



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE 27
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCE

BOMBA DE CALOR PARA REDUÇÃO DA TEMPERATURA DO LÍQUIDO REFRIGERANTE DA USINAGEM E AQUECIMENTO DE ÁGUA NA FÁBRICA DA VOLVO – CURITIBA/PR

M. de Fátima R. Raia Cabreira *
UTFPR

Franciele Moura Batista
ECOLE POLYTECHNIQUE

Rogério Ferreira
VOLVO

Hans Schorer
THERMACQUA

RESUMO

A finalidade deste estudo foi analisar a utilização de bomba de calor na indústria, uma tecnologia “limpa” que ainda não é muito aplicada no Brasil. A pesquisa foi feita na Volvo do Brasil, empresa que busca cada vez mais o seu desenvolvimento de forma sustentável.

O trabalho analisa a recuperação o calor dissipado em um processo e repassá-lo ao sistema de aquecimento da água dos vestiários, o que antes era feito pela queima de gás liquefeito de petróleo.

De um lado, busca-se o aproveitamento de uma energia dissipada na forma de calor, e de outro, a redução considerável da emissão de CO₂, evitando a queima de um combustível fóssil e atendendo aos requisitos do “*Environmental Challenge*” (Desafio Ambiental), um dos programas da política ambiental do Grupo Volvo.

PALAVRAS-CHAVE

Bomba de Calor, Conservação de Energia, Recuperação de Calor, Emissão de CO₂, Desenvolvimento Sustentável.

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente, é essencial que seja realizada a avaliação do uso eficiente de energia e também dos impactos ambientais antes de implantar um novo sistema. Isso é aplicado a vários setores, e principalmente no setor industrial. Mas por que toda essa preocupação? Sabe-se que a energia é imprescindível para o desenvolvimento de uma nação, e que ao mesmo tempo a sua obtenção e sua utilização causam sérios danos ao meio ambiente.

As indústrias, por sua vez, obrigam-se a buscar planejamentos energéticos e a inserir novas tecnologias que assegurem o uso eficiente das várias formas de energia. Dentro dessa política, o Grupo Volvo criou o “*Environmental Challenge*” um programa que visa atingir metas baseadas na redução do consumo de energia e na utilização de fontes renováveis e isentas de CO₂.

O estudo analisa uma bomba de calor, que irá substituir a queima de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), e que representa hoje uma tecnologia limpa, eficiente e sem chamas. Por ser um estudo multidisciplinar, serão inúmeros os ganhos, pois a preocupação com a preservação do meio ambiente, a descoberta e utilização de novas fontes de energia e a utilização correta e sustentável dos recursos naturais tendem a crescer cada vez mais. E isso não deve ser tratado como um problema isolado de responsabilidade única dos ambientalistas. A solução está na conscientização multidisciplinar, onde se tem o conceito de tecnologia e modernização aliadas à preocupação ambiental, econômica e social.

2.0 - METODOLOGIA

A bomba de calor é uma tecnologia que apresenta excelente comportamento em termos de eficiência energética e de benefícios ambientais. Ela pode contribuir de maneira importante para minimização das emissões atmosféricas e possui um baixo consumo de energia. Estes equipamentos podem ser aplicados a processos industriais, piscinas, camping, dentre outros, fornecendo refrigeração e aquecimento ao mesmo tempo, ou seja, têm a propriedade de retirar calor de uma fonte de energia e transmiti-lo à outra fonte. Essas fontes podem ser naturais como, por exemplo, o ar, a terra ou a água ou então artificiais, como resíduos industriais ou domésticos. A bomba de calor consegue inclusive retirar calor mesmo de fontes em temperaturas consideradas frias aplicando-se uma pequena quantidade de trabalho externo, conseguindo atingir a produção de calor desejado.

Existem vários tipos de bomba de calor; no mercado brasileiro a maioria utiliza o ar ambiente como fonte de calor, o que faz do inverno desvantajoso, pois o equipamento não consegue retirar com eficiência calor a baixas temperaturas devido ao tipo de fluido de trabalho utilizado dentro do circuito da bomba. Além disso, a utilização da bomba de calor ainda é muito restrita, pois, como o nome mesmo diz, aplica-se mais às necessidades de aquecimento do que refrigeração. Ao contrário do Brasil, na Europa existe uma maior necessidade de gerar calor causado pelo frio intenso, o que favorece o desenvolvimento de equipamentos mais eficientes e com capacidade de retirar calor de fontes frias, até mesmo abaixo de 0°C. Em algumas regiões do mundo, as bombas de calor já apresentam um papel significativo em sistemas de energia e alguns países já incentivam a utilização e a pesquisa desta tecnologia, reforça a Thermacqua, representante exclusiva no Brasil das Bombas de Calor tipo (água-água) da ALPHA-INNOTECH.

2.1 Funcionamento da Bomba de Calor

A Figura 1 apresenta um exemplo de ciclo de uma bomba de calor a compressão, que é composto por um evaporador, um compressor, um condensador e uma válvula de expansão. Para conseguir a troca de calor entre a bomba e as fontes externas, existe um fluido interno de trabalho que percorre o ciclo dentro da bomba. Este fluido absorve calor da fonte no evaporador e cede calor no condensador.

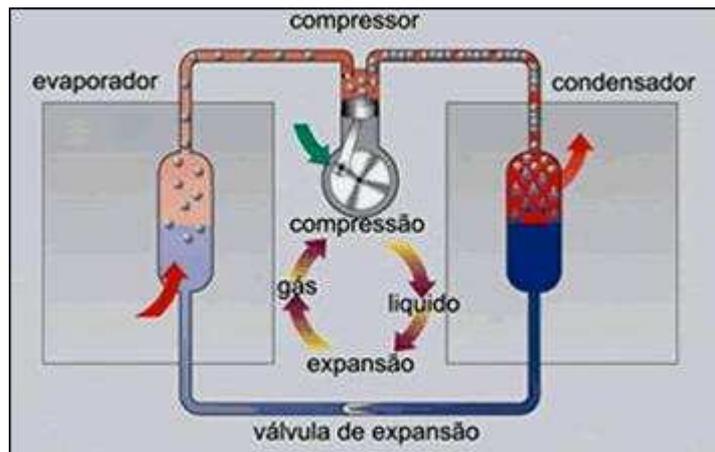


FIGURA 1 - Funcionamento da bomba de calor

O evaporador funciona como um trocador de calor entre o fluido de trabalho, que é mantido a uma temperatura mais baixa, e a fonte de calor. O fluxo de calor ocorre da fonte de calor para o fluido de trabalho, aumentando a temperatura deste último e fazendo-o evaporar.

Um trabalho externo, fornecido por um compressor, comprime o vapor proveniente do evaporador. Com isso a pressão e a temperatura do fluido serão elevadas ao custo da diminuição do volume. O compressor é usualmente acionado por um motor elétrico ou então por um motor a combustão. O fluido, então, é conduzido até a serpentina de um condensador (trocador), onde perde calor para o meio, podendo ser o ar, água ou algum outro meio a uma temperatura mais baixa. Durante este processo o fluido se liquefaz e após esta troca de calor retorna ao evaporador, passando antes por uma válvula de expansão, reiniciando assim o ciclo.

O dimensionamento de uma bomba de calor ocorre em função das quantidades de energia envolvidas no processo, e para isso é necessário conhecer as quantidades de calor disponíveis no local, já que o funcionamento do equipamento se dá de forma a transferir calor de uma fonte para outra.

2.2 Aplicação da Bomba de Calor na Volvo do Brasil

No Brasil, poucos estudos como esse, buscam a utilização dos dois lados de uma bomba de calor. A Volvo vem incentivando projetos que atentem para a necessidade da busca por ações onde a tecnologia propõe soluções ambientalmente corretas. Nessa procura contínua por melhorar os processos diminuindo os impactos ao meio ambiente, foi instalada uma bomba de calor para recuperar a energia disponível no líquido refrigerante do processo de usinagem e repassá-la ao sistema de aquecimento da água dos vestiários.

2.2.1 Análise dos Sistemas

O processo de usinagem de blocos de motores da Volvo do Brasil está situado no prédio 40 da planta da Volvo de Curitiba-PR (Figura 2). O centro de usinagem funciona vinte e quatro horas e produz 75 blocos de motores por dia. Existe um líquido refrigerante chamado de *coolant* que circula por todo o processo de usinagem a fim de minimizar o calor produzido entre a superfície da peça a ser usinada e a ferramenta, e, além disso, serve para lubrificar e arrastar o cavaco (material retirado da peça). Após ter realizado seu ciclo, o *coolant* é dirigido para uma central de filtragem (Hydromation) que se encontra ao lado da usinagem, que separa os cavacos, filtra o coolant e reenvia-o para o processo.



FIGURA 2 – Centro de usinagem da Volvo do Brasil

Atualmente o líquido refrigerante da usinagem de motores da Volvo do Brasil se encontra a uma temperatura mais alta do que a recomendada, ou seja, existe nele uma energia térmica que não é utilizada. O trabalho analisa a recuperação dessa energia para o aquecimento da água dos vestiários, o que era antes feito pela queima de gás liquefeito de petróleo (GLP), e a refrigeração do *coolant* para que o processo de usinagem e desgastes de ferramentas possam ser mais eficazes.

O sistema do líquido refrigerante possui perdas consideráveis de energia para o ambiente, e, em contrapartida, o sistema dos vestiários necessita de energia na forma de calor (Figura 3).



FIGURA 3 - Situação anterior da *Hydromation* e do reservatório dos vestiários

Nota-se que enquanto a usinagem **dissipava** energia em forma de calor necessitando inclusive de refrigeração para um melhor funcionamento, o reservatório de água quente dos vestiários **queimava** **GLP** para aquecer a água. Esta situação pôde ser evitada, pois a energia dissipada em um sistema foi aproveitada em outro (Figura 4).

Como a bomba de calor é um equipamento capaz de retirar e fornecer calor ao mesmo tempo, a sua instalação permitiu a recuperação da energia para o aquecimento da água dos vestiários e a refrigeração parcial do *coolant*, diminuindo parcialmente as perdas por evaporação e aumentando a vida útil das ferramentas de corte, além de evitar a queima de um combustível fóssil, que é o GLP (Figura 5).

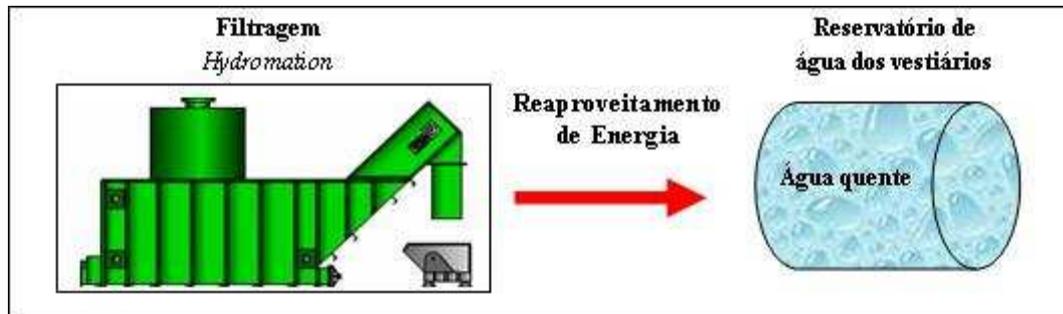


FIGURA 4 - Situação atual da *Hydromation* e do reservatório dos vestiários

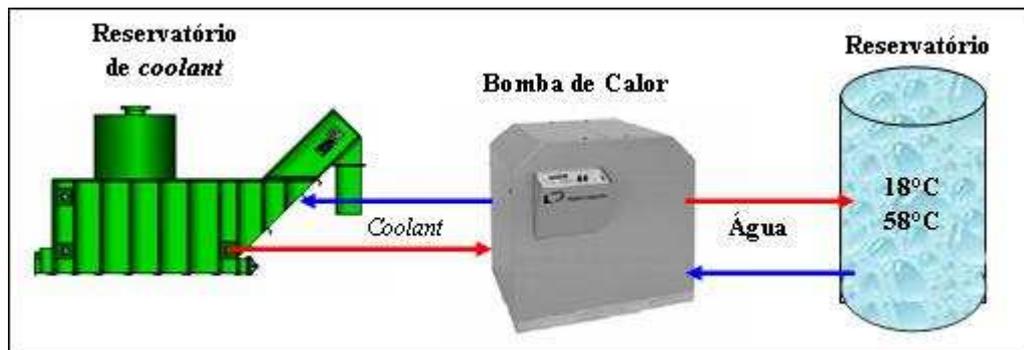


FIGURA 5 - Sistema simplificado instalado

O sistema analisado trata da transferência de energia entre dois sistemas. A bomba de calor retira calor do *coolant* e repassa-o, em taxas maiores, ao reservatório do vestiário. Para isso, deve-se conhecer a quantidade de calor disponível e requerida pelo processo.

No caso específico deste trabalho, foi necessário definir a quantidade de calor presente em cada um dos sistemas. Vale lembrar que todos os processos de conversão de energia são regidos por duas leis básicas da Termodinâmica, que são a Lei da Conservação de Energia (Primeira Lei da Termodinâmica) e a Lei da Dissipação de Energia (Segunda Lei da Termodinâmica). A primeira diz que as somas dos fluxos energéticos de entrada e saída devem ser iguais. Essa lei permite efetuar balanços energéticos, determinar perdas e consumos de energia. Já a segunda lei citada diz que todos os processos de conversão de energia possuem perdas inevitáveis de energia.

Para corpos que estejam apenas mudando de temperatura, a quantidade de calor sensível cedida ou recebida pode ser expressa pela equação:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (1)$$

onde:

Q = quantidade de calor recebida ou fornecida pelo corpo em calorias

m = massa do corpo em gramas

c = calor específico em kcal / g°C

ΔT = variação de temperatura do corpo em graus Celsius

A Equação 1 permite que seja estimada a quantidade de energia disponível na fonte de calor, a partir de uma variação de temperatura e também a quantidade de energia que deverá ser repassada ao sistema que necessita de calor. Em uma primeira análise, evidenciava-se a não possibilidade de aquecer mais de 6.000 litros de água de 18°C a 58°C retirando apenas 7°C do reservatório do líquido refrigerante.

Através de um estudo mais detalhado das quantidades de calor disponível e requisitado pelo sistema, pôde-se concluir que a energia existente no reservatório é mais do que suficiente para aquecer toda a água quente consumida. Após cálculo da quantidade de energia requerida para o aquecimento da água do vestiário, bem como a quantidade de energia disponível dentro do reservatório de filtragem do *coolant*, foi realizado um balanço energético do sistema. A bomba de calor retira uma determinada quantidade de calor do meio (que pode ser água, ar, etc.), adiciona uma pequena quantidade de energia consumida pelo compressor e a entrega no seu condensador.

A FIGURA 6 mostra que, apesar do reservatório de *coolant* dispor de 406,26 kWh de energia, a bomba de calor utilizará apenas 234,48 kWh, o que representa aproximadamente 58% do total de energia disponível. Com apenas 58,62 kWh de energia elétrica, a bomba de calor irá retirar 234,48 kWh/dia do *coolant* (meio) e irá entregar 293,10 kWh ao reservatório dos vestiários. Nota-se, portanto, que a maior parte da energia é retirada da fonte de calor.

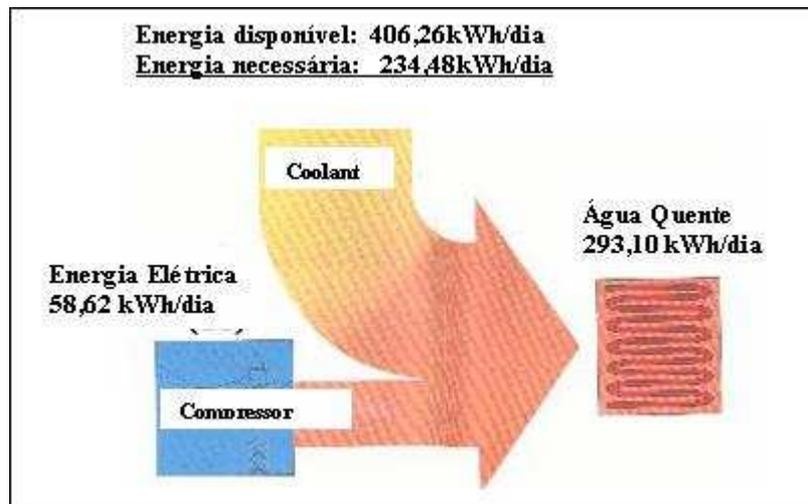


FIGURA 6 - Utilização de energia pela bomba de calor

A avaliação do desempenho da bomba de calor se faz determinando o coeficiente entre quantidade de calor fornecida pela máquina à fonte quente (reservatório dos vestiários) e o trabalho líquido fornecido à bomba de calor (potência do motor), e é chamado de *COP - Coeficiente de Performance*.

$$COP = \frac{Q_H}{W_{ciclo}} \quad (2)$$

$$COP = \frac{293,10}{58,62} = 5$$

onde:

COP = coeficiente de performance

Q_H = calor fornecido pela bomba de calor

W_{ciclo} = trabalho fornecido para o ciclo no tempo

É o coeficiente de performance da bomba de calor que vai medir o ganho energético do sistema, pois ele representa o quanto a bomba de calor irá multiplicar a energia utilizada para realizar trabalho, que no caso é a energia elétrica, para entregá-la na forma de calor. Se o COP for igual à 5 (cinco), por exemplo, significa que das 5 (cinco) partes de energia entregues no condensador, 1 (uma) parte vem da energia consumida pelo compressor e 4 (quatro) vêm da fonte de calor (ambiente).

3.0 - RESULTADOS

Mesmo ainda não atingindo a refrigeração ideal para o *coolant*, apenas com o aquecimento da água dos vestiários, a instalação de uma bomba de calor trouxe ganhos tanto ao processo produtivo como para o sistema de aquecimento de água (Figura 7). Acarretando na diminuição da reposição do produto, pois a evaporação é menor, e diminuindo o desgaste das ferramentas. Além disso, apresentou um grande ganho ambiental, pois foi evitado emissões de CO₂ no meio ambiente.



FIGURA 7 – No segundo plano, a bomba de calor instalada

Para que ocorresse a variação desejada na temperatura do *coolant*, seria necessário o consumo de uma quantidade muito maior de água quente, fornecendo-a a outras áreas da fábrica que possuísem uma necessidade térmica, e que inclusive, atualmente, utilizam outros meios de aquecimento, mais poluentes, certamente. Assim, mais calor seria retirado do *coolant*, podendo o sistema chegar a atender as duas necessidades por completo.

Para os vestiários, os ganhos foram ainda maiores, visto que a energia que era dissipada é agora reaproveitada, evitando a queima de um combustível fóssil, o GLP. Como já foi apresentado no trabalho, o grande ganho do sistema de aquecimento da água dos vestiários foi que o sistema anterior foi substituído por uma tecnologia limpa, eficiente e sem chamas. Sem contar que toda a emissão de dióxido de carbono foi extinta do sistema.

Portanto, analisando o trabalho quantitativamente, verificou-se:

- **redução das emissões de CO₂** , estimada em mais de 53 toneladas por ano, atendendo os objetivos da Volvo *Environmental Challenge*, um dos programas da política ambiental da Volvo;
- **economia de 18,9 ton de GLP/ ano**, aproximadamente R\$ 35.000,00;
- **redução da temperatura do *coolant***;
- **menor desgaste das ferramentas**;
- **menos perdas do *coolant* por evaporação**;
- **retorno do investimento em menos de 2,5**.

Além disso, a análise qualitativa permitiu:

- **oportunidade** de participar de um projeto piloto na área de utilização de bombas de calor no meio industrial, incentivando uma tecnologia limpa e sem chamas;
- redução do consumo de um combustível fóssil, caracterizando a **utilização da energia de forma sustentável**;
- **reaproveitamento de energia**;

- o processo de refrigeração, lubrificação e arraste de cavaco poderá trabalhar em **condições mais próximas da condição ideal**;

Se analisado o contexto do estudo, verificou-se que sua característica o tornou um projeto estratégico, visando ganhos em longo prazo com a economia de energia e colaborando com a preservação do meio ambiente.

4.0 - CONCLUSÃO

É evidente a necessidade de uma melhor utilização da energia, pois após as análises realizadas descobriu-se que o sistema apresentava muito mais desperdício do que se imaginava, por isso já está em fase de conclusão, a ampliação do sistema, que deverá fornecer água quente a uma lavanderia, que está sendo montada na Volvo, garantindo assim um maior combate ao desperdício de energia, aproveitando-a o máximo possível.

Analisando essas questões globalmente, é natural que as indústrias se obriguem a buscar planejamentos energéticos e a inserir novas tecnologias que assegurem o uso eficiente das várias formas de energia, pois elas dependem da energia para se desenvolverem.

Quanto mais houver a busca por ações onde a tecnologia propõe soluções ambientalmente corretas, maior será o incentivo a projetos que visam atender estes objetivos, principalmente se forem inovadores. E esse tipo de trabalho sempre será um estudo multidisciplinar, onde todas as formas de tecnologias e de conhecimentos possam se unir e criar soluções necessárias e sustentáveis no meio atual.

A elaboração deste estudo trouxe inúmeros ganhos, pois houve a preocupação com um problema global, que é a preservação do meio ambiente, a descoberta e utilização de novas fontes de energia e a utilização correta e sustentável dos recursos naturais. Assim, une-se o conceito de tecnologia e modernização aliadas à preocupação ambiental, econômica e social.

A Volvo do Brasil, considerada uma empresa amiga do meio ambiente, vem incentivando cada vez mais os projetos de eficiência energética, livres de desperdício e ambientalmente corretos. A bomba de calor da qual foram retirados os valores de catálogo é o modelo SW-170, fornecedor ALPHA-INNOTEC, da Alemanha. No Brasil, o representante exclusivo deste equipamento é a empresa Thermacqua Tecnologia em Aquecimento Ltda., de Curitiba – PR, que forneceu a bomba de calor a Volvo do Brasil.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ALPHA-INNOTEC SW-170 - *Instruction Manual Device Information* – 2004. Catálogo técnico.
- (2) IEA - International Energy Agency. - *Heat Pump Centre* (Centro de Informações e tecnologias de Bomba de Calor) Disponível em: <http://www.heatpumpcentre.org/> Acesso em: 20 de setembro 2005.
- (3) MORAN, Michael; SHAPIRO, Howard. *Princípios de Termodinâmica para Engenharia* 4º. ed. LTC (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.): Rio de Janeiro, 2002. 681 p.
- (4) NOGUEIRA, Luis Augusto Horta. *Conservação de Energia. (Energia: Conceitos e Fundamentos)* ELETROBRÁS/PROCEL. 3ª Edição. ed. EFEI: Itajubá, 2001. 467p.
- (5) THERMACQUA. Tecnologia em Aquecimento Ltda.. Disponível em: < <http://www.thermacqua.com.br> > Acesso em: 30 de abril de 2006.
- (6) VOLVO GROUP. *Política Ambiental Volvo do Brasil. DOC 101114. Manual da Gestão Ambiental. Seção 2. Volvo Environmental Challenge.*