

SISTEMA ESPECIALISTA PARA CONTROLE DE PROCESSO NA FLOTAÇÃO MECÂNICA DA SAMARCO MINERAÇÃO S.A. ¹

Edgar Rodo Mantilla ²
Flávio Thimóteo da Silva ³

Resumo

Desde agosto de 2006, quando passou a operar nas quatro linhas da flotação mecânica, o Sistema de Controle Avançado de Processos (SCAP) vem trazendo ganhos na usina de concentração de minério de ferro da Samarco Mineração S.A. Ao simular a forma como o operador age, o OCS é capaz de antecipar suas ações para administrar as variáveis do processo, conseguindo assim alcançar os objetivos estratégicos da flotação. O presente trabalho mostra como foi a implementação deste sistema e seus respectivos ganhos. O projeto contemplou três etapas principais de execução; 1- criação das regras de controle baseado em lógica Fuzzy, 2- sintonização e consolidação das regras de controle e 3- teste de avaliação de desempenho.

Palavras-chave: Flotação mecânica; Controle avançado de processo; Lógica Fuzzy.

EXPERT SYSTEM FOR PROCESS CONTROL ON MECHANICAL FLOTATION IN SAMARCO MINERAÇÃO S.A.

Abstract

The Advanced process control system is working since August 2006 on the Samarco Mineração S.A. iron ore flotation process. This system simulates the way that the operators usually act and can anticipate their actions to manage the process variations, and then, reaching the strategic targets of the flotation process. This report shows how the system was implemented on the plant and its benefits. The project had three main execution stages: 1- Creation of the control rules based on the Fuzzy logic, 2- Consolidation and tuning of the control rules and 3- Performance evaluation test.

Key words: Mechanical flotation; Advanced control process; Fuzzy logic.

¹ *Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Engenheiro de Processo – Samarco Mineração S.A*

³ *Engenheiro de Automação - Samarco Mineração S.A*

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que atualmente as exigências de um produto de qualidade que atendam aos requerimentos de seus clientes são fundamentais para o sucesso de uma empresa. Com o Sistema de Controle Avançado de Processos (SCAP), espera-se otimizar os ganhos da produção que atendam tais exigências, tais como, minimizar a variabilidade, otimizar e reduzir dosagens de reagentes, maximizar a produção e melhorar a recuperação metálica da usina de concentração.

O presente trabalho mostra como foi a implementação e os ganhos do sistema de controle otimizando na flotação mecânica da usina de concentração de minério de ferro da Samarco.

O processo de flotação consiste em separar as partículas de hematita (Fe_2O_3) das partículas de sílica (SiO_2) visando um concentrado mais puro em ferro e um rejeito mais puro em sílica. Ao processo são adicionados reagentes como a amina e o amido, este último usado como depressor da hematita e a amina como espumante e coletora das partículas de sílica. Na Samarco a flotação mecânica é a primeira etapa onde se retira as partículas de sílica da polpa, e é onde se retira a maior parte da mesma. Portanto, o SCAP entra como um projeto ousado e importante nesta etapa da produção.

A Figura 1 mostra o fluxograma da usina de concentração da Samarco.

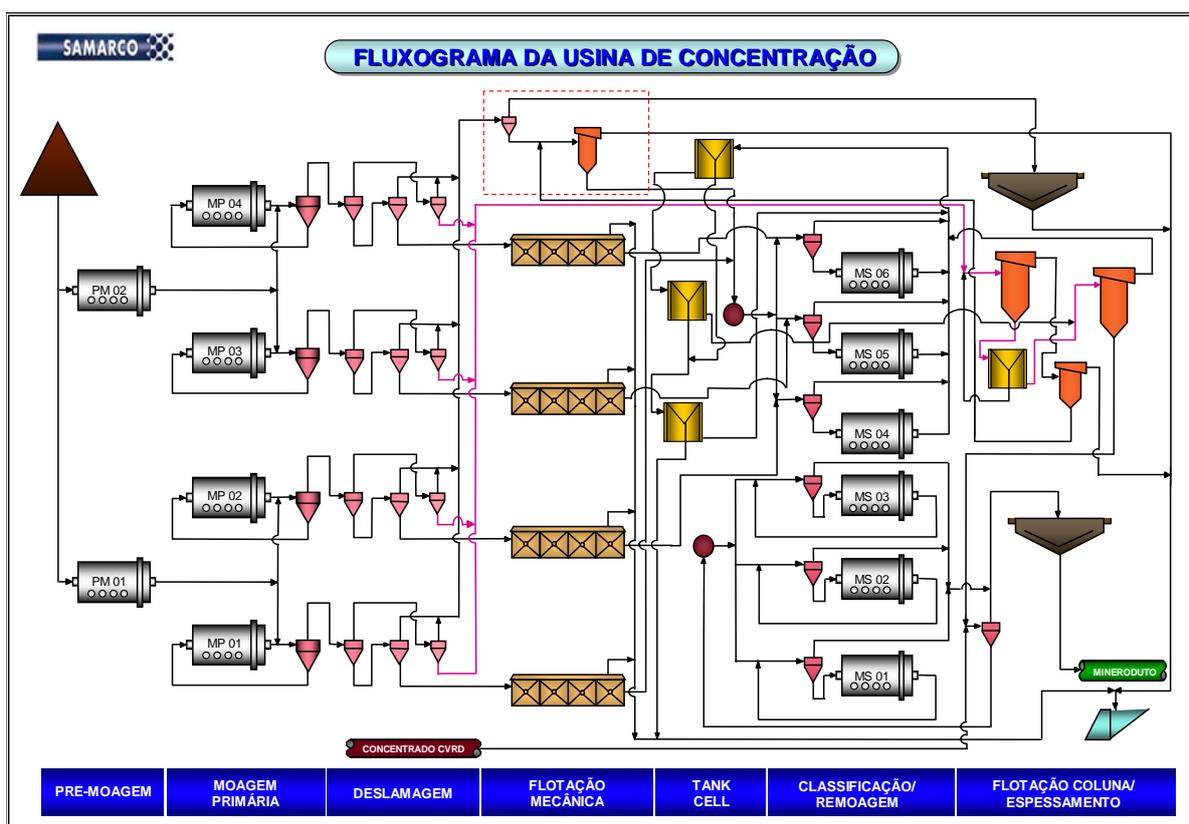


Figura 1: Fluxograma da usina de concentração da Samarco.

Para as especificações de funcionalidade do sistema de controle avançado, desejava-se um software robusto, de fácil configuração e que possibilitasse futuras implementações pela equipe interna. Entre as diversas opções foi escolhido o OCS[®], fornecido pela Metso Cisa.

O OCS é um software projetado para atender as necessidades relativas ao controle nas indústrias de processo que inclui toda a funcionalidade requerida para a implantação de controle avançado. O OCS normalmente complementa os Sistemas de Controle Distribuídos (DCS) convencionais ou Controladores Lógicos Programáveis (PLC), onde automaticamente lê informações a partir do banco de dados do PLC ou DCS, e usa o módulo especialista com uma estrutura de inferência, raciocínios *crisp* e lógicas *fuzzy* para elaborar set-points. Estes set-points perseguem continuamente objetivos estratégicos mantendo a qualidade requerida do produto, enquanto perseguem objetivos técnicos e econômicos.

O objetivo do projeto contemplou alcançar continuamente a meta relativa ao teor de sílica no concentrado da flotação mecânica, bem como reduzir a sua variabilidade. Otimizar a seletividade e reduzir as adições de reagentes. Reduzir a porcentagem de ferro no rejeito, quando não houver restrições.

2 MATERIAIS E METODOS

Para o correto funcionamento do OCS é fundamental estar operando em sua plena normalidade o analisador de sílica automático, os medidores de altura de camada de espuma e os medidores de velocidade de espuma.

O analisador de sílica automático, internamente chamado de sílica online automático, é um analisador do percentual de sílica no concentrado de cada linha da flotação mecânica. Ele gera resultados de 7 em 7 minutos e alimenta o OCS para a formulação das ações de controle.

Pode-se dividir em três fases principais a implementação do SCAP na usina; 1- criação das regras de controle, 2- sintonização e consolidação das regras de controle e 3- teste de avaliação de desempenho.

2.1 Criação das Regras de Controle

Nesta primeira etapa houve uma forte interface com os operadores e técnicos da usina. Para criar as regras de controle utilizou-se o conhecimento dos operadores visando traduzir suas ações na flotação para o software, e com isso pode-se almejar um controle bem realista do processo.

Como modelo de desenvolvimento parte-se da definição das variáveis para o controle, passando para o modelo do processo e estratégia. Após o apuramento e validação das etapas supracitadas, inicia-se a sintonização e consolidação das regras de controle e como etapa final temos os teste de avaliação de desempenho. Estes itens serão detalhadas abaixo.

2.1.1 Variáveis para o controle

Variáveis controladas são analisadas visando ao monitoramento do desempenho operacional. Já as variáveis manipuladas são modificadas de forma a buscar os resultados desejados.

Com base nas informações do sílica online automático e dos percentuais de ferro no rejeito e sílica no concentrado, obtidos em laboratório, o sistema atua no processo para atingir os objetivos. Estas são as variáveis controladas. Os set-points das malhas de controle de nível de espuma, dosagem de reagentes e parâmetros de velocidade de espuma são as variáveis manipuladas. As relações entre todas as variáveis são definidas pelo modelo de processo e a estratégia de controle, de forma a atender aos anseios da produção.

A Tabela 1 sintetiza as variáveis em questão.

Tabela 1. Variáveis controladas e manipuladas da flotação mecânica.

Variáveis controladas	Variáveis manipuladas
%Fe no rejeito	Dosagem de amina
%SiO ₂ no concentrado	Dosagem de amido
Sílica online automático	Níveis de espuma
	Velocidade de espuma

2.1.2 Modelo do Processo

Define-se como o modelo do processo as iterações lógicas necessárias para traduzir em informação de controle as informações das entradas do sistema. Desta forma podemos partir para a estratégia de controle, realizando assim todo o ciclo de inferência lógica necessária.

Baseado nos resultados amostrados das variáveis controladas, o objetivo principal era traduzir de forma mais fiel o conhecimento dos operadores sobre o processo e incorporar as técnicas de controle e estratégias ao modelo inicial. Para tal, a lógica *Fuzzy* se mostrou bastante eficiente. Outro ponto forte desta lógica é sua facilidade de tratar variáveis lingüísticas, o que a torna familiar para o entendimento dos operadores.

Em resumo, identificadas as entradas do sistema, foram traçados os conjuntos lingüísticos *Fuzzy* para cada uma delas e estabelecidas às relações em regras *CRISP* do tipo *Se... Então* para traçar a lógica do controle. De posse das ações definidas podemos *Desfuzzyficar* as variáveis e como resultados teremos as ações de controle ótimas para determinada situação. Estas ações passam então para a próxima etapa, onde é definida a estratégia de controle.

2.1.3 Estratégia de controle

A estratégia dita a melhor forma de utilizar a informação para alcançar os objetivos desejados. Como entradas para esta etapa têm as ações de controle definidas pelo modelo e o conhecimento do processo adquirido pelos operadores e engenheiros de processo.

Analisando os dados da flotação, observou-se que a variável de processo velocidade de espuma tem uma correlação maior com a sílica no concentrado do que a variável nível de espuma. Devido aos operadores culturalmente usarem o controle de nível de espuma ao invés de velocidade de espuma optou-se por usar o controle tipo cascata, onde a variável manipulada Velocidade de Espuma passa a ser a variável controlada para os níveis de espuma.

Com o controle em cascata foi possível introduzir nos parâmetros do OCS as duas variáveis, facilitando assim a implementação do OCS e ganhando a credibilidade dos operadores para com o programa, este um dos fatores mais importantes para o sucesso do projeto.

Outras decisões do controle com base na Sílica incluem as dosagens de Amina e Amido baseadas nas informações de SiO₂. A Figura 2 mostra graficamente este controle.

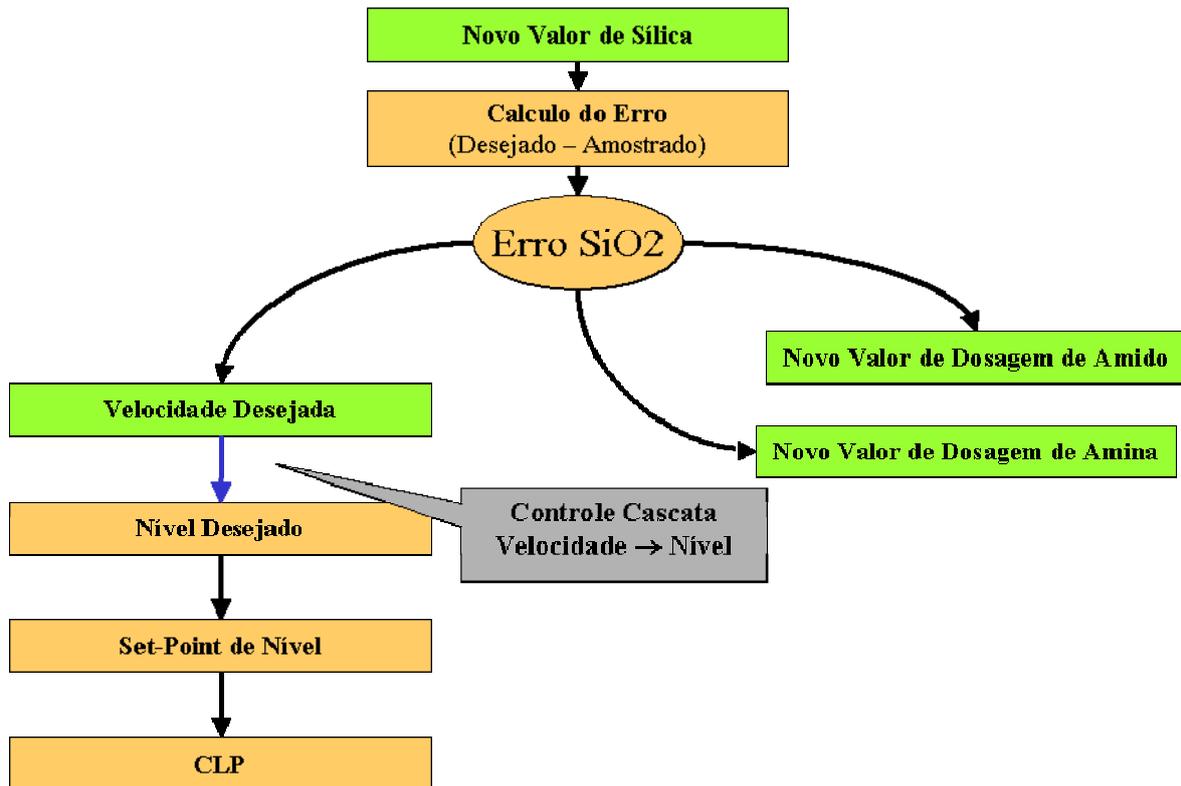


Figura 2. Fluxograma esquemático do tipo de controle do OCS na flotação mecânica.

Estratégia similar é traçada para o %Ferro no Rejeito, tendo como saída as dosagens de amina e de amido.

Porém estas ações de controle se complementam, sendo que para a aplicação de cada uma são definidas prioridades com o objetivo de otimizar o uso dos reagentes no processo. Esta estratégia se mostrou bastante efetiva quando aliada ao controle em cascata.

2.2 Sintonização e Consolidação das Regras de Controle

Depois de traduzidas a forma e as regras de controle para o OCS, nesta nova etapa do projeto testaremos tal efetividade, ou seja, a resposta industrial do controle.

Foi feito um acompanhamento integral da equipe para dar total apoio, tanto em falhas de comunicação do sistema, regras não atuando, como regras mal consolidadas ou novas sugestões de regras de controle.

Após este acompanhamento sentiu-se a necessidade de fazer um treinamento mais específico para os operadores. No final desta fase as regras já estavam consolidadas e o desempenho do OCS já estava sendo afetado pelas dúvidas e más parametrizações dos operadores. Portanto, fez-se um treinamento específico para operadores, técnicos, chefes de equipe e interessados visando sanar todas as dúvidas existentes e corretas parametrizações do sistema.

2.3 Teste de Avaliação de Desempenho

Depois de consolidadas as regras de controle, fez-se um teste para avaliar o desempenho do OCS. O teste foi feito num período de 45 dias contemplando 2 campanhas CLS e 2 campanhas CNS. As linhas foram avaliadas independentemente, deixando um dia o OCS ligado e outro dia o OCS desligado.

Foi feito um banco de dados do teste onde foram gravados pelo OCS logs a cada 5 minutos dos parâmetros de operação, das dosagens de reagentes, estado dos instrumentos e sílica online. E pelo laboratório a %Fe no rejeito e %SiO₂ no concentrado. Todos estes dados são coletados, filtrados e separados por campanha e por estado do OCS por uma planilha Excel automatizada, facilitando assim a análise de desempenho.

Os índices avaliados foram:

- Média e desvio padrão da %SiO₂ do concentrado da flotação (resultado de laboratório).
- Média e desvio padrão da %SiO₂ on-line automático.
- Média e desvio padrão de %Fe no rejeito da flotação mecânica.
- Média da dosagem de amido.
- Média da dosagem de amina.
- Média e desvio padrão da %SiO₂ no concentrado final.

Os ganhos são calculados de acordo com a equação abaixo, sempre com relação ao desempenho do OCS desligado:

$$G \% = \left(\frac{Média_{ON} - Média_{OFF}}{Média_{OFF}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo teste de avaliação de desempenho do OCS os principais ganhos foram a redução da variabilidade de sílica no concentrado da flotação de 17% e em 12% no concentrado final. Ainda na etapa de flotação mecânica, a variabilidade de ferro no rejeito foi reduzida em 14%, o consumo de reagentes diminuiu 4% e a média geral de ferro no rejeito também caiu. Todos esses valores e alguns outros podemos visualizar na tabela abaixo.

Tabela 2. Resultados do teste de avaliação de desempenho do OCS.

Índice	Ganho
%Fe no rejeito	-4,0%
Dosagem de amina	-4,3%
Dosagem de amido	0,9%
%SiO ₂ do laboratório	-7,7%
%SiO ₂ online	-2,0%
%SiO ₂ concentrado final	-0,5%

Tabela 3. Resultados de variabilidade das variáveis de processo do teste de desempenho do OCS.

Índice	Ganho
Desvio Padrão da sílica (laboratório)	-17,4%
Desvio Padrão da sílica online	-21,6%
Desvio Padrão do percentual de ferro no rejeito	-13,9%
Desvio Padrão da sílica (concentrado final)	-12,1%

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho permite concluir que obtivemos ganhos expressivos com a implementação do sistema de controle otimizador na flotação mecânica da Samarco.

Ganhos em redução de reagentes e principalmente em redução da variabilidade no processo, sendo esse um ganho que acarreta vantagens nos processos subseqüentes, pois torna a usina mais robusta a ruídos e variações.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos operadores e técnicos de produção da usina em especial ao Engenheiro de Automação Willians Rodrigues e o Analista de Processo Paulo Mapa por iniciarem o projeto. Aos Técnicos de Controle de Produção Marcos Geraldo e Luciano Leite e ao Técnico de Automação Eduardo Quintão pelo apoio. Gestores pela iniciativa pioneira de implementação do sistema especialista na flotação.