



ESTUDO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS DE CONTROLE GRANULOMÉTRICO NO PROCESSO DE PELOTAMENTO DAS USINAS VALE¹

Patrícia Mundim Campos Faria²
Reinaldo Walmir de Jesus³
Adalberto Filho⁴
Ricardo Olympio⁵

Resumo

A granulometria da pelota verde é uma das variáveis mais importantes do processo de Pelotamento. De acordo com Kurt Meyer (Pelletizing of Iron Ores) uma boa permeabilidade e eficiência do fluxo de gás através do leito de pelotas são alcançadas se o diâmetro das pelotas estiver em uma faixa granulométrica estreita. Com o objetivo de aumentar a proporção de pelotas verdes na faixa de tamanho ótimo, reduzir as frações indesejadas, otimizar o processo em relação à: redução no desvio padrão da granulometria; aumento da produtividade do forno; redução no consumo específico de energia elétrica e além disto reduzir a dependência do operador para otimizar a operação dos discos de pelotamento, foi instalado nas Usinas Vale um sistema de controle avançado e automático chamado de Granulômetro. Este sistema é composto por um medidor on-line de distribuição granulométrica das pelotas verdes em cada disco de pelotamento, baseado em análise de imagem e que manipula a taxa de alimentação e a rotação dos discos otimizando a produção e granulometria de cada disco. Com foco no aumento do percentual de pelotas verdes na faixa de +10-16 mm, duas metodologias de controle foram testadas: uma utilizou como variáveis respostas o percentual na faixa +10-16 mm e o tamanho médio e a outra utilizou somente o tamanho médio como variável resposta, sendo que a primeira apresentou melhor desempenho em relação a segunda. O aumento obtido no percentual de pelotas verdes dentro da faixa +10-16 mm foi de 5%.

Palavras-chave: Granulômetro; Pelotamento; Tamanho ótimo de partículas; Otimização.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN GRANULOMETRIC CONTROL METHODOLOGIES IN VALE'S PELLETIZING PLANTS

Abstract

The green pellets sizing is one of the most important variables of the pelletizing process. According to Kurt Meyer ("Pelletizing of Iron Ores") good gas permeability and an efficient gas flow through a pellet bed are achieved if the pellet diameter is within a close range. In order to increase the proportion of green pellets in the range of optimal size, reduce unwanted fractions, optimize the process in relation to: standard deviation reduction of particle size distribution, furnace productivity increase, reduction in specific energy consumption and beyond this eliminate manual pelletizing discs optimization, an advanced and automatic control system called "Granulômetro" was installed in Vale's Pelletizing plants. This system provides a on-line measurement of particle size distribution in each disk, based on image analysis and handling of the feed rate and disk rotation speed in order to optimize production and particle size distribution. With the aim of increase the percentage of green pellets in the range of +10-16 mm, a comparative study between two granulometric control methodologies was performed and the methodology that used the percentage in the range +10-16 mm and the particle medium size as dependent variable showed better performance comparing to the another that used only the particle medium size. The percentage of pellets in range +10-16 mm was increased in approximately 5%.

Key words: Granulometric control; Pelletizing process; Optimum particle size; Optimization.

¹ Contribuição técnica ao 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI, 42^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 13^o Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 14 a 18 de outubro de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheira Química – Gerência de Engenharia de Processo - Vale

³ Técnico Especializado de Produção – Gerência de Engenharia de Processo - Vale

⁴ Engenheiro Metalurgista – Gerência de Operação Usina de São Luis - Vale

⁵ Engenheiro de Minas – Gerência de Engenharia de Controle e Automação - Vale



1 INTRODUÇÃO

O processo de queima de pelotas de minério de ferro requer grandes quantidades de energia térmica, cerca de 250 Mcal/t. Uma redução do custo de produção com energia, mediante aumento da eficiência do processo de queima, pode ser obtida pela melhor distribuição granulométrica das pelotas verdes, pois segundo Meyer⁽¹⁾ uma boa permeabilidade e eficiência do fluxo de gás através do leito de pelotas são alcançadas se o diâmetro das pelotas estiver em uma faixa granulométrica estreita. A Figura 1 mostra a influência da altura do leito na queda de pressão do fluxo de gás em diferentes velocidades de gás e tamanho de pelota e a Figura 2 representa o leito de pelotas verdes no interior do forno em duas situações distintas e ilustra o comportamento que quanto menor for a dispersão da granulometria das pelotas, melhor a permeabilidade do leito.

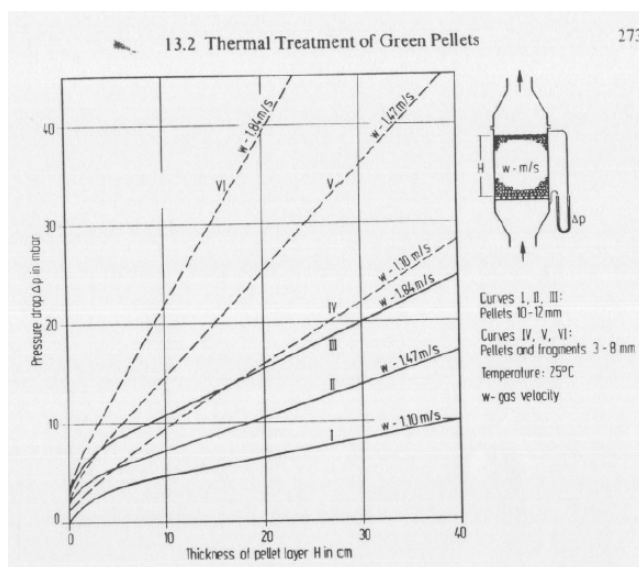


Figura 1: Influência da altura do leito na queda de pressão do fluxo de gás em diferentes velocidades de gás e tamanho de pelota⁽¹⁾

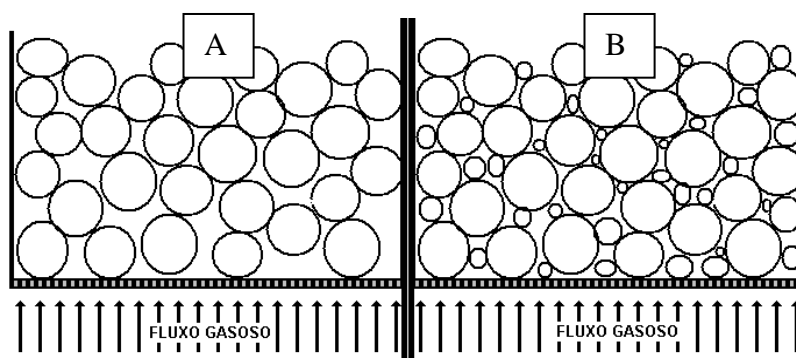


Figura 2: Representação do leito de pelotas verdes no interior do forno em duas situações distintas: (A) Pequena dispersão da distribuição granulométrica; (B) Grande dispersão da distribuição granulométrica.⁽²⁾

Além disto, pode-se obter um aumento na produção já que um processo de queima mais eficiente aumenta a produtividade do forno e produz pelotas com qualidade física superior.



O processo de pelotamento caracteriza-se pela obtenção de pelotas (em discos ou tambores) a partir da aglomeração de finos de minério de ferro com a adição de aglomerantes, geralmente cal hidratada ou bentonita, que são adicionados à polpa com o objetivo de facilitar a formação e aumentar a resistência física das chamadas 'pelotas verdes' que possuem uma forma esférica com diâmetro da ordem de 10 mm. Desta forma, é possível afirmar que uma das principais variáveis resposta do processo de pelotamento é a granulometria da pelota verde e que a permeabilidade dos gases é diretamente proporcional ao percentual de pelotas distribuídas entre os tamanhos 10 e 16 mm determinados como sendo a faixa ideal de tamanho de partícula para as características do minério atualmente processado.

Com o objetivo de aumentar a proporção de pelotas verdes na faixa de tamanho ótimo (+10-16mm), reduzir as frações indesejadas (-10mm e +16mm), otimizar o processo em relação à: redução no desvio padrão da granulometria; aumento de produtividade do forno; redução no consumo específico de energia elétrica e além disto reduzir a dependência do operador para otimizar a operação dos discos de pelotamento, foi instalado nas Usinas da Vale um sistema de controle avançado e automático chamado de Granulômetro.

Este sistema é composto por um medidor on-line de distribuição granulométrica das pelotas verdes em cada disco de pelotamento, baseado em análise de imagem e que manipula a taxa de alimentação e a rotação dos discos otimizando a produção e a granulometria de cada disco.

2 OBJETIVO

Com foco no aumento do percentual de pelotas verdes na faixa de +10-16 mm, duas metodologias de controle foram testadas: a primeira utilizou como variáveis respostas o percentual na faixa +10-16 mm e o tamanho médio das pelotas e a segunda utilizou somente o tamanho médio como variável resposta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar estatisticamente o desempenho destas duas metodologias diferentes de controle para definir a melhor delas e então implementar na lógica de controle do granulômetro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do Sistema de Controle

O sistema de controle da distribuição granulométrica das pelotas verdes é constituído de dois componentes principais, o granulômetro, que mede a distribuição granulométrica das pelotas, e um sistema de controle avançado, responsável pela execução da estratégia de controle. A Figura 3 ilustra um diagrama esquemático de como os dois componentes foram dispostos na planta. Basicamente o sistema é composto pelos seguintes equipamentos:

- I – Câmera Analógica
- II – Estação de Análise de Imagem (OCS VisioPellet)
- III – Estação de Controle (OCS Expert System)
- IV – Estação de Supervisão (SCADA)
- V – CLP (Controlador Lógico Programável)
- VI – Disco de Pelotamento
- VII – Balança Dosadora



Figura 2: Representação esquemática do sistema de medição e controle granulométrico dos discos.

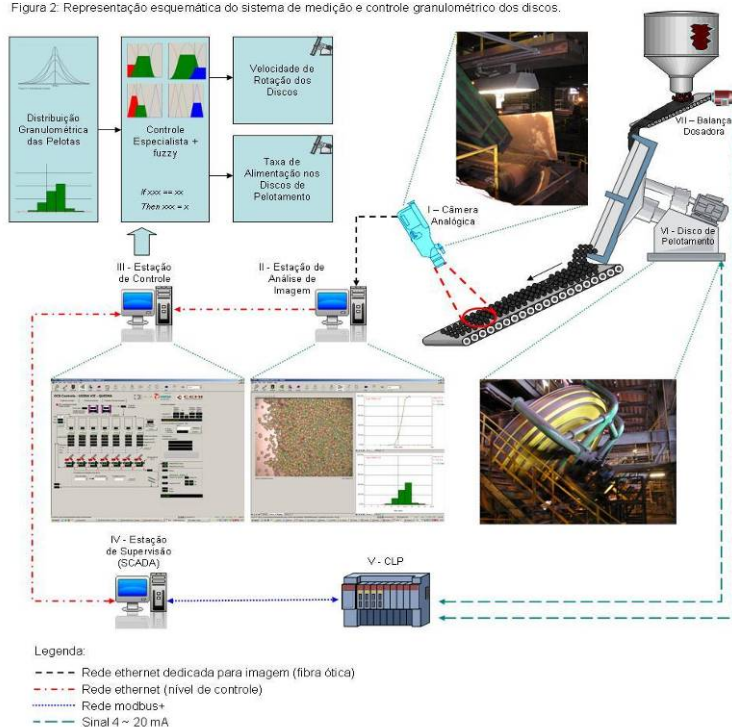


Figura 3. Representação esquemática do sistema de medição e controle granulométrico dos discos.⁽²⁾

Para a medição do tamanho das pelotas, a câmera analógica posicionada sobre a correia transportadora que captura as pelotas produzidas no disco de pelotamento, em conjunto com o software OCS VisioPellet (componente de um pacote de softwares para aplicação industrial conhecido como OCS - Optimizing Control System), fornece o percentual, em massa de pelotas, retido nas seguintes malhas ou peneiras:

- % de pelotas menores que 5,0 mm
- % de pelotas entre 5,0 e 10,0 mm
- % de pelotas entre 10,0 e 12,5 m
- % de pelotas entre 12,5 e 16,0 mm
- % de pelotas entre 16,0 e 18,0 mm
- % de pelotas maiores que 18,0 mm

A Figura 4 mostra a localização da câmara e a imagem obtida para a determinação da granulometria.



VisioPellet™

Microcomputador industrial

Imagem obtida da câmera com a medição dos diâmetros

Resultados confirmados em laboratório

Cálculo estatístico da distribuição granulométrica

Figura 4. Imagem obtida para a determinação da granulometria.⁽²⁾

A estratégia de controle tem como base um sistema especialista, que também é parte integrante do pacote da plataforma do software OCS, e para o teste realizado utilizou-se como variável manipulada nos discos de pelotamento a velocidade de rotação, medida em rotações por minuto (RPM), para controle do tamanho médio (TM) da pelota, e a taxa de alimentação, medida em toneladas por hora (t/h), para controle do percentual de pelotas com diâmetro entre 10 mm e 16 mm. Sendo que o objetivo de uma das metodologias testadas foi otimizar tanto a faixa +10-16 mm e o tamanho médio das pelotas. A Figura 5 apresenta um esquemático do sistema de controle avançado para otimização do processo.

Na Figura 6 observa-se a correlação entre a velocidade de rotação do disco e o tamanho médio da distribuição granulométrica das pelotas. Quanto maior a velocidade, maior o tamanho médio, e quanto menor a rotação, menor o tamanho médio.

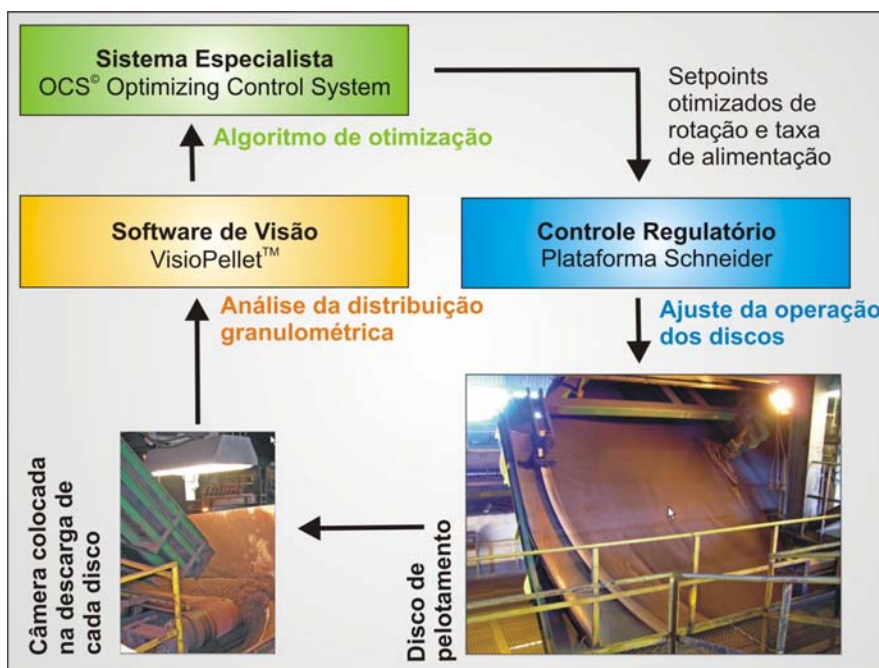


Figura 5. Esquemático do sistema de controle avançado para otimização do processo.⁽²⁾

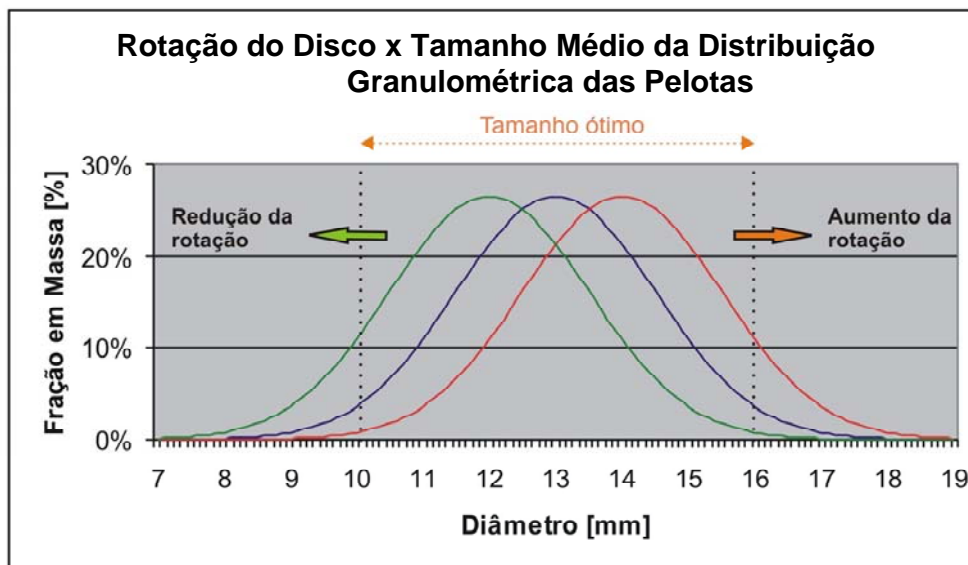


Figura 6. Correlação entre a velocidade de rotação do disco e o tamanho médio da distribuição granulométrica das pelotas.⁽²⁾

A alteração da taxa de alimentação de minério no disco de pelotamento tem uma relação inversa com a distribuição granulométrica das pelotas. Ao reduzir a carga sobre o disco reduz-se a dispersão granulométrica do produto. A Figura 7 mostra a correlação entre a taxa de alimentação e a distribuição granulométrica das pelotas. Quanto maior a taxa, maior a dispersão granulométrica, e quanto menor a taxa, menor a dispersão granulométrica.

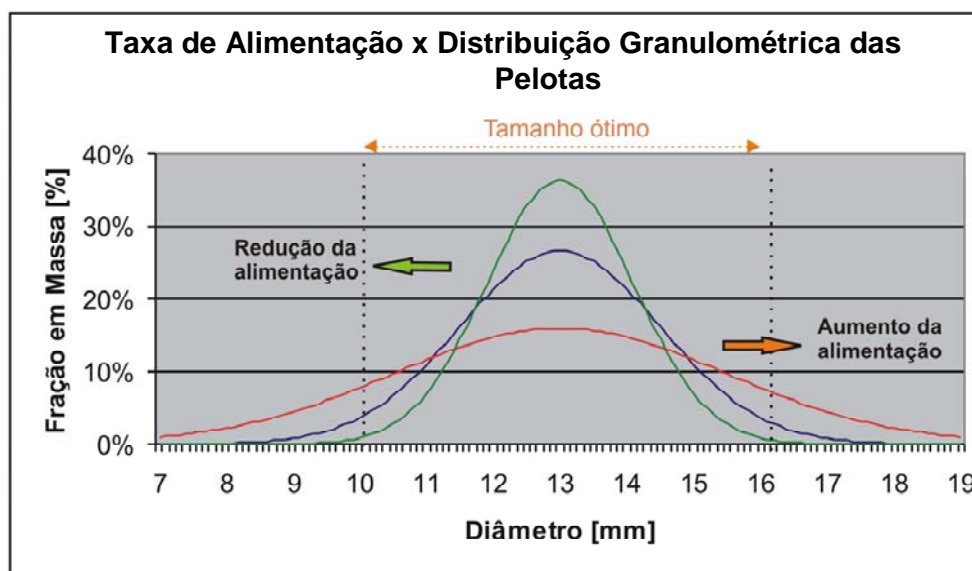


Figura 7. Correlação entre a taxa de alimentação do disco e a distribuição granulométrica das pelotas.⁽²⁾

3.2 Metodologia do Teste

Para avaliar o desempenho das duas metodologias de controle granulométrico: i) que considera o TM como variável resposta e a (ii) que considera o percentual na faixa +10-16 mm e TM como variáveis respostas, um teste industrial em duas Usinas



da Vale foi realizado no período de três meses. Uma usina utilizou a metodologia (i) e a outra utilizou a metodologia (ii).

Para reduzir a influência de vários fatores relacionados a preparação da polpa (qualidade física e química) para o pelotamento, escolheu-se duas usinas fisicamente idênticas e que possuem a mesma alimentação de minério, pois desta forma o efeito da metodologia de controle nas variáveis respostas poderia ser mais facilmente isolado.

Utilizou-se testes de hipóteses, teste F para variância e teste t para a média, como método estatístico para comparar os resultados das duas metodologias.

Para eliminar os efeitos da taxa de produção da usina, períodos estatisticamente iguais em média para a taxa de produção das duas usinas foram selecionados e utilizados para a análise de desempenho das metodologias de controle testadas.

4 RESULTADOS

As principais variáveis de processo que influenciam na eficiência do pelotamento, apresentaram resultados estatisticamente iguais para as duas usinas no período de teste selecionado. Desta forma, foi possível assumir que os resultados das variáveis do pelotamento foram influenciados exclusivamente pela metodologia de controle.

Já as variáveis respostas do pelotamento apresentaram resultados estatisticamente diferentes, comprovando que uma das metodologias apresentou desempenho melhor em relação à outra. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos no período de teste, comparando a Usina 5 que utilizou a metodologia (ii) e a Usina 6 que utilizou a metodologia (i).

Tabela 1. Resultados das variáveis respostas do processo de pelotamento.

| Variáveis Respostas | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------|--------------------|
| Média | Usina 5 | Usina 6 | Varição (%) |
| +10-16 mm Discos (%) | 77,5 | 73,8 | +5,0 |
| - 10 mm Discos (%) | 19,9 | 24,0 | -17,0 |
| + 16 mm Discos (%) | 2,5 | 2,1 | +22,6 |
| Taxa de Retorno | 19,9 | 23,0 | -13,4 |
| Desvio Padrão | Usina 5 | Usina 6 | Varição (%) |
| +10-16 mm Discos (%) | 1,3 | 2,5 | -47,2 |
| - 10 mm Discos (%) | 1,5 | 2,6 | -41,9 |
| + 16 mm Discos (%) | 0,4 | 0,3 | +30,1 |
| Taxa de Retorno | 1,8 | 4,1 | -55,7 |

As Figuras 8, 9 e 10 são gráficos do tipo I-MR e ilustram os resultados das variáveis respostas do processo de pelotamento das Usinas 5 e 6.

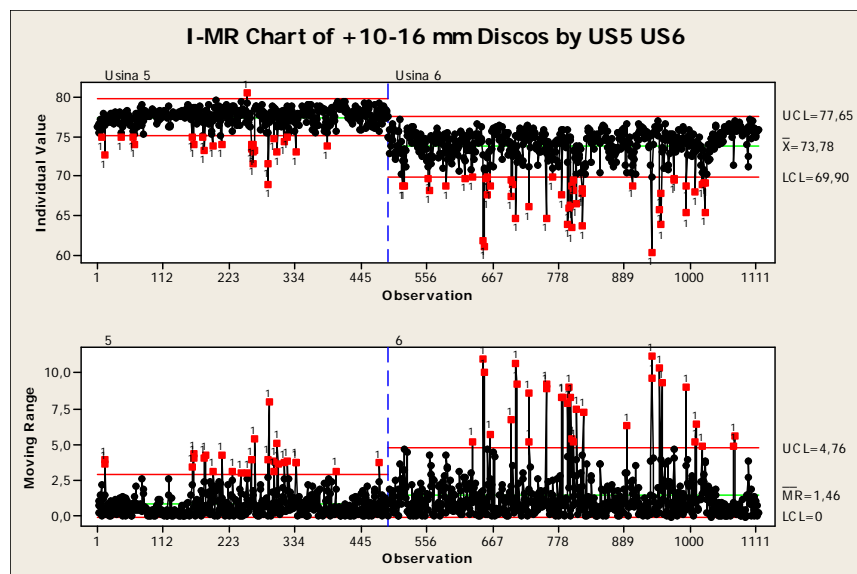


Figura 8. Resultados do percentual na faixa +10-16 mm.

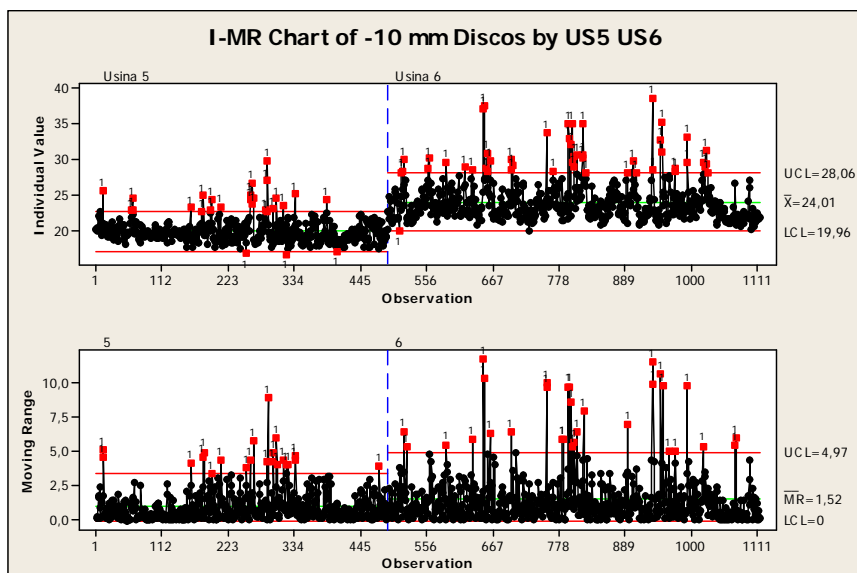


Figura 9. Resultados do percentual menor que 10 mm.

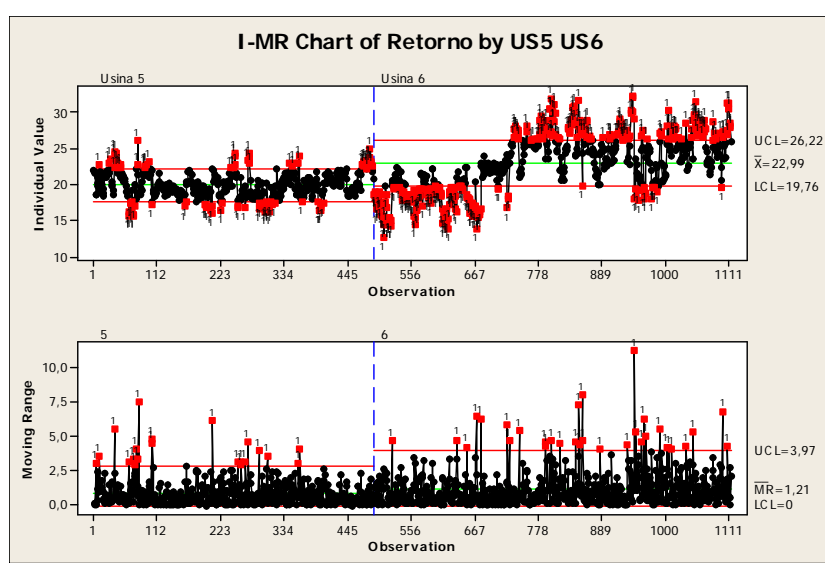


Figura 10. Resultados do percentual da taxa de retorno.



5 DISCUSSÃO

De acordo com a análise dos resultados obtidos em cada usina é possível concluir que a metodologia (ii) que utilizou como variáveis respostas o percentual na faixa +10-16 mm e TM apresentou melhor desempenho, uma vez que em média o resultado do percentual na faixa +10-16 mm apresentou-se 5% maior que a metodologia (i) que utilizou somente o TM como variável resposta.

Além disto, a fração de finos (pelotas menores que 10 mm) foi melhor em 17%, a taxa de retorno do pelotamento foi em média 19,9%, em torno de 13,4% menor que na Usina 6 que utilizou a metodologia (i) e a variabilidade (desvio padrão) reduziu significativamente nestas três variáveis.

6 CONCLUSÃO

Portanto, devido aos melhores resultados da Usina 5:

- Aumento na proporção de pelotas verdes na faixa de +10-16 mm;
- Redução da fração indesejada (<10mm);
- Redução do desvio padrão da granulometria e de outras variáveis de processo;
- Redução da taxa de retorno.

Pode-se concluir que o desempenho da metodologia de controle que considerou o percentual na faixa +10-16 mm e TM como variáveis respostas foi melhor do que a que utilizou somente o TM como variável resposta.

Além disso, devido à menor dispersão da granulometria melhor será a permeabilidade do leito de pelotas dentro do forno de pelotização, sendo assim é esperado que a Usina 5 apresente melhor eficiência energética que a Usina 6.

REFERÊNCIAS

- 1 PELLETIZING OF IRON ORES. Kurt Meyer, 1980, pg 273.
- 2 CONTROLE AUTOMÁTICO DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PELOTAS DE MINÉRIO DE FERRO EM UMA PLANTA DE PELOTIZAÇÃO. Borim, J. C. e Freitas, R. O. Relatório interno Vale.