

VENTILADOR EM *STALL* – UM RISCO SILENCIOSO¹

Evenilson Soprani Lopes²
Fernando Luiz Câmara Campos Junior³
Frederico Correa Mayerhorfer³
João Sérgio Agostinho Bonzi⁴
Ronie Magno Pinheiro de Souza³

Resumo

Dentre os principais equipamentos dos fornos de pelletização destacam-se os ventiladores de processo. Estes são responsáveis por grande parte do transporte de energia cedido pelos combustíveis às pelotas e pela totalidade do fluxo de ar. Estes equipamentos são muito confiáveis e de elevada vida útil. Entretanto exigem alguns cuidados especiais para sua proteção contra altas temperaturas e vibração. Acidentes nestes equipamentos podem causar sérios danos materiais ou pessoais. As variáveis mais comuns de monitoramento são vibração (mm/s), temperatura (°C), pressão (mbar) e potência (MW) de trabalho. Os comportamentos anômalos destas variáveis podem indicar uma operação fora da área de estabilidade do ventilador. Entretanto, nem sempre é fácil identificar operações fora da área de estabilidade (*Stall*). Este foi o caso do ventilador de recuperação do forno de pelletização de Vargem Grande. Um acidente de elevado potencial ocorreu sem que se fosse notado variações significativas nas variáveis tipicamente acompanhadas na rotina. Somente depois de uma análise minuciosa aplicando outras técnicas de diagnóstico foi identificada um regime de operação desfavorável, em área de instabilidade. A presente contribuição técnica apresenta a avaliação e a metodologia utilizada para identificar a operação e *stall* como também às ações mitigadoras do problema até que uma solução de engenharia (seleção de um novo rotor) estivesse ao alcance de implantação e solução definitiva do problema.

Palavras-chave: Pelotização; Ventiladores; *Stall*; Rotor.

FAN IN *STALL* – A SILENT RISK

Abstract

Among the main pelletizing furnace equipments stand out the process fans. These are responsible for all energy transport given by fuel to the pellets. These equipments are very reliable and shows high durability. However there are some special cares for fan protection against high temperatures and vibrations. Accidents in these equipments can cause several material or personal damage. The more common monitoring variables are vibration, temperature, pressure and working power. The abnormal behavior of these variables can indicates the operational conditions out of the stability area of the fan. However is not always easy to identify the operational conditions out of the stability area(*stall*). This situation happened with a recuperation fan of Vargem Grande pelletizing furnace. A high potential accident happened without significant variations in the typical variables following at the routine. Only after a thorough analysis using another diagnose technique was identify a project fail of impeller. This paper shows the analysis and the methodology used to identify the *stall* operation as well the mitigating actions of the problem until engineer solution (a new impeller design) were developed to solve the problem.

Key words: Pelletizing; Fans; *Stall*; Impeller.

¹ Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Gerência de Área de Engenharia de Processos da Pelotização, Vale, MG, Brasil.

³ Eng. Metalurgista, Gerência de Área, Unidades Técnicas das Pelotizações de Minas Gerais, Vale, MG, Brasil.

⁴ Técnico em Metalurgia, Gerência de Área, Unidades Técnicas das Pelotizações de Minas Gerais, Vale, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Em maio/ 2011, as 16:01hs houve uma parada no ventilador de resfriamento 421-VP05 por alta vibração dos mancais lado acoplado (LA) e lado não acoplado (LNA). No local foi verificado que os mancais tinham deslocado da base sendo necessária uma inspeção mais detalhada do equipamento. O equipamento foi bloqueado e inspecionado, onde se constatou a avaria do cone externo.

Importante ressaltar que não foi verificada nenhuma anormalidade, ou seja nenhuma operação fora dos limites de segurança especificadas pelo fabricante do ventilador, como pressões de trabalho, temperatura e vibração durante todo tempo de operação até a ocorrência do incidente no rotor do ventilador.

Foi solicitado a presença do fornecedor do ventilador e o projetista do forno para um diagnóstico. Ambos chegaram à conclusão que o ventilador trabalhava até a data do acidente fora da condição de projeto, em uma condição denominada *stall* por especialistas, que se resume em uma situação onde o ventilador assume uma condição não bem definida em relação ao seu ponto de operação, variando às vezes de forma imperceptível as variáveis de controle utilizadas no momento do acidente.

Tais condições podem submeter os componentes mecânicos do ventilador a condições extremas, as vezes levando o mesmo ao colapso, o que veio a acontecer com o ventilador 421-VP05.

O passo a passo do diagnóstico como também as ações que se tornaram necessárias para retomada operacional, em uma condição fora da condição de *stall*, estão apresentadas sequencialmente neste trabalho.

2 OBJETIVO

Apresentar o resultado do diagnóstico como as ações para retirada do ventilador 421-VP05 da condição de *stall*.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Diagnóstico do Ponto de Operação do Ventilador 421-VP05 pelo Fornecedor

A princípio, após o incidente com o ventilador o fornecedor foi contatado e técnicos fizeram medições de vazão no ventilador. Durante as medições foi constatado que o sistema no qual o ventilador estava operando possuía maior perda de carga do que a prevista no projeto.

O ponto de operação foi localizado na curva característica do ventilador e se localizou sobre uma região onde o ventilador apresenta operação instável, causando, eventualmente, pulsos no fluxo de ar.

O fornecedor diagnosticou que, tanto a ruptura quanto as trincas encontradas, foram atribuídas aos pulsos gerados pelo ventilador ao operar nesta condição.

As Figuras 1a e 1b apresentam a foto do rotor retirada durante a inspeção após a parada em emergência e o ponto de operação identificado pelo fornecedor, respectivamente e a foto do rotor retirada durante a inspeção após a parada em emergência.

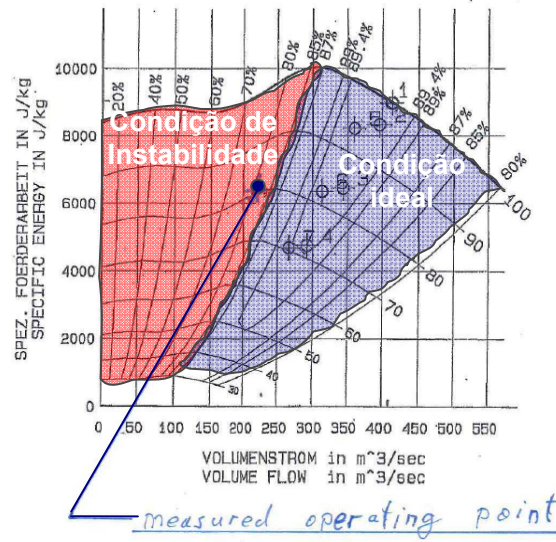


Figura 1. (a) quebra de um pedaço da chapa do cone externo do rotor; (b) ponto de operação mensurado.

Por considerar a análise pontual e de baixa representatividade, a mesma poderia não representar o modo de operação do ventilador. Logo um período maior de operação foi analisado com um levantamento de dados de processo expresso em função da produção de pelotas alimentadas (t/h) no forno, tabela de frequência.

3.2 Diagnóstico do Ponto de Operação do Ventilador 421-VP05 Considerando uma Análise Sistêmica

Em parceria com uma empresa de engenharia foi realizado um diagnóstico detalhado baseando-se em análise das condições de processo e projeto da máquina de queima da Usina de Vargem Grande. O estudo foi estruturado conforme a Figura 2.

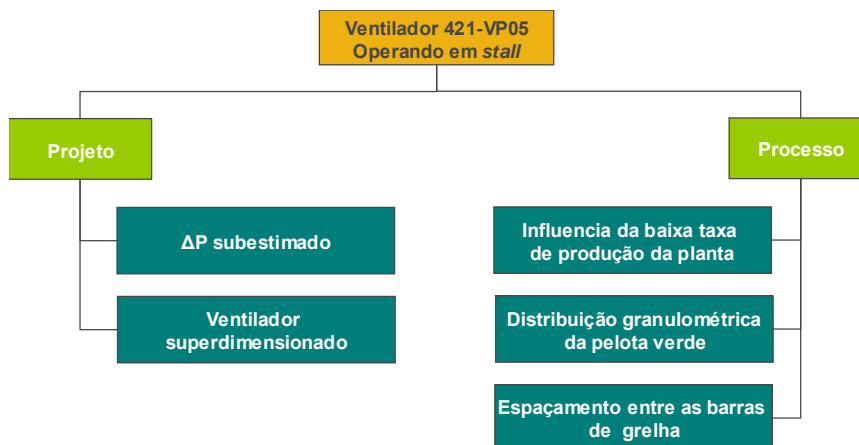


Figura 2. Diagrama de árvore – análise do problema.

A localização do ponto de operação do ventilador depende basicamente da determinação da vazão e da diferença entre as pressões estáticas de entrada e saída do ventilador. No caso específico de Vargem Grande não se possui medidores de vazão nos ventiladores, porém foi possível a localização do ponto de operação

com menor, porém boa precisão, utilizando as leituras de pressão, potência, rotação, abertura de damper e curva característica do ventilador. A seleção do ventilador ocorre de acordo com o sistema em que o mesmo irá operar. Desse modo, em fornos de pelotização o sistema compreende a rede de dutos e o leito de pelotas, cuja perda de carga deve ser vencida pelo ventilador a uma determinada vazão (Figura 3).

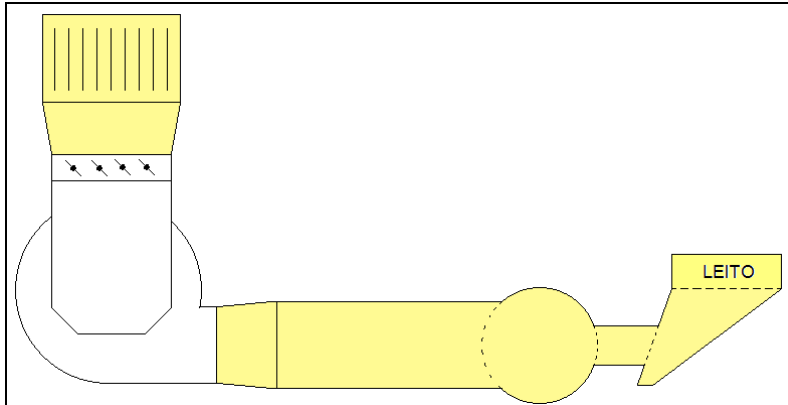


Figura 3. Esquemático do sistema considerado em uma máquina de queima.

Todo sistema como este pode ser representado por uma função que define a relação entre a vazão e a perda de carga, que pode ser descrita por uma função genérica do 2º grau do tipo:

$$\Delta P = k.V^2,$$

Onde ΔP é a perda de carga do sistema, V é a vazão à entrada do ventilador e k é a constante característica do sistema.

Em um sistema onde não existe variação ao longo do tempo, pode-se representar no mesmo gráfico as curvas do sistema e do ventilador pode-se identificar como o ventilador responde ao sistema. A Figura 4 apresenta de forma hipotética o comportamento do ventilador, dado um sistema.

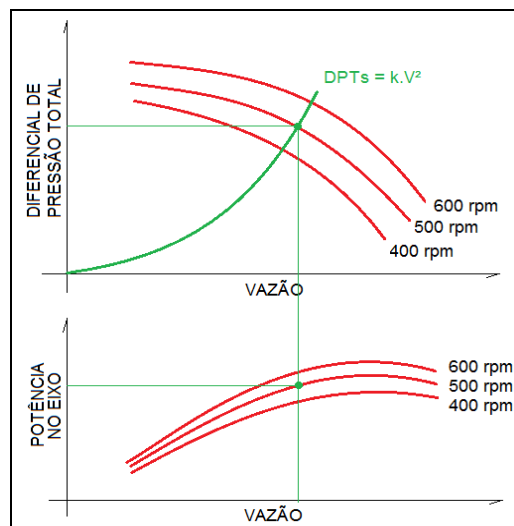


Figura 4. Comportamento do ventilador com k constante em um dado sistema.

Teoricamente a partir dos pares “potência e rotação” ou “pressão e rotação” ou “pressão e potência”, pode-se estimar a vazão na qual o ventilador está operando, sem a necessidade de medição.

Ao utilizar as três aproximações possíveis, este método permite determinar um campo de pontos dentro do qual o ventilador se encontra em operação.

As relações conceituais apresentadas são dependentes da massa específica do fluido no ponto de admissão do ventilador, o que de certa forma obriga a uma correção a cada alteração da massa específica do fluido. Sabe-se que esses valores mudam, por exemplo, em função da temperatura.

Para simplificar esta análise, os fornecedores de ventiladores desenvolveram a curva “trabalho específico x vazão x rendimento” como outra forma de representação que é independente da variação da massa específica do fluido, sendo uma curva única para cada ventilador. A Figura 5 exemplifica este tipo de curva.

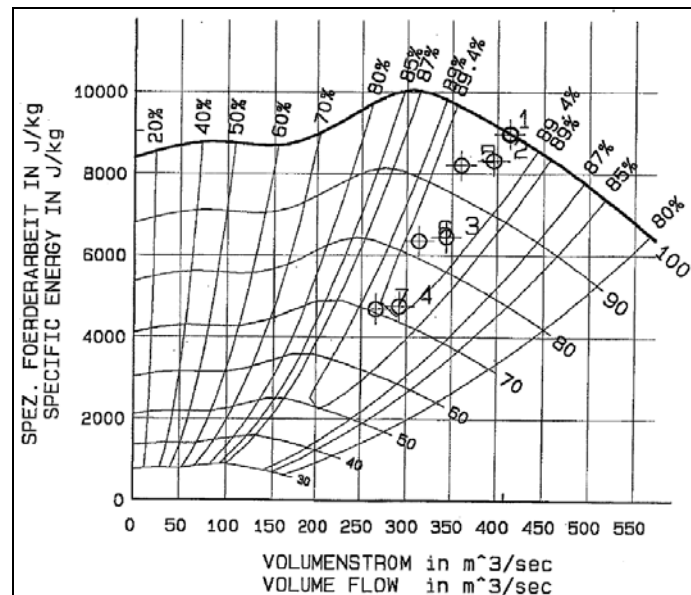


Figura 5. Curva característica de ventilador.

Simplificadamente, o trabalho específico pode ser descrito na forma:

$$y = \frac{\Delta P \times f}{\rho}$$

Onde, ΔP é o diferencial de pressão total entre as secções de entrada e saída do ventilador, f é o coeficiente de compressão do fluido e ρ é a massa específica do fluido. A potência pode ser escrita na forma:

$$Pot_{eixo} = \frac{y \times V \times \rho}{\eta}$$

Onde, y é o trabalho específico, V é a vazão na secção de entrada do ventilador, ρ é a massa específica do fluido e η é o rendimento do ventilador.

A pressão total é a soma das pressões estática e dinâmica (dependente da velocidade do gás).

$\Delta P = PS + PD$, onde $PD = \frac{\rho}{2} \times v^2$, onde ΔP é a pressão total, PD é a pressão dinâmica, PS é a pressão estática, ρ é a massa específica e v é a velocidade do fluido na secção.

A pressão estática total do sistema pode ser inferida com ajuda do banco de dados do projeto do forno. O cálculo foi feito com base nos coeficientes de perda de carga sobre cada peça do trecho de dutos que separa as duas secções vide esquema da Figura 6.

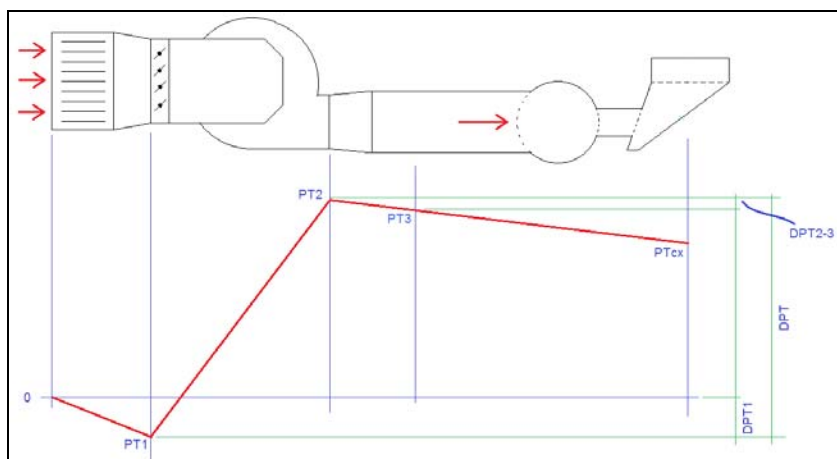


Figura 6. Esquemático - perda de carga estática total do sistema.

Com base no conhecimento da curva de operação do sistema e a confirmação de operação em *stall*, algumas possibilidades de mitigação da condição foram avaliadas e algumas implementadas até que se tenha tempo hábil para implantação da solução definitiva para o problema.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a frequência levantada durante duas condições de operação distintas com faixas de produção variando de 500 a 1050t/h de pelotas queimadas.

Tabela 1. Base de dados – identificação da curva de operação do VP-05

Pontos	Faixa de produção (t/h)	Frequência de operação	Pelota crua (t/h)	Rotação (rpm)	Potência ativa (kW)	Damper (%)	Pressão diferencial (mbar)	Altura de forramento (cm)	Altura total (cm)	
1	450	500	6,61%	484	376	336	97,74	18,79	5,45	37,72
2	500	550	10,20%	520	425	487	99,61	24,01	5,71	37,81
3	550	600	4,49%	574	464	619	98,53	28,45	5,87	37,64
4	600	650	9,49%	628	498	748	99,50	32,75	5,96	37,55
5	650	700	9,24%	671	527	881	99,18	37,03	6,30	37,71
6	700	750	3,53%	726	598	1.288	99,41	47,59	6,49	37,90
7	750	800	6,74%	776	622	1.429	99,31	51,49	6,49	38,18
8	750	800	3,72%	778	567	1.148	99,58	43,90	5,24	37,14
9	800	850	7,18%	828	614	1.428	99,63	51,45	5,12	37,21
10	850	900	7,57%	876	642	1.631	99,69	56,33	5,26	37,14
11	900	950	9,88%	922	661	1.787	99,59	59,98	5,31	37,61
12	950	1.000	11,42%	978	666	1.843	99,31	61,26	5,44	37,77
13	1.000	1.050	9,94%	1.020	667	1.868	99,46	61,31	5,24	37,71

Para cada faixa de operação foram realizadas as três possíveis aproximações na curva característica do ventilador 421-VP05.

Pode-se constatar que as curvas estão consideravelmente mais a esquerda do que os pontos de operação oriundos do projeto do ventilador. (Além disso, observa-se que as curvas médias do sistema estão muito próximas da curva de *stall* do ventilador. A Figura 7 apresenta de forma gráfica o comportamento do (ventilador) 421-VP05 mediante as situações de processo apresentadas na Tabela 1.

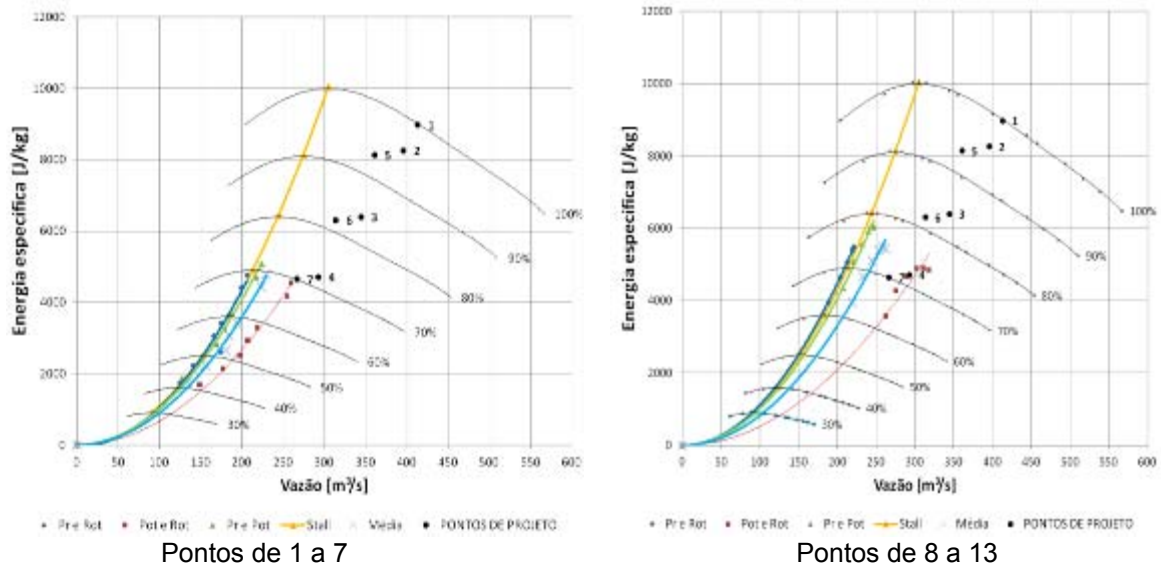


Figura 7. Curvas de operação do 421-VP05.

Devido ao comportamento quadrático das curvas do sistema e da curva de *stall*, quanto maior a vazão, maior a distância das curvas à curva de *stall*, porém não se pode afirmar que, em vazões maiores (maiores produções) o ventilador não opera em *stall*. Deve-se a isto a imprecisão nas determinações das curvas e estimativa de perda de carga do sistema (duto + leito de pelotas).

Foi sugerido que se utilizasse uma manobra de processo para se oferecer maior perda de carga ao ventilador com objetivo de deslocar o ponto de operação para a direita. Esta manobra consistiu em desligar o ventilador primário de resfriamento (421-VP08) e utilizar a interligação do *head* do ventilador 421-VP05 com 421-VP08. Desta forma, a área de influência do 421-VP05 seria ampliada em três caixas de vento.

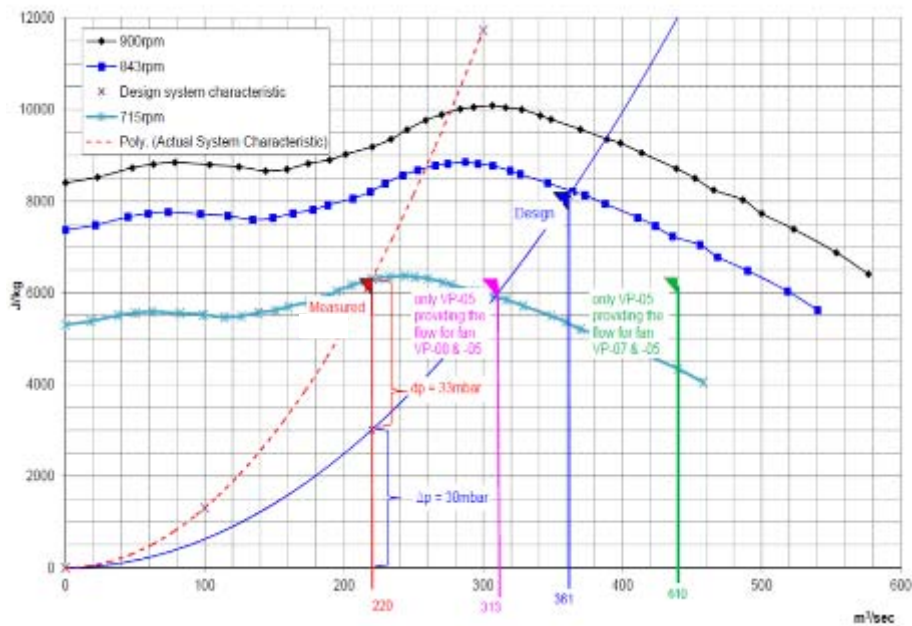


Figura 8. Curvas de operação do 421-VP05 com pontos com as estimativas de alterações de processo.

A interligação do head do ventilador 421-VP05 com o 421-VP07 também foi sugerida, no entanto, esta interligação não existe e precisa de uma intervenção em uma grande parada para realizá-la.

O teste de interligação do 421-VP05 com 421-VP08 foi realizado considerando a abertura da interligação do head de distribuição dos ventiladores com o consequente desligamento do ventilador 421-VP08. A Figura 9 apresenta o desenho esquemático do forno de Vargem Grande com o local da interligação.

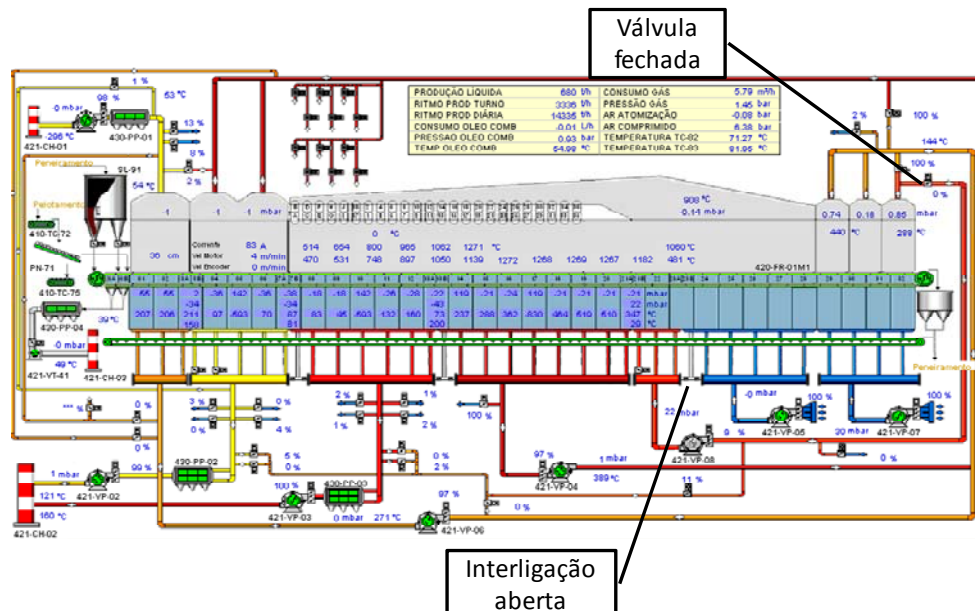


Figura 9. Desenho esquemático do forno de Vargem Grande.

A partir dos dados mensurados, foram levantadas as curvas características e os pontos de operação do ventilador 421-VP05 e comparados com as condições padrão, considerando dois patamares de produção diferentes, 400 – 450t/h e 800 – 850t/h. A Figura 10 apresenta as curvas plotadas de acordo com as aproximações das três leis dos ventiladores. Estas foram construídas com o auxílio de uma ferramenta desenvolvida em Excel.

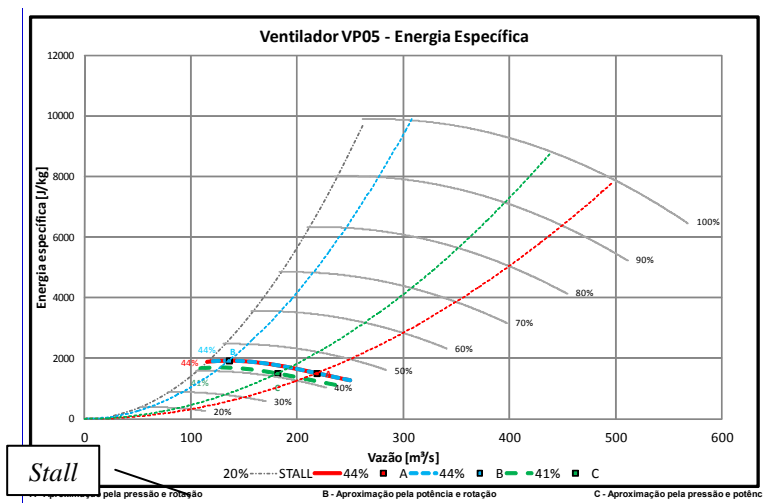


Figura 10. Curvas características do 421-VP05 referente ao teste para produção de 400 a 450t/h. Aproximações das três leis dos ventiladores.

De acordo com a Figura 10, observa-se que o ventilador 421-VP05 operou em uma condição próxima da zona de instabilidade, podendo inclusive ter entrado em tal condição em alguns momentos para produção entre 400 e 450t/h. Desta forma, para esta faixa de produção, o procedimento proposto para o teste não produziu os resultados esperados. A Figura 11 apresenta as curvas características e os pontos de operação do 421-VP05 para produção de 800 a 850t/h nas condições do teste.

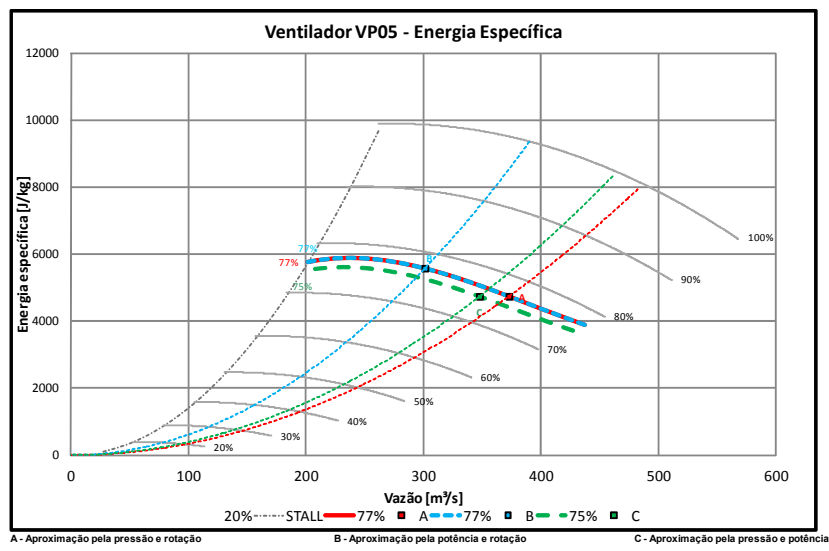


Figura 11. Curvas características do 421-VP05 referente ao teste para produção de 800 a 850t/h. Aproximações das três leis dos ventiladores.

De acordo com a Figura 11, verifica-se que nas condições do teste para produção de 800 a 850t/h, o ventilador 421-VP05 operou em uma zona mais afastada da zona de *stall*, o que é benéfico para o processo.

Pela redução da velocidade de rotação do 421-VP05, em ambos os patamares de produção houve a redução dos níveis de vibração dos ventiladores.

Outra condição avaliada por sugestão do fornecedor do projeto do forno, foi o fechamento do damper do 421-VP05 em 50%. Para esta avaliação teve-se que tomar como referência a curva característica do ventilador com variação de abertura do damper. A Figura 12 apresenta a curva com os pontos de operação de projeto(1) e o ponto de operação com o damper em 50%(2).

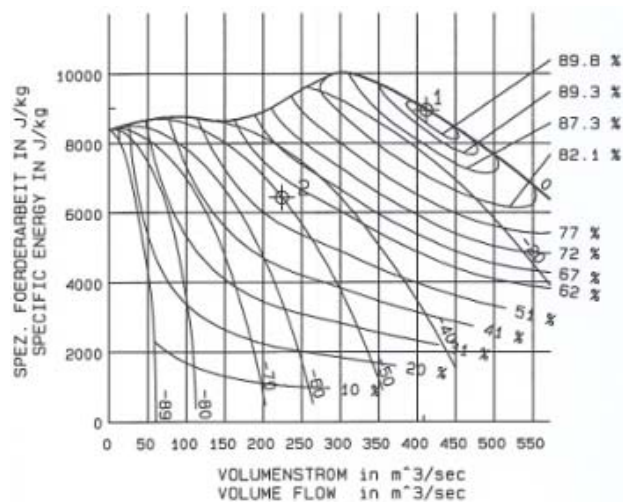


Figura 12. Curva característica do 421-VP05 com variação da posição do damper.

Esta configuração (2) deslocou o ponto de operação mais para direita da curva se comparado ao ponto de projeto (1) o que proporciona ao ventilador uma condição mais adequada, sob a ótica de integridade do mesmo, porém seu consumo de energia fica comprometido haja vista que seu rendimento na condição de projeto girava em torno dos 90%, na condição atual esta em torno de 50%.

Em relação à distribuição granulométrica, não foram verificadas divergências significativas que pudessem alterar o ΔP do sistema, a Figura 13 apresenta a distribuição granulométrica do material de 8 a 18mm acumulado no período de 1 ano até a data do incidente.

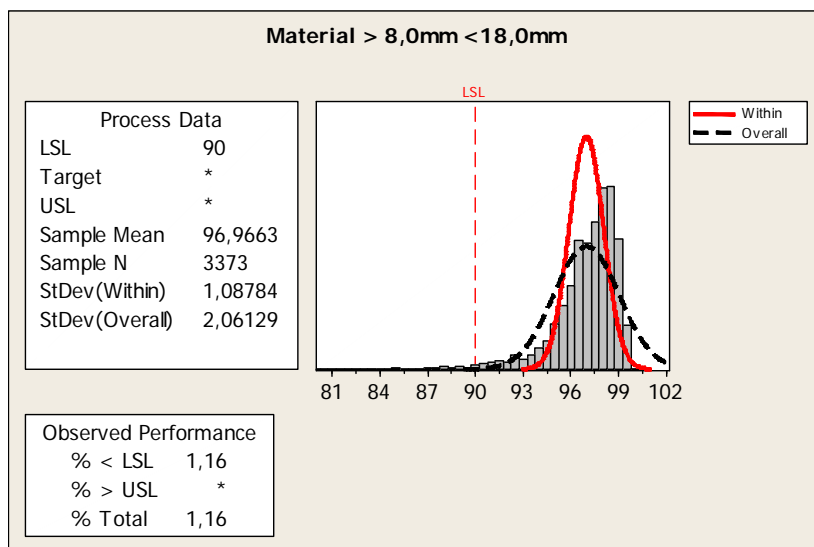


Figura 13. Frequência do material de 8 a 18mm.

No que diz respeito ao projeto do carro de grelha, o mesmo vem sendo seguido à risca pela oficina de montagem de carros de grelha, a abertura entre grelhas deve ser $6,0\text{mm} \pm 0,5$.

5 CONCLUSÕES

- Ambas as medições aferidas do ponto de operação do ventilador 421-VP05 indicaram que o mesmo operava na condição de *stall*;
- de acordo com os pontos (região) de operação identificado pelas relações matemáticas referentes às três leis dos ventiladores, mesmo em condições de produção elevada, o deslocamento do ponto de operação não foi suficiente para retirar o ventilador da condição de *stall*;
- o teste de interligação entre os *headers* dos ventiladores 421-VP05 e 421-VP08, no primeiro momento, não obteve o resultado esperado de deslocamento do ponto de operação para direita da curva, para baixa produção (400 a 450t/h), porém, esta interligação ainda não esta descartada como possível solução mitigadora da condição do ventilador, outro teste com outros *sets* de processo serão realizados. Um efeito positivo foi observado: na condição de interligação, pela redução da rotação do ventilador, foi observada a redução de vibração nos mancais do mesmo;
- no *check* das condições de processo, não foram identificados diferenças significativas entre a distribuição granulométrica do leito de pelotas, como

também na abertura das grelhas do carro em relação ao especificado pelo projeto, o que não pode ter influenciado o ΔP do sistema;

- o fechamento do damper do ventilador foi a condição que trouxe o efeito esperado em relação ao deslocamento do ponto de operação para direita da curva de *stall*. Obteve-se maior segurança operacional ao custo do menor rendimento da máquina; e
- a metodologia utilizada apresenta boa aplicabilidade e simplicidade para outras análises de condições operacionais dos ventiladores.