

# UMA NOVA GERAÇÃO DE SISTEMAS DE AERAÇÃO EM COLUNAS DE FLOTAÇÃO E SUA APLICAÇÃO NA MINA DE TIMBOPEBA DA CVRD

*Marco Aurélio Soares Martins*<sup>1</sup>  
*Elias da Silva*<sup>2</sup>  
*Karina Simões Lisboa*<sup>3</sup>  
*Evandro Periera de Oliveira*<sup>4</sup>  
*Thierry Monredom*<sup>5</sup>

## Resumo

A melhor performance operacional de colunas de flotação, quando comparadas com células mecânicas convencionais, tem levado ao contínuo desenvolvimento de sistemas de aeração. Para aplicações minerais, os *spargers* porosos foram rapidamente abandonados e substituídos pelos aeradores ar – água, que apresentavam controle razoável de tamanho de bolhas. As exigências de interferências mecânicas na manutenção destes sistemas conduziram ao desenvolvimento de aeradores unicamente a ar. Estes aeradores tiveram sucesso em termos de manutenção, mas nunca realmente melhoraram o desempenho metalúrgico das colunas, mesmo quando tinham orifícios reguláveis. O aerador da Cisa, aplicado com sucesso na Mina de Timbopeba da CVRD, é um gerador de bolhas de terceira geração, formado por um sistema de recirculação de polpa e misturadores estáticos externos para introdução e mistura do ar – polpa de minério. Este sistema permitiu uma excelente otimização da performance do processo em termos de diminuição de consumo de reagentes, estabilidade e resultados metalúrgicos. Isto se deve à somatória de vários fatores como o aumento da área superficial das bolhas e a efetiva ativação do reagente promovida pelo sistema de bombeamento. Neste artigo técnico são apresentados resultados práticos obtidos em Timbopeba e detalhes relativos a este novo e revolucionário sistema aeração para colunas de flotação.

**Palavras-chave:** Cisa; Aeração; Flotação.

*Contribuição Técnica ao 60º CONGRESSO ANUAL DA ABM - 25 a 28 de julho de 2005, em Belo Horizonte - MG*

<sup>1</sup> *Eng. M. Sc. e Diretor de Operações da CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

<sup>2</sup> *Técnico Especializado de Produção – Companhia Vale do Rio Doce – Timbopeba*

<sup>3</sup> *Eng. de Processos – CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

<sup>4</sup> *Eng. de Projetos – CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

<sup>5</sup> *Gerente de Produtos – Metso Mineral Cisa*

## INTRODUÇÃO

Flotação é o método de concentração mineral mais comumente utilizado no beneficiamento mineral, especialmente flotação em coluna.

As colunas de flotação foram criadas na década de 70, tendo emergido como uma aplicação industrial importante somente na década posterior. O sucesso da aplicação destes equipamentos se deve ao fato de as colunas poderem substituir vários estágios de flotação convencional, simplificando enormemente os circuitos de concentração por flotação. O requerimento de espaço para a implantação de circuitos de flotação é sempre minimizado, aumentando as vantagens em relação aos circuitos de flotação convencional.

Na concentração de minério ferro no Brasil, as colunas de flotação foram inicialmente aplicadas na década de 80, em instalações novas e muitas vezes substituindo circuitos convencionais de flotação. No entanto, alguns problemas foram observados com a aplicação deste tipo de equipamento, principalmente com respeito à habilidade em flotar partículas grosseiras de sílica. O resultado final foi a utilização de circuitos compostos de colunas de flotação e células mecânicas convencionais agitadas. Normalmente, as colunas são utilizadas nos estágios *Rougher* e *Cleaner* e as células convencionais em estágios *Scavenger*, podendo haver outros arranjos de circuitos, dependendo das características do minério processado.

A flotação é caracterizada por um processo reverso, ou seja, a sílica é flutuada e o afundado é o concentrado de óxido de ferro, mais comumente hematita e magnetita. Contudo, exatamente as partículas de sílica que precisam ser flutuadas possuem granulometria mais grosseira, muitas vezes crítica, chegando a prejudicar o processo de forma significativa. A origem da ocorrência destas partículas está nos processos de classificação e deslamagem das operações que antecedem o processo de flotação.

Os processos de classificação mais comumente utilizados na indústria de beneficiamento de minério de ferro, antecedendo a flotação, são os classificadores espirais e os hidrociclones. Ambos os processos apresentam resultados de separação altamente influenciados pela diferença de densidade das partículas constituintes do minério. As partículas de sílica possuem densidade aproximada de  $2,6 \text{ g/cm}^3$  enquanto as partículas de ferro possuem densidade aproximada de  $5 \text{ g/cm}^3$ . O resultado disto é a obtenção de uma partição final do material classificado composta de duas partições completamente distintas, ou seja, um corte mais fino para partículas de ferro e um corte mais grosso para a sílica. Desta forma, o material a ser processado na flotação será necessariamente composto de partículas grosseiras de sílica e partículas finas de ferro.

É observada na flotação por colunas uma nítida instabilidade na ligação bolha – partícula grosseira de sílica, devido às forças gravitacionais, principalmente quando as bolhas não têm tamanhos adequados. Na medida em que se opera o processo com sistemas de aeração adequados, produzindo bolhas de tamanhos reduzidos, ocorrem menos problemas na flutuação de partículas grosseiras de sílica.

## HISTÓRICO DOS AERADORES NAS COLUNAS DE FLOTAÇÃO

As colunas de flotação são divididas em três zonas distintas com diferentes propósitos:

1. *Zona de espuma*: prevenir arraste de partículas finas não hidrofóbicas;
2. *Zona de polpa*: coletar partículas seletivamente através da ligação bolha – partícula;
3. *Zona de aeração*: introduzir pequenas bolhas de ar e um rejeito isento de ar.

A porção da coluna entre a zona de espuma, incluindo lavagem de partículas finas não hidrofóbicas arrastadas, e a parte da zona de polpa, acima da altura de alimentação, formam a zona de limpeza, garantindo o teor do concentrado flutuado (ou rejeito na flotação reversa). A porção inferior, abaixo do ponto de alimentação, é a zona de coleta, garantindo a recuperação do componente que se deseja flutuar na espuma.

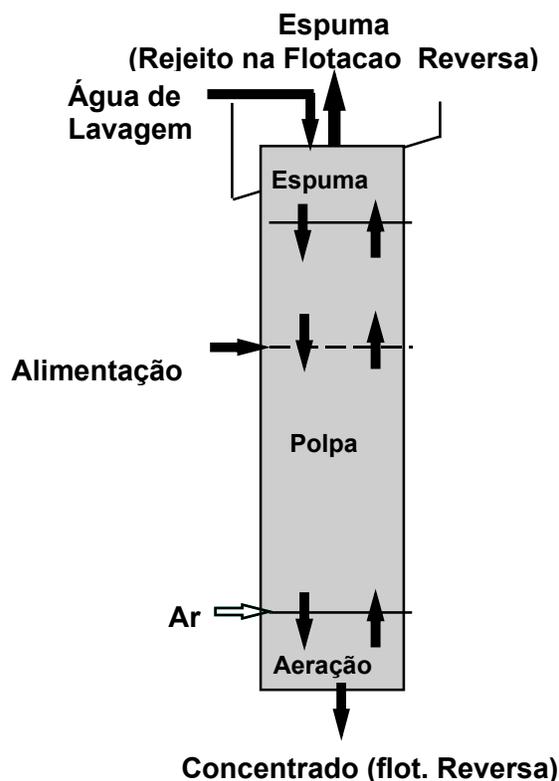
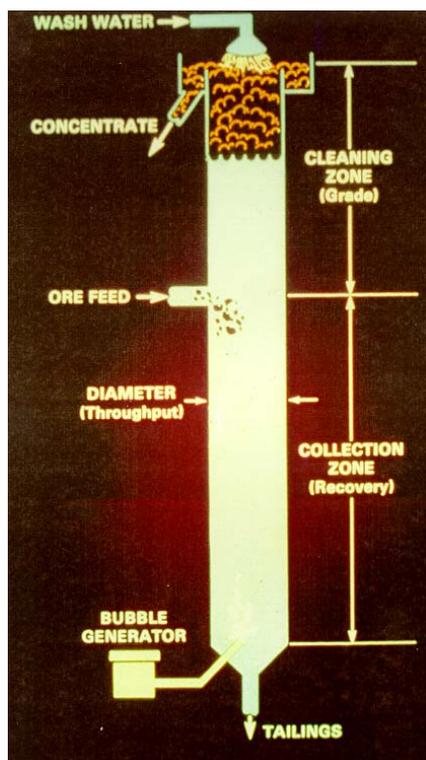


Figura 1. Desenho esquemático de uma coluna de flotação e suas diferentes zonas.

Os aeradores têm um papel fundamental no desempenho de colunas de flotação e, desde o primeiro modelo, passaram por diversas mudanças motivadas por necessidades de melhores performances e requisitos de manutenção.

Inicialmente, desde as primeiras aplicações piloto e mesmo industriais, eram utilizados os aeradores porosos. Eles eram fabricados em materiais porosos cerâmicos ou outros materiais, sendo introduzidos no interior da coluna para

produção de pequenas bolhas. Os resultados do processo em termos metalúrgicos eram muito satisfatórios, mas ocorriam muitos problemas de entupimentos, gerando a necessidade de intensa intervenção na operação para manutenção.

Posteriormente, a maioria dos fabricantes de colunas utilizou por muitos anos os aeradores do tipo ar-água, em substituição ao tipo poroso. O requerimento de manutenção era menor e era possível substituí-lo ou executar alguma manutenção com a coluna em operação. O resultado em termos de tamanhos de bolhas era satisfatório, contudo, era requerida utilização de água limpa e o nível de intervenção para manutenção ainda era muito alto. A Figura 2 apresenta o aerador ar-água, ainda em operação em muitas unidades operacionais.

Mais recentemente, alguns fabricantes lançaram no mercado os aeradores a ar somente, através de uma haste com um orifício de saída do ar com abertura regulável. Esta versão foi desenvolvida com o propósito de solucionar os problemas de manutenção dos aeradores ar-água. Neste quesito, o resultado foi bastante satisfatório, no entanto, o desempenho relativo a tamanho de bolhas foi inferior ao das versões anteriores, levando, muitas vezes, a resultados metalúrgicos inferiores.



**Figura 2.** Aeradores do tipo material poroso. Ar-água e somente ar, nesta ordem.

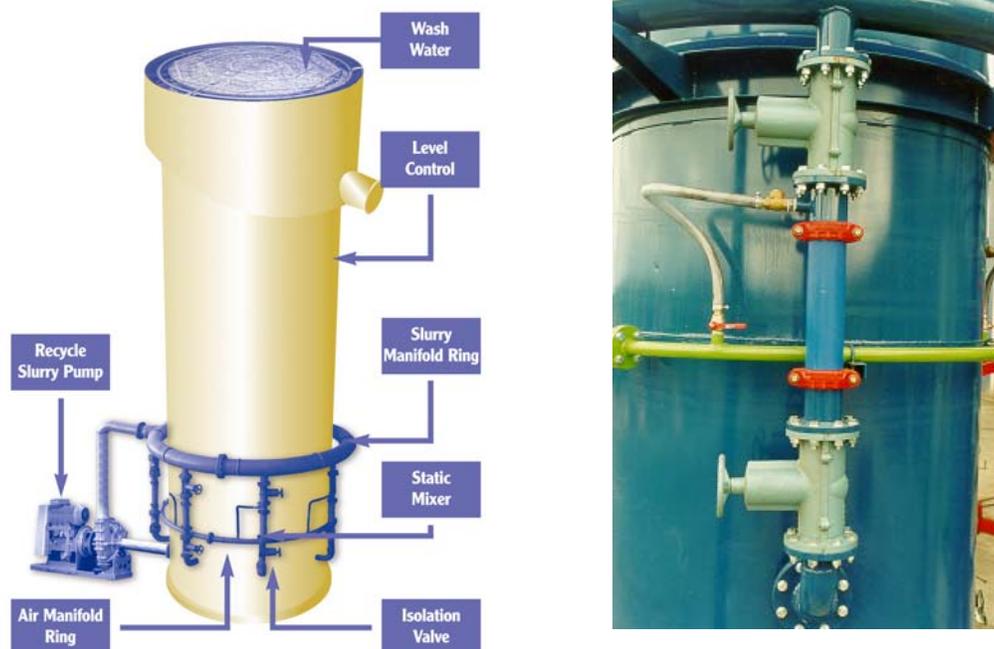
### **TECNOLOGIA SPARGER DA CISA – ASPERSORES DE 3ª GERAÇÃO**

A Metso Minerals Cisa foi formalmente chamada Control International S.A ou CISA, tendo sido parte da organização Control International, com sede no EUA. Tem estado ativamente envolvida em flotação em coluna desde meados dos anos 80 e já forneceu mais de 100 spargers / colunas de flotação comerciais, que estão em operação em diversas partes do mundo.

A CISA originalmente comercializava as colunas TURBO AIR, que integravam o sistema sparger externo, desenvolvido pelo US Bureau of Mines (sparger a água e ar). EM 1992, a CISA começou a introduzir a atual tecnologia CISA como uma alternativa, que tem sido continuamente desenvolvida e melhorada desde então, no que diz respeito à performance operacional e à manutenção.

Em 1995, a CISA decidiu não mais fornecer a tecnologia TURBO AIR porque o sparger CISA tinha sido reconhecido como mais eficiente, considerando sua performance metalúrgica, por muitas empresas de mineração. Sempre que uma

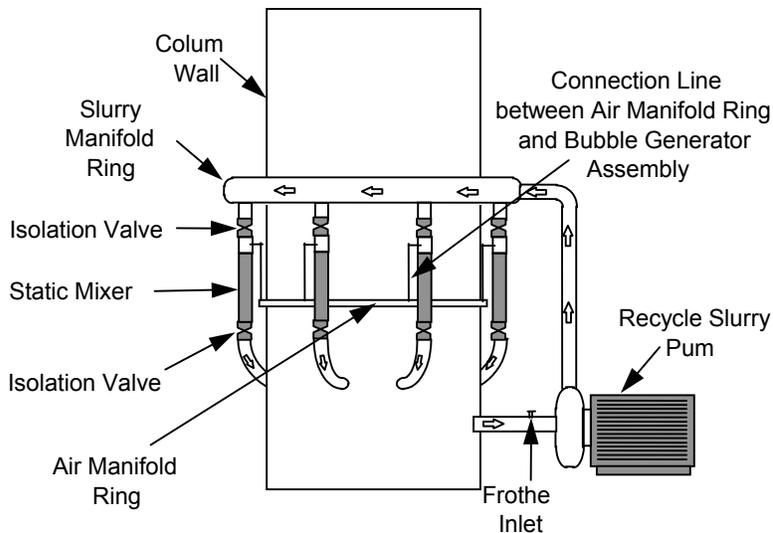
coluna e/ou sparger CISA foi comparado a outros tipos de tecnologias (sparger a água e ar ou apenas a ar), forneceu resultados metalúrgicos muito melhores, em particular em recuperação, e sistematicamente conquistou a aceitação operacional devido aos seus reduzidos requerimentos de manutenção.



**Figura 3.** Sistema Sparger Cisa.

O sistema sparger da CISA é um gerador de bolhas externamente montado que requer baixa pressão de ar (4 bars) e usa a recirculação da polpa não flotada como um meio misturador para o ar. Dispersões finas e uniformes de bolhas, com tamanhos de bolhas que tipicamente variam entre 400 e 1200 microns, são geradas por estes aspersores.

O sparger é formado por misturadores estáticos em linha e uma bomba centrífuga, como ilustrado na figura abaixo. A polpa é bombeada a partir da base da coluna, através dos misturadores estáticos, onde ar e polpa são misturados sob condições de forte agitação para criar a dispersão das bolhas. Na medida em que a mistura ar-polpa passa através das lâminas estacionárias localizadas dentro do misturador, o ar é cisalhado em bolhas muito pequenas pela intensa agitação. A mistura polpa-bolhas é introduzida na base da coluna, e as bolhas sobem através da zona de coleta da coluna. O número de misturadores estáticos e a quantidade de polpa recirculada (tamanho da bomba) são determinados pela quantidade requerida de ar para cada aplicação particular.

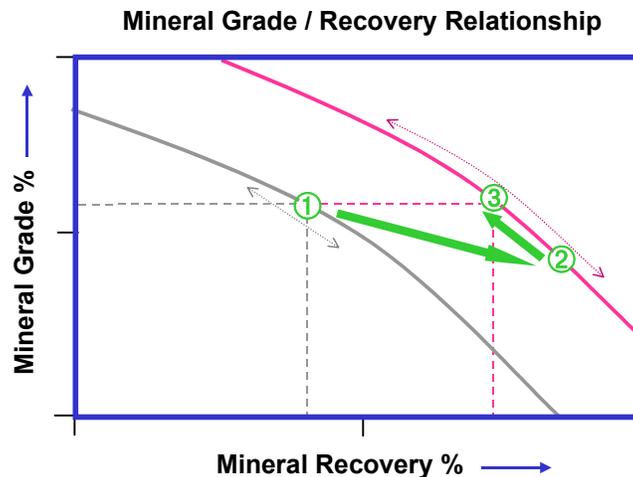


**Figura 4.** Sistema de aeração Cisa, em detalhes.

Algumas das vantagens da tecnologia sparger CISA sobre outros sistemas para geração de bolhas são discutidas a seguir:

- ☑ Para uma dada taxa de alimentação aplicada a uma determinada coluna, a recuperação mineral é tipicamente mais alta que aquela apresentada pelos outros aspersores devido a dois fenômenos concomitantes:
  - ✓ Bolhas menores, que permitem capacidades de arraste maiores;
  - ✓ Forte energia adicional de contato entre as bolhas de ar e as partículas minerais sendo promovida no misturador estático (ação tipo scavenger).
- ☑ O sistema não fica sujeito a entupimentos e é de fácil manutenção.
- ☑ Nenhuma água nova é usada para gerar bolhas.
- ☑ A estabilidade da espuma é aumentada.
- ☑ A dispersão e o tamanho das bolhas são uniformes.
- ☑ Suprimento de ar de alta pressão não é requerido.

A figura apresentada a seguir ilustra alterações na operação da coluna (representadas pela curva teor / recuperação) quando operada com um aspersor convencional e com o aspersor CISA. A coluna é usada para flotação inversa e, portanto, a figura deve ser interpretada para a flotação da ganga.



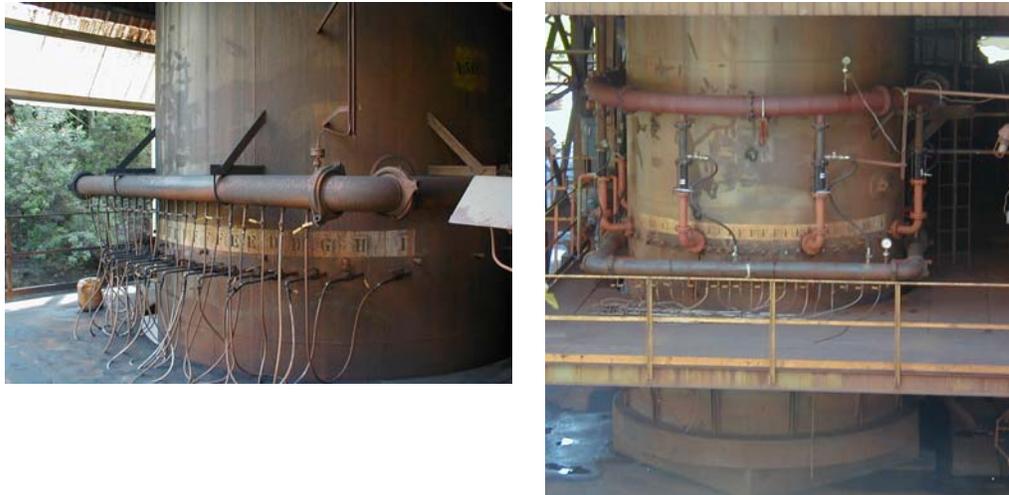
**Figura 5.** Curva teor / recuperação típica.

O aspersor CISA opera sob uma curva de teor/recuperação diferenciada. Isto se dá, principalmente, devido à reciclagem da polpa de rejeito que age como uma célula scavenger. Sob as mesmas condições operacionais, há um aumento significativo da recuperação da coluna quando o aspersor CISA é posto em operação. No princípio, o teor de concentrado tende a ser ligeiramente menor, o que é compensado devido ao menor tamanho de bolha produzido e à ativação de reagentes promovida pela ação mecânica da bomba de reciclagem, e, também, à estabilidade da espuma que é fortemente aumentada.

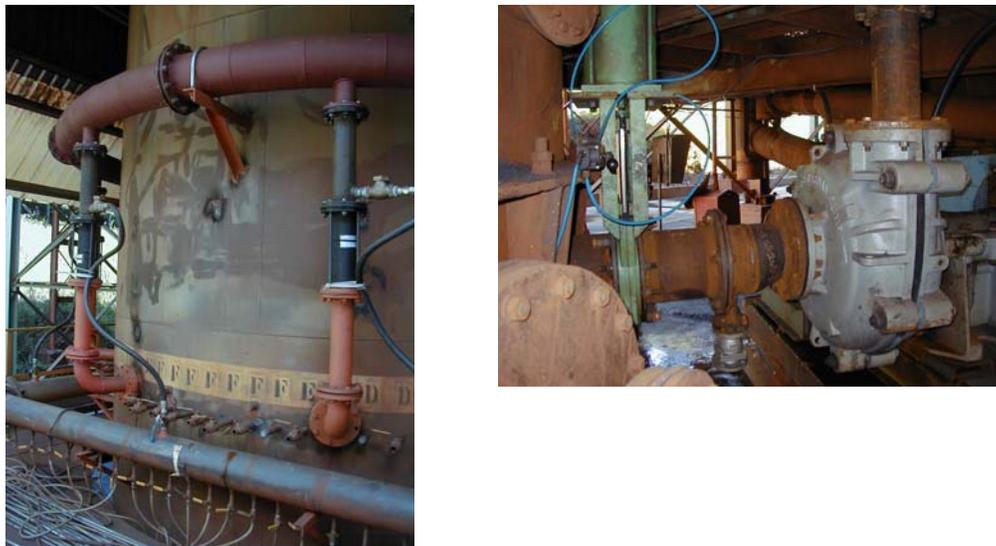
### **APLICAÇÃO DO SISTEMA DE AERAÇÃO CISA EM UMA COLUNA *ROUGHER* DA COMPANHIA VALE DO RIO DOCE – MINA DE TIMBOPEBA.**

O sistema de aeração da Cisa foi inicialmente testado no Brasil em uma coluna de flotação *Rougher* da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, na Mina de Timbopeba, localizada no município de Ouro Preto – Minas Gerais. Os resultados foram bastante satisfatórios, tendo sido o projeto expandido para uma outra coluna que operava em paralelo à primeira e, mais recentemente, para a coluna de flotação *Cleaner*.

O circuito de concentração por flotação da Mina de Timbopeba é constituído por duas colunas *Rougher*, uma coluna *Cleaner* e dois bancos de células mecânicas *Scavenger*. O histórico dos aeradores em Timbopeba é bastante similar ao observado em várias indústrias. Inicialmente foi implantado o aerador do tipo ar-água e, devido ao alto grau de intervenções mecânicas para manutenção, foi testado o aerador do tipo ar apenas. Os resultados metalúrgicos se mostraram inferiores, ocorrendo muito desgaste nos orifícios dos aeradores. Devido a estes problemas, o aerador ar-água foi adotado novamente. Em 2002, foi implantado o sistema de aeração da Cisa na primeira coluna *rougher*, com resultados muito satisfatórios em termos de rendimento metalúrgico e consumo de reagentes e ar.



**Figura 6.** Visão da base da coluna com o sistema original ar-água e com o sistema de aeração Cisa.



**Figura 7.** Detalhes do sistema e a bomba de recirculação de polpa.

Os resultados metalúrgicos mostraram claramente a maior habilidade do novo sistema na coleta de partículas grosseiras de sílica. Mostraram também que o sistema apresentou um teor de concentrado de minério de ferro com menor teor de sílica, sistematicamente.

Foram também observados uma grande redução no consumo de amina (coletor de sílica) e um menor consumo de ar, com cerca de 50% da vazão original. Esta diferença foi suficiente para reduzir o consumo de energia para produção de ar comprimido, em função da menor vazão e menor pressão operacional, para níveis similares aos níveis de consumo do motor da bomba de recirculação de polpa.

A estabilidade do processo foi aumentada, mesmo quando havia alterações de tipo de minério processado; enquanto a coluna com o aerador ar-água mostrou desempenho bastante vulnerável a variações na alimentação. Alguns gráficos,

mostrados a seguir, apresentam resultados comparativos entre as duas colunas *rougher*, operando em paralelo e em condições de alimentação idênticas por vários dias de teste.

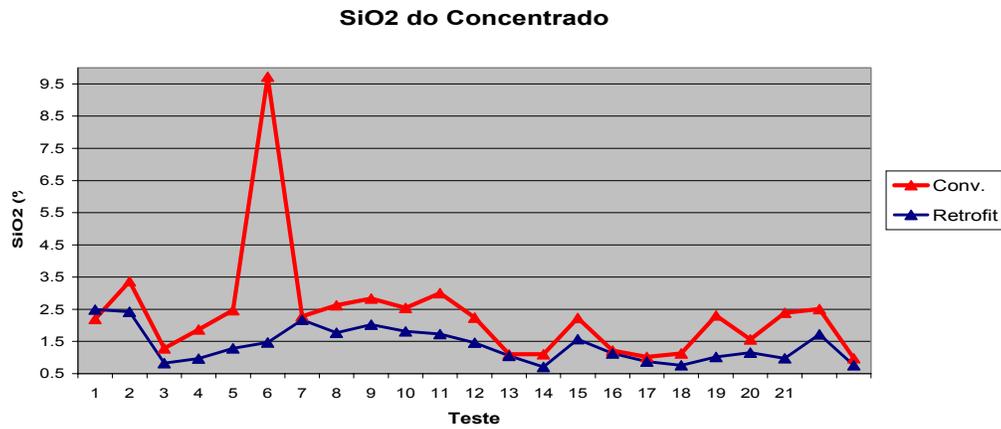


Figura 8. Teor de sílica no concentrado das duas colunas.

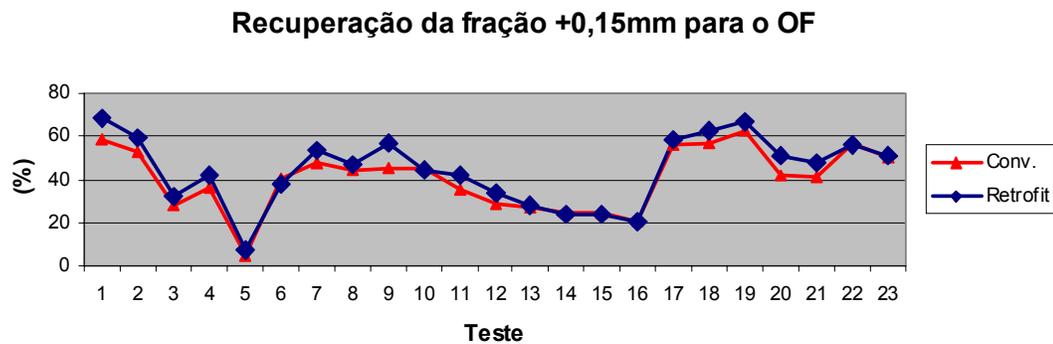


Figura 9. Comparação entre a habilidade de ambas as colunas em coletar partículas grosseiras de sílica do minério alimentado.

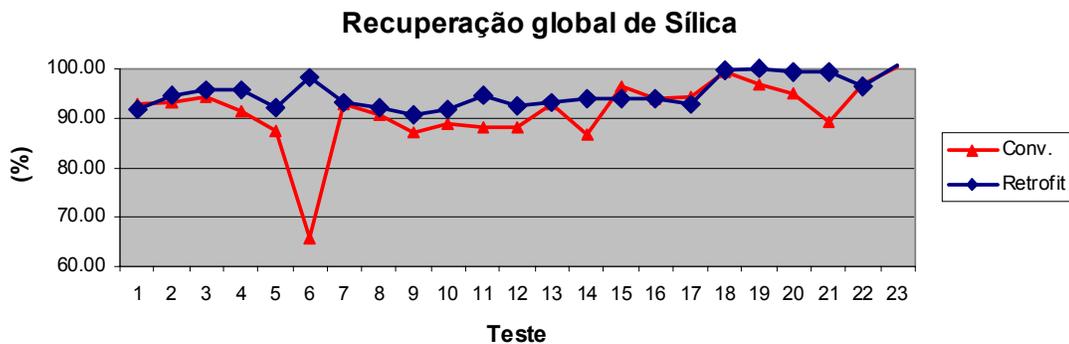


Figura 10. Recuperação global de sílica na etapa *rougher* de flotação.

# A NEW GENERATION OF AERATION SYSTEMS FOR FLOTATION COLUMNS AND ITS APPLICATION AT TIMBOPEBA MINE - CVRD

*Marco Aurélio Soares Martins*

*Elias da Silva*

*Karina Simões Lisboa*

*Thierry Monredom*

## **Resumo**

The improved operational performance of flotation columns, when compared to conventional cells, has led to the continuous development of the sparging technology. For mineral applications, the porous spargers were abandoned and substituted for air-water spargers, which presented good bubble sizes but also extensive maintenance, leading to the development of air-only spargers. These spargers obtained success concerning maintenance, but have never really improved the metallurgical performance of the columns, even when manufactured with adjustable ports. The microcel Cisa sparger, implemented with success at Timbopeba, CVRD, is a third generation bubble generator, constituted by a slurry recycling system and external static mixers for the introduction and mixture of air-slurry. This system has permitted the optimization of the flotation process in terms of reagent consumption, stability and metallurgical results. This is due to several concomitant phenomena, such as the increased superficial area of bubbles and the effective reagent activation promoted by the pumping system. This article presents practical results obtained in Timbopeba and details related to this new and revolutionary sparger system for flotation columns.

**Key-words:** Cisa; Sparger; Flotation.