

# SISTEMA DE MEDIÇÃO TEOR DE SÍLICA EM MINÉRIO DE FERRO POR ANÁLISE DE IMAGEM

Adilson Jorge da Silva <sup>(1)</sup>

## Resumo

Para o controle do processo de flotação em células mecânicas, é necessária a determinação de teor de sílica presente nos produtos do processo, em especial no concentrado. Atualmente, esta determinação é feita em laboratório químico por exemplo através de espectrômetro de emissão ótica (plasma), em amostras retiradas periodicamente do processo. O intervalo de tempo entre amostragens para determinação do teor em laboratório é de cerca de 4 horas por linha de flotação, o que dificulta o controle do processo desta etapa. Um instrumento analisador que fornecesse valores de teor de sílica em intervalos mais curtos, de preferência em linha, permitiria a atuação imediata no processo, trazendo ganhos significativos em qualidade, custo e produtividade. Em função desta necessidade, foi desenvolvido o Sistema de Medição de Teor de Sílica em Minério de Ferro por Análise de Imagem. Trata-se de um conjunto de mecanismos, câmera de vídeo, microcomputador e software aplicados à preparação de amostras e à análise destas de forma automática e contínua para fins de controle do processo.

**Palavras-chave:** sílica - medição - imagem

## Silica Content Measurement System in Iron Ore by Image Analysis

### Abstract

For the control of the iron ore treatment processes it is necessary to determine the silica content in ore in the flotation cells discharge. Nowadays, the silica content determination is made in chemical laboratory, in samples taken periodically in the process. The time between samplings for content determination in laboratory is about 4 hours per production line, making difficult the control of the flotation process. An analyzer instrument that supplied values of the silica content in shorter intervals, of preference on line, would allow to the immediate corrective action in the process, bringing significant profits in quality, cost and productivity. Because of this, was developed the Silica Content Measurement System in Iron Ore by Image Analysis. It is a set of mechanisms, video camera, microcomputer and software applied to the preparation of samples and the analysis of these in an automatic and continuous form to control the flotation process.

**Key-words:** silica – image - measurement

## 1. INTRODUÇÃO

A Samarco Mineração S/A produz pelotas de minério de ferro a partir de minérios itabiríticos de baixo teor. Para que o minério seja utilizado na fabricação das pelotas é necessário que seja concentrado, isto é, que seja reduzida a quantidade da ganga contida neste minério, principalmente a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), normalmente presente na forma de quartzo.

A maior parte da remoção de sílica é realizada em 4 linhas de células de flotação, onde o controle do teor de sílica é fundamental. A determinação da sílica no concentrado nesta etapa tem sido realizada por análises em espectrômetro de emissão ótica, especificamente a técnica de análise via plasma de acoplamento indutivo.<sup>(1)</sup>

O tempo requerido pelo método de análise e o dimensionamento dos recursos para amostragem, preparação e análise de amostras faz com seja viável a leitura do teor de sílica a cada 4 horas por linha, o que é um tempo longo para observação de variações no processo e dificulta o controle.

O material na descarga das células de flotação está em forma de polpa. Se uma amostra desta polpa retirada do processo for secada e espalhada numa camada fina sobre uma superfície, é possível distinguir visualmente os grãos de quartzo. Esta visualização tem servido aos operadores para terem uma noção do teor de sílica nos intervalos entre medidas de laboratório. A possibilidade de se tornar quantitativa a observação visual pelo emprego de visão de máquina, orientou o desenvolvimento do *Sistema de Medição de Teor de Sílica em Minério de Ferro por Análise de Imagem* que este trabalho pretende descrever.

De forma sucinta o sistema desenvolvido objetivou:

<sup>(1)</sup> Consultor de Tecnologia de Automação e Controles, Samarco Mineração S/A

- retirar, desaguar e secar automática e continuamente amostras do processo;
- espalhar sobre uma superfície as amostras secas numa camada controlada, contínua e uniforme, de espessura compatível com a granulometria dos minerais presentes na amostra;
- obter imagens digitalizadas da camada de amostra; e
- processar os dados das imagens digitais, quantificando a massa de sílica em relação à massa da amostra e informar o teor aos sistemas de automação da planta de beneficiamento para controle automático dos processos.

A seguir serão descritas as soluções, materiais e métodos adotados para a consecução destes objetivos.

## 2. SOLUÇÕES, MÉTODOS E MATERIAIS

### 2.1 Descrição do Sistema

Para executar todas as funções citadas acima, o sistema é composto dos seguintes subsistemas (conforme pode ser visto na Figura 1:

- mecanismo preparador de amostras que retira, deságua, seca e entrega as amostras para o mecanismo expositor;
- mecanismo expositor que espalha as amostras numa camada fina da qual serão obtidas as imagens;
- conjunto óptico que adquire as imagens da camada de amostras;
- microcomputador que digitaliza as imagens e faz interface com os mecanismos e com os sistemas de automação da planta de beneficiamento de minério, executando o programa de medição e controle.; e
- programa de medição e controle que processa os dados das imagens digitais, calcula os teores de sílica, controla os mecanismos e comunica-se com os sistemas de automação da planta.

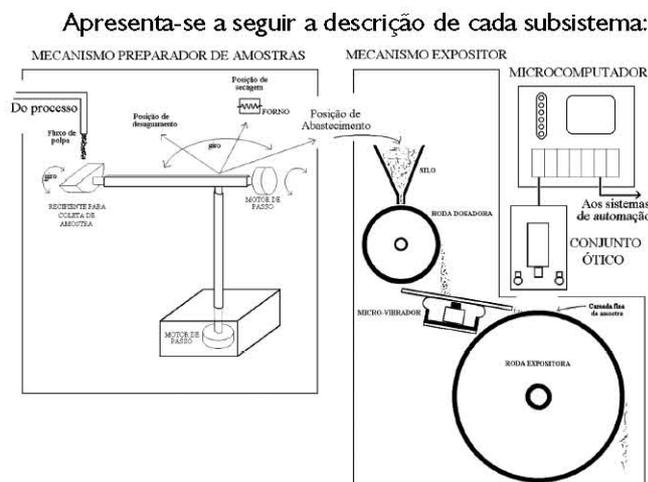


Figura 1. Visualização dos mecanismos do sistema.

#### 2.1.1 Mecanismo preparador de amostras

É um mecanismo acionado por motores de passo, que executa todos os movimentos necessários para coletar amostras do processo, retirar o excesso de água, secar e entregar ao mecanismo seguinte. Todas estas etapas são realizadas em ciclos de cinco minutos.

#### 2.1.2 Mecanismo expositor

É o mecanismo encarregado de condicionar as amostras para aquisição de imagens adequadas à análise. Cada amostra é distribuída uniformemente numa superfície de modo a tornar visíveis à câmera os grãos minerais.

#### 2.1.3 Conjunto óptico

É composto por um conjunto de lâmpadas para garantir uma iluminação uniforme sobre a superfície da amostra e uma câmera de vídeo RGB de alta resolução que adquire continuamente as imagens do quadro iluminado sobre a roda expositora, enviando sinais de vídeo composto para o computador. Todo o conjunto é encerrado numa caixa selada contra pó de modo a garantir a limpeza das lâmpadas e da lente, bem como a ventilação da câmera.

#### 2.1.4 Microcomputador

É o conjunto composto de uma CPU Pentium, placa digitalizadora de imagens, interface com os mecanismos e porta de comunicação para rede.

A CPU executa o programa de medição e controle, digitalizando as imagens obtidas pela câmera, efetuando os cálculos, enviando sinais de comando aos mecanismos do sistema de medição e fazendo a interface com o sistema de automação da planta de beneficiamento de minério. Todo o sistema é concebido como um instrumento analítico de área para controle automático de processo.

#### 2.1.5 Programa de medição e controle

Programa para processador Intel Pentium III, inteiramente desenvolvido em linguagem Assembler, em função das necessidades de processamento em tempo real de imagens digitais,

algoritmos estatísticos e controle de equipamentos. Roda sob sistema operacional Windows 2000.

As imagens digitais colocadas na memória do microcomputador pela placa digitalizadora são inicialmente filtradas para eliminação de ruídos, conforme Bovik,<sup>(2)</sup> por algoritmos DSP (digital signal processing). Em seguida, o programa discrimina por aspectos de coloração e forma os grãos correspondentes ao quartzo em cada quadro de imagem e calcula suas quantidades e volumes respectivos. Através de estatísticas das quantidades e volumes de grãos detetados nos quadros de imagem comparadas com as estatísticas de amostras conhecidas usadas para calibração, o programa determina o teor de sílica contido em cada amostra. Tal determinação é baseada na modelagem das estatísticas da imagem visando obter a melhor correlação de forma iterativa, empregando-se a técnica de análise de regressão linear.

Simultaneamente aos cálculos, o programa comanda os mecanismos e se comunica com o sistema de automação, informando resultados de análise e recebendo sinais de controle.

## 2.2 Desenvolvimento

O sistema foi inteiramente desenvolvido internamente com a participação de equipe multidisciplinar. Na etapa inicial do projeto, foram construídos e instalados todos os conjuntos necessários à análise da amostra preparada fora do sistema. Um protótipo colocado na área industrial foi utilizado pelos operadores para analisar amostras retiradas das quatro linhas de flotação alternadamente. As amostras eram secadas em chapa elétrica e transferidas para o silo do mecanismo expositor manualmente. Desta maneira era possível analisar o teor de sílica das quatro linhas de flotação a cada 30 minutos. Isto representou um avanço considerável para o controle do processo, uma vez que permitiu que a tomada de decisão e conseqüente ação corretiva fossem em tempo compatível com a resposta do processo. O sistema ganhou rapidamente a confiança dos operadores, tornando-se ferramenta indispensável à operação da planta. A primeira fase, decisiva no desenvolvimento do projeto, fora superada com êxito, confirmando a viabilidade do método e apontando para ganhos significativos com a implantação do sistema.

A fase seguinte foi a de implantação do sistema em linha. Foi executado o mecanismo de preparação de amostras e incorporado a outro protótipo, instalado então para processar amostras de uma das linhas de flotação e transmitir as informações para a sala de controle da planta. Depois de alguns ajustes, sobretudo nos equipamentos de amostragem, o conjunto operou de forma satisfatória, fornecendo resultados de sílica a intervalos de cinco minutos. Novamente a resposta dos operadores foi positiva, passando estes a utilizar as informações, agora em tempo real, para controle efetivo da linha de flotação onde estava instalado o sistema, e mesmo podendo atuar sobre toda a planta a partir da percepção de perturbações de influência geral que se refletem no resultado da linha monitorada.

Consolidado o sistema, partiu-se para a confecção e aquisição dos componentes para instalação nas demais linhas de processo.

## 2.3 Situação Atual

Simultaneamente ao desenvolvimento do sistema de medição de sílica, foi introduzido o controle avançado SCAP no processo de flotação. O teor de sílica é a variável de saída principal do processo e, na primeira linha onde foi instalado, o teor de sílica está em malha fechada com os controles de espuma das células e adição de reagentes. O modelo de controle está praticamente consolidado para extensão às demais linhas, onde os sistemas de análise de sílica estão em fase final de instalação.

## 3. RESULTADOS

O índice de correlação entre os resultados de análise obtidos pelo sistema e pelo laboratório tem sido verificado periodicamente e se mantido torno de 0,97, como no exemplo da Figura 2. Este número é adequado ao controle de processo e à operação em modo totalmente automático, de forma confiável. Foi o desenvolvimento do sistema de medição de sílica que viabilizou a introdução do controle avançado.

Obteve-se, em uma primeira avaliação e com apenas uma das linhas em malha fechada, uma redução no desvio padrão do teor de sílica de 31% em relação ao controle manual. Também é sensível um ganho de produtividade, com redução de 13,6% do teor de ferro no rejeito da flotação.

Estes resultados são preliminares e uma avaliação mais representativa será obtida com a conclusão da instalação em todas as linhas e a realização de teste comparativo liga-desliga do controle avançado.

O princípio adotado neste sistema, bem como os subsistemas e mecanismos permitem a medição de outras variáveis importantes do processo, como a química dos rejeitos, o que está sendo desenvolvido atualmente. Outras possibilidades já são previstas para futura aplicação, como a granulometria. Também outros produtos, além de minério de ferro, podem ser analisados, bastando calibração adequada.

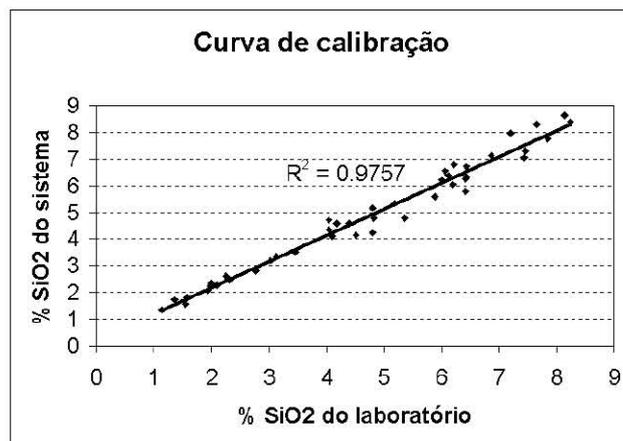


Figura 2. Comparação das mediadas do sistema com laboratório.

#### 4. CONCLUSÃO

A metodologia de análise de imagem se mostrou eficiente para a determinação do teor de sílica no concentrado da flotação. O coeficiente de correlação obtido foi de 0,97, o que supera as necessidades de um sistema de análise para aplicação em controle de processo.

Os mecanismos do sistema de medição têm apresentado o desempenho esperado e o conjunto deles tem operado com boa repetibilidade e disponibilidade.

O sistema viabilizou a introdução do controle automático da flotação pela medida em tempo real da sua principal variável de saída, com ganhos significativos em redução de variabilidade (31 %) e perdas nos rejeitos (13,5%).

O Sistema de Medição de Teor de Sílica em Minério de Ferro por Análise de Imagem está comprovado como elemento eficaz para o controle do processo de flotação e inteiramente incorporado às operações de beneficiamento de minério de ferro da Samarco Mineração SA.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JEFFERY, G. H. **Análise química quantitativa Vogel**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.
2. BOVIK, A. **Handbook of image processing**. Califórnia: Academic Press, 2000.

#### BIBLIOGRAFIA

1. LYONS, R. G. **Understanding digital signal processing**. Boston: Addison Wesley Longman, 1997.
2. MONTGOMERY, D. C.; PECK, E.A.; VINING, E.A. **Introduction to linear regression analysis**. 3.ed. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2001.

#### Nota

O Sistema de Medição de Teor de Sílica em Minério de Ferro por Análise de Imagem está protegido por pedido de privilégio de invenção para Samarco Mineração S/A. com o seguinte grupo de inventores internos registrado:

Adilson Jorge da Silva  
 Luiz Gonzaga Nunes  
 Pedro Gonçalves Pinto  
 Mauro Rodrigues de Carvalho  
 Valdiney Chaves