9   | 1   | 0   | 1   | 0   | 6   | 5   | 0   | 0       | 5   | 7   | 6   | 40            |

Fonte: CSN Mineração (2017).

Totalizou-se 412 sobressalentes em 2017, número muito alto para 12 meses de inspeção em um circuito com 11 colunas de flotação. O elevado consumo total de peças foi representado graficamente (Figura 14) e foi relacionado principalmente a 94 diafragmas, 72 ponteiras, 68 pontas viton e 48 molas.

Figura 14-Gráfico em relação ao consumo total de peças e equipamento (sobressalentes) no circuito 02 de flotação em 2017



O preço unitário, em 2017, dos sobressalentes relacionados ao aerador do tipo SlamJet foram consultados em uma tabela fornecida anteriormente pela empresa fabricante desse aerador utilizado nas colunas de flotação da Planta Central Usina. Foram destacados principalmente o preço unitário do diafragma, ponteira e do corpo do aerador, que são custos mais elevados principalmente devido ao grande consumo dessas peças.

O consumo total de sobressalentes em 2017, indicado na Tabela 6, é relacionado somente ao circuito 02, que apresenta 11 colunas de flotação. Dessa forma, realizou-se os cálculos para obter o consumo total de sobressalentes nos dois circuitos de flotação em um intervalo de um ano, assim como o consumo total anual em cada uma das 22 colunas e também em cada aerador. Posteriormente, realizou-se o cálculo do gasto (R\$) total anual estimado com sobressalentes em cada coluna de flo-

tação e em todas as colunas (Tabela 7), através do auxílio da tabela fornecida anteriormente com o preço unitário de cada sobressalente.

Tabela 7-Consumo e gasto total anual (R\$) de peças e equipamentos (sobressalentes) no aerador atual tipo SlamJet

| Sobressalentes   | Consumo total<br>circuito 01 (11<br>colunas) | Consumo total<br>circuito 01 e 02<br>(22 colunas) | Consumo total<br>por coluna | Consumo total por<br>aerador |
|------------------|--|---|-----------------------------|------------------------------|
| Engates rápidos  | 6  | 12  | 0,55                        | 0,02                         |
| Selo hermético   | 6  | 12  | 0,55                        | 0,02                         |
| Ponteiras        | 72   | 144   | 6,55                        | 0,30                         |
| Diafragma        | 94   | 188   | 8,55                        | 0,39                         |
| Válvula 1"       | 10   | 20  | 0,91                        | 0,04                         |
| Válvula 1/2"     | 1  | 2   | 0,09                        | 0,00                         |
| Ponta viton      | 68   | 136   | 6,18                        | 0,28                         |
| Mola             | 48   | 96  | 4,36                        | 0,20                         |
| Mangueira        | 21   | 42  | 1,91                        | 0,09                         |
| Niple 1"         | 23   | 46  | 2,09                        | 0,10                         |
| Luva 1"          | 23   | 46  | 2,09                        | 0,10                         |
| Abraçadeira 1/2" | 40   | 80  | 3,64                        | 0,17                         |
| Consumo total    | <b>412</b>                                   | <b>824</b>  | <b>37,45</b>                | <b>1,70</b>                  |
| Gasto total      | R\$ 54.589,15                                | <b>R\$ 109.178,30</b>                             | R\$ 4.962,65                | R\$ 225,58                   |

O consumo estimado de diafragma, por exemplo, é de 8,55 diafragmas em cada coluna de flotação em um intervalo de um ano. O consumo de ponteira é estimado em 6,55 também em um intervalo de um ano. Observou-se que o consumo de diversas peças é elevado, assim como o gasto total anual estimado em todo o circuito, de R\$109.178,30.

Foi também realizada uma projeção de quanto seria o gasto (R\$) aproximado caso houvesse a troca de todas as peças de um aerador do tipo SlamJet utilizado nas colunas de flotação. O valor obtido foi anotado em uma tabela para posterior comparativo, e foi utilizando também para estimar quanto seria gasto em todas as atuais 22 colunas de flotação, caso também houvesse a troca de todas as peças e equipa-

mento desse aerador. O valor obtido também foi anotado para posterior comparação (em porcentagem) em relação aos valores de cada sobressalente.

A grande quantidade de aeradores que apresentaram problema de entupimento também é um dos fatores de análise considerados como prejudicial ao processo de aeração e flotação, já que as bolhas de ar não são geradas nem inseridas na coluna, impedindo a coleta do material que deseja-se flotar, arrastando boa quantidade de rejeito para o concentrado, formando muitas das vezes um *pellet feed* com qualidade inferior a desejada pelo cliente.

Para os colaboradores, observa-se um elevado tempo dedicado à mesma atividade de inspeção, calibração e manutenção do aerador.

Observou-se a necessidade de implantação de um novo aerador para que seja atingido a performance necessária, buscando estabilidade na pressão de trabalho, livre de obstruções e avarias.

#### **4.1.2 Situação proposta**

Implementação de 42 novos modelos de aeradores SonicSparger Jet nas colunas *Rougher* CL208 e CL222 (Figuras 15 e 16), do circuito de flotação 02, em substituição dos atuais aeradores do tipo SlamJet, para fase de teste, visando analisar o melhor desempenho em relação à redução no tempo de inspeção, calibração e manutenção, redução dos gastos com troca de peças e equipamentos, aumento da vida útil do equipamento, ganhos com segurança operacional, e posterior estabilidade na geração de bolhas para melhorias no desempenho da flotação e melhor qualidade do produto *pellet feed*.

Através do levantamento dos dados da fase teste e da avaliação da viabilidade dos novos aeradores, foi possível analisar a viabilidade da execução do projeto de compra parcial ou até mesmo total dos 484 aeradores SonicSparger Jet para todas as colunas *Rougher*, *Cleaner*, *Recleaner* e *Scavenger* da flotação 01 e 02.

Figura 15-Situação proposta de disposição dos aeradores na coluna *rougher* CL208 para fase de teste

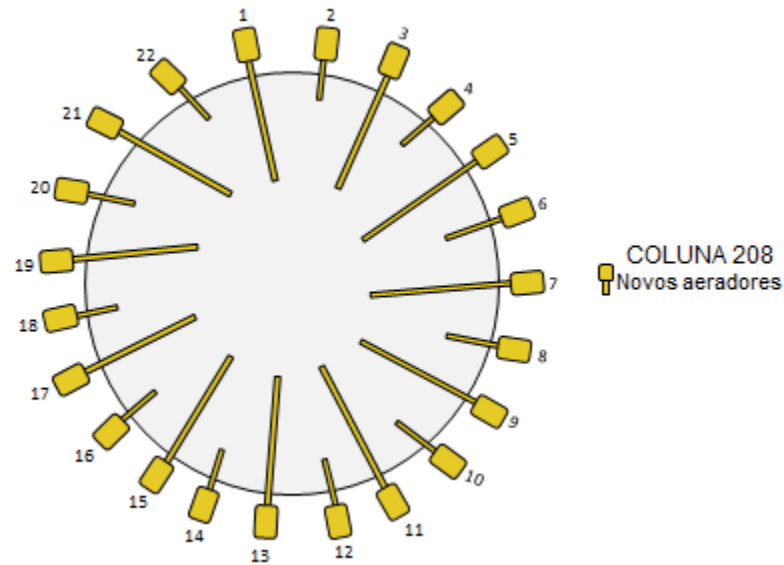
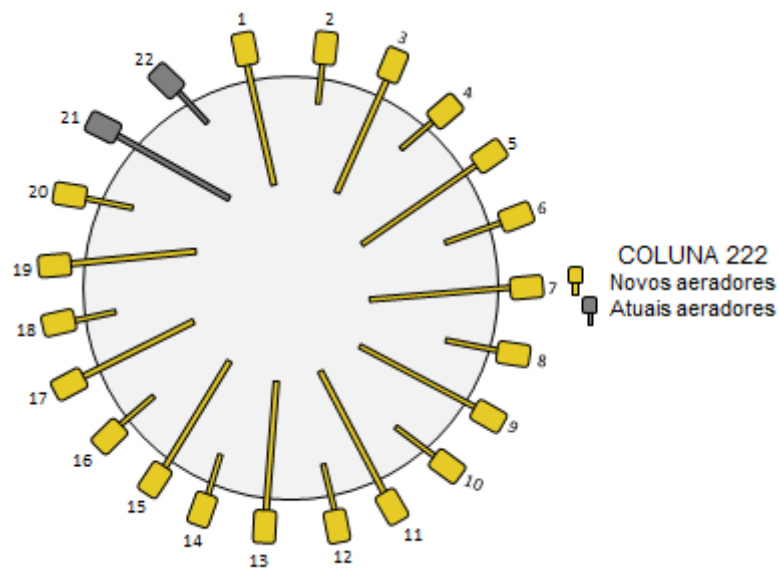


Figura 16-Situação proposta de disposição dos aeradores na coluna *rougher* CL222 para fase de teste



A descrição de todas as peças do aerador SonicSparger Jet e preço unitário, em 2018, dos sobressalentes foram consultados em uma tabela fornecida pela empresa fabricante desse aerador proposto para teste nas colunas de flotação da Planta Central Usina. Os valores unitários foram anotados para posterior comparação com os valores unitários dos sobressalentes dos aeradores (SlamJet) utilizados atualmente nas colunas de flotação.



### **4.1.3 Plano de ação**

A criação de um plano de ação permitiu a descrição de todas as atividades necessárias para o desenvolvimento do projeto de implantação de um novo aerador, além do controle de execução de cada uma, identificando se a atividade está concluída, em andamento, pendente, não iniciada ou excluída. O plano de ação foi revisado toda a semana para um controle mais efetivo.

As atividades contidas no plano de ação se encontram na Tabela 8. Após a realização de todas as atividades contidas no plano de ação, deverá haver o fechamento do relatório final contemplando todos os dados coletados durante o projeto para conclusão da viabilidade efetiva do aerador em teste e posterior troca dos aeradores de todas as colunas da flotação 01 e 02.

Tabela 8-Atividades contidas no Plano de ação relacionado aos aeradores em teste

---

### **Atividades - Plano de Ação**

---

Compra dos novos modelos de aeradores para a fase de teste

Substituição de 22 aeradores para teste na coluna Rougher CL208 e de 20 aeradores para teste na coluna Rougher CL222.

Criação de check-list, planilha de controle do tempo com intervenções para inspeção, calibração e manutenção, planilha de controle da pressão de ar nos aeradores, plano de amostragem, planilha de controle de desgaste e troca de peças e equipamento, planilha de controle financeiro de todos os gastos referentes às atividades nos aeradores, planilhas para medição da eficiência dos aeradores

Realizar mensalmente o controle de desgaste dos aeradores em teste, nas colunas rougher CL208 e CL222, comparando com o aerador utilizado atualmente

Realizar semanalmente o controle das pressões de ar dos aeradores em teste, através da leitura da pressão nos manômetros

Realizar mensalmente o fechamento de ar em um aerador em teste e em um aerador atual, para avaliar possíveis entupimentos

Realizar o controle de uso de sobressalente nos aeradores em teste e nos aeradores atuais, realizando os cálculos financeiros em relação aos gastos (R\$)

Realizar amostragens nas colunas CL208, para medição do desempenho (qualidade pellet feed, recuperação metalúrgica, índice de seletividade de Gaudin) do novo aeradores em teste

Observação de todos os dados coletados nas planilhas, para comparação entre o aerador em teste e o aerador utilizado atualmente

Fechamento do relatório final contemplando todos os dados coletados durante o projeto para conclusão da viabilidade ou não da aplicação dos aeradores

---

## 4.2 Execução

Consiste na segunda etapa da metodologia PDCA, em que será executado o plano de ação criado anteriormente, contemplando todas as atividades descritas e detalhando a execução de cada uma delas.

### 4.2.1 Instalação do novo aerador

A instalação dos novos modelos de aeradores SonicSparger Jet da fase de teste nas colunas *Rougher* CL208 e CL222 (Figura 17 e 18) foi realizada pelos operadores da área, com o acompanhamento do responsável técnico da empresa dos novos aeradores, para garantir uma correta instalação do equipamento. A descrição técnica do equipamento também foi disponibilizada pelo responsável, para garantir o conhecimento do funcionamento do aerador para possíveis tomadas de decisões.

Figura 17-Aerador em teste instalado na coluna *Rougher* CL208



Fonte: CSN Mineração (2018)

Figura 18 -Aerador em teste instalado na coluna Rougher CL222



Fonte: CSN Mineração (2018)

#### 4.2.2 Controle de pressão de calibração

Para o controle da pressão de calibração dos 42 aeradores de ambas as colunas, realizou-se a leitura da pressão através dos manômetros existentes em cada aerador (diferentemente dos aeradores do tipo SlamJet, que não possuem manômetro tornando necessário ir à oficina para saber a pressão de ar), anotando os valores na planilha criada anteriormente.

A leitura da pressão foi inicialmente realizada diariamente, uma vez a cada semana, e depois medições mais espaçadas. Caso a pressão do aerador estivesse abaixo (menor que  $1,7 \text{ kgf/cm}^2$ ), ou muito acima (maior que  $2,3 \text{ kgf/cm}^2$ ) da pressão ideal ( $2,0 \text{ kgf/cm}^2$ ), seria realizada na própria coluna a calibração através de um cilindro de pressão, com o auxílio de um operador.

#### 4.2.3 Controle de desgaste dos aeradores

Para o controle de desgaste dos aeradores, foram realizadas inicialmente inspeções na coluna *Rougher* CL222, para comparar os 20 aeradores SonicSparger Jet com os 2 aeradores SlamJet utilizados atualmente. Essas inspeções foram realizadas retirando cada aerador da coluna, e observando no próprio local a condição da haste, manômetro e ponteira, anotando em uma planilha os resultados. As inspeções eram

feitas mensalmente, e caso fosse observado alguma anomalia ou desgaste, poderá ocorrer a troca de peças ou do próprio equipamento.

#### **4.2.4 Inspeções de controle de entupimento e vazamento**

Foram realizadas inspeções para o controle de entupimento ou vazamento de material pelo aerador, através do fechamento do ar no aerador número 9 (aerador em teste) e número 21 (atual aerador) na coluna Rougher CL222, no dia anterior a inspeção. Após um dia com ar fechado, era possível realizar a inspeção retirando o equipamento da coluna, ligando novamente o ar, e observando se o ar estava saindo normalmente. Caso afirmativo, não havia entupimento do equipamento ou da mangueira de ar. Os resultados eram anotados em uma planilha para controle.

#### **4.2.5 Controle mensal de manutenção e custos com peças e equipamento**

Coletou-se com o responsável da área os dados referentes a uma planilha já existente de controle mensal de manutenção dos aeradores atuais, contendo informação sobre os aeradores inspecionados, danificados, e que foi necessária a troca da peça/equipamento, e comparando com os controles mensais de manutenção dos aeradores em teste. Após a coleta da quantidade de sobressalentes em um determinado período de tempo, e do auxílio da planilha do custo unitário de cada sobressalente, realizou-se o cálculo do custo total gasto, comparando a redução de custo do novo modelo de aerador (SonicSparger Jet) em relação ao aerador atual (SlamJet).

#### **4.2.6 Plano de amostragem**

Para avaliar o real desempenho nos novos aeradores no processo de flotação, houve um detalhamento e criação de um plano de amostragem, instalando pontos para a coleta de amostras na coluna *Rougher 208* (contendo os aeradores em teste) e na coluna *Rougher CL207* (contendo os atuais aeradores). Primeiramente, foi necessária a coleta em campo da pressão média dos aeradores ( $\text{kgf/cm}^2$ ) e a pressão header ( $\text{kgf/cm}^2$ ), e na sala de controle a vazão de ar dos aeradores ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), taxa de flotação ( $\text{t/h}$ ), interface (mm), pH, amido ( $\text{g/t}$ ) e amina ( $\text{g/t}$ ), sendo que esses valores deveriam se manter constantes durante a amostragem e a interface se manter a

mesma para as duas colunas. Após a anotação das variáveis do processo, iniciava-se a amostragem. A cada 15 minutos, eram feitos cortes para retirada ao mesmo tempo de uma amostra do ponto de amostragem do concentrado e rejeito de ambas as colunas, durante 2 horas, armazenando o material coletado em leiteiras de 20L, com etiquetas contendo a data da amostragem, horário e nome da amostra. As 4 amostras enviadas ao laboratório.

#### **4.2.6.1 Caracterização das amostras**

No laboratório, foi realizada a caracterização das 4 amostras (concentrado e rejeito da coluna com o novo modelo de aerador, e concentrado e rejeito da coluna contendo o aerador atual), retiradas durante o processo de amostragem.

Primeiramente, as amostras enviadas ao laboratório foram pesadas em uma balança para obter o seu peso úmido. Em seguida, foram filtradas em um filtro prensa para a retirada da umidade e também passavam pela etapa de secagem em uma chapa térmica a 142°C, para a retirada completa da água. Pesou-se novamente as amostras para obter o peso seco. A partir dos pesos obtidos, era possível obter a porcentagem de sólidos presente na polpa.

Após o cálculo da porcentagem de sólidos, as amostras eram postas em uma peneira para desaglomeração das partículas para abaixo de 1mm, depois homogeneizadas e enviadas ao divisor de Riffles, retirando uma amostra representativa do todo, de mais ou menos 50g. Essas amostras são levadas à mufla durante 30 minutos (1000°C), depois para estufa (150°C) para retirada total da umidade, e para o dessecador, para resfriamento. Após o procedimento, é possível encontrar o valor de PPC (perda por calcinação) da amostra.

Em seguida, as amostras são levadas para uma máquina de fusão, esquentando e esfriando o material, para formação de pastilhas que serão enviadas para a análise química, através dos testes de fluorescência. Utilizou-se o equipamento Simultix14 para o teste de fluorescência, em que ocorre através de raio x a leitura da pastilha. O resultado das amostras continha a % de Fe, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, P, CaO, MgO, e TiO<sub>2</sub> de concentrado e rejeito das colunas Rougher CL207 e CL208.

#### 4.2.6.2 Indicadores de desempenho

Após obter o teor de cada elemento nas amostras, foi realizada a avaliação e medição do desempenho da coluna de flotação do atual aerador comparando com a coluna onde se encontra o novo aerador de teste, através da qualidade do *pellet feed* (teor dos minerais não úteis no concentrado) de ambas as colunas, da recuperação metalúrgica (RM) dos produtos (Equação 1), para determinar quanto da massa do elemento de interesse contida na alimentação passou para o concentrado, e também através do índice de seletividade (IS) de Gaudin (Equação 2), afim de determinar o quão seletiva foi aquela amostragem.

$$RM = \frac{C_c}{A_a} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

C = massa no concentrado

A = massa na alimentação

c = teor da espécie útil (Fe) no concentrado

a = teor da espécie útil (Fe) na alimentação

$$IS = \sqrt{\frac{(\text{Recuperação de Fe no concentrado}) \times (\text{Recuperação de SiO}_2 \text{ no Rejeito})}{(\text{Recuperação de Fe no Rejeito}) \times (\text{Recuperação de SiO}_2 \text{ no concentrado})}} \quad (2)$$

#### 4.2.7 Comparativo

Após várias realizações e anotações sobre o controle de desgaste, medição da pressão de calibração e amostragem, foi feito um comparativo de todos os dados de inspeção antes e depois da instalação dos aeradores.

Através dos resultados das atividades do plano de ação, comparação dos resultados, e a conclusão da viabilidade efetiva dos aeradores em teste, poderá ser executado o projeto para a compra dos atuais aeradores para todas as colunas da flotação

01 e 02. A troca dos aeradores será realizada com o auxílio dos operadores da área e do responsável da empresa.

### **4.3 Checagem**

A checagem ocorreu através do acompanhamento dos indicadores e atingimento das metas, que se dão através dos resultados obtidos em todo o processo e a comparação do mesmo. Esses resultados serão vistos na parte de resultados e discussão.

### **4.4 Ação**

Após a obtenção dos resultados finais do processo de otimização do circuito de aeração das colunas de flotação, foi possível avaliar se o resultado da instalação de um novo modelo de aeração é satisfatório ou não. O resultado que for positivo será padronizado, e aquele resultado negativo deverá passar uma ação corretiva para melhoria do insucesso obtido.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSAO

Os resultados esperados eram a redução de tempo nas intervenções para inspeções e manutenção, otimização da aplicação dos aeradores nas colunas de flotação para o aumento de produtividade, redução de desperdícios e redução de custos, além da segurança operacional.

### 5.1 Controle da pressão de calibração

Através do controle da pressão de calibração dos aeradores SonicSparger Jet, foram realizadas 17 inspeções em 6 meses nos 22 aeradores da coluna *Rougher* CL208 (Tabela 9), e verificou-se que das 374 medições de pressão apenas 34 estavam muito acima ou abaixo da pressão ideal de 2kgf/cm<sup>2</sup>, representando uma porcentagem satisfatória de aproximadamente 90,9% de medições de pressão ideais. Após a calibração desses aeradores, 12 aeradores voltavam a apresentar algum problema de pressão, em intervalos que variavam de 1 a 6 meses. O mesmo controle foi realizado com a coluna *Rougher* CL222 (Tabela 10), realizou-se 16 inspeções em 6 meses nos 20 aeradores em teste. Verificou-se que das 320 pressões medidas apenas 34 estavam muito abaixo ou acima da pressão ideal de 2kgf/cm<sup>2</sup>, representando uma porcentagem satisfatória de mais ou menos 90,7% de medições de pressão ideais. Após a calibração desses aeradores, 10 aeradores voltavam a apresentar algum problema de pressão, em intervalos de 1 a 5 meses. O resultado mostra que esse aerador em teste garante a pressão de ar ideal devido à pouca quantidade de aeradores descalibrados, em um maior intervalo de tempo.

Tabela 9-Controle de pressão de calibração do SonicSparger Jet na coluna 208

| CONTROLE DE PRESSÃO DE CALIBRAÇÃO (kgf/cm <sup>2</sup> ) - Aerador em teste (Coluna Rougher CL208) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Data   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  |
| 25/04/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 1,9 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 0,7 | 2   | 2   | 0,3 | 2   | 2,1 | 2   | 2,1 | 2,1 | 2   | 2   |
| 26/04/2018   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2   | 2,2 | 2   | 2   | 2,2 | 2   | 2   |
| 27/04/2018   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2   | 2,2 | 2   | 2,1 | 2,2 | 2   | 2   |
| 30/04/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2,2 | 2,2 | 2,1 | 2,2 | 2   | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2   | 2   |
| 03/05/2018   | 2,1 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,2 | 2   | 2   |
| 04/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2,2 | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,2 | 2   | 2   |
| 07/05/2018   | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2   | 2,1 | 2   | 2   |
| 08/05/2018   | 2   | 1,9 | 2   | 2,1 | 2   | 1,9 | 1,9 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   |
| 11/05/2018   | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 1,6 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   |
| 16/05/2018   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,5 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   |
| 05/06/2018   | 2   | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 0,8 | 1,9 | 1,9 | 2   | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2   | 1,8 | 2   | 1,9 | 1,9 | 2   | 1,9 | 1,8 |
| 11/06/2018   | 2   | 2,3 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,8 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2   | 2,1 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   |
| 13/06/2018   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 1,8 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |
| 11/07/2018   | 2   | 2   | 1,8 | 2   | 2   | 0   | 1,8 | 2   | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 1,8 | 2   | 0   | 2   | 2   | 1,8 | 2   | 1,8 | 1,4 |
| 07/08/2018   | 2   | 1,8 | 1,7 | 2   | 1,9 | 1,1 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,6 | 1,1 | 0   | 2   | 2,1 | 2   | 3,5 | 2   | 2   | 1,6 | 1,9 | 1,6 | 1   |
| 11/09/2018   | 2   | 1,7 | 1,6 | 1,9 | 1,8 | 1   | 2,1 | 1,7 | 1,8 | 1,6 | 3,7 | 0,6 | 2,1 | 2,6 | 6   | 0   | 1,8 | 2,6 | 1,7 | 1,8 | 2,9 | 0,5 |
| 02/10/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,4 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |

Fonte: CSN Mineração

Tabela 10-Controle de pressão de calibração do SonicSparger Jet na coluna 222

| CONTROLE DE PRESSÃO DE CALIBRAÇÃO (kgf/cm <sup>2</sup> ) - Aerador em teste (Coluna Rougher CL222) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Data   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21 | 22 |
| 25/04/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2,1 | 2   | 1,9 | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 1,2 | 2,1 | 2   | -  | -  |
| 26/04/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 2,3 | 2   | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 1,1 | 2,1 | 2   | -  | -  |
| 27/04/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2,2 | 2   | 1,9 | 2   | 2,1 | 2   | 2,1 | 2,2 | 2   | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | -  | -  |
| 30/04/2018   | 1,9 | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 2   | 1,9 | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | 2,1 | 1,1 | 2,2 | 2,1 | 2,1 | 2   | 2,1 | 2   | -  | -  |
| 03/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 2,2 | 2   | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2,2 | 2,1 | 0,5 | 2,2 | 2,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 04/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 2,2 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 0,3 | 2,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 07/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,8 | 2,2 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |     | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | -  | -  |
| 08/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,2 | 2,1 | 2   | 2   | 2,1 | 2   | -  | -  |
| 11/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2,1 | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 16/05/2018   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 2,1 | 1,9 | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 05/06/2018   | 2   | 1,9 | 2,1 | 1,7 | 0,9 | 1,9 | 1,8 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 11/06/2018   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2,4 | 2   | 2   | 1,9 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 13/06/2018   | 2   | 2   | 2   | 2,1 | 2   | 2   | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | -  | -  |
| 11/07/2018   | 2   | 1,8 | 2   | 2   | 2   | 2   | 1,2 | 2   | 2   | 1,7 | 2   | 1,9 | 2   | 1,8 | 2   | 1,9 | 2   | 1,9 | 2   | 2   | -  | -  |
| 07/08/2018   | 2   | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 0   | 3   | 3,5 | 1,7 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 2   | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | -  | -  |
| 12/09/2018   | 2,3 | 1,7 | 1,9 | 1,8 | 1,2 | 1,7 | 0   | 2,3 | 3,3 | 1,6 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | -  | -  |

Fonte: CNS Mineração

## 5.2 Inspeções de controle de entupimento ou vazamento

O controle de fechamento de ar (Tabela 11) para verificação de possíveis entupimentos que impedem fluxo ideal de ar pelo aerador, mostrou que o aerador 9 (SonicSparger Jet) da coluna *Rougher* CL222 e o aerador 21 (SlamJet) da mesma coluna não apresentaram qualquer tipo de entupimento ou vazamento de material durante os seis meses de do controle de fechamento de ar.

Tabela 11-Fechamento de ar nos aeradores da Coluna 222

| Data de fechamento | Data de Inspeção | Sonic-Jet |    | Observações  |  |
|--------------------|------------------|-----------|----|--|--|
| 26/04/2018         | 27/04/2018       | 9         | 21 | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste |
| 07/05/2018         | 08/05/2018       | 9         | 21 | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste |
| 16/05/2018         | 17/05/2018       | 9         | 21 | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste |
| 07/08/2018         | 08/08/2018       | 9         | 21 | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste | Não houve entupimento, vazamento de material ou desgaste |

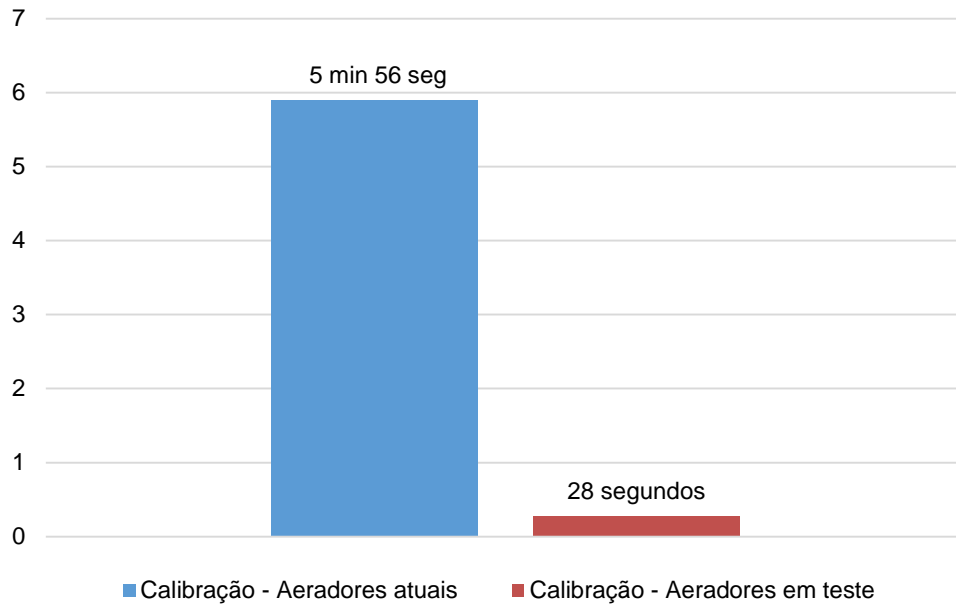
### 5.3 Controle do tempo gasto com calibração e manutenção de sobressalentes

O tempo gasto para calibração do novo aerador em teste está exposto na Tabela 12, e foi de 28 segundos. Esse tempo mostra que o novo aerador tem a vantagem de possuir um manômetro em sua extremidade, o que permite em campo observar se a pressão do ar está ideal e também calibrar o aerador através do auxílio de um cilindro de calibração, sem necessidade de levá-lo a oficina, diminuindo bastante o tempo gasto com a calibração quando em comparação com o tempo gasto para calibração do aerador atual (Figura 19), que foi de 5 minutos e 56 segundos..

Tabela 12-Tempo gasto para calibração do aerador utilizado para teste (SonicSparger Jet)

| Calibração - Aeradores em teste     |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Atividade                           | Tempo                    |
| Inspeção da calibração no manômetro | 5 segundos               |
| Calibração                          | 23 segundos              |
| Tempo total                         | <b>0 min 28 segundos</b> |

Figura 19-Comparativo tempo (minutos) de calibração atual aerador e aerador em teste



Observou-se que se obteve uma economia de aproximadamente 5 minutos e 28 segundos no tempo de calibração em cada aerador da coluna de flotação. Caso seja realizada a troca de todos os 484 aeradores para os aeradores em teste, a economia total em todas as colunas de flotação seria de 2646 minutos (aproximadamente 44,1 horas).

A Tabela 13 mostra o tempo produtivo por 1 operador na empresa, relacionando com o tempo gasto para calibração de cada aerador, sendo possível calcular e realizar uma projeção de quantos dias são necessários para que um operador realize todas as atividades necessárias nos 484 aeradores SonicSparger Jet. Calculou-se média de 0,71 dias de trabalho no mês para que um operador realize a calibração dos 484 aeradores SonicSparger Jet caso sejam implantados na coluna de flotação (Tabela 14).

Tabela 13-Tempo gasto para calibração do aerador em teste (SonicSparger Jet)

| Tempo produtivo de 1 operador |      |                   |
|-------------------------------|------|-------------------|
| Horário ADM                   | 8    | Horas/dia         |
| Almoço                        | 1    | Horas             |
| DDS                           | 0,5  | Horas             |
| Ocorrência turno Final        | 0,5  | Horas             |
| Necessidades básicas          | 0,67 | Horas             |
| Tempo produtivo de 1 operador | 5,3  | Horas/dia efetivo |

Tabela 14-Tempo gasto para calibração dos aeradores no período produtivo

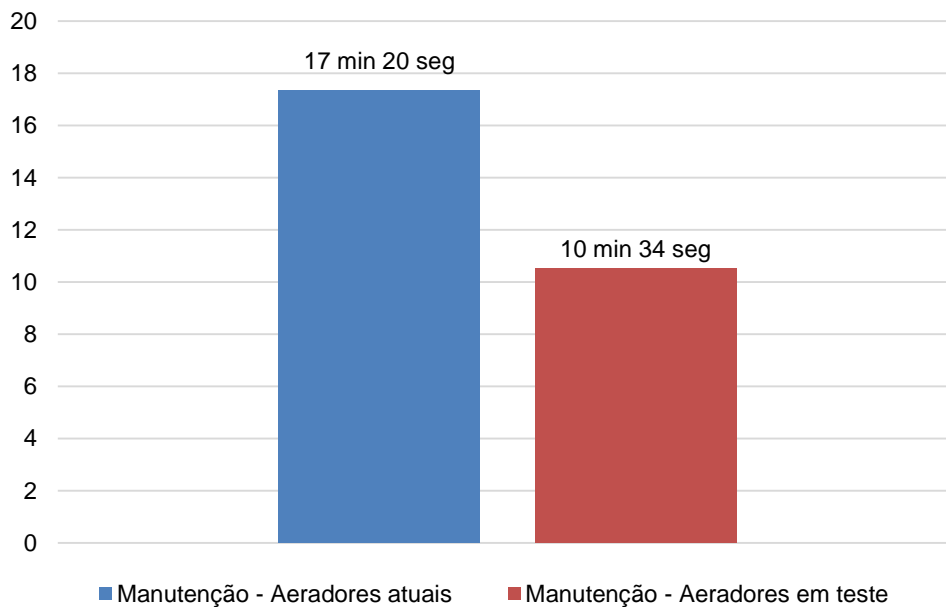
| Tempo necessário para calibração do aerador |                         |                        |
|---|-------------------------|------------------------|
| Cada aerador (minutos)                      | 484 aeradores (minutos) | Tempo produtivo (dias) |
| 0 min 28 segundos                           | 226                     | 0,71                   |

Ao obter o tempo gasto com manutenção dos aeradores em teste (Tabela 15), foi possível analisar e comparar (Figura 20) com o tempo gasto com manutenção do aerador atual, e observou-se que se obteve uma economia de quase 7 minutos, garantindo um resultado bastante satisfatório, o tempo aproveitado em outra atividade, e um desgaste menor por parte dos operadores. A economia do tempo se deve a facilidade de inspeção e manutenção do SonicSparger Jet.

Tabela 15-Tempo gasto com manutenção do aerador em teste (SonicSparger Jet)

| Manutenção - Aeradores em teste |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Atividade                       | Tempo                 |
| Remover o aerador da coluna     | 23 segundos           |
| Realizar inspeção do aerador    | 27 segundos           |
| Levar o aerador até a oficina   | 1 min 50 seg.         |
| Desmontar o aerador             | 37 segundos           |
| Troca da ponteira               | 29 segundos           |
| Troca da ponta viton            | 40 segundos           |
| Troca da haste                  | 3 minutos             |
| Montar o aerador                | 33 segundos           |
| Levar o aerador até a coluna    | 2 min 5 segundos      |
| Inseri-lo na coluna             | 30 segundos           |
| <b>Tempo total</b>              | <b>10 min 34 seg.</b> |

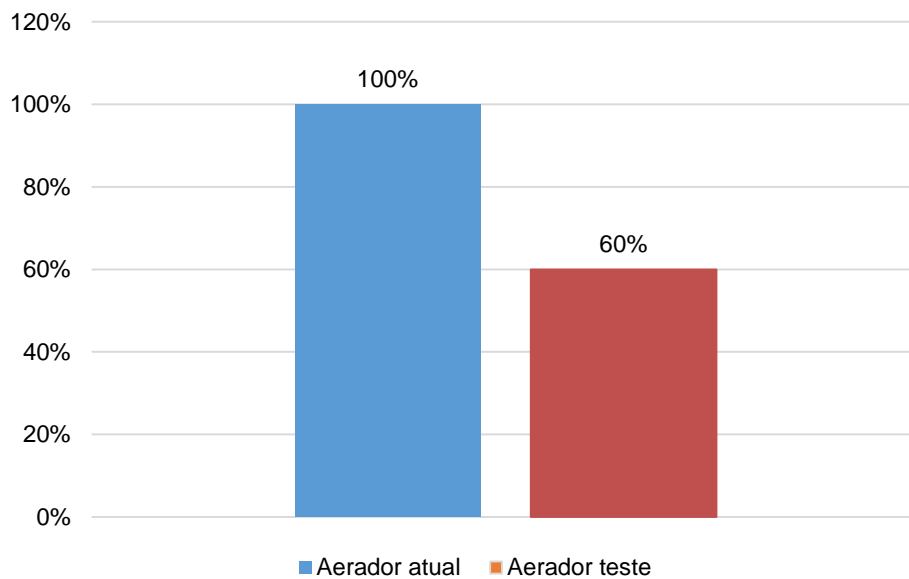
Figura 20-Comparativo tempo (minutos) de manutenção atual aerador e aerador em teste



Foi realizado uma comparativo do valor gasto (R\$) caso houvesse a troca de todas as peças relacionadas ao aerador atual e ao aerador em teste, a partir da descrição das peças e do valor unitário de cada uma, fornecidos pelas empresas fabricantes, e

posteriormente estimou quanto seria gasto para a troca de peças de todos os aeradores em todas as colunas de flotação. O resultado foi demonstrado na Figura 21, e observa-se que o gasto com a troca de todas as peças no aerador em teste em todas as colunas de flotação é somente 60% do valor gasto com a troca de peças do aerador utilizado atualmente nas colunas de flotação.

Figura 21-Comparativo do gasto (%) com a troca de todas as peças atual aerador e aerador em teste



#### 5.4 Controle das inspeções de desgaste de peças e equipamento do aerador

As inspeções mensais de controle de desgaste (hastes, ponteira e manômetro) dos 20 novos modelos de aeradores e 2 atuais aeradores na coluna *Rougher* CL222, mostraram que na inspeção do mês de maio de 2018 o aerador 21 (SlamJet) apresentou estouro do diafragma e aerador 22 (SlamJet) apresentou baixa pressão de ar. Na inspeção de junho e julho, todos os aeradores (SlamJet e SonicSparger Jet) não apresentaram qualquer tipo de problema.

Na inspeção de agosto, dois aeradores SonicSparger Jet apresentaram pequeno desgaste próximo a cerâmica da ponteira. Na inspeção de setembro, sete novos aeradores apresentavam pequeno desgaste próximo à cerâmica da ponteira, e outros dois apresentavam problemas relacionados ao manômetro, como ponteiro sem mexer ou marcando pressão indevida, sendo necessária a troca do aerador. Além dis-



so, um aerador estava entupido e outro apresentava a ponteira desenroscada, sendo necessário o ajuste.

Também foi realizada a inspeção de controle de desgaste dos 20 novos modelos de aeradores na coluna *Rougher* CL208. No mês de setembro, um aerador apresentava desgaste na ponteira, dois aeradores com problema em relação ao manômetro, dois aeradores estavam entupidos e um também com mangueira entupida, e uma válvula de uma polegada estava quebrada. O resultado do controle de inspeção em ambas as colunas se encontra na Tabela 16.

Tabela 16-Resultado do controle de inspeção nas colunas CL208 e CL222

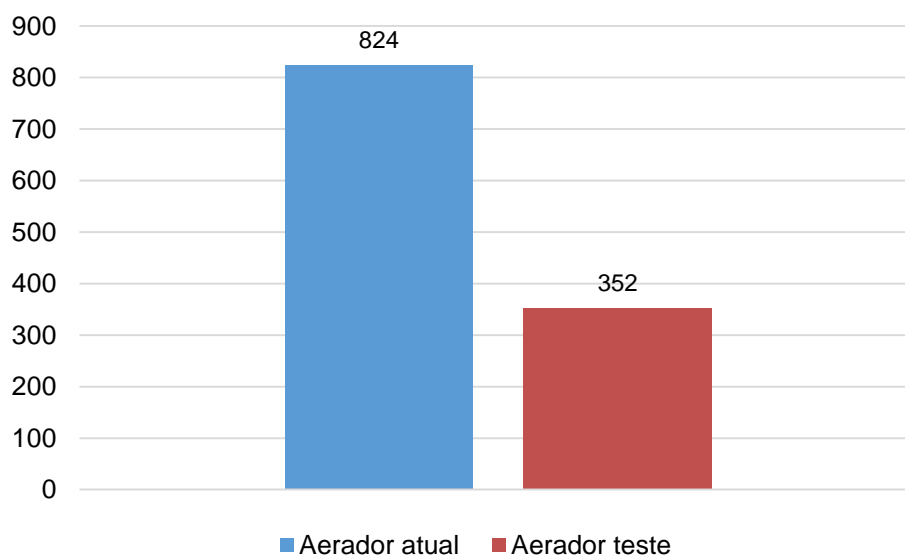
| <b>Controle de inspeção (Resultados de Abril a Outubro de 2018)</b>   |   |
|---|---|
| <b>COLUNA ROUGHER CL208</b>   | <b>COLUNA ROUGHER CL222</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ponteira com desgaste</li> <li>• 1 válvula quebrada</li> <li>• 1 mangueira de ar entupida</li> <li>• 2 aeradores entupidos</li> <li>• 2 manômetros com problema</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 ponteiras com desgaste</li> <li>• 1 ponteira desenroscada</li> <li>• 1 aerador entupido</li> <li>• 2 manômetro com problema</li> </ul> |

Foi realizado o cálculo para obter uma média do controle realizado em seis meses entre as duas colunas rougher contendo os aeradores SonicSparger Jet, e posteriormente feita uma projeção do consumo total anual de sobressalentes do aerador em teste em cada coluna de flotação. Apresentou-se na Tabela 17 um consumo total de 10 ponteiras por ano em cada coluna de flotação, equivalente a 220 ponteiras em todas as 22 colunas de flotação, e um consumo total de 4 manômetros por ano em cada coluna de flotação, equivalente a 88 manômetros em todas as 22 colunas de flotação. Totalizou-se a troca de 352 sobressalentes no intervalo de um ano. O comparativo entre o consumo total anual de sobressalentes do aerador atual e do aerador em teste, está ilustrado graficamente na Figura 22.

Tabela 17- Consumo total de peças e equipamentos (sobressalentes) no aerador atual tipo SonicSparger Jet

| Sobressalentes | Média de consumo anual por coluna | Consumo anual circuito 01 e 02 (22 colunas) | Consumo anual por aerador |
|----------------|-----------------------------------|---|---------------------------|
| Ponteiras      | 10,00                             | 220   | 0,45                      |
| Manômetro      | 4,00                              | 88  | 0,18                      |
| Válvula        | 1,00                              | 22  | 0,05                      |
| Mangueira      | 1,00                              | 22  | 0,05                      |
| Consumo total  | 16,00                             | 352   | 0,73                      |

Figura 22- Projeção do consumo total anual de sobressalentes do aerador atual e aerador em teste



## 5.5 Controle dos testes de amostragem

O teste de amostragem na coluna *Rougher* CL222 (Tabela 18, 19 e 20) para comparar o desempenho da flotação em relação ao fluxo de ar na coluna, mostrou que a recuperação do mineral de interesse no concentrado é maior quando todos os aeradores estão com o ar aberto do que um aberto e outro fechado, sucessivamente. O mesmo corre para a porcentagem de sílica no rejeito, que também é maior quando todos os aeradores estão com o ar aberto. Foi possível observar a importância da intensidade e da correta direção do fluxo de ar pelas colunas.

Tabela 18-Teste de amostragem para comparar o fluxo de ar

| Característica do teste de moagem       |                                 |   |             |             |           |                |                     |
|---|---------------------------------|---|-------------|-------------|-----------|----------------|---------------------|
| Pressão - Header (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Vazão do ar (m <sup>3</sup> /h) | Pressão ar - média sonic (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Amido (g/t) | Amina (g/t) | PH CD 202 | Interface (mm) | Taxa flotação (t/h) |
| 6,2                                     | 400/500                         | 2   | 950         | 58          | 10,28     | 600/400        | 446                 |

Tabela 19-Teste de amostragem para comparar o fluxo de ar com dois aeradores abertos e dois fechados

| Coluna Rougher CL 222 (Aeradores: 2 abertos / 2 fechados) |       |                    |                                 |       |       |       |      |                   |      |
|---|-------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|------|-------------------|------|
|   | % Fe  | % SiO <sub>2</sub> | %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %Mn   | %P    | %CaO  | %MgO | %TiO <sub>2</sub> | %PPC |
| Concentrado   | 57,16 | 13,85              | 0,59                            | 0,171 | 0,034 | 0,021 | 0,01 | 0,094             | 1,51 |
| Rejeito   | 20,88 | 70,56              | 0,57                            | 0,083 | 0,015 | 0,011 | 0,01 | 0,044             | 0,47 |

Tabela 20-Teste de amostragem para comparar o fluxo de ar com todos os aeradores abertos

| Coluna Rougher CL 222 (Aeradores: todos abertos) |       |                    |                                 |       |       |       |      |                   |      |
|--|-------|--------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|------|-------------------|------|
|  | % Fe  | % SiO <sub>2</sub> | %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %Mn   | %P    | %CaO  | %MgO | %TiO <sub>2</sub> | %PPC |
| Concentrado                                      | 59,16 | 11,57              | 0,66                            | 0,184 | 0,036 | 0,021 | 0,01 | 0,099             | 1,59 |
| Rejeito  | 17,3  | 73,48              | 0,51                            | 0,072 | 0,014 | 0,01  | 0,01 | 0,033             | 0,48 |

Os testes de amostragem nas colunas *Rougher* CL207 e CL208 foram realizados para comparativo do desempenho do processo de aeração na flotação com o uso dos aeradores em teste e dos aeradores atuais. A Tabela 21 mostra o resultado de um dos testes de amostragem realizado, em que é possível perceber que a %Fe no concentrado é maior ao utilizar os aeradores em teste, e o mesmo acontece para a %SiO<sub>2</sub> no rejeito, enviando menor porcentagem de sílica ao concentrado. Através do resultado de todas as amostragens realizadas, calculou-se a média dos testes para avaliação da recuperação metalúrgica, índice de seletividade de Gaudin e a qualidade do concentrado da coluna (Tabela 22), demonstrados também graficamente (Figura 23,24 e 25). Percebeu-se que a % recuperação metalúrgica é maior quando se utilizam nas colunas de flotação os aeradores em teste. O mesmo acontece para o Índice de seletividade de Gaudin, que mostra que a flotação é mais seletiva através do uso desses aeradores. A qualidade final do concentrado da coluna *Rougher* tam-

bém se apresentou melhor através dos aeradores testes, com resultado de menor porcentagem dos principais minerais não úteis ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e Mn).

Tabela 21-Teste de amostragem nas colunas Rougher CL207 e CL208

| Data       | Processo    | Equipamentos              | % Fe  | % $\text{SiO}_2$ | % $\text{Al}_2\text{O}_3$ | % Mn | % P  | % CaO | % MgO | % $\text{TiO}_2$ |
|------------|-------------|---------------------------|-------|------------------|---------------------------|------|------|-------|-------|------------------|
| 13/07/2018 | Alimentação | CL 207<br>(Aerador atual) | 46,88 | 26,5             | 0,7                       | 0,25 | 0,03 | 0,03  | 0,05  | 0,12             |
|            |             | CL208<br>(Aerador teste)  |       |                  |                           |      |      |       |       |                  |
|            | Concentrado | CL 207<br>(Aerador atual) | 61,46 | 8,61             | 0,76                      | 0,31 | 0,04 | 0,02  | 0,05  | 0,13             |
|            |             | CL208<br>(Aerador teste)  |       |                  |                           |      |      |       |       |                  |
|            | Rejeito     | CL 207<br>(Aerador atual) | 14,8  | 73,76            | 0,5                       | 0,07 | 0,01 | 0,02  | 0,05  | 0,04             |
|            |             | CL208<br>(Aerador teste)  |       |                  |                           |      |      |       |       |                  |

Tabela 22-Comparativo do desempenho dos aeradores – resultados amostragens

| Resultados amostragens - Comparativo desempenho Aeradores |                           |                               | Qualidade Final do concentrado |                                  |      |
|---|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------|
| Colunas   | % Recuperação metalúrgica | Índice de Seletividade Gaudin | % SiO <sub>2</sub>             | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % Mn |
| CL207 (Aerador atual)                                     | 91,3%                     | 5,97                          | 9,40                           | 0,69                             | 0,24 |
| CL208 (Aerador teste)                                     | 91,4%                     | 6,57                          | 8,18                           | 0,69                             | 0,24 |

Figura 23-Comparativo % Recuperação metalúrgica - aeradores atual e teste

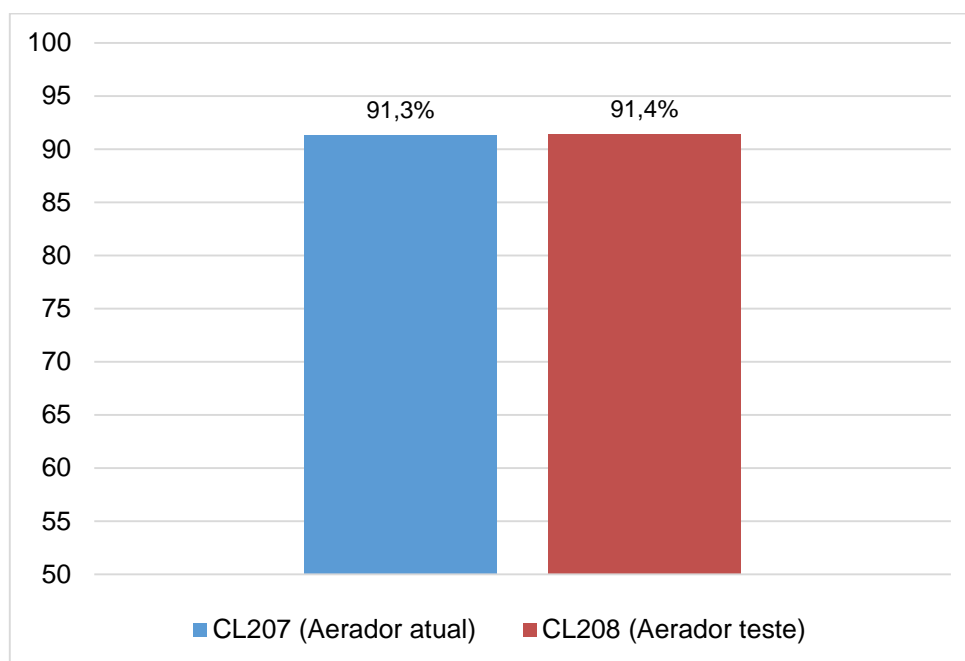


Figura 24-Comparativo Índice de seletividade de Gaudin – aeradores atual e teste

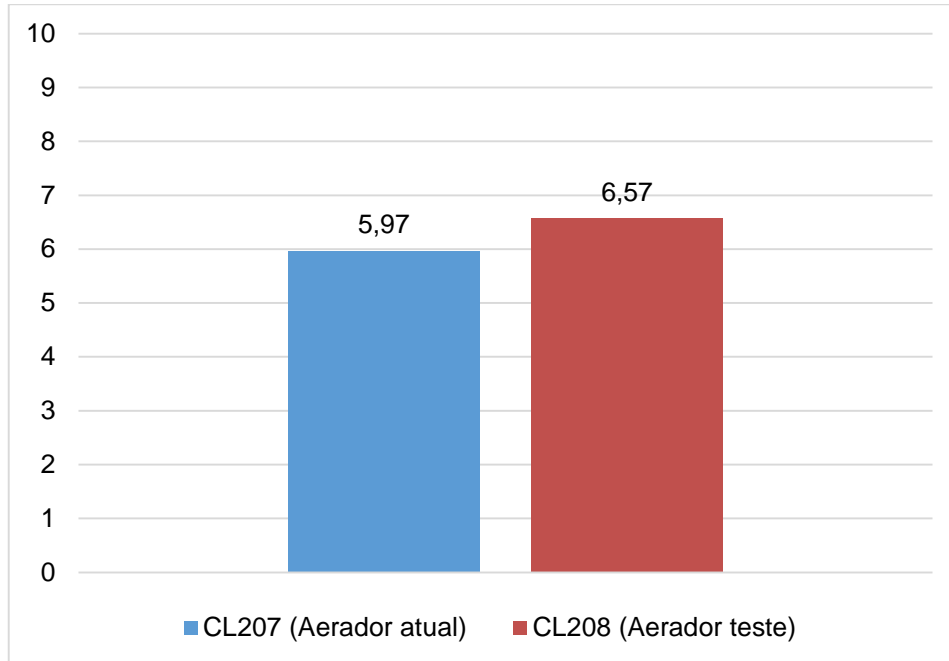
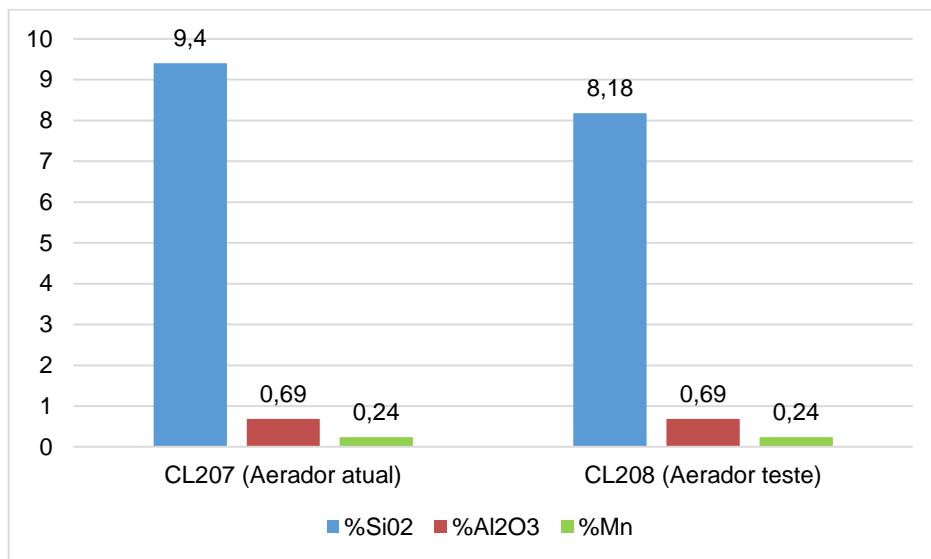


Figura 25-Comparativo da qualidade do concentrado da coluna – aeradores atual e teste



Em relação à segurança operacional, observou-se melhoras relacionadas à ergonomia e diminuição considerável do tempo dedicado à mesma atividade, como inspeção, calibração e manutenção.

## 6 CONCLUSÃO

Baseado nos controles realizados para avaliar o desempenho do uso dos novos modelos de aeradores (SonicSparger Jet) nas colunas de flotação da Planta Central Usina (CSN Mineração), conclui-se um resultado satisfatório no uso desses aeradores em substituição dos aeradores utilizados anteriormente.

A troca e os gastos com sobressalentes diminuíram consideravelmente, aproximadamente R\$36.578,32 por ano. Houve a redução de 6 minutos e 46 segundos do tempo com manutenção de cada aerador e de 5 minutos e 28 segundos do tempo com calibração. Houve pouco desgaste nas peças do novo aerador no intervalo de seis meses, e a porcentagem dos novos aeradores que apresentavam pressão de ar diferente da ideal foi muito baixa, de aproximadamente 9%. O índice de seletividade passou de 5,97 para 6,57. A qualidade do concentrado final da coluna *rougher* foi melhor, reduzindo a porcentagem de sílica em 1,22%, e a recuperação metalúrgica se manteve quase constante.

Dessa maneira, foi possível comprovar o melhor desempenho do aerador SonicSparger Jet em relação ao aerador utilizado anteriormente nas colunas de flotação, tornando possível a compra desses aeradores para todas as colunas, otimizando todo os circuitos de flotação 01 e 02. .

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, J. A. de; OLIVEIRA, M. L. M. de; FERNANDES, M. D. Flotação em Coluna. In: LUZ, A. B. da; FRANÇA, S. C.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.463-465, p. 468-484, 2018.

BALTAR, C. A. M. **Flotação no Tratamento de Minérios**. 2. ed. Recife: Editora UFPE, p. 27-38, p. 43-54, p. 175-194, 2010.

CHAVES, A. P.; LEAL FILHO, L. de S.; BRAGA, P. F. A. Flotação. In: LUZ, A. B. da; FRANÇA, S. C.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p.405-409, 2018.

CHAVES, A. P.; FILHO, L. de S. L.; BRAGA, P. F. A. Flotação. In: LUZ, A. B. da; FRANÇA, S. C.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 465-469, 2010.

CHAVES, A. P. Máquinas de Flotação, In: CHAVES, A. P. (Org.). **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. 1. ed. Rio de Janeiro. p.33-34, 2006.

FIGUEIRA, H. V. O.; LUZ, A. B. da; ALMEIDA, S. L. M. de. Britagem e Moagem. In: LUZ, A. B. da; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 143, 2010.

LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. Introdução ao Tratamento de Minérios. In: LUZ, A. B. da; FRANÇA, S. C.; BRAGA, P. F. A. **Tratamento de Minérios**. 6. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 3, 2018.

TAKANA, L. A. Flotação em Coluna, In: CHAVES, A. P. (Org.). **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios**. 1. ed. Rio de Janeiro, p.57-59, 2006.



Ouro Preto, 03 de dezembro de 2018

### Declaração

Certifico que a aluna Thais Lacerda Marrocos matricula 13.1.1075 autora do Trabalho de conclusão de curso intitulado " OTIMIZAÇÃO DO CIRCUITO DE AFRAÇÃO NAS COLUNAS DE FLOTAÇÃO DA PLANTA CENTRAL. USINA" efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

Coloco-me à disposição para quaisquer esclarecimentos.

  
Prof. Carlos Alberto Pereira  
Orientador /DEMIN/UFOP