

AUMENTO DA CAPACIDADE OPERACIONAL DOS FILTROS DE MANGAS DOS MOINHOS VERTICAIS DE CARVÃO DA SAMARCO MINERAÇÃO S/A¹

Nemer Saib Neto²

Rubens dos Santos Behring³

Álvaro José Marinho Barbosa⁴

George Washington Fonseca e Silva⁵

Resumo

A operação de cominuição do carvão mineral, no processo de pelotização da Samarco Mineração S/A, é significativamente importante para a adequação da qualidade física e metalúrgica da pelota queimada. O equipamento utilizado é um moinho de rolos vertical, com sistema de gases de secagem. O produto final da moagem é obtido no sistema de filtro de mangas, o qual tem a capacidade nominal de vazão de 50.000 m³/h, com área filtrante total de 617,28 m². Com o aumento da demanda de carvão mineral, o filtro de mangas tornou-se um gargalo operacional, aumentando expressivamente a variabilidade da produção no moinho. O repotenciamento do mesmo disponibilizou uma área filtrante total de 826,69 m², que garantiu uma vazão operacional de 65.000 m³/h. A alteração viabilizou a redução da variabilidade de produção e mitigou as paradas do moinho relacionadas à saturação do filtro de mangas.

Palavras-chave: Carvão mineral; Moinho de rolos; Filtro de mangas.

OPERATIONAL CAPACITY INCREASE OF THE SAMARCO MINERAÇÃO S/A ROLLER MILL'S BAG FILTERS

Abstract

The mineral coal operation of comminution in the Samarco Mineração S/A pelletizing process is significantly important to the fired pellet physical and metallurgical quality adjustment. The equipment used is a roller mill, with a gas drying system. The final grinded product is obtained in the bag filter system, which has a nominal capacity flow of 50.000m³/h, with total filtering area of 617,28m². Through the mineral coal demand increase, the bag filter became an operational bottleneck, raising considerably the roller mill production variability. The improvement spared a total filtering area of 826,69m², that guarantee an operational flow of 65.000m³/h. The modification brought the production variability reduction and prevented the production brake reached by the bag filter saturation.

Key words: Mineral coal; Roller mill; Bag filter.

¹ Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

² Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Tecnologia Mineral, UFMG, da Gerência de Engenharia de Processo e Automação da Samarco Mineração S/A – Ponta Ubu, Anchieta – ES.

³ Engenheiro Metalurgista, da Gerência de Produção da Samarco Mineração S/A – Ponta Ubu, Anchieta – ES.

⁴ Especialista em Manutenção, da Gerência de Manutenção da Samarco Mineração S/A – Ponta Ubu, Anchieta – ES.

⁵ Engenheiro Mecânico, Especialista em Equipamentos de Proteção Ambiental, da GWF Equipamentos Industriais LTDA – Penha, São Paulo – SP.

1 INTRODUÇÃO

O processo de pelletização da Samarco Mineração S/A tem como etapa crítica o beneficiamento dos insumos. O carvão mineral é um elemento que está presente na mistura para o pelletamento, que tem como propriedade fundamental a geração de calor nos fornos de endurecimento.⁽¹⁻³⁾ A utilização do mesmo teve início na década de 80, com o objetivo de redução do consumo específico de óleo combustível do forno de pelletização.⁽¹⁾

Além de contribuir para o aporte térmico do processo, a influência do carvão é mensurável nos âmbitos físicos e metalúrgicos da pelota queimada.^(2,3) Para que a sua utilização seja realizada de forma adequada, o carvão mineral é beneficiado num moinho de rolos secador, o qual garante estabilidade e homogeneidade do teor de umidade do insumo.

O sistema de classificação no interior do moinho é estático, o que proporciona a adequação granulométrica do insumo. A etapa de tratamento dos gases do moinho gera o produto final, a qual ocorre no interior do filtro de mangas.

O filtro é composto por um conjunto de 432 mangas de feltro de poliéster agulhado de comprimento de 3.053 mm. Esse equipamento é responsável pelo tratamento de gases do moinho de carvão, que possui demanda média de produção de 14,5 t/h. Os itens de controle do equipamento estão intimamente relacionados à temperatura e à pressão diferencial no interior do moinho.

A área filtrante total do filtro de mangas viabiliza o tratamento de uma vazão de gases da ordem de 50.000 m³/h. Com o aumento da demanda de produção, este sistema tornou-se um gargalo operacional, que contribuiu significativamente para o aumento da variabilidade da produção. As paradas estavam associadas à saturação do filtro de mangas, que não suportava tratar o volume acentuado de gases com as partículas cominuídas.

A alteração dos filtros de mangas, dos moinhos de carvão que atendem às usinas de pelletização 1 e 2, visou o aumento da área filtrante total, que permitiu um tratamento de uma vazão de gases da ordem de 65.000 m³/h. Este aumento reduziu a relação de ar / área disponível do elemento filtrante (m³/min/m²), objetivando reduzir o número de paradas de produção associadas à saturação do filtro de mangas e, conseqüentemente, viabilizando a redução da variabilidade do processo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O filtro de mangas tem função de separar o carvão moído dos gases provenientes do moinho de carvão. O fluxo de gases com o pó de carvão entra no filtro e segue em direção ao “plenum” através das mangas filtrantes, viabilizando a deposição uniforme do particulado na superfície externa destas. Devido à diferença de pressão entre os lados, externo e interno da manga (em razão da resistência à passagem dos gases através do tecido filtrante), esta é forçada contra a gaiola, adquirindo o formato de estrela. A poeira fica retida no lado de fora da manga e os gases limpos passam ao “plenum” de gás limpo, seguido pelo duto de gás limpo e por final para o ventilador de exaustão.⁽⁴⁾ A Figura 1 apresenta o desenho esquemático do Filtro de Mangas.

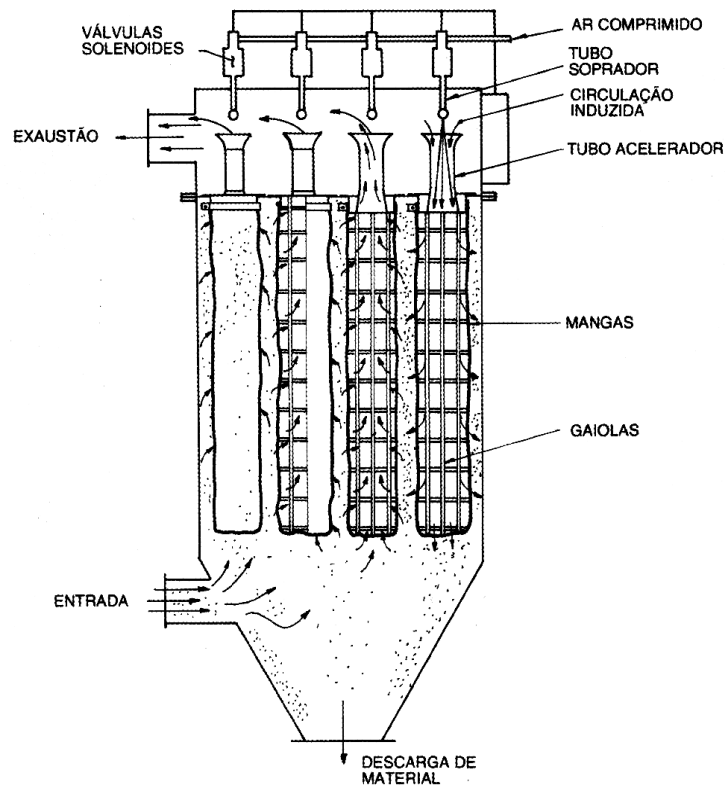


Figura 1: Desenho esquemático do Filtro de Mangas.⁽⁴⁾

O sistema de limpeza das mangas filtrantes desprende as partículas depositadas sobre sua superfície externa por curtos pulsos de ar comprimido que duram aproximadamente 0,1 segundos, num ciclo predefinido. Este pulso passa através do tubo de alimentação e vai até os furos dos tubos injetores aonde o ar comprimido escapa axialmente ao furo em direção ao acelerador venturi. O jato de ar comprimido viaja através da manga, transmitindo uma onda de choque à mesma, limpando-a e desalojando o material sedimentado. A direção do fluxo torna-se, momentaneamente, contrária à direção normal de filtragem. As mangas que até este instante tinham o formato de uma estrela são subitamente infladas. Quando as mangas atingem seu tamanho máximo, as partículas que estavam agregadas a elas continuam seu movimento em razão de sua inércia, separando-se das mangas⁽⁴⁾.

A identificação das oportunidades de melhoria foi orientada pela análise de desempenho dos principais subsistemas do circuito de moagem de carvão. As considerações foram feitas para os itens listados abaixo:

- sistema de sopro dos filtros de mangas das Plantas 1 e 2;
- sequência de sopro dos filtros de mangas das Plantas 1 e 2;
- abertura do damper na saída do filtro de mangas;
- temperatura na entrada do filtro de mangas;
- pressão de ar comprimido do sistema de limpeza; e
- medições dos parâmetros operacionais das Plantas 1 e 2.

Os serviços de medições, amostragem e coleta de material foram executados após o ajuste na pressão de ar comprimido e no intervalo do sistema de limpeza dos filtros de mangas das Plantas 1 e 2:

- ajuste da pressão de ar comprimido em torno de 6 kgf/m²; e
- Ajuste do intervalo de limpeza em 13 segundos.

Durante os testes de amostragem simultânea na entrada e saída do filtro de mangas foram monitorados os itens:

- temperatura na saída do moinho (°C);
- temperatura na entrada do filtro de mangas (°C);
- temperatura na saída do filtro de mangas (°C);
- perda de carga no filtro de mangas (mbar) e (mmCA);
- pressão na entrada do filtro de mangas (mmCA); e
- produção (t/h).

A Tabela 1 descreve os principais parâmetros de operação do filtro de mangas.

Tabela 1: Dados do filtro de mangas do moinho de rolos

Descrição	Dados
Tipo	Jet-pulse
Vazão de Ar	50.000 m ³ /h
Temperatura	90 °C
Carga de pó	400 g/m ³
Pressão de projeto	1,4 bar abs
Pressão de trabalho	- 900mmCA
Perda de pressão	150 mmCA
Tipo de pó	Carvão mineral
Carregamento das mangas	1,3528 m ³ /min x m ²
Material das mangas	Feltro de poliéster agulhado
Área filtrante	616 m ²
Consumo de ar comprimido	91 Nm ³ /h
Pressão de ar comprimido	6 a 7 Kg/m ²
Material das mangas	Feltro de poliéster agulhado
Nº de válvulas	12

3 RESULTADOS

Durante a execução das amostragens e medições o filtro de mangas da Planta de Carvão 1 operou com a vazão de entrada média na faixa 47.213 m³/h à 85°C que representa 5,57% de vazão abaixo do projeto (50.000 m³/h) e com perda de carga média de 173,4 mmCA que representa 15,6% acima da condição de operação de 150mmCA. Na Planta de Carvão 2, o valor médio de vazão de entrada foi de 61.398 m³/h à 79°C que representa 22,8% acima da vazão de projeto de 50.000 m³/h e com perda de carga média de 185,9 mmCA que representa 23,9% acima da condição de operação de 150 mmCA.

Os valores de concentração média de material particulado na entrada do filtro de mangas encontrados para as Plantas 1 e 2 foram 400,39 g/Nm³ e 572,09 g/Nm³, respectivamente. Na saída dos filtros, a concentração média de material particulado encontrada foi de 55,3 mg/Nm³ para a Planta 1, valor 10,6% acima de 50mg/Nm³ (nominal) e 110,9 mg/Nm³ para a Planta 2, valor 121,8% acima de 50 mg/Nm³.

4 DISCUSSÃO

Os filtros de mangas existentes foram dimensionados com área de coleta total de 616 m², vazão de operação de 50.000 m³/h e relação ar pano 1,35 m³/min/m². Para aplicação dentro do atual processo, o filtro de mangas deveria ser dimensionado para operar com a relação ar pano na faixa de 0,9 à 1,1 m³/min/m², conforme o cálculo abaixo (fator a ser adotado):

$$X = A \times A_n \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$$

A = Valores de referência máximo e mínimo 2,8 à 4,1 m³/min/m²

A_n = Valor característico do sistema de limpeza = 1

B = Função da Aplicação = 1

C = Granulometria do material = 0,9

D = Concentração do material = 0,9

E = Temperatura = 0,8

F = Capacidade de Fluidização – Densidade = 0,95

G = Direção do fluxo = 0,8

H = Condições climáticas (tropical ou não) = 0,8

Cálculo efetuado para os resultados das amostragens:

$$X = A \times A_n \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H$$

$$X_{(Máx)} = 1,131 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$$

$$X_{(Mín)} = 0,772 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$$

$$X_{(Méd)} = 0,951 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$$

A vazão máxima de operação registrada nas amostragens foi de 61.398 m³/h, logo a relação ar/pano na Planta de Carvão 2 é de 1,66 m³/min/m², ou seja, um valor extremamente alto para aplicação. A atual relação ar/pano alta gera perdas acentuadas no processo, grande parte delas associadas às paradas de produção por saturação dos filtros de mangas.

O histórico das perdas de cargas mostra que os filtros de mangas operam na média com de 185,9 mmCA de perda de carga. Normalmente, um conjunto de mangas filtrantes, no fim do seu ciclo de vida, opera na faixa de 200 mmCA.

Outro fator importante é o sistema de sopro que apresentou influência significativa nas altas perdas de carga dos filtros de mangas. As válvulas diafragmas de diâmetro de 1in são insuficientes para executar a limpeza do filtro. Complementarmente, o intervalo de limpeza de 11 segundos é muito baixo, o que afeta diretamente a vida útil das mangas.

4.1 Propostas de Melhoria

O cálculo para o filtro de mangas permitiu a identificação das oportunidades de melhoria que foram resumidas na Tabela 2

Tabela 2: Recomendações de alteração da estrutura dos filtros de mangas

Descrição	Dados de projeto (atual)	Dados de projeto (proposto)
Vazão	50.000m ³ /h	65.000m ³ /h
Diâmetro das Mangas	149mm	149mm
Comprimento das Mangas	3,053m = 10 ft	4,267m = 14 ft
Área filtrante total	617,28m ²	826,69m ²
Relação ar/pano	1,35m ³ /min/m ²	0,966m ³ /min/m ²

4.2 Resumo das Alterações

O diâmetro da manga de 149 mm foi mantido e o comprimento da manga de 3,053m passou para 4,267 m, para atender a nova área filtrante de 826,69 m².

O material da manga filtrante foi substituído por uma membrana de teflon com material base em feltro de poliéster agulhado com mínimo de 550 g/m².

A permuta da membrana de PTFE por uma termofixada sob alta temperatura e pressão e composta por uma variedade de feltros promoveu a formação de uma pré-capa primária que emancipou a necessidade de um pré-revestimento antes ou durante a operação. Ao limitar a penetração das partículas finas, a membrana preserva a integridade dos feltros, mantendo uma ótima circulação de ar com um diferencial de pressão reduzido em relação aos feltros sem membrana.

Com o aumento do comprimento das mangas de 10 ft para 14 ft a carcaça do filtro de mangas passa de 2.830 mm para 4.056 mm com um acréscimo de 606 mm, aproveitando o comprimento do plenum existente de 620 mm.

Por fim, as válvulas diafragmas de diâmetro de 1in foram substituídas por um conjunto de 1,5in e o intervalo de limpeza alterado para 13 segundos.

4.3 Verificação dos Resultados

A adequação dos filtros de mangas foi realizada em períodos diferentes para as duas Plantas (1 e 2). As modificações da Planta 1 foram realizadas na primeira quinzena de março de 2009 e da Planta 2 na primeira quinzena de junho de 2008, conforme as Figuras 2 e 3. Os períodos evidenciados nas figuras que não apresentam pontos referem-se às paradas de produção dos fornos de pelotização.

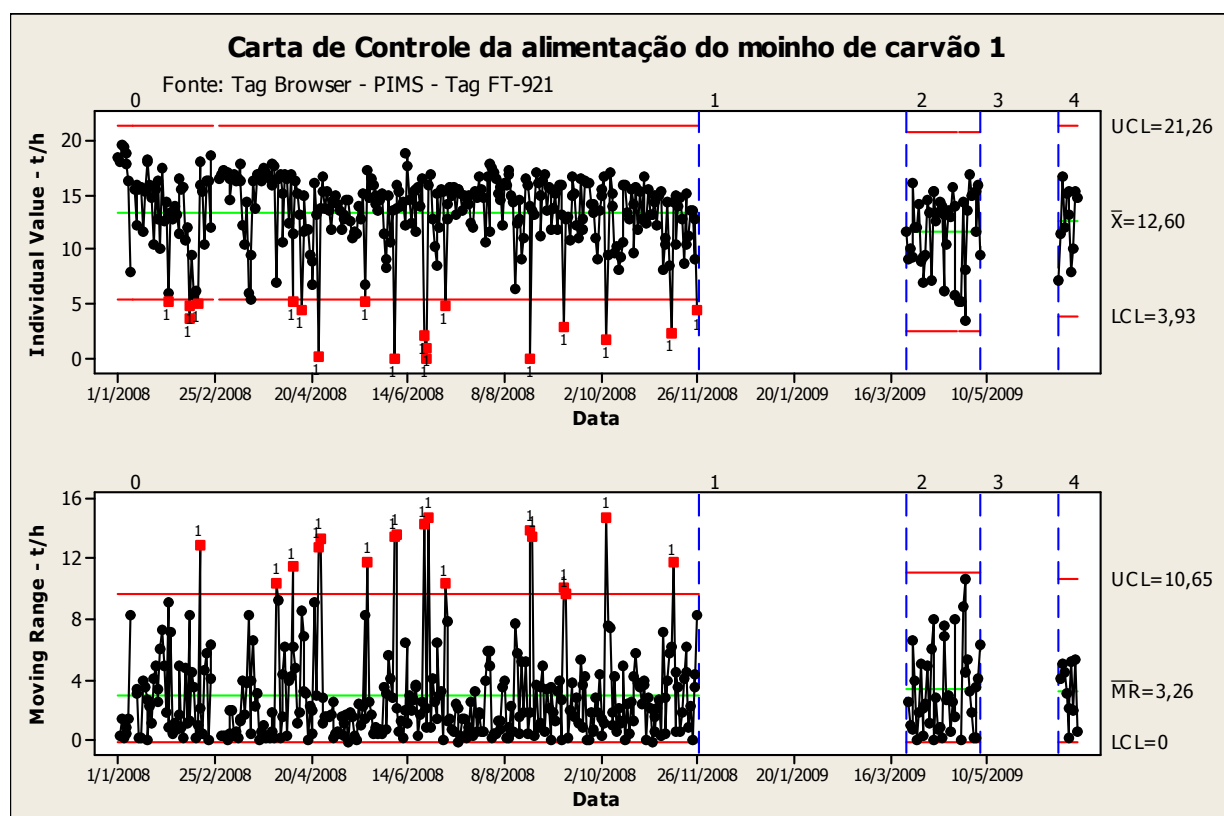


Figura 2: Comportamento do processo de alimentação da Planta de Carvão 1.

A análise visual da carta de controle ilustrada na Figura 2, referente à produção da Planta de Carvão 1, não permite que a afirmação de alteração do desempenho do processo seja feita. Um fato significativo é o controle estatístico da produção pós-repotenciamento. À partir da segunda quinzena de março de 2009 não

houve evidências de mudanças bruscas no processo, o que indiretamente promove um ganho relativo de previsibilidade.⁽⁵⁾

Para complementar a análise da Figura 2 foi realizada uma análise estatística dos períodos estratificados nos gráficos; estes variando de 0 à 4. Na Tabela 3, pode-se observar a redução significativa do desvio-padrão entre os estágios 0, 2 e 4. O cenário inicial de 3,67 foi para 3,17, promovendo uma redução de 14%. A produção, em média, foi menor no estágio 4, o que evidencia outra limitação da planta não retratada neste estudo. Saib⁽⁶⁾ mostra no projeto Lean 6 Sigma que as deficiências do processo de moagem de carvão não se resumem à operação de filtragem. Os problemas apresentam forte correlação com falhas mecânicas do moinho e com a ausência de um sistema supervisório automatizado.⁽⁶⁾ Estas falhas são evidenciadas no período 0, onde o número de pontos fora de controle é significativamente acentuado.

Considerando as limitações apresentadas por Saib,⁽⁶⁾ pode-se afirmar que o real comportamento do processo de filtragem pós-repotenciamento não foi retratado. Para ilustrar a expressividade da alteração, os patamares de produção do moinho devem estar na ordem de 22 t/h. Neste padrão, a saturação dos filtros de mangas poderá ser avaliada e questionada quanto ao seu real comportamento.

Tabela 3: Medidas descritivas da alimentação da Planta de Carvão 1 – MINITAB15

Estágio	Média	Desvio-Padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
0	13,31	3,67	11,76	14,26	15,82	0,00	19,52
1							
2	11,64	3,48	9,23	12,71	14,27	3,55	16,81
3							
4	12,60	3,17	9,96	13,10	15,30	7,24	16,52

A análise da Figura 3, referente à Planta 2, sugere uma mudança de patamar que pode ser visualizada comparando os estágios 0, 2 e 4. Apesar da nítida redução de produção, percebe-se um decréscimo relevante da variação do processo; fato evidenciado pela redução dos limites (superiores/inferiores) naturais do processo.⁽⁵⁾

Após o repotenciamento do filtro de mangas da Planta 2, os resultados de alimentação do moinho evidenciaram a redução da variabilidade de produção, apesar do processo ainda apresentar uma carência de controle estatístico salientada pelos pontos fora dos limites naturais do processo⁽⁵⁾. Este fato reforça a demanda de desenvolvimento técnico dos equipamentos periféricos do sistema geral da Planta de Carvão.

O descritivo estatístico presente na Tabela 4 reforça a observação de redução da variabilidade. Inicialmente, o processo apresentava um valor de desvio-padrão de 5,76. Após a adequação e estabilização do sistema este valor atingiu um patamar de 3,62, ou seja, alcançou uma redução de 37%. A redução do número de paradas por saturação dos filtros viabiliza tanto o ganho de produção quanto a redução do consumo de mangas filtrantes.

Assim como na Planta 1, o valor de médio de alimentação do moinho 2 também reduziu. Entretanto, mesmo com a perda de produção, a massa de produto gerada atendeu a demanda de carvão estabelecida para o forno 2 de pelotização da Samarco Mineração S/A.⁽⁶⁾

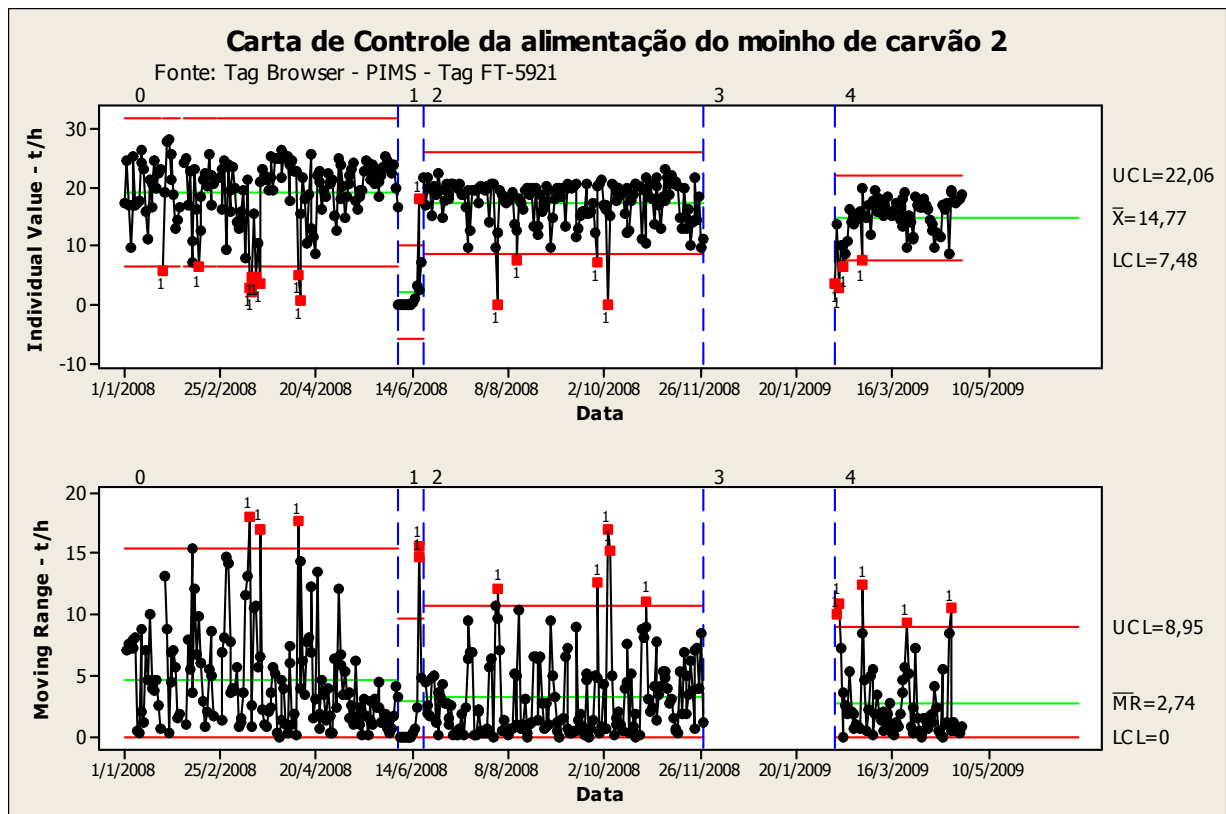


Figura 3: Comportamento do processo de alimentação da Planta de Carvão 2.

Tabela 4: Medidas descritivas da alimentação da Planta de Carvão 2 – MINITAB15

Estágio	Média	Desvio-Padrão	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Mínimo	Máximo
0	19,03	5,76	16,30	20,56	23,13	0,92	28,20
1	2,32	4,99	0,00	0,00	2,69	0,00	18,11
2	17,39	3,85	15,33	18,74	20,05	0,00	23,07
3							
4	14,77	3,62	12,99	15,92	17,21	2,75	19,90

5 CONCLUSÃO

As alterações realizadas no filtro de mangas proporcionaram um ganho significativo de previsibilidade e de redução da variabilidade de produção.

As modificações estruturais dos filtros de mangas proporcionaram um ganho relativo para o processo, entretanto existem oportunidades de melhoria relacionadas ao moinho que devem ser tratadas num novo projeto.

A redução dos valores de alimentação não apresentou correlação com as modificações implantadas. Existem outros fatores operacionais que influenciam o desempenho das Plantas de moagem de carvão que não foram abordados neste estudo.

A estabilidade de produção dos filtros de mangas foi proporcionada pela redução da relação de ar / área disponível do elemento filtrante, pelo aumento da vazão de gases e pela otimização do sistema de limpeza via jato-pulsante.

Para garantir o aumento de produção e, desta forma, verificar o desempenho dos filtros de mangas no tratamento de gases com uma massa elevada de carvão cominuído, um novo estudo deverá ser desenvolvido para o incremento técnico dos equipamentos periféricos que contribuem para o bom funcionamento do moinho.

Os ganhos associados à eliminação do desgaste prematuro das mangas não foram contabilizados. Para verificar este benefício adicional é necessário o levantamento do consumo de mangas nos filtros após a modificação.

Agradecimentos

Agradecemos a Samarco Mineração S/A pela oportunidade de desenvolvimento técnico do processo industrial de moagem de carvão.

REFERÊNCIAS

- 1 TURRER, A. D., COSTA, R. V. P., SETUBAL, C. C., PEDRUZZI, A., "Modelo para Previsibilidade e Otimização no Controle das Características Termorredução da Mistura para Pelotização do Minério de Ferro na Samarco Mineração S/A", 58º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, Julho/2003.
- 2 COSTA, R. V. P., "Otimização da Resistência à Compressão das Pelotas de Minério de Ferro para Redução Direta pela Aplicação de Projeto Robusto" – 125 páginas. Dissertação de Mestrado, REDEMAT – Ouro Preto, 2008.
- 3 MEYER, K., "Pelletizing of Iron Ores", Germany: Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York, 1980 – 302 p.
- 4 SAIB, N. N., MÁXIMO, V., RIBEIRO, L. F. T., "Manual de Processo: Manuseio e Preparação de Insumos", Samarco Mineração S/A, Gerência Geral de Operações, rev. 03, p.21-22, Outubro/2007.
- 5 WHEELER, D. J., "Entendendo a Variação. A Chave para Administrar o Caos". Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2008.
- 6 SAIB, N. N., Projeto Lean Seis Sigma: "Aumentar 3% a dosagem de carvão na mistura a ser pelletizada da Usina 1, mantendo os parâmetros de qualidade das pelotas queimadas, até maio de 2009", Samarco Mineração S/A, Gerência Geral de Operações, Mapa de Raciocínio, Maio/2009.