

MELHORIA NO DESEMPENHO DE UM FORNO DE PELOTIZAÇÃO COM FOCO NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO E PARADA ESTRATÉGICA DE MANUTENÇÃO*

Artur Frederico Fonseca da Cruz¹
Alexandre Jadijeski de Souza²
Wellington Bonelar dos Santos³
Heitor Souza Falco⁴

Resumo

Com a necessidade urgente e constante de aumento da competitividade no cenário atual da mineração, mostra-se fundamental o desenvolvimento constante de novos parâmetros de processo combinados a uma estratégia de manutenção focada não só na disponibilidade dos ativos, e sim no desempenho dos equipamentos. No que tange ao processo de pelotização neste trabalho foi dado foco especificamente na configuração de perfis de queima no forno de grelha móvel, onde foram testados quatro perfis e fixado o perfil nº 04 otimizado via sistema de otimização de processo para níveis de produções diferentes, equilibrando qualidade e consumo específico de gás natural, no período anterior e posterior à parada fria. A partir daí foram analisados parâmetros de qualidade, produção e processo, comparando-os entre antes e após a parada fria. Foram registradas melhoras nos índices de qualidade e redução de aproximadamente 13,50% do consumo específico de gás natural e 10,80% de redução no consumo específico de energia elétrica de ventiladores por níveis de produção.

Palavras-chave: Pelotização; Otimização de processo; Parada programada; Melhoria de qualidade.

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF THE TRAVELLING GRATE FOCUSED IN PROCESS OPTIMIZATION AND STRATEGIC SCHEDULED MAINTENANCE

Abstract

The urgent and constant requirement for increase competitiveness in the current mining scenario shows to be essential to constantly develop new process parameters combined with a maintenance strategy focused not only on the availability of equipment, but on the performance of equipment too. Regarding the pelletizing process in this paper was given focus specifically on the burning profiles setting in the travelling grate, where carried out four burning profiles and set the burn profile No. 04 optimized via process optimization system for different production levels, balancing quality and specific consumption of the natural gas in the period before and after the scheduled maintenance. Were analyzed the quality parameters, production parameters and process parameters, comparing them between before and after the scheduled maintenance. Improvements were recorded in the quality indices and decrease of approximately 13.50% of the specific consumption of natural gas and reduction of 10.80% in specific consumption of electrical energy of process fans by producing levels.

Keywords: Pelletizing; Process optimization; Scheduled maintenance; Quality improvement.

- ¹ Engenheiro de Materiais, Especialização em Pelotização e Sistemas Mínero-Metalúrgicos, Engenheiro de Processo, Departamento de Pelotização/Unidade Técnica Brasil, Vale S/A, Vitória, ES, Brasil.
- ² Tecnólogo em Gestão de Petróleo e Gás e Técnico em Metalurgia e Materiais, Técnico em Controle de Processo, Departamento de Pelotização/Unidade Técnica Brasil, Vale S/A, Vitória, ES, Brasil.
- ³ Técnico Metalúrgico, Técnico Especializado em Controle de Processo, Departamento de Pelotização/Unidade Técnica Brasil, Vale S/A, Vitória, ES, Brasil.
- ⁴ Engenheiro Mecatrônico, Especialização em Pelotização, Engenheiro de Manutenção, Departamento de Pelotização/Gerência de Manutenção Mecânica Usinas 5 a 7, Vale S/A, Vitória, ES, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A partir da necessidade do aumento de competitividade, as corporações tem a obrigação de buscar a mais alta performance de seus ativos, perseguindo a quebra de paradigmas, e estimulando um ambiente desafiador suportando os seus colaboradores na busca do alto desempenho.

Oportunidades como as de uma Parada Fria em antigas usinas de Pelotização, combinado à experimentação de modos de operação e revisão dos parâmetros de processo, favorecem as mudanças de patamar no desempenho da planta, ao experimentar condições operacionais semelhantes às de uma usina nova na máquina de endurecimento de pelotas.

Somando à Parada Fria a introdução de novos produtos, insumos e/ou matérias primas, bem como o desenvolvimento técnico de seus empregados, esta mudança de patamar pode não ser apenas momentânea até a depreciação do ativo novamente, e sim passar a configurar um novo cenário de performance do processo produtivo, com custos de produção cada vez menores sem impacto negativo na qualidade do seu produto final.

No presente trabalho será exposta tecnicamente a evolução dos parâmetros de processo, qualidade e operação com a adoção de uma nova estratégia de parametrização de um forno de pelotização, e comparando-os com o período imediatamente anterior a uma parada fria numa usina de pelotização, considerando o mesmo produto, que passa a experimentar resultados inéditos em seu histórico de operação, quando combinadas às alterações de processo a manutenção realizada numa parada fria.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do trabalho foram traçados possíveis perfis de queima para aplicação nos grupos de queimadores do forno.

Foram mapeados pontos de oportunidades de redução de infiltrações de ar frio ou perdas térmicas por condições físicas na área através de inspeções de campo, que posteriormente seriam sanadas em parada fria.

As medições dos resultados foram feitas através de informações de qualidade gerados por laboratório, dados obtidos através do Sistema de Gerenciamento de Informações de Processo (PIMS) Aspen Tech e fechamentos de consumo específico validados pela área de gestão econômica.

2.1 Premissas para análise

Para reduzir o número de variáveis que poderiam influenciar na análise de desempenho do forno algumas premissas devem ser adotadas.

Seguem listadas abaixo:

- Mesmo tipo de pelota;
- Fixado o período pré e pós parada fria para análise de todos os parâmetros;
- Fixado o último perfil térmico de queima otimizado (perfil 04) antes e após a parada fria;
- Análise de qualidade física por média diária dos principais parâmetros da pelota queimada;
- Análise de desempenho do forno utilizando tabela de frequência por faixa de produção de pelota crua, média de 1 hora, considerando 100% desta hora

com o forno operando. A tabela de frequência permite definirmos os limites superiores e inferiores pra evitar erros de sinal para as variáveis analisadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Otimização do perfil de queima em um forno de pelotização

Na configuração de um forno de pelotização o perfil térmico de queima é parte essencial por ser responsável pela maior parte da contribuição na energia térmica empregada na queima das pelotas de minério de ferro predominantemente hematítico. Normalmente a energia térmica é uma relação de 60% proveniente do combustível injetado pelos queimadores no perfil de queima (gás natural ou óleo combustível) e 40% fornecida pelo combustível sólido misturado no interior da pelota verde.

Constantemente as equipes de processo e operação de uma planta de pelotização buscam a melhor eficiência térmica da máquina de endurecimento de pelotas trabalhando na relação entre a matriz de minério, o setup do perfil térmico, adição de carbono fixo na pelota verde e fluxo de gases no forno. Neste trabalho será dado foco apenas nas configurações do perfil térmico e serão feitas as devidas ressalvas às demais interferências.

Para alcance dos índices de qualidade das pelotas de minério de ferro hematítico, a literatura já sugere perfis clássicos de queima vastamente explorados em usinas de pelotização que utilizam fornos de grelha móvel. A figura 1 mostra um exemplo de perfil térmico, a partir do qual dá a possibilidade de experimentação de combinações que tragam resultados satisfatórios de qualidade e consumo de combustíveis. A região destacada em verde (pré-queima e queima) compreende a área de abrangência direta do perfil de queima, enquanto as demais áreas são consequência dos demais parâmetros operacionais controlados no forno de pelotização de grelha móvel.

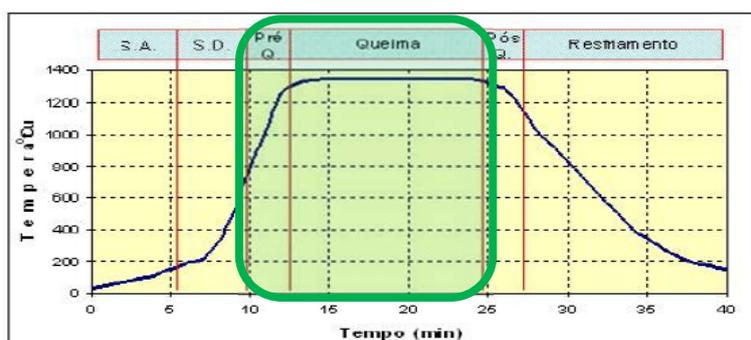


Figura 1. Perfil de queima típico para pelotas de minério de ferro hematíticos em um forno de grelha móvel [Wendling, 2010].

Para o alcance da qualidade esperada das pelotas queimadas, além do perfil térmico, outro fator influenciador é o ciclo térmico – tempo de permanência das pelotas no forno – e este é inversamente proporcional ao nível de produção, e para que seja possível combinar os fatores econômicos e de qualidade faz-se necessária a variação deste perfil térmico também por níveis de produção, evitando alto consumo específico de combustível com “super qualidade” em produções reduzidas ou falta de qualidade por deficiência de queima em produções elevadas.

Considerando para a usina estudada uma produção nominal média de 588t/h de pelota queimada, ou uma produtividade de 26,70t/m²dia, partiu-se para uma investigação das possibilidades de perfis que atendessem aos parâmetros de qualidade e consumo específico de gás natural. Assim foram testados quatro perfis de queima distintos, sendo o último fixado antes e mantido após a parada fria, para que permitisse uma avaliação conjunta do impacto no tratamento térmico das pelotas e da manutenção executada no forno. A figura 2 mostra graficamente a comparação entre os perfis estudados para o nível de produção nominal.

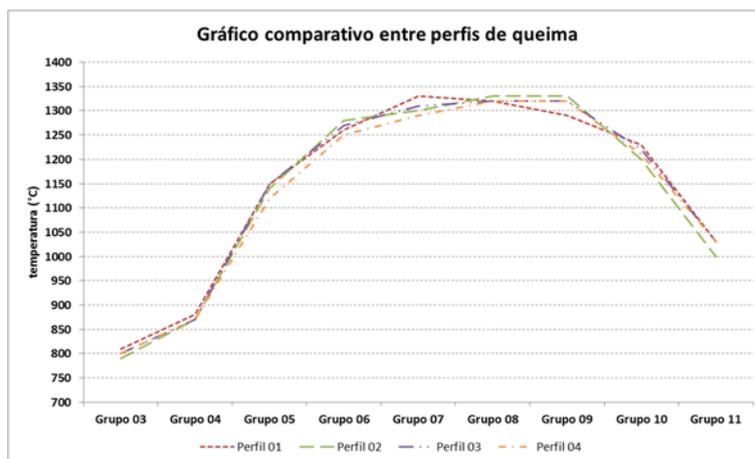


Figura 2. Comparativo entre perfis de queima praticados.

A figura 3 mostra a comparação entre o perfil inicial 01 e o último perfil 04 com as respectivas diferenças de temperatura por grupo de queima. Mostrando que a tendência foi de reduzir temperatura na região de pré-queima e estender a região de queima.

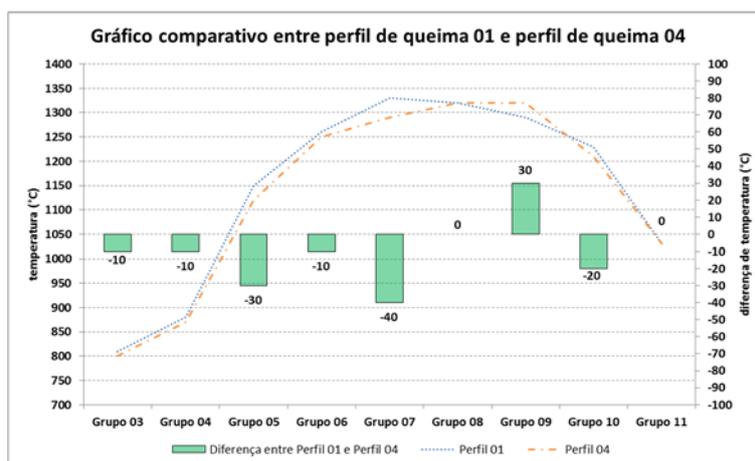


Figura 3. Comparativo entre perfil de queima inicial e final.

Partindo de um perfil de queima escolhido para a produção nominal (perfil 04), foram traçados os limites mínimo e máximo de temperatura por grupo de queima e por faixa de produção, com o objetivo de balancear qualidade e consumo de combustível por faixa de produção. Para que este controle fosse efetivo, desenvolveu-se um controle automático de perfil via sistema de otimização de processo, que modula o set point de temperatura com as variações de produção. A

figura 4 mostra o gráfico com os limites de temperatura por grupo para produção mínima e produção elevada.

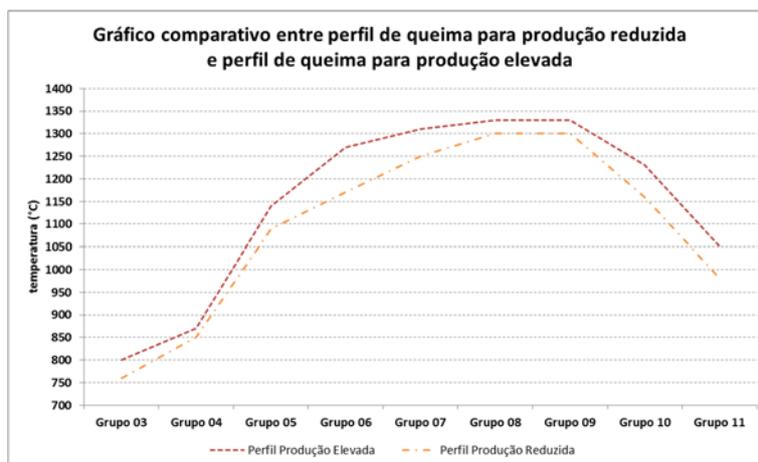


Figura 4. Comparativo entre perfis para produção reduzida e produção elevada.

Apesar dos ajustes de perfil, no período anterior à parada fria havia uma sinalização de redução do consumo específico de energia térmica, porém os parâmetros de qualidade não acompanhavam uma evolução positiva que permitisse uma redução do consumo ainda maior, e nesse comportamento ficava clara a influência das condições físicas do forno com perdas térmicas e ineficiência de queima efetiva das pelotas.

3.2 Filosofia de processo no forno de pelotização

Basicamente a função da fase de endurecimento das pelotas de minério de ferro é conferir às pelotas verdes alta resistência mecânica e propriedades metalúrgicas adequadas ao uso nos reatores de redução.

Durante as etapas presentes no interior do forno de pelotização ocorre uma série de reações químicas em sequencias definidas pelas condições físico-químicas do sistema formado pelo leito de pelotas, grelha e fluxos de gases quentes.

As condições da queima são responsáveis pela resistência física, pela qualidade química e metalúrgica das pelotas, bem como pela eficiência térmica da máquina no que se refere à relação entre a qualidade e o consumo específico de combustíveis.

Para a consolidação das reações físico-químicas e metalúrgicas, estas necessitam de energia e isto é conseguido através da queima de combustíveis fósseis dos tipos: óleo combustível, gás natural, carvão mineral, numa combinação de pressões e temperaturas promovidas pelo trabalho de ventiladores de processo.

3.3 A parada fria

A parada fria consiste numa intervenção programada para execução de serviços de manutenção que para a qual se faz necessário o desligamento do sistema de combustão com conseqüente esfriamento do revestimento interno refratário da máquina de endurecimento de pelotas, o forno.

As intervenções em uma parada fria geralmente estão direcionadas a refratários, estruturas metálicas do forno, dutos de ventiladores, ventiladores, sistema de combustão e demais serviços que demandem tempo de execução a partir do qual já

não seja economicamente viável manter o forno aquecido ou para preservar a segurança de outros ativos ou executantes.

Uma parada de produção para manutenção dos equipamentos e instalações impacta diretamente no volume da produção e, ao mesmo tempo, é necessária para garantir a disponibilidade operacional e a máxima eficiência do processo produtivo da planta industrial no ritmo de produção esperado. Essa parada também pode ser feita para melhoria de desempenho, incremento de produção ou novas tecnologias, além do que, a parada pode acontecer para atender requisitos legais ou até mesmo para garantir a operação segura [Gerência de Grandes Reparos da Pelotização, 2015].

3.4 Resultados por parâmetro

A avaliação do desempenho de um forno de pelotização no que diz respeito a processo, passa pelo acompanhamento de parâmetros que reflitam os resultados esperados combinando qualidade, volume e custo de produção.

Para análise de desempenho do forno foram comparados os parâmetros de Qualidade Física da pelota queimada, Produção e Processo (performance de ventiladores e consumo térmico). No caso dos indicadores que compõem Produção e Processo, estes foram analisados por nível de produção de pelotas cruas com os perfis de queima otimizados antes e após a parada fria.

Segue abaixo a lista de parâmetros analisados:

- **Qualidade:**
 - Índice de abrasão;
 - Percentual de finos;
 - Compressão média;
 - Percentual de pelotas com resistência à compressão menor que 78daN/pel;
 - Percentual de finos registrado na balança de finos de PQ em relação à produção líquida da grelha;
 - Percentual de carbono fixo na polpa retida.
- **Produção:**
 - Comparativo de horas por nível de produção de pelota crua (PC);
- **Processo:**
 - Consumo específico de energia elétrica dos ventiladores;
 - Consumo específico de gás natural;

3.4.1 Resultados de Qualidade

Na figura 5 é mostrada a média dos resultados de carbono fixo na Polpa Retida (PR) nos períodos antes e após a PF. Conforme pode ser visto não existe diferença de patamar entre os resultados de carbono fixo, reduzindo uma variável de influência nos possíveis ganhos. Para conhecimento o desvio dos dois períodos é exatamente o mesmo em 0,03.

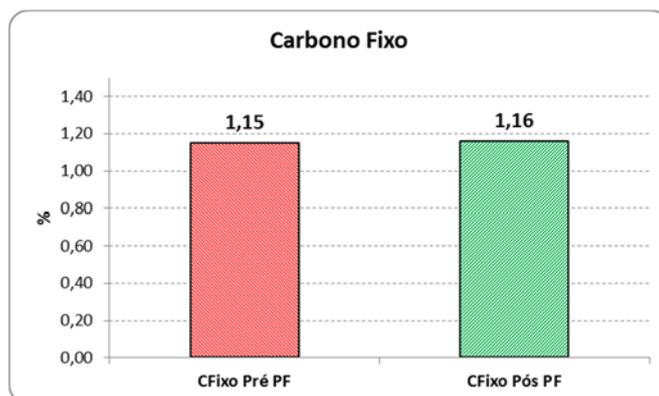


Figura 5. Manutenção dos mesmos valores de carbono fixo antes e após PF.

A composição da figura 6 é feita com os principais parâmetros de qualidade física da pelota queimada (PQ) que são a abrasão, compressão, finos de PQ (% < 5 mm) e percentual de pelotas com compressão menor que 78daN/pel.

Percebe-se, portanto, uma evolução positiva dos resultados em todos os índices. Mais especificamente uma melhora de 16% no Índice de Abrasão (com redução no desvio em 25%), redução de 35% dos valores de Finos de PQ (com manutenção do desvio), aumento de 2% na Resistência à Compressão média (com redução no desvio em 12%) e redução de 38% do índice de pelotas com compressão menor que 78daN/pel (com redução no desvio em 28%).

O incremento de apenas 2% na média de compressão também é um resultado a ser considerado quando visto em conjunto com os demais indicadores, que mostram um melhor desempenho no que se refere à performance térmica do forno.

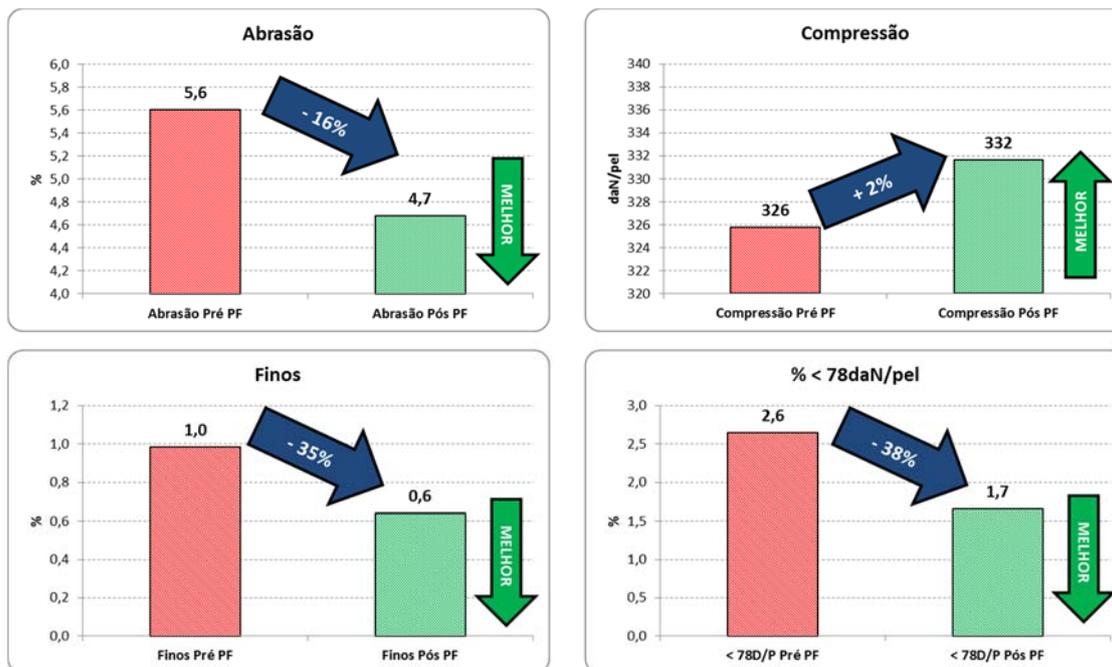


Figura 6. Composição dos principais parâmetros de qualidade física da Pelota Queimada.

Para complementar e confirmar a evolução dos resultados positivos de qualidade, a figura 7 ilustra a redução média de 43% do volume percentual, em relação à Produção Horária Líquida (PHL) de PQ, no transportador de correia de finos de PQ após o peneiramento por faixa de produção de PC.

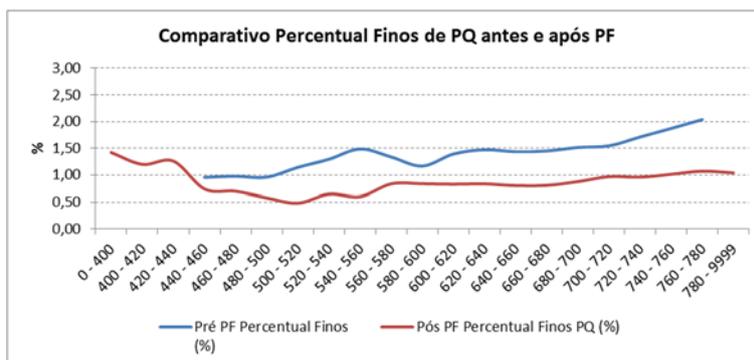


Figura 7. Reflexo da melhoria na qualidade com redução média de 43% no percentual de finos na correia de finos de pelota queimada após a peneira.

3.4.2 Resultados de Produção

Para quantificação do impacto dos resultados da PF na produção, foram considerados os dados obtidos a partir do Aspen Tech PIMS, em Tabela de Frequência Versão 9.5 (Gerência de Engenharia e Desenvolvimento de Processos da Pelotização, 2015), na qual os dados são obtidos por média horária, de modo a considerar como filtro para composição da análise a grelha operando 100% da hora, assim podemos calcular o impacto na produção nos períodos definidos.

A tabela 01 mostra um resumo quantitativo do desempenho de produção pré e pós PF.

Tabela 01. Quadro resumo do desempenho de produção pré e pós PF

USINA	Pré PF	Pós PF
<i>Dia Inicial</i>	20/mar	20/jul
<i>Dia Final</i>	15/jun	26/set
<i>Dias de Análise</i>	87	68
<i>Horas Calendário</i>	2088	1632
<i>Horas Cheias de Grelha Operando</i>	1950	1504
<i>Utilização</i>	93%	92%
<i>Horas de Produção Maiores que 600t/h PQ</i>	1021	895
<i>% Horas Operando em Produção Maiores de 600t/h PQ</i>	52%	60%

Onde:

Dias de Análise = Dia Final – Dia Inicial;

Horas Calendário = Dias de Análise x 24h;

Horas Cheias de Grelha Operando = N° de horas com grelha operando em 100% do;

Utilização = Horas Cheias de Grelha Operando / Horas Calendário x 100;

Horas de Produção Maiores que 600t/h de PQ = N° de horas cheias de grelha operando com PHL maiores que 600t/h de pelotas queimadas;

% Horas de Produção Maiores de 600t/h PQ = Horas de Produção Maiores que 600t/h de PQ / Horas Cheias de Grelha Operando.

Aumento de 14% em horas operando com PHL média acima de 700t/h de Pelota Crua (600t/h de Pelota Queimada), proporcionado pela melhoria dos índices de qualidade que atendem aos limites de produção.

Para complementar a informação do potencial ganho de produção, a figura 8 ilustra a distribuição do N° de horas com grelha operando em 100% da hora por nível de produção de PC, reafirmando que ocorre um estreitamento da distribuição em faixas maiores de produção quando comparado ao período pré PF.

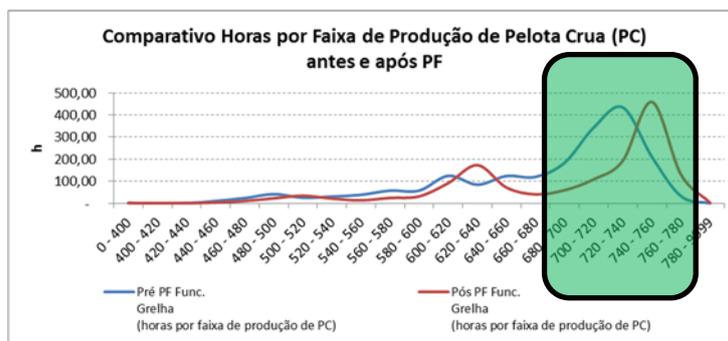


Figura 8. Distribuição do N° de horas com grelha operando em 100% da hora por faixa de produção de PC.

3.4.3 Desempenho do Processo

Consumo Específico de Energia Elétrica dos Ventiladores

O consumo específico de energia elétrica dos ventiladores por faixa de produção (figura 9) nos indica o nível de economia alcançado após as execuções dos serviços de Parada Fria com o perfil térmico 04.

Redução média de 10,80% no consumo específico de energia elétrica dos ventiladores para produções acima de 580t/h de PC (500t/h de PQ), porém em produções reduzidas bem como em produções acima de 780t/h de PC (650t/h de PQ) os consumos específicos tendem a se igualar. A variação no ganho de consumo de energia dos ventiladores pode ser ilustrada na figura 10 mostra a evolução da diferença em kWh/t do Consumo Específico de Energia Elétrica dos Ventiladores.

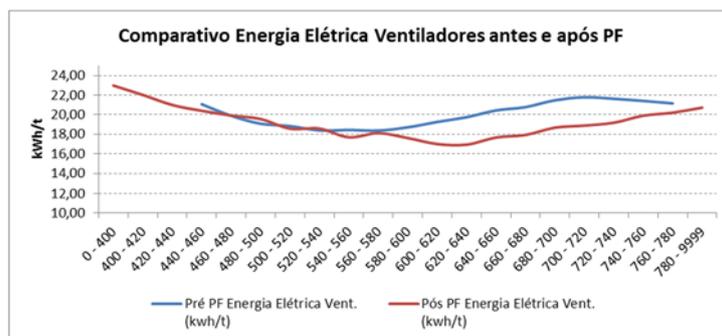


Figura 9. Consumo específico de energia elétrica dos ventiladores por faixa de produção.

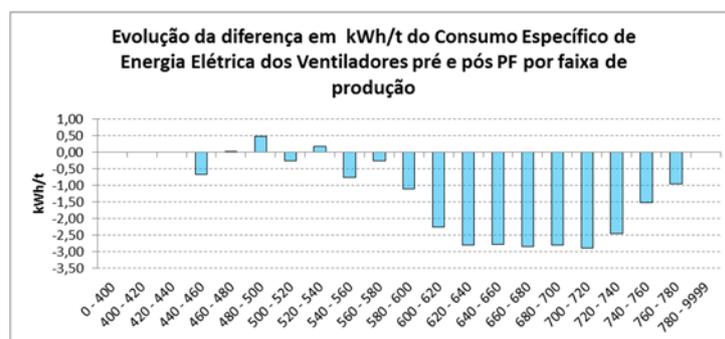


Figura 10. Evolução da diferença em kWh/t do Consumo Específico de Energia Elétrica dos Ventiladores por faixa de produção.

Consumo Específico de Gás Natural

Nota-se que para o consumo específico médio de Gás Natural, assim como nos ventiladores, houve uma redução de aproximadamente 13,50% quando usamos a mesma referência de produção utilizada para os ventiladores, entre 580t/h de PC (500t/h de PQ) e 780t/h de PC (650t/h de PQ). Abaixo e acima desses limites as curvas tendem a se encontrar.

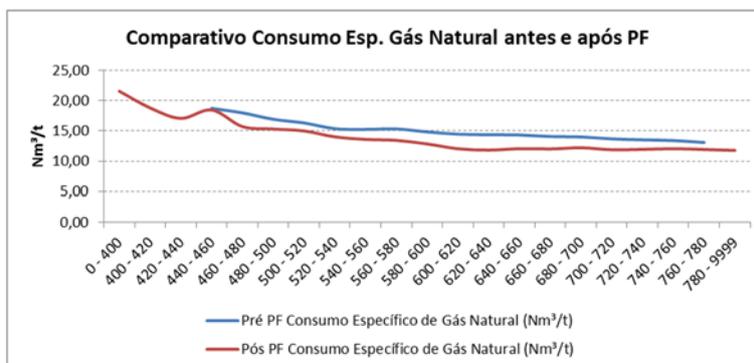


Figura 11. Consumo Específico de Gás Natural por faixa de produção.

A confirmação do consumo menor pode ser observada quando comparamos a média de abertura dos grupos de queima da região de rampa (pré-queima), área de atuação do ventilador de exaustão principal, conforme figura 12, fenômeno que também pode estar associado à redução da vazão do ventilador.

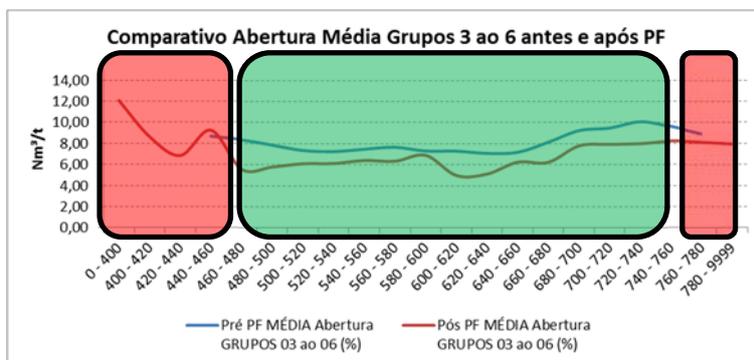


Figura 12. Média de abertura dos grupos de queima da região de rampa.

4 CONCLUSÃO

Após análise dos indicadores de Qualidade, Produção e Processo nos períodos anteriores e posteriores à parada fria, para o mesmo perfil de queima otimizado definido, nota-se clara evolução positiva no que se refere a:

- melhora de 16% no Índice de Abrasão (com redução no desvio em 25%);
- redução de 35% dos valores de Finos de PQ (com manutenção do desvio);
- aumento de 2% na Resistência à Compressão média (com redução no desvio em 12%);
- redução de 38% do índice de pelotas com compressão menor que 78daN/pel (com redução no desvio em 28%);
- aumento de 14% em horas operando com PHL média acima de 700t/h de Pelota Crua (600t/h de Pelota Queimada);
- redução média de 10,80% no consumo específico de energia elétrica dos ventiladores para produções acima de 580t/h de PC (500t/h de PQ);

- redução do consumo específico de gás natural de aproximadamente 13,50% quando usamos a mesma referência de produção dos ventiladores, entre 580t/h de PC (500t/h de PQ) e 780t/h de PC (650t/h de PQ).

Os ganhos mencionados no trabalho reforçam a importância do foco constante na otimização do processo pelas equipes que operam uma usina de pelotização e a importância também da sinergia com os times de manutenção para orientação em intervenções que auxiliem na obtenção de ganhos reais de qualidade e consumos.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas da Gerência de Unidade Técnica Brasil, Gerência Executiva de Manutenção e Gerência Executiva de Pelotização da Usinas 5 a 7 e Utilidades da Diretoria de Pelotização da Vale S/A.

REFERÊNCIAS

- 1 Gerência de Engenharia e Desenvolvimento de Processos da Pelotização. Tabela de Frequência Versão 9.5. 2015.
- 2 Gerência de Grandes Reparos da Pelotização. Parada Fria - Relatório Final da Parada Programada. 2015.
- 3 Wendling, F. Queima, peneiramento, estocagem e recuperação de pelotas de minério de ferro – Curso de Especialização Profissional em Pelotização. 2010.