

# MELHORIA NO DESEMPENHO DO PROCESSO DE MOAGEM DE CARVÃO PELA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS OTIMIZANTES COM LÓGICA NEBULOSA\*

João Luis Moreira<sup>1</sup>

Luis Alberto Sfalsin<sup>2</sup>

Carlos Pinto Pereira Junior<sup>3</sup>

Alexandre Moure de Ataíde Junior<sup>3</sup>

Jose Maciel Silva<sup>4</sup>

## Resumo

A adequação dos insumos sólidos de matriz energética aplicada ao processo de pelletização na Samarco é realizada por moinho de rolos verticais, que consta basicamente do prato de moagem, pares de rolos que rolam sobre o mesmo e a carcaça com o separador estático na sua parte superior. Seu controle por muitos anos foi dado por controle convencional, onde a atuação era norteadada por sentimento e experiência dos operadores. Esse tipo de controle é de difícil documentação e aprendizado, o que acarreta no aumento da variabilidade do processo. O trabalho traz uma alternativa de controle, por sistema otimizador, que são desenvolvidos de forma a maximizar a produção, oferecer um maior desempenho do processo, minimizar os custos com energia, mão de obra e redução da necessidade de paradas para manutenção do equipamento. O sistema otimizador utiliza para tomadas de decisão lógica fuzzy e crisp, estatística, modelos matemáticos e experiência de especialistas, onde as variáveis linguísticas descrevem as entradas de controle para planta dinâmica e as regras definem o relacionamento entre estas entradas.

**Palavras-chave:** Pelotização; Moinho de rolos; Otimização; Produtividade.

## IMPROVEMENT IN GRINDING PROCESS PERFORMANCE BY COAL OTIMIZANTES SYSTEMS USE WITH LOGIC CLOUDY

### Abstract

The suitability of the solid matrix input energy applied to Samarco pelletizing process is performed by the vertical roller mill, which consists essentially of the grinding plate, pairs of rollers that roll on it and the carcass with the static separator in its upper part. His control for many years was given by conventional control where the action is by feeling. This type of control is difficult to documentation and learning, which leads to increased process variability. The work behind an alternative control for optimizing system that are designed to maximize production, offer greater process performance, minimize energy costs, labor and reducing the need for stops for equipment maintenance. The optimizing system uses fuzzy logic and crisp, statistical, mathematical models, and experience of specialists, where the linguistic variables describe the control inputs for dynamic plant and the rules define the relationship between these entries.

**Keywords:** Pelletizing, Roller Mill; Optimization; Productivity.

<sup>1</sup> Engenheiro Metalúrgico e de Materiais, Laboratorista, Dep. Engenharia de Processo, Samarco Mineração S/A, Anchieta, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro de Produção, Engenheiro de Processo, Dep. Engenharia de Processo, Samarco Mineração S/A, Anchieta, Espírito Santo, Brasil.

<sup>3</sup> Técnico Automação Industrial, Técnico de Automação, Dep. Engenharia de Automação, Samarco Mineração S.A, Anchieta, Espírito Santo, Brasil.

<sup>4</sup> Técnico Manutenção Industrial, Técnico de Processos, Dep. Produção Usinas I e II, Samarco Mineração S.A, Anchieta, Espírito Santo, Brasil

## 1 INTRODUÇÃO

O carvão é usado no processo de pelletização objetivando uma melhor distribuição de temperatura no interior da pelota durante o endurecimento, assim como reduzir o consumo de combustível dos fornos. Além de ser uma fonte energética alternativa, com menor custo e que proporciona benefícios à qualidade das pelotas queimadas.

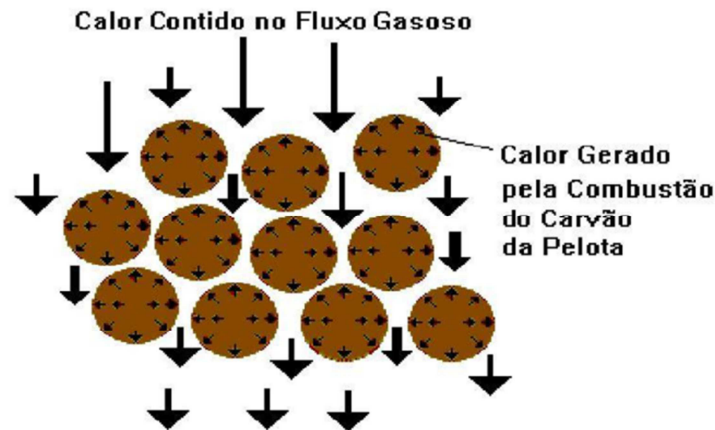


Figura 1 – Dissipação de calor na pelota gerada pelo carvão contido

Para ser aplicado ao processo de pelletização, o carvão passa pela etapa de moagem para adequação física. O processo de moagem de carvão consiste em alimentar o moinho com carvão grosseiro, com a finalidade de chegar a granulometria desejável. O moinho de rolos KRUPP POLYSIUS pertence ao grupo dos moinhos verticais para moagem e secagem de carvão. Ele consta basicamente do prato de moagem acionado, os pares de rolos que rolam sobre o mesmo e a carcaça com o separador estático na sua parte superior.

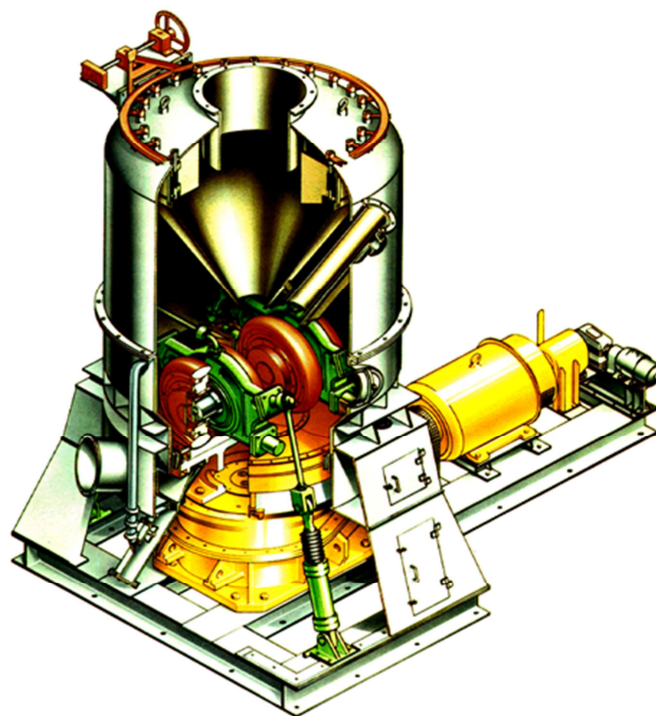


Figura 2 – Moinho de Rolos Vertical

Este artigo tem como objetivo apresentar a arquitetura de controle e os ganhos provindos da utilização do sistema de controle otimizador no Moinho de Carvão I da Samarco Mineração. Sobretudo, o presente trabalho mostra a capacidade de reduzir a variabilidade do processo, proporcionando um aumento na produtividade da planta.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Performance do Moinho de Carvão

O moinho de carvão possui dois rolos fixos de moagem e uma mesa rotativa, onde é acomodado o carvão para moagem. Os rolos moedores são pressionados contra a mesa giratória, exercendo uma força sobre o material grosseiro dentro do moinho que com o tempo é fragmentado. Um fluxo de gás quente proveniente do forno de endurecimento de pelotas percorre o leito do moinho no sentido ascendente, proporcionando a secagem do material a ser moído e também transporte do carvão. Na etapa seguinte, o material moído e seco é transportado pneumaticamente até o filtro de mangas, onde ocorre a separação ar/carvão.

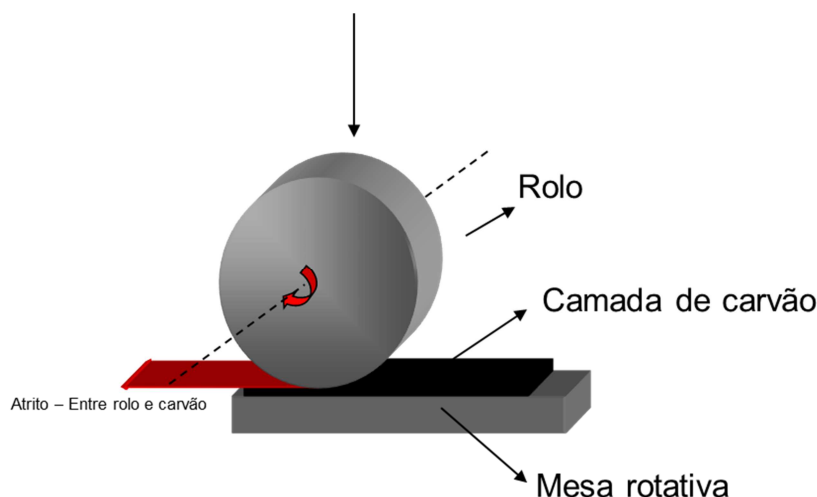


Figura 3 – Processo de moagem do carvão no interior do moinho

### 2.2. Controle Convencional

O controle do moinho de carvão de maneira convencional é dada pela atuação no controle da válvula de gás quente, válvula de retorno e alimentação do moinho. A válvula de gás quente manipula a temperatura de entrada e saída do moinho. A válvula de retorno controla a pressão de entrada do moinho. A alimentação é determinada pelo operador da planta, por observações da pressão diferencial (que está ligado à quantidade de material no interior do moinho). Se excedido o limite de material, poderá ocorrer a parada da planta. Isso ocorre em virtude da quantidade de material no interior do moinho ser grande, de tal forma a impedir o fluxo de gases no leito, gerando queda brusca da temperatura na saída do moinho, que esta correlacionada ao aumento da pressão diferencial e vibração do mesmo.

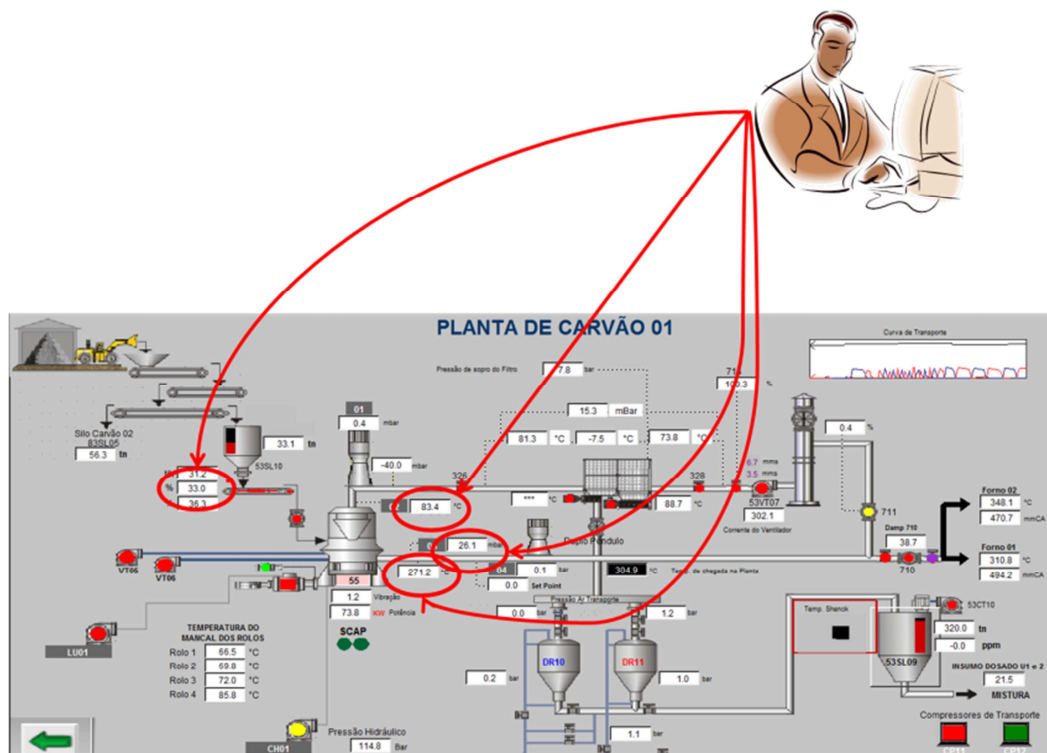


Figura 4 – Controle Convencional do moinho de Carvão I

Importante frisar que o controle convencional depende exclusivamente da atuação do operador, que utiliza o sentimento e experiência no controle da planta.

### 2.3. Sistema de Controle Avançado Processo - SCAP

Os sistemas de controle avançado de processo estão entre os métodos mais eficientes de se otimizar os processos produtivos, minimizando os custos de produção e garantindo a produtividade. A estratégia de controle utiliza como entrada de dados os conhecimentos adquiridos por pessoas especialistas das áreas operacionais e de engenharia. Com isso, constrói-se a estratégia de controle, com ferramentas matemáticas avançadas capazes de gerar incrementos com grande exatidão para controle.

### 2.4. Estratégia de Controle do SCAP

As regras do SCAP foram elaboradas com base nos aprendizados adquiridos com os estudos para entendimento das práticas operacionais no processo de controle manual, e também aplicando conhecimento de especialistas com objetivo de controlar o Moinho Carvão I.

Inicialmente o SCAP, antes de inferir as regras, valida informações e condições de operação do moinho, como: nível de silo de carvão bruto, temperatura do duto de gás quente e de entrada do moinho, pressão da entrada do moinho e a pressão diferencial, estágio de posicionamento das válvulas de controle de gás quente e retorno e, por fim, a pressão do hidráulico do moinho.

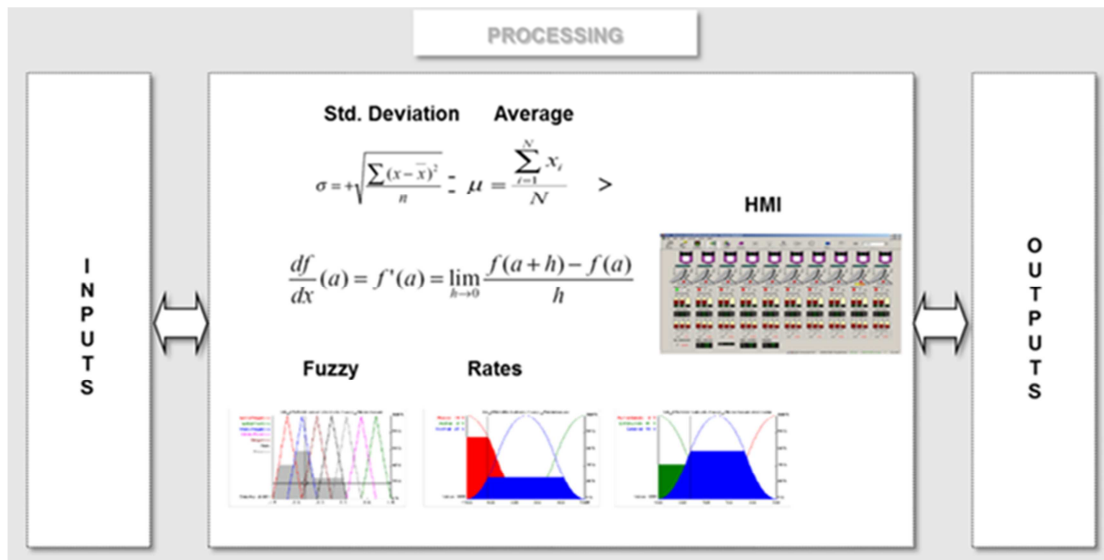


Figura 5 – Processamento do SCAP

O SCAP processa as informações de entrada por meio de cálculos e estatísticas, aliados a regras “crisp” e “fuzzy” contendo a estratégia do controle, que gera incrementos de saída com grande precisão de controle.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Ganho de Produtividade

Após implementação do sistema otimizante para controle do processo de moagem de carvão, é observado aumento na produtividade do mesmo. Este aumento pode ser comprovada pelo teste de Kruskal-Wallis, onde p-valor é menor que 0,05, que difere as medianas dos períodos.

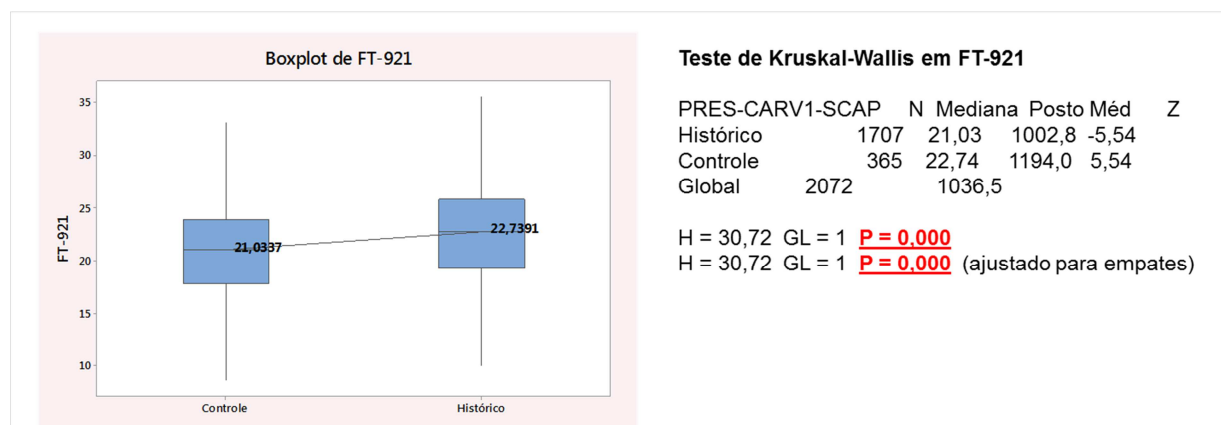


Figura 6 – Produtividade do Moinho

#### 3.2. Ganho de Pressão Negativa

Importante ressaltar que o leito do moinho apresentando pressão de entrada mais negativa reduz o risco de parada por “embuchamento”. Como o fluxo é ascendente, é deduzido que o material moído está sendo transportado para etapa seguinte.

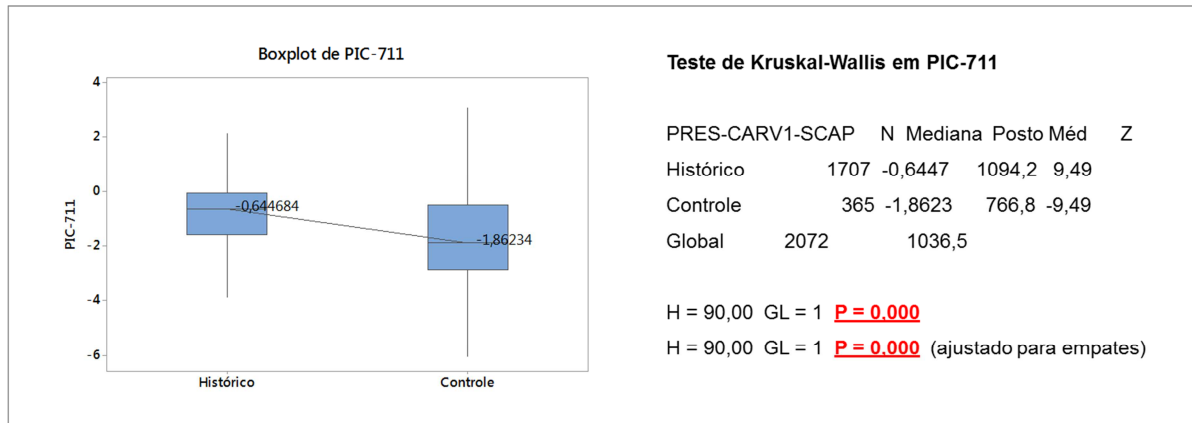


Figura 7 – Pressão de entrada do moinho

### 3.3. Ganho de Temperatura

Com maior temperatura na saída do moinho, a produção pode ser melhor otimizada, pois as condições do leito mais aquecido facilita a secagem e fluidez

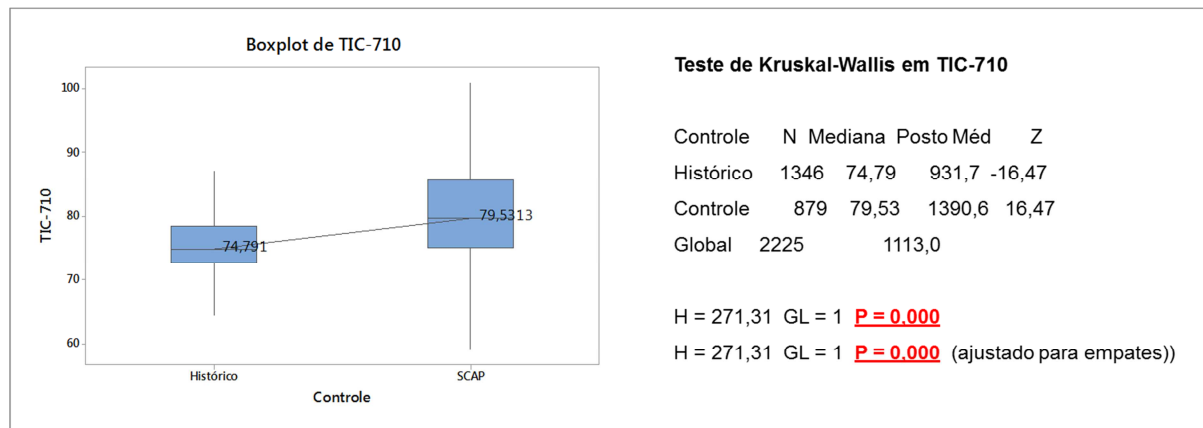


Figura 1 – Temperatura na saída do moinho

## 4 CONCLUSÃO

Ao longo dos anos é mais evidente que o controle convencional pode ser melhorado e que o melhor caminho para otimização do processo são os Sistemas de Controle Avançado. As atuações dinâmicas no processo para manter as variáveis importantes próximas do valor desejado proporcionam a redução da variabilidade e maximização da produção. Importante frisar que para manter uma boa utilização é necessário ter uma rotina de gestão e apoio aos principais usuários do sistema. O SCAP controlando o processo de moagem de carvão alavancou os resultados de produtividade, muito em virtude do controle propiciar melhores condições de operação do moinho.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Samarco Mineração pelo suporte e incentivo.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 Sfalsin, L.A.P. Seminário técnico para clientes da Samarco Mineração S/A, maio de 2014, Anchieta.
- 2 Sfalsin, L.A.P., Moreira, J.L., Jorge, A. Melhoria no desempenho do processo de produção de pelotas de minério de ferro em discos de pelotização pela utilização de sistemas otimizantes com lógica nebulosa. 44º Seminário de Redução do Minério de Ferro e Matérias Primas, 15-17 de outubro de 2014, Minas Gerais
- 3 Samarco Mineração SA. Manual Intergrado da Gerência de Produção de Ubu. 2013. Revisão 01:45-47.
- 4 Peroni, D. L. Estudo para reduzir a variabilidade do carbono fixo na alimentação de duas usinas de pelotização utilizando um controlador fuzzy. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2006
- 5 Gonçalves, R.G. Controle inteligente aplicado ao processo de queima de pelotas no forno PotGrate. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2003.