



■ Oportunidades de redução no consumo de energia através da otimização do sistema de vácuo

As bombas de vácuo podem ser consideradas um dos equipamentos mais robustos utilizados nas máquinas de papel. Podem passar anos sem inspeções e operam mesmo com altas temperaturas de água de selagem, que ocasionalmente pode apresentar qualidade duvidosa. No entanto, permanecem gerando um diferencial de pressão, que chamamos de vácuo, mesmo nestas condições tão distantes das recomendadas pelos fabricantes.

Justamente por esta razão costumam ser deixadas em segundo plano, quando o assunto é manutenção e auditorias regulares para verificação de seu funcionamento.

Podemos até achar que, por estarmos produzindo dentro dos padrões solicitados, com qualidade, não precisamos fazer nada a respeito de otimizações no sistema de vácuo. Contraditoriamente, é este o melhor momento para a realização de auditorias a fim de identificar os gargalos do sistema, que servirão de base para reduzir o consumo de energia, sem perda de produção.

O vigésimo sexto presidente dos Estados Unidos, Theodore Roosevelt, citou certa vez: *“Do what you can with what you have, where you are”* que, em tradução livre, significa “Faça o que você pode com o que tem, onde está”. Podemos aplicar este conceito para otimizações que podem ser realizadas nos sistemas de vácuo de qualquer máquina de papel. Segundo Humbert Koefler [1], da Andritz, “As contas de energia podem ser reduzidas em 10%, sem nenhum investimento”.

Consumo de energia nas máquinas de papel

A geração de vácuo representa, tipicamente em uma máquina de papel, um dos maiores sistemas, podendo apresentar de 400 a 6.000 kW de potência instalada de motores para sua operação.

Em números genéricos, do consumo total de energia da seção de formação, 30 a 40% são consumidos pelo sistema de vácuo. Na prensagem, este número cai para cerca de 20%. De qualquer forma, é importante notarmos que pequenas ações para a redução do consumo de energia nestas seções podem gerar impactos significativos nos custos de operação das máquinas de papel em geral.

A seguir demonstraremos que tipo de trabalho precisamos implementar para garantir uma redução no consumo de energia sem prejuízo à produção de papel ou de celulose.

Auditorias de vácuo

Os trabalhos de auditoria de vácuo realizados pela Albany International podem ter vários objetivos, entre eles, aumento de produção, redução do consumo de água, redistribuição do sistema de vácuo, adequação para reformas e também redução do consumo de energia elétrica.

A auditoria se divide nas seguintes medições:

- Rotação das bombas de vácuo;

- Temperatura das bombas de vácuo e da água de selagem;
- Níveis de vácuo nas bombas de vácuo e nos elementos, tais como caixas e rolos de sucção;
- Casos de estudo.

Rotação das bombas de vácuo

Todas as bombas de vácuo possuem curvas de dimensionamento, onde é possível relacionar o nível de vácuo de trabalho com a rotação do rotor, volume de ar gerado na sucção e potência requerida do motor.

A figura 1 mostra uma curva típica de bomba de vácuo. O aspecto geral da curva pode variar, porém as informações são basicamente as mesmas. Por exemplo, se obtermos um valor de 260 rpm no rotor da bomba, com um nível de vácuo de 10 inHg (3,45 mca), obtemos uma vazão de ar de aproximadamente 21.000 CFM.

Comparativos com a norma TAPPI e com o mercado podem indicar que, na posição utilizada, a vazão necessária seria de 17.000 CFM. Neste caso, poderíamos reduzir a rotação da bomba de vácuo para alcançar este valor.

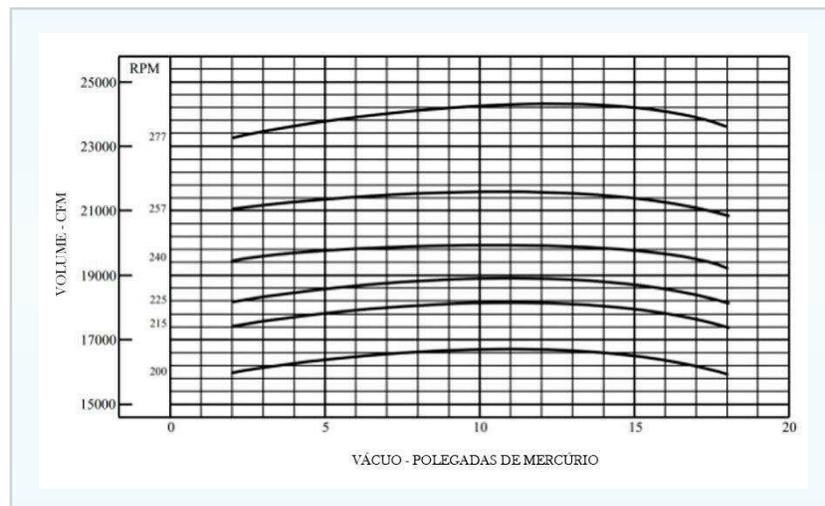


Figura 1: Curva de bomba de vácuo típica, vazão, nível de vácuo e rotação.

Utilizando a figura 2 para dimensionamento de motores, percebemos que, para operar com 260 rpm, o motor precisa de aproximadamente 600 HP (441,3 kW). Já para a operação a 210 rpm, o motor precisa de menos de 400 HP (294,2 kW) para operar na vazão de 17.000 CFM mencionada anteriormente.

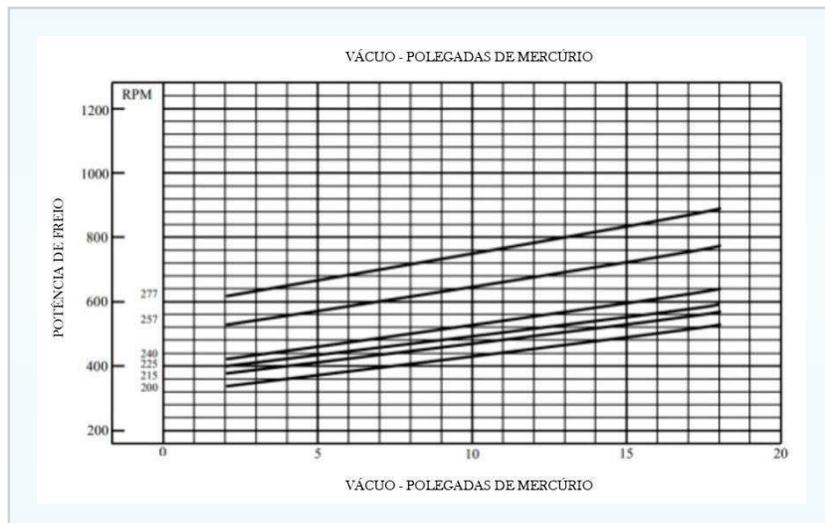


Figura 2: Curva de bomba de vácuo típica, potência do motor, nível de vácuo e rotação.

Apenas para facilitar os cálculos, vamos assumir que a potência nominal seja igual à consumida, que o equipamento opera 350 dias por ano, e que o custo do kWh seja de 0,50 R\$/kWh.

Motor de 600 HP (441,3 kW)

$$\text{consumo anual} = 441,3 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 350 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 0,50 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}$$

$$\text{consumo anual} = \text{R\$ } 1.853.460,00$$

Motor de 400 HP (294,2 kW)

$$\text{consumo anual} = 294,2 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 350 \frac{\text{dias}}{\text{ano}} \times 0,50 \frac{\text{R\$}}{\text{kWh}}$$

$$\text{consumo anual} = \text{R\$ } 1.235.640,00$$

A diferença em reais da primeira situação para a segunda é de R\$ 617.820,00 anuais em economia de energia.

Neste caso hipotético, foi realizada a substituição de um motor de maior potência por um de menor potência. Porém, resultados semelhantes podem ser obtidos com a instalação de inversores de frequência, troca de redutores e ajuste de polias nas bombas de vácuo que operam com este tipo de sistema.

Em mais de 90% dos casos, os acionamentos das bombas de vácuo estão superdimensionados, criando a oportunidade de ganhos com redução do consumo de energia, reduzindo a rotação das bombas de vácuo.

Temperatura das bombas de vácuo e da água de selagem

Durante as auditorias de vácuo são medidas as temperaturas em quatro pontos da bomba:

na entrada, na saída, no casco e nas linhas da água de selagem. Estas medições têm por objetivo rastrear desequilíbrios que possam comprometer o bom funcionamento das bombas. Com os valores obtidos na saída da bomba e na linha de água de selagem é possível saber se a quantidade de água utilizada está adequada para garantir a eficiência máxima do equipamento.

Na figura 3, podemos visualizar uma tabela com os valores de temperatura coletados em uma auditoria de vácuo.

entrada	saída	casco	água de selagem	saída - água de
oC	oC	oC	oC	oC
28,5	36,6	33,2	27,4	9,2
29,5	34,4	33,8	27,2	7,2
27,7	34,8	33,9	27,6	7,2
27,7	35,3	33,9	27,5	7,8
47,4	59,5	50,5	27,6	31,9
38,1	58,1	51,6	29,8	28,3
49,1	52,4	45,9	27,9	24,5
49,0	51,5	42,8	27,9	23,6

Figura 3: Dados de temperatura de bombas de vácuo.

O resultado da subtração da temperatura da saída, pela temperatura da água de selagem, deverá estar localizado entre 8 a 16°C. Se estiver abaixo de 8°C, significa que o fluxo de água está acima do recomendado. Além do desperdício de água, pode causar perda de eficiência da bomba de vácuo, aumento da corrente do motor e desgaste prematuro do equipamento. Se o resultado foi maior do que 16°C, significa que a vazão de água está abaixo do recomendado, também causando perda de eficiência da bomba de vácuo.

Nas duas situações relatadas acima, a conclusão é uma só: a quantidade de energia empregada para operar uma bomba com vazão de água adequada e, portanto, alta eficiência, é a mesma – se não for menor – do que aquela consumida por uma bomba operando com baixa eficiência, ou seja, o custo por tonelada de papel ou celulose produzido será inexoravelmente mais alto no cenário de descontrole de vazão de água de selagem.

Na tabela abaixo, foi construído um simples comparativo de cenários. No A, a diferença de temperatura entre a saída e a água de selagem está dentro da faixa recomendada de 8 a 16°C, indicando a vazão de água de selagem adequada para garantir um funcionamento eficiente do equipamento. Já no cenário B, o resultado da subtração encontra-se fora da faixa.

Cenário A		Cenário B
VAZÃO ADEQUADA		VAZÃO INADEQUADA
CONSUMO DE ENERGIA	=	CONSUMO DE ENERGIA
ESTABILIDADE DE MÁQUINA	>	ESTABILIDADE DE MÁQUINA
CUSTO POR TONELADA	<	CUSTO POR TONELADA

Outro fator importante é a temperatura da água de selagem. Por nos encontrarmos em um país tropical, usualmente as temperaturas encontradas estão ao redor de 30°C, ao passo que as curvas fornecidas pelos fabricantes foram elaboradas na temperatura de 15,5°C. Quanto mais elevada a temperatura da água de selagem, maior a perda de eficiência das bombas de vácuo. Este fenômeno ocorre porque a quantidade de vapor d'água a 15,5°C é menor do que a 30°C. Como o vapor também é um gás, ele "rouba" a capacidade volumétrica da bomba, diminuindo sua eficiência como podemos ver no diagrama e no gráfico apresentados abaixo.

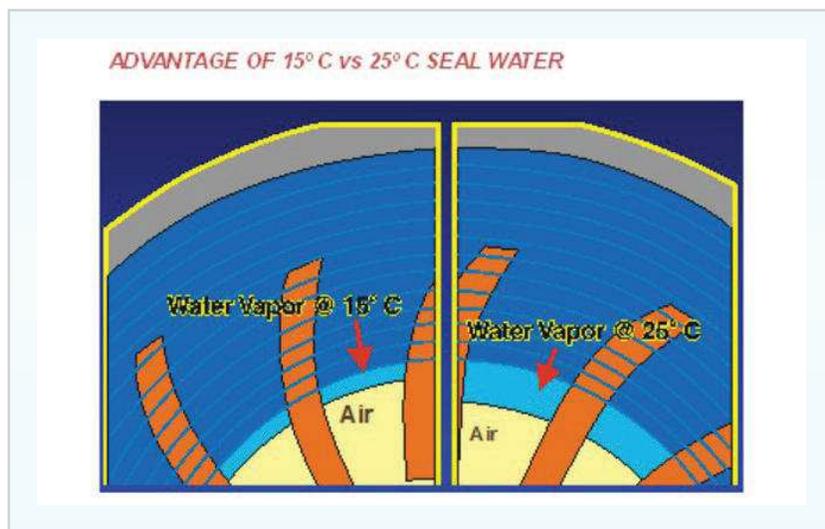


Figura 4: Efeito da temperatura da água de selagem no interior de uma bomba de vácuo.

Na figura 5, pode-se calcular a perda de eficiência para várias temperaturas de água de selagem. Vamos utilizar o exemplo ilustrado pelas retas azuis desenhadas no gráfico. A 80°F (26,6°C), o fator de correção é de 0,96, ou seja, perda de 4% de eficiência. A 110°F (43,3°C), o fator passa a ser de 0,88, ou seja, 12% de perda de eficiência, sem incluir idade, perda de carga ou vazamentos nas linhas.

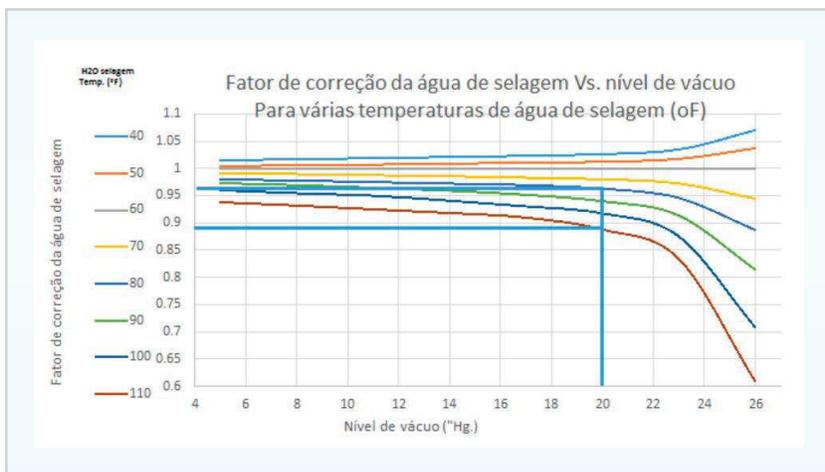


Figura 5: Fatores de correção para diferentes temperaturas de água de selagem.

Existe também uma relação entre a temperatura da água de selagem e o consumo de energia dos motores das bombas de vácuo, que pode ser facilmente observada na figura 6.

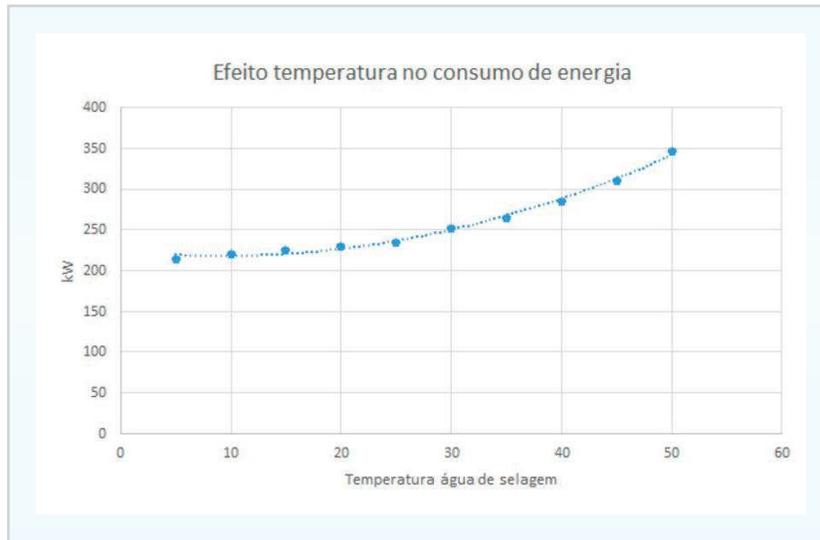


Figura 6: Efeito da temperatura da água de selagem no consumo de energia das bombas de vácuo.

Para temperaturas abaixo de 30°C, observa-se pouca alteração no consumo de energia. Porém, após este valor, as diferenças se tornam expressivas. A 30°C, a potência requerida é de 250 kW, já a 40°C, este valor se aproxima de 280 kW, um aumento de 11%.

Em resumo, quanto mais baixa for a temperatura da água de selagem, mais eficiente estará a bomba de vácuo e menos energia elétrica será consumida para a mesma produção de papel ou de celulose.

Níveis de vácuo

É bastante recomendável que as pernas das bombas de vácuo contenham vacuômetros de fácil leitura e acesso aos operadores, ou pontos de tomada de vácuo, com o objetivo de tomar ações rápidas em caso de problemas. Sem querer ser repetitivo, uma bomba que supostamente deveria gerar um diferencial de vácuo de 6 mca consome praticamente a mesma energia se estiver com problemas e operando com 1,5 mca. Portanto, a checagem dos níveis de vácuo nas bombas deverá ser feita periodicamente, caso o objetivo seja manter o consumo de energia elétrica o mais baixo possível.

Da mesma forma, pontos de medição ou vacuômetros deverão estar presentes nos elementos desaguadores, tais como vacuofólios, caixas de médio vácuo, caixas de alto vácuo, rolos de sucção e caixas de sucção dos feltros. Quedas nos valores registrados nestes pontos podem indicar alguma alteração no sistema de vácuo e contribuir para instabilidades na máquina de papel, portanto eles devem ser monitorados com atenção.

A diferença máxima aceitável entre o nível de vácuo na bomba de vácuo e qualquer elemento na máquina de papel não poderá ser maior do que 350 mmca. Se este for o caso, algumas hipóteses podem ser levantadas e testadas. As mais comuns são grande perda de carga, causada por mau dimensionamento do sistema, e vazamentos ou restrições nas linhas. A figura 7 ilustra este tipo de situação, onde a bomba apresenta um nível de vácuo de 6,0 mca, e o rolo *couch*, apenas 4,0 mca. Neste caso, o valor aceitável no rolo deveria ser de 5,65 mca.

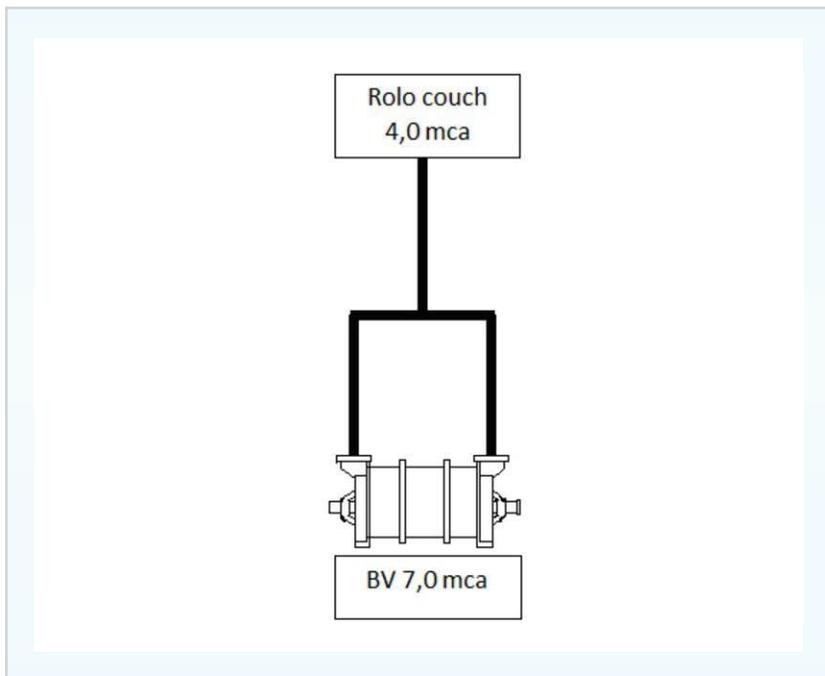
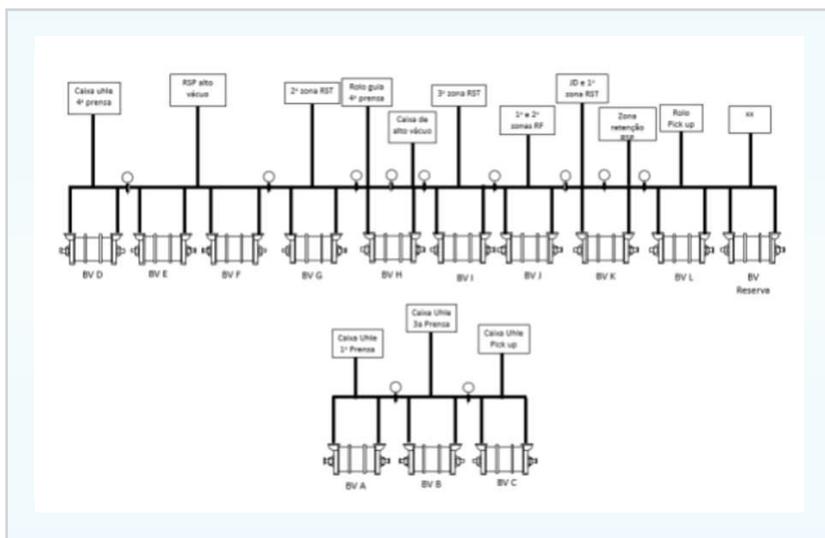


Figura 7: Diferença entre bomba de vácuo e ponto de aplicação.

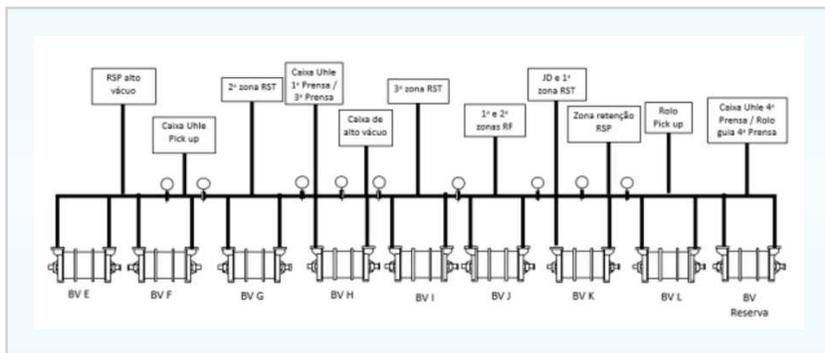
Casos de estudo

Redistribuição dos sistemas de vácuo de máquinas de papel com excesso de capacidade instalada.

Neste primeiro caso, a auditoria de vácuo identificou um excesso de capacidade instalada na seção de prensagem. O fluxograma de vácuo antes da redistribuição pode ser visto no diagrama abaixo:

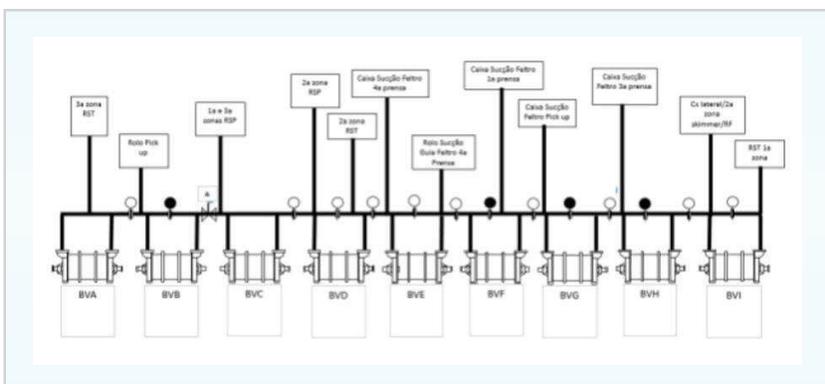


Com os resultados obtidos, o time do PAG (*Process Analysis Group*), da Albany, definiu juntamente com o cliente que bombas poderiam ser desligadas e quais alterações em estilos de vestimentas e estratégias de condicionamento deveriam ser adotadas. Com isso, surgiu o novo fluxograma do sistema de vácuo:

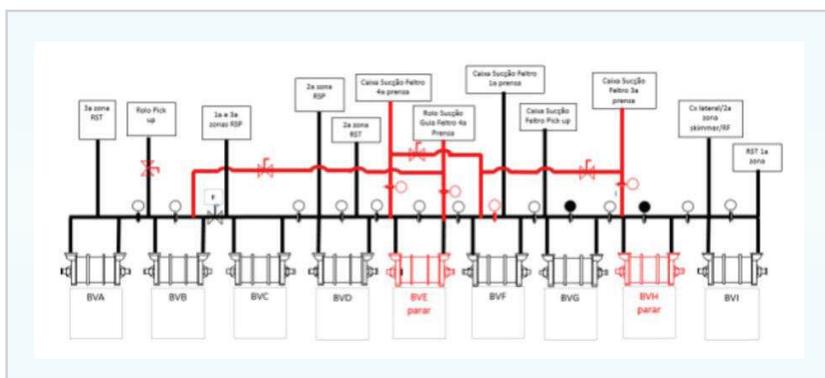


Note que as bombas A, B e C foram desligadas, pois eram as maiores bombas da fábrica. Desta forma, o condicionamento dos feltros foi redistribuído para as demais, incluindo uma bomba que ficava de reserva, lembrando que devido à nova estratégia de condicionamento, o feltro da 3ª prensa utiliza apenas um pouco da vazão da BVH. Após a instalação, logo em seguida a válvula é fechada e o feltro opera totalmente sem condicionamento, assim como o feltro da 4ª prensa. A redução no consumo de energia foi de aproximadamente US\$ 500.000,00 por ano, sem prejuízos ao bom andamento de máquina e à qualidade do papel.

No segundo caso, também foram identificadas algumas oportunidades de desligamento de bombas de vácuo, tendo em vista o excesso de capacidade para alguns rolos de sucção e para os feltros utilizados. A seguir, pode-se analisar o fluxograma atual do sistema de vácuo da máquina de papel.



Novamente utilizamos os recursos do consultor de prensagem da Albany, em conjunto com o cliente, para elaborar um fluxograma de vácuo, com a possibilidade de desligamento de pelo menos duas bombas de vácuo, resultando em uma redução no consumo de energia de aproximadamente US\$ 370.000,00 por ano, conforme pode ser visto abaixo:



Conclusões

É possível reduzir o consumo de energia das máquinas de papel com ações rápidas e praticamente sem investimento na maioria dos casos.

Para tanto, auditorias regulares no sistema de vácuo são altamente recomendáveis, pois permitem a visualização dos gargalos e das oportunidades de otimização. Além disso, a adoção de boas práticas na manutenção das bombas de vácuo, como a qualidade da água de selagem, por exemplo, contribui positivamente para o bom funcionamento desta seção tão importante para as máquinas de papel em geral.

Bibliografia

- Condicionamento de feltros. Momento Técnico Ed. 04. Freitas, Julio.
- Sistema de vácuo na seção de formação. Momento técnico Ed 23. Goss, Cesar e Leitis, Gustavo.
- Auditorias de vácuo Albany International. Moraes Jr, Volni.
- *Reducing Energy Consumption in Paper Making using Advanced Process Control and Optimisation*. Austin, Paul.
- *Determination of Vacuum Pump Operational Efficiency*. Singhal, DK.
- *Paper Machine Vacuum Systems Offer Range of Energy-Saving Opportunities for Mills*. *Pulp and Paper Magazine*. Sweet, Douglas F..
- Dicas Técnicas: Fatores que causam baixos níveis de vácuo. Nash.
- *Making with Less*. Sweet, Douglas.
- *Energy-saving solutions for the paper machine*. TAPPSA – 2010. Osara, Mikko.
- *Measuring Paper Machine Energy Performance*. Reese, Dick.
- *Vacio en las Máquinas de Papel*. Rendina, Alfredo.
- *Energy Saving Potential at Felt Conditioning*. Kokkonen, Kari.
- *Opportunities to Improve Energy Efficiency on Paper Machine*. Kumar, Vivek.

Perfil do autor:

Volni Nunes de Moraes Junior é formado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC, com MBA em Marketing pela FGV, e Curso de Green Belt Lean Six Sigma pela M. I. Domenech Consultores. Iniciou suas atividades profissionais na Santa Maria Companhia de Papel e Celulose em 2000, e na Albany em 2002, como Engenheiro de Serviços de Formação. Atualmente exerce a função de Engenheiro de Serviços na linha de Prensagem, para Celulose, Kraft, Cartão e Tissue.

indmomento_tecnico@albint.com | Um canal direto para sugestões e dúvidas.

Órgão Informativo de Albany International Brasil - Maio de 2016 - Albany International Tecidos Técnicos Ltda. - www.albint.com - Rua Colorado, 350 - CEP 89130-000 - Indaial - Santa Catarina - Brasil - Telefone: (47) 3333-7500 - Fax: (47) 3333-7666 - E-mail: indmomento_tecnico@albint.com

Expediente:

Editores: Fábio J. Kühnen, Harlei A. Erdmann - Diagramação: Studio Gama Comunicação - Revisão: Diogo F. Biehl - A redação não se responsabiliza pelos conceitos emitidos em artigos assinados. É proibida a reprodução total ou parcial de textos, fotos e ilustrações, por qualquer meio, sem autorização.