



**Universidade Federal de Santa Maria – UFSM**  
**Educação a Distância da UFSM – EAD**  
**Universidade Aberta do Brasil – UAB**

**Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos  
Processos Produtivos**

**Polo: Novo Hamburgo**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE  
SISTEMAS DE AQUECIMENTO TÉRMICO E ELÉTRICO PARA VASOS  
E TUBULAÇÕES EM AMBIENTES INDUSTRIAIS**

PELLISER, Michel Andre<sup>1</sup>

HOFFMANN, Ronaldo<sup>2</sup>

MAYER, Flávio Dias<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Engenheiro Químico. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

<sup>2</sup> Dr. Engenheiro Químico. Professor Orientador. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

<sup>3</sup> Dr. Engenheiro Químico. Professor Coorientador. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

## **RESUMO**

O tema da eficiência energética está cada dia mais popular no Brasil, entretanto as iniciativas tem se mostrado tímidas, quando observa-se as poucas atitudes pró ativas do setor industrial, sendo que este é o setor líder no consumo de energia no país. Em vista disso, este trabalho apresenta duas propostas aplicáveis no meio industrial para aquecimento de tubulações e vasos, as propostas comparam as tecnologias de aquecimento a vapor versus aquecimento elétrico. Com vistas para a eficiência energética dos processos é importante avaliar as aplicações do ponto de vista econômico, técnico (praticidade e operacionalidade) e ambiental. A metodologia adotada para a comparação dos sistemas, inclui um estudo preliminar, através do referencial teórico, em seguida, utilizando um estudo de caso, verifica-se os principais parâmetros de comparação estabelecidos e conclui-se apresentando os prós e contras de cada tecnologia tendo a melhor aplicação para cada caso.

Palavras chave: Eficiência Energética; Processos térmicos; Traço Elétrico; Traço de vapor.

## **ABSTRACT**

The issue of energy efficiency is becoming more popular day in Brazil, however the initiatives has proved timid, when we observe the few pro active attitudes of the industrial sector, and this is the leading sector in energy consumption in the country. As a result, this paper presents two proposals applicable in industry for heating pipes and vessels, the proposals compare the steam heating technologies versus electric heating. Overlooking the energy efficiency of processes is important to evaluate the applications from the economic point of view, technical (practicality and operability) and environmental. The methodology used for the comparison of systems, includes a preliminary study by the theoretical framework, then, using a case study, the main established comparison parameters is verified and it is concluded presenting the pros and cons of each technology taking the best application for each case.

Keywords: Energy Efficiency; Thermal processes; Electric trace; Steam trace.

## **1. INTRODUÇÃO**

Conforme Nogueira et al (2005), a eficiência energética de um sistema, de maneira geral, indica o quanto um equipamento real aproxima-se de um comportamento ideal, no qual não existem perdas. Como perdas sempre significam maiores custos, busca-se constantemente minimizar estes valores de energia perdida procurando-se trabalhar com equipamentos de alto rendimento e manter a eficiência em um nível máximo. Desta maneira, a determinação do valor da eficiência é de relevante importância.

Seja na utilização de motores elétricos com alta eficiência, queima de combustíveis fósseis ou renováveis, ou utilização de madeira proveniente de reflorestamento, o assunto eficiência energética está cada dia mais em pauta. Por exemplo, o crescimento do uso da energia fotovoltaica em substituição a energia elétrica deu mais um passo importante este mês de outubro de 2014 com a realização do primeiro leilão de energia fotovoltaica, serão comercializados de 800MWh/ano. A utilização da energia fotovoltaica é pouco representativa no Brasil, porém com estas iniciativas espera-se que haja um crescimento.

Com vistas para o tema da eficiência energética, o presente projeto discute a implantação de sistemas de aquecimento de tubulações e vasos visando as melhores práticas elencadas pela abordagem da eficiência energética. A constante reavaliação de processos e tecnologias traz, em primeiro lugar, um impacto considerável na competitividade da empresa, além de ser benéfica para a melhora dos custos de produção, emissões de gases e redução de impactos ambientais.

## **2. REFERENCIAL TÉORICO**

O Brasil passa por uma expansão acentuada do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, este índice carrega aspectos negativos. Um dos problemas é a possibilidade dos recursos que são utilizados para produção de energia se esgotarem, bem como, o impacto acarretado ao meio ambiente e por fim, os elevados investimentos exigidos na pesquisa de novas fontes de energia renováveis e construção de novas usinas.

De maneira direta, a eficiência energética vem ao encontro dessa demanda de gestão da energia, pois, está comprometida com a redução do consumo tanto em

residências como em indústrias. O Brasil tem elaborado ações para estimular a economia de forma efetiva e sistemática desde 1985, quando o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), de âmbito nacional e coordenado pela Eletrobrás.

O conceito de ser energeticamente eficiente nada mais é do que conseguir os melhores resultados na relação entre a qualidade de energia consumida, por determinado equipamento ou aparelho e quantidade de energia efetivamente utilizada por ele para realizar a tarefa a que se propõe (WEG, 2008). Este conceito pode ser estendido para edificações e processos. De maneira mais ampla, o impacto é realmente efetivo quanto empresas buscam a eficiência energética por meio de adoção de tecnologias que otimizem o uso da energia. Da mesma maneira, quando as pessoas se conscientizam e assumem a causa em prol da eficiência energética conseguimos unir equipamentos novos e eficientes com cultura de ligá-lo somente quando necessário.

O relatório do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) mostra que o Brasil pode economizar investimentos de U\$\$ 21,5 bilhões em geração de energia elétrica, aplicando apenas um terço disso em eficiência energética até 2018 (WEG, 2008).

Um caso simples e presente no dia a dia de todos é o chuveiro, segundo estimativa do Procel, calcula-se que ele gasta 6,2 a 8,7% do total da energia produzida no Brasil. Apesar de 77% da energia elétrica gerada no Brasil, ser proveniente de usinas hidroelétricas que são consideradas uma fonte de energia limpa, de acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE) do Ministério de Minas e Energia, deve-se levar em consideração que a implantação de novas usinas hidroelétricas traz impactos e grandes prejuízos para o meio ambiente, mesmo ela tendo um menor custo do que a energia proveniente do carvão e gás.

Panesi (2006, p.29) define muito bem eficiência energética quando fala dela como sendo uma atividade técnico-econômica que objetiva, proporcionar o melhor consumo de energia e água, com redução de custos operacionais correlatos, tendo como objetivo a redução dos custos de consumo de água ou energia de uma empresa ou empreendimento, mantendo-se os níveis de produção e de qualidade dos produtos.

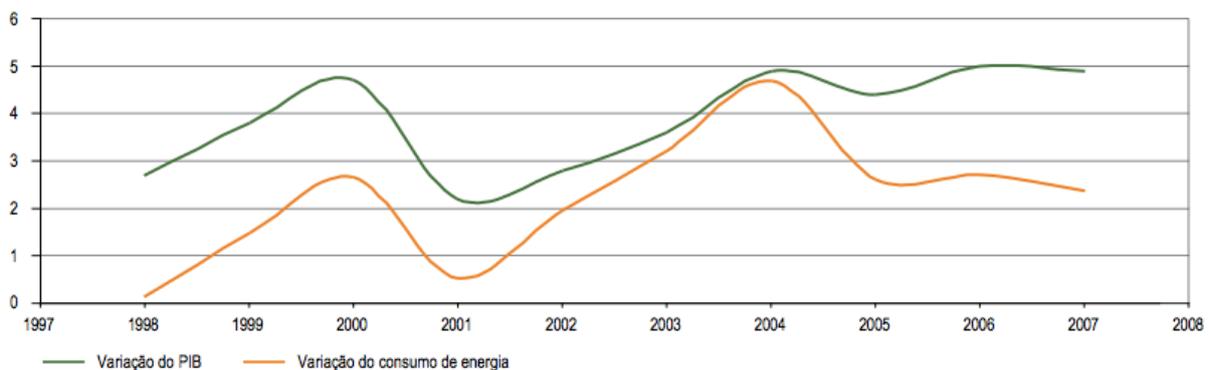
Porém, alguns fatores como por exemplo: a falta de pessoal capacitado para implementar programas de eficiência energética, a falta de normalização de alguns

segmentos, preços de equipamentos mais eficientes se apresentarem mais caros, tornam-se entraves na implementação efetiva de programas de eficiência energética. Segundo Panesi (2006, p.30) muitas empresas querem o retorno do investimentos em 6 a 8 meses, o que normalmente não ocorre, tornando os financiamentos cada vez mais caros e escassos.

Os efeitos positivos da implantação de um programa de eficiência energética trazem inúmeros benefícios, tais como, geração de empregos, aumento da produtividade e competitividade nas empresas, impactos positivos na economia e macroeconomia, diminui emissões e impacto ao meio ambiente, aumento da consciência contra o desperdício, melhoria em processos e equipamentos, diminuí o consumo a ponta (horário de maior consumo de energia durante o dia) do sistema para a concessionária, (PANESI, 2006 p.31).

Tanto é importante o assunto da eficiência energética e a economia de um país que podemos observar de maneira direta através do Gráfico 2.1, que o desenvolvimento econômico anda lado a lado com o consumo de energia elétrica. O gráfico mostra o reflexo da variação do PIB, por exemplo, entre os anos de 2003 e 2007 quando a economia estava em franca expansão, com isso podemos observar que no Key World Energy Statistics, da International Energy Agency (IEA), publicado em 2008, tem-se, entre os anos de 1973 e 2006, um aumento de 73% no consumo de energia ao passar de 4.672 milhões de tep para 8.084 milhões de tep.

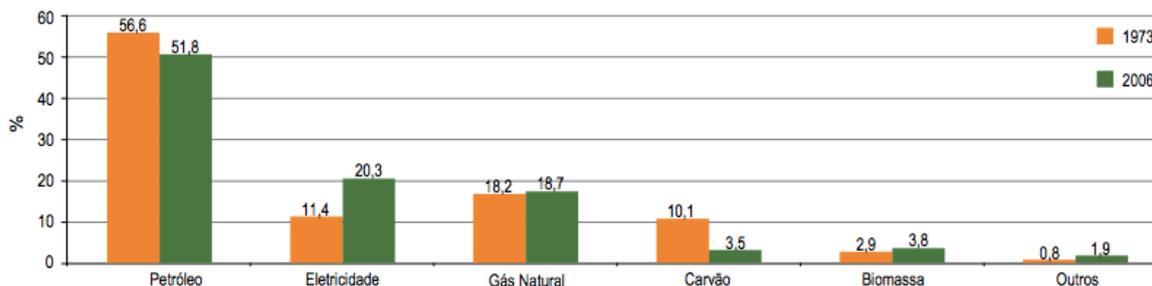
Gráfico 2.1: Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998 - 2007).



Fonte: IPEA, BP (2008).

De maneira mais abrangente podemos observar que até o ano de 2006 a participação de outras fontes de energia apresentou uma sinificativa variação, onde podemos ver a biomassa sair de 2,9% para 3,8% no período e o grupo “Outras Fontes”, de 0,8% para 1,9%, como mostra o Gráfico 2.2 a seguir.

Gráfico 2.2: Participação das diversas fontes de energia no consumo (1973 - 2006).



Fonte: IPEA, BP (2008).

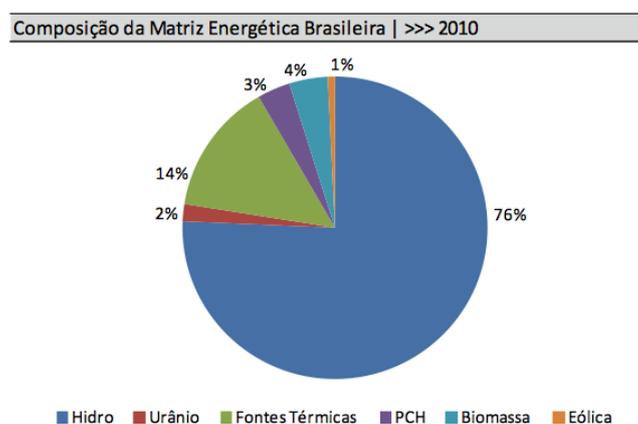
O Brasil tem diversificado e intensificado o incentivo e a implantação de fonte de obtenção de energia renovável, com a instalação de parques de energia eólica desde o sul até o norte do Brasil, usinas de energia solar, intensificação e eficiência no uso da biomassa, dentre outras. Atualmente as perspectivas de crescimento do uso da energia renovável no Brasil são muito positivas, podemos observar na tabela e nos gráficos que seguem:

Tabela 2.1 - Composição da matriz energética

Fontes   Composição da Matriz Energética em MW	2010	2015	2020
Hidro	82.939	94.053	115.123
Urânio	2.007	2.007	3.412
Fontes Térmicas	15.499	25.461	25.461
PCH	3.806	4.957	6.447
Biomassa	4.496	7.353	9.163
Eólica	831	7.022	11.532
<b>Total</b>	<b>109.578</b>	<b>140.853</b>	<b>171.138</b>
Crescimento (%)		28,5%	21,5%
<b>Total Renováveis</b>	<b>9.133</b>	<b>19.332</b>	<b>27.142</b>
Crescimento (%)		111,7%	40,4%

Fonte: EPE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2020.

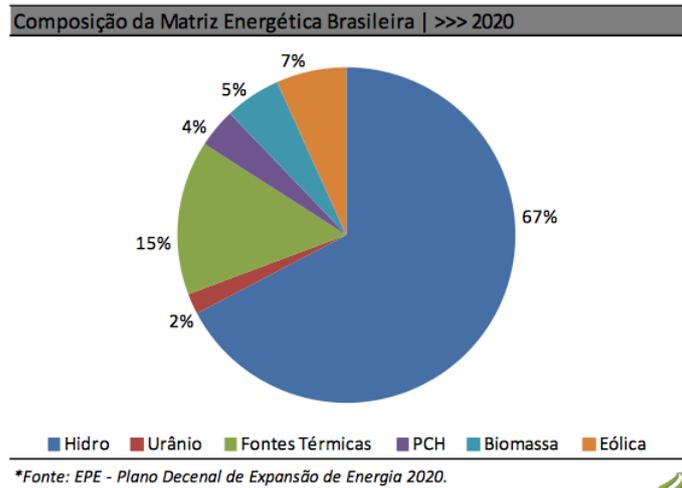
Gráfico 2.3: Composição da Matriz Energética Brasileira (2010).



\*Fonte: EPE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2020.

Fonte: EPE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2020.

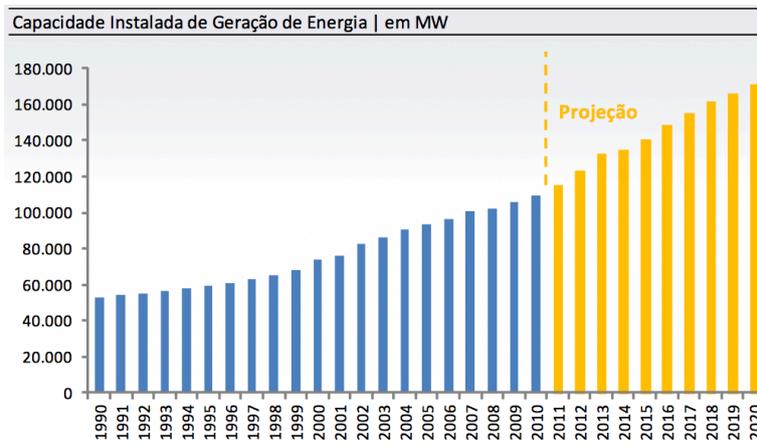
Gráfico 2.4: Composição da Matriz Energética Brasileira (2020).



Fonte: EPE - Plano Decenal de Expansão de Energia 2020.

Segundo projeções da Empresa de Pesquisa Energética, o total da capacidade instalada ainda expandirá mais de 50% até 2020, sendo o grande responsável por esse aumento as fontes hídricas, seguido pelas fontes alternativas.

Gráfico 2.5: Capacidade Instalada de Geração de Energia.



Segundo Januzzi e Swisher (1975), as fontes de energia podem ser classificadas como fontes primárias, quando originada de processos naturais, ou seja, que não sofreram nenhum tipo de transformação e as fontes secundária que normalmente são provenientes da transformação das fontes primárias, como por exemplo, eletricidade ou gasolina.

Silva (2001) e Lellis (2007), apontam as oito principais fontes primarias que são utilizadas para produzir energia útil através de diferentes processos:

- a) combustíveis fósseis;
- b) elementos radioativos (energia nuclear);
- c) recursos hídricos (energia hidráulica);

- d) ventos (energia eólica);
- e) radiação solar;
- f) biomassa (florestas e culturas energéticas, resíduos de biomassa);
- g) geotérmicas (magma, lavas, gêiseres);
- h) oceanos (energia de marés).

Outra definição quando trata-se de fontes de energia é o conceito de energia não-renovável, quando se utilizam como matéria prima elementos que irão se esgotar na natureza. Em contra ponto entende-se por energia renovável quando a fonte de matéria prima utilizada puder ser reposta na natureza (SILVA, 2001; LELLIS, 2007).

Quando tratar da matriz energética brasileira, mais especificamente a energia final que movimenta a indústria, o transporte, o comércio e outros setores do país, devemos nos lembrar que para essa energia chegar ao local de consumo é necessário que seja transportada por gasodutos, linhas de transmissão, rodovias, ferrovias, entre outros, tais processos demandam perda de energia. Visto também que a energia extraída da natureza não se encontra na forma mais adequada para o uso, passando, na maioria dos casos, por processos de transformações. Esses processos também demandam perda de energia.

No final da cadeia o lado da balança que deve estar mais pesado é a Oferta Interna de Energia – OIE, que é o Balanço Energético Nacional, mais especificamente a soma do consumo final de energia, das perdas na distribuição e armazenagem e das perdas nos processos de transformação - balanço energético (MME, 2007).

Segundo Januzzi e Swisher (1997), o nome “balanço” se refere ao fato de a quantidade de energia primária produzida ser necessariamente igual à quantidade consumida, depois de contabilizada por mudanças nos estoques, importações, exportações e o valor usado para conversão em produtos de energia secundária, incluindo as perdas.

A partir do cálculo do incremento do PIB anual estima-se, no curto prazo, segundo a Empresa de Pesquisa Energética, que o consumo de energia elétrica no país vai crescer em média 5,5% ao ano até 2017.

De maneira prática, como é o foco do presente trabalho, para avaliar a eficiência energética aplicada a um processo industrial demanda o entendimento de alguns conceitos básicos, para se obter uma visão ampla e favorável dos benefícios

de cada um dos sistemas, para tanto o apêndice A apresenta alguns conceitos, tais como: conceitos da termodinâmica, calor e temperatura, poder calorífico, mecanismos de transferência de calor, combustíveis (sólido, líquidos e gasosos), sistemas de geração de vapor (caldeiras aquatubulares e caldeiras flamotubulares), poluição do ar e isolamento térmico.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um estudo de eficiência energética aplicada a um ambiente industrial de forma a detalhar e comparar os sistemas utilizados para o aquecimento de tubulações e tanques.

A indústria em questão é uma planta de Destilação de glicerina onde a grande maioria dos processos são térmicos, necessitando temperaturas de aquecimento específicas para cada etapa do processo.

#### **3.2 Objetivo específico**

O estudo objetivou analisar inicialmente duas tecnologias aplicadas no aquecimento externo de tubulações e tanques de forma a esclarecer os conceitos físicos vinculados ao processo. Para tanto fez-se necessário:

- Verificar o comportamento das duas tecnologias com relação ao controle da temperatura;
- Verificar a segurança na utilização de cada uma delas;
- Verificar o investimento necessário para instalação e manutenção dos sistemas;
- Verificar praticidade na instalação e manutenção.

### **4. METODOLOGIA**

Este estudo utilizou como base documental, além do material bibliográfico, um

estudo de caso baseado em uma planta de produção de Glicerina Destilada<sup>4</sup> com capacidade de 100t/dia de produção, o ambiente é ideal para o estudo pois mais de 90% dos processos dependem de aquecimento, seja em vasos ou tubulações.

O método de avaliação para levantamento de dados, realização de análises e determinação de parâmetros para identificar os prós e os contras da utilização do traço a vapor ou do traço elétrico para aquecimento de tubulações e tanques deve seguir uma ordem lógica.

Passo 1: O primeiro fator a ser levado em consideração é a questão da aplicação da fonte de energia disponível. Por exemplo, pode-se utilizar o calor direto fornecido pelo fogo que aquece uma superfície a ser trabalhada como é o caso de fornos de tratamento para aquecimento de metal. Outro exemplo que se aproxima mais da realidade do trabalho em questão é a utilização do vapor gerado em uma caldeira para o aquecimento direto e indireto em processos produtivos.

Passo 2: Após estudadas e entendidas as opções que se tem de aplicabilidade das fontes de energia disponíveis, deve-se observar as características do produto a ser aquecido e a sua compatibilidade com as opções de energia levantadas.

Passo 3: É neste ponto que se avaliam os pré requisitos de controle e monitoração do processo, pois o traceamento normalmente tem capacidade maior de fornecer calor do que o necessário durante a maior parte do tempo de funcionamento.

Passo 4: São considerados os custos envolvidos na aquisição, instalação, de maneira direta e indireta, e os custos de operação e manutenção dos sistemas.

Outros fatores importantes, também muito importantes são: questão de segurança, classificação de área e condições ambientais. Por fim, estão expostos os resultados obtidos pela análise realizada de acordo com a metodologia estabelecida.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados referentes a

---

<sup>4</sup> Glicerina Destilada - 1, 2, 3 Propanotriol ou glicerol, é um líquido incolor com 99,9% de glicerol que é aplicada como matéria prima para produção de cosméticos, higiene pessoal e produtos farmacêuticos.

aplicação do traço elétrico e do traço de vapor no aquecimento de tubulações e tanques.

### 5.1 Descrição do ambiente industrial

A planta de produção de Glicerina Destilada em questão tem capacidade produtiva de 100 t/dia. O processo começa no pré-tratamento com a entrada de glicerina crua no sistema, sendo ela um subproduto do processo de produção do biodiesel, proveniente da caixa de decantação que separa glicerina dos ácidos graxos. A primeira etapa da Planta de Produção de Glicerina são os tanques do pré-tratamento, responsáveis pela separação e retirada de ácidos graxos que possam ter sido arrastados do processo anterior. Esta separação é realizada em tanques de fibra sem aquecimento com a ação de ácidos e bases considerando a diferença de densidade dos líquidos em questão.

Posteriormente a glicerina é bombeada em processo contínuo para um evaporador principal que trabalha com temperaturas de até 174°C, a partir da injeção de vapor direto e trocadores de calor (tipo casco tubo e placas). Este evaporador é composto por uma série de pratos de condensação que, no processo de destilação fracionada e recirculação, separam diferentes produtos em diferentes níveis do evaporador. A glicerina de boa qualidade obtida do evaporador principal segue o fluxo para um equipamento chamado desodorizador que funciona como um stripper, responsável pela eliminação de restos de materiais odoríferos e umidade da glicerina, este equipamento trabalha em um regime de aquecimento também por injeção de vapor direto e trocador de calor casco tubo com vapor indireto.

A temperatura é reduzida e a glicerina desodorizada é então branqueada nas colunas de clareamento com carvão ativado para remover restos de materiais odoríferos e corpos coloridos. Normalmente, a glicerina passa através de duas colunas em série com uma terceira coluna no modo de espera.

Por fim a glicerina passa através de um filtro de polimento (tipo cartucho 0,5 micra), para remover as partículas finas, a seguir é resfriada e enviada para estocagem. O armazenamento é realizado em tanques inertizados com nitrogênio e construídos em aço inoxidável.

Por ser basicamente um processo de aquecimento e destilação fracionada, acaba por concentrar um produto mais denso e as vezes pastoso no fundo da

coluna de fracionamento, desta maneira, é extremamente importante que a temperatura do fluido não diminua, com riscos de entupimento de tubulações, válvulas, medidores de vazão e danos nos rotores das bombas. A planta tem como procedimento padrão sempre que houver uma parada de mais de 6 horas drenar o evaporador principal e as tubulações adjacentes para evitar polimerização no caso de permanecer o aquecimento e evitar o entupimento no caso de cessar o aquecimento.

Desta maneira o aquecimento permanente e controlado de tanques e tubulações se torna imprescindível sendo que cada ponto, em muitos casos, necessitam de temperaturas diferentes como o caso apresentado na Figura 5.1 de uma Plata de Destilação de Glicerina.

Figura 5.1 – Mostrou a planta de Destilação de Glicerina, localizada na cidade de Rosário na Argentina, visitada durante sua montagem e start-up.



Fonte: Estudo de caso.

## 5.2A utilização do aquecimento elétrico

Também chamado de traço elétrico resistivo, a aplicação deste método para aquecimento de tubulações e vasos tem crescido no meio industrial por sua confiabilidade e desempenho. Quando a instalação segue os padrões estabelecidos pelo fabricante e é bem executada com materiais de boa qualidade deve garantir, no mínimo, 20 anos de vida útil em operação normal.

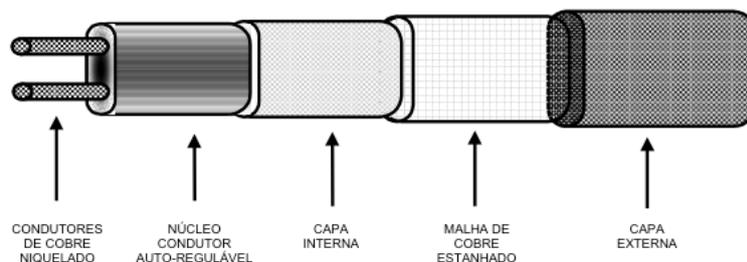
O sistema de aquecimento por traço elétrico resistivo inclui materiais e componentes, tais como: cabos elétricos aquecedores, sensores de temperatura, controladores de temperaturas, contadores, disjuntores, invólucros, caixas de junção, caixas de derivação, caixas de emendas, eletrodutos, bandejas, cabos de alimentação, cabos de controle, transformadores de distribuição, painéis de controle e todos os demais equipamentos e componentes auxiliares e materiais necessários para a completa instalação do sistema (Petrobras N-2641, 2012).

Os cabos de aquecimento se dividem basicamente em 3 modelos diferentes com o seguinte funcionamento:

### 5.2.1 Cabos de aquecimento auto-reguláveis

Os cabos de aquecimento auto-reguláveis apresentam na sua configuração, no mínimo, condutores de cobre níquelado, núcleo condutor polimérico auto-regulável, capa interna (malha de cobre estanhado para aterramento) e capa externa conforme é mostrado na Figura 5.2.

Figura 5.2: Esquema de montagem do cabo de aquecimento auto-regulável



Fonte: Esquema de cabo de aquecimento auto regulável (Petrobrás N-2641, 2012).

Como o próprio nome diz, o cabo de aquecimento auto regulável controla sua própria potência de saída sendo adequado para tubulações e tanques que não variam a temperatura e também para materiais plásticos.

A capa interna, malha de cobre estanhado e a capa externa permitem que o cabo seja revestido por material isolante sem que ocorra pontos de superaquecimento e perigo de queima.

### 5.2.2 Cabos de aquecimento com isolamento mineral (tipo MI)

Neste caso os condutores resistivos são construídos com um revestimento em óxido de magnésio, capa externa em cobre para temperaturas de até 200 °C, ou capa externa de níquel para temperaturas de até 650 °C.

A desvantagem na aplicação deste modelo é que o cabo deve ser adquirido com a metragem correta de fábrica com as conexões e juntas instaladas e prontas para o encaixe conforme ilustrado na Figura 5.3.

Figura 5.3: Esquema de montagem do cabo de aquecimento com isolamento mineral (MI).



Fonte: Esquema para cabo de aquecimento com isolamento mineral (Petrobrás N-2641, 2012).

### 5.2.3 Cabos de aquecimento paralelos com potência constante

A principal característica deste modelo é o fornecimento de potência constante ao longo do seu comprimento, independente da variação da temperatura ambiente, para que isso ocorra ele deve ser fabricado com ligas de níquel-cromo. Além da potência constante outra vantagem deste modelo é a possibilidade de ser cortado em qualquer ponto no comprimento necessário para a montagem e ligação ao circuito alimentador.

### 5.2.4 Desempenho e confiabilidade

Conforme afirmado inicialmente, espera-se um mínimo de 20 anos de vida útil de operação normal com o aquecimento contínuo nas condições especificadas. De forma mais específica o cabo deve ser capaz de fornecer 75% da potência nominal depois de 20 anos e operação, ser capaz de fornecer pelo menos 90% da potência nominal depois de 1000 horas em operação e oferecer uma taxa de energia contínua na máxima temperatura de exposição informada.

As características do traço elétrico possibilita a aplicação em uma gama de setores, tais como: Indústrias químicas, alimentícias, mineradoras, convertedores, papel & celulose, plataformas de petróleo, plantas de biodiesel, sistemas submarinos de tubulação, etc.

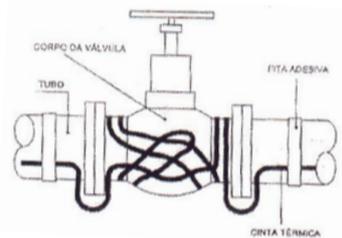
### 5.2.5 Vantagens e desvantagens na utilização do traço elétrico

A utilização do traço elétrico tem sido usada a longa data principalmente em

indústrias que trabalham em locais de baixa temperatura com produtos viscosos ou com ponto de congelamento muito baixo, por exemplo, sebo de animais, chocolate, glicerina, etc.

Uma das vantagens observáveis do traço elétrico é a sua maleabilidade durante a montagem que está demonstrada na Figura 5.4.

Figura 5.4: Detalhe da instalação do traço elétrico em torno de uma válvula.



Fonte: Esquema para cabo de aquecimento com isolamento mineral (Petrobrás N-2641, 2012).

A instalação do traço elétrico permite a interrupção do cabeamento em qualquer ponto, por exemplo uma válvula, além de não haver a necessidade de interromper, permite-se o envolvimento traço no entorno da mesma, visto que em outros casos este ponto fica vulnerável ao resfriamento por impossibilidade de aquece-la. Outra vantagem importante é a possibilidade da aplicação ser estendida por longos trechos chegando a ser aplicado em grandes oleodutos no fundo do mar.

Do ponto de vista energético é importante salientar esse sistema tem um baixo desperdício pois a partir do momento que é necessário o aquecimento basta ligar e após um tempo caso queira desligar o sistema por não estar sendo utilizado, basta desliga-lo.

O sistema de controle de temperatura como o próprio nome já diz é auto-regulavel dispensando a supervisão permanente de operadores da planta. Em relação a questão do fornecimento do calor, o grande diferencial para o sistema a vapor é a possibilidade da regulação do fornecimento de calor através das resistências controladas pelos sistemas de termostatos, sistema auto-regulado, controle de “line-sensing”, e controle (dead leg).

Segundo uma análise técnica a montagem do traço elétrico é extremamente simples e rápida. Os cabos ficam presos na tubulações e tanques com uma espécie de fita de nylon resistente a altas temperaturas. Outro fator importante relacionado a montagem é a facilidade da instalação dos isolamentos térmicos pois o traço ocupa um espaço muito pequeno em relação aos tubos de aço-carbono.

Segundo estudo realizado por uma indústria química dos EUA encomendado

pela IEEE, o traceamento elétrico tem um custo de instalação de U\$\$ 166,43/m, e um custo anual de operação de U\$\$ 4,69/m.

O um estudo de caso realizado no estado do Rio Grande do sul, traz o levantamento financeiro e análise do projeto em uma Planta de Glicerina Destilada e apresentou os resultados destacados abaixo.

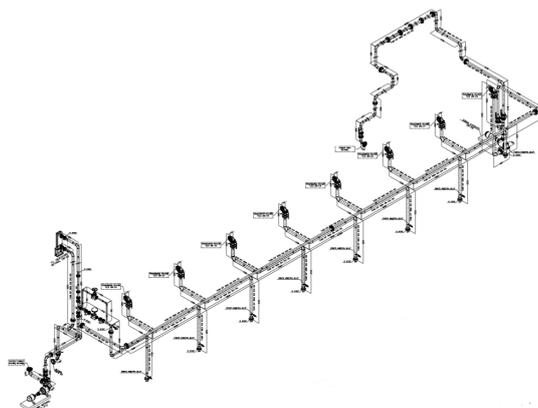
Levando em consideração as linhas montadas com tubulação de aço inoxidável 316 SCH10S  $\varnothing 4''$  e em tubulações de aço inoxidável 316 SCH10S  $\varnothing 3''$  por uma extensão de 325m, realizou-se o levantamento dos seguintes dados:

- Dados técnicos do produto;
- Alimentação (Vac);
- Temperatura mínima, máxima e ambiente;
- Material da tubulação;
- Temperatura de manutenção;
- Isolamento térmico;
- Classificação da área.

Após a realização do levantamento das informações básicas, realizou-se os cálculos necessários e elaborou-se o escopo dos materiais e valores que compõem a proposta. Os principais itens a serem implementados na instalação são: traço elétrico regulável, kit para caixa de conexão, caixa de junção, silicone selante, abraçadeira, fita adesiva e termostato (20-110C, 16A, 250V, EEx).

O custo para implantação dos dispositivos incluindo material e mão de obra atinge um valor total de R\$ 54.230,31. A Figura 5.5 apresenta o isométrico do trecho de tubulação referente ao estudo de caso que pretende-se fornecer aquecimento:

Figura 5.5: Isométrico da instalação da linha a ser traceada.



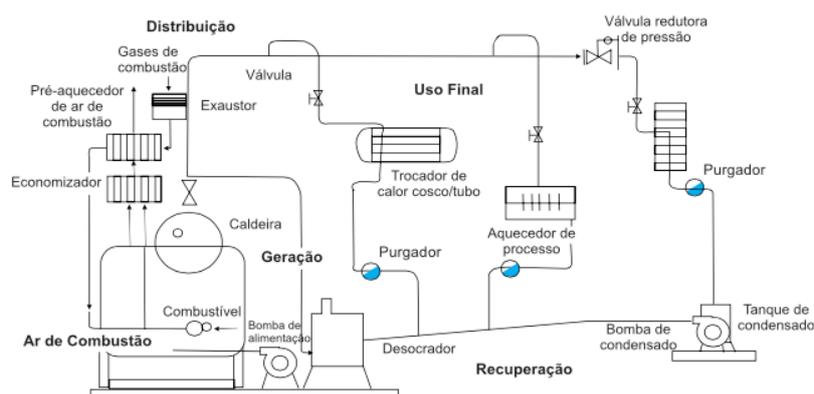
Fonte: Estudo de Caso.

### 5.3A utilização do aquecimento a vapor

O fornecimento de vapor em uma planta industrial é proveniente da caldeira que através da queima de um combustível, aquece e evapora a água transformando-a em vapor. As caldeiras de combustão utilizam um gama muito extensa de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, que são selecionados de acordo com a disponibilidade do combustível na região em questão e a escolha do combustível determinará algumas características da caldeira.

Logo abaixo na Figura 5.6 tem-se uma descrição esquemática das quatro áreas principais de um sistema de produção de vapor:

Figura 5.6: Descrição esquemática das quatro áreas de um sistema de vapor.



Fonte: (CORDEIRO, M. L. R. - ELETROBRAS/ PROCEL, Manual Prático – Eficiência Energética em Sistema de Vapor).

De acordo com CORDEIRO, de forma resumida as quatro áreas de um sistema de vapor são:

- **Sistemas de geração de vapor** - O vapor é gerado em uma caldeira pela transferência do calor dos gases quentes para a água. A transferência de calor é efetuada nas superfícies de troca térmica (geralmente um conjunto de tubos). Após a geração do vapor, o efeito da pressão faz o vapor fluir da caldeira para o sistema de distribuição;
- **Sistemas de distribuição de vapor** - A distribuição transporta o vapor da caldeira aos pontos de uso final, entregando quantidades suficientes de vapor nas pressões e temperaturas adequadas às aplicações de uso final.
- **Sistemas de uso final de vapor** - Os equipamentos mais comuns de sistema de uso final de vapor são: trocadores de calor, turbinas, torres de fracionamento, tanques de reação química e traço de vapor para

aquecimento de tubulações e tanques.

- **Sistema de retorno de condensado** - O condensado é retornado inicialmente ao tanque coletor ou tanque de condensado localizado na caldeira. Do tanque coletor, o condensado é bombeado para o desaerador, o qual retira oxigênio e gases não-condensáveis, retornando para o interior da caldeira, para completar o ciclo.

O conhecimento do balanço energético característico deste sistema pode contribuir muito para a identificação das perdas que reduzem a eficiência do sistema e fornecem um ponto de partida para a identificação de oportunidades e de seleção e implementação de ações de melhorias da eficiência.

Para o estudo de caso da planta de produção de Glicerina Destilada a existência da caldeira para fornecimento de vapor é imprescindível, sendo assim a para a avaliação da instalação do traço elétrico ou traço a vapor fica ligada as tecnologia específicas, sem ter a preocupação de todo o sistema de geração de vapor ou fornecimento de energia que está por traz do processo.

O traço a vapor é instalado sem conexões roscadas, sempre com solda de topo tipo "TIG" ou solda de encaixe, se for necessário desmontar as linhas deve-se utilizar flanges a cada 6 ou 12 metros. Os diâmetros utilizados para os ramais de aquecimento deve ser de 3/8 para tubos de cobre, e 1/2" ou 3/4" para tubos de aço-carbono. Para tubulações de 4", por exemplo, o comprimento máximo é de 450m e de 6" é de 400m com o uso do traço elétrico, já para traço a vapor deve aplicar um sistema de purga nos pontos mais baixos e a cada 20 metros de tubo instalado.

A utilização de tubulações de cobre facilita a instalação por ser um metal flexível em relação ao aço-carbono. Quando existem flanges, válvulas ou instrumentos é necessário fazer o desvio moldando com a utilização de areia ou dobradeira, se a tubulação for de aço-carbono utilizam-se curvas de 90°.

Dentre as vantagens e desvantagens na utilização do traço a vapor destacam-se abaixo as mais importantes.

No estudo de caso em questão a caldeira movida a carvão fornece vapor a uma pressão média de 10 bar, sendo que normalmente para traço de vapor se utiliza 2 bar, o que leva a necessidade de instalação de estações redutoras de pressão e manifolds para a distribuição do vapor pelas diversas linhas. Apesar da empresa ter a sua disponibilidade vapor, devido aos demais processos que o demandam, a avaliação do combustível utilizado na geração do vapor faz parte dos apontamentos

para determinar a viabilidade econômica da utilização do vapor.

Em relação ao material e mão de obra o traço de vapor deixa muito a desejar pois a instalação é lenta e custosa. Ao mesmo tempo que a tubulação de cobre, mais onerosa, não necessita de soldas, as tubulações de aço carbono, relativamente mais baratas, necessitam ser soldadas e são necessários materiais como: flanges, curvas, estojos, porcas, tubos de aço carbono, material para solda, bancada, equipamentos e soldadores especializados.

Na questão da segurança e manutenção se tem um problema pois as juntas localizadas entre as flanges ressecam e acabam por estourar, além de demandar operadores para trabalhar no local, a caldeira tem que estar parada caso não exista válvula de bloqueio para que sejam realizadas as manutenções. Com o tempo outra questão que ocorre são os furos na tubulação que demandam o reparo com solda ou substituição da peça.

Segundo estudo realizado por uma indústria química dos EUA encomendado pela IEEE, o traçamento a vapor tem um custo de instalação de U\$\$ 238,52/m, e um custo anual de operação de U\$\$ 24,26/m.

O custo para aquisição, fabricação montagem das linhas de traço de vapor sem considerar custos com manutenção e custos com o vapor, no estudo de caso da planta de Destilação de Glicerina, atingem um valor de R\$ 62.460,12, para a instalação do sistema representado pela Figura 5.5.

## **6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

A matriz energética brasileira passa por um momento de transição e insegurança com uma necessidade presente de complementação da geração hídrica de energia através de outras fontes de energia. Pelo fato de o Brasil ser um país plural nas culturas de plantio, relevo e clima, vive-se realidades totalmente diferentes em cada ponto do território, alguns locais há abundância de biomassa, podendo optar por processos de geração de vapor e/ou energia elétrica que talvez não fosse possível em outra região pelo mesmo custo.

De maneira geral o aquecimento de tubulações e vasos é imprescindível, o isolamento térmico das tubulações deve ser cotado como parte fundamental de todo o projeto desde a sua concepção. Com vistas para o custo dos materiais e mão de obra tem-se uma variação por região. Porém, através dos dados apontados conclui-

se que é mais viável economicamente a aplicação do traço elétrico em instalações industriais, tanto pelo custo do material, custo da mão de obra e possibilidade de ter um maior controle sobre os parâmetros do processo.

A implantação do traço elétrico é a tecnologia que apresenta maior viabilidade econômica, com um total geral de R\$ 54.230,31 para o traço elétrico e R\$ 62.460,12 para o traço a vapor apresentando uma diferença de R\$ 8.229,81.

Além disso o traço de vapor acaba sendo mais oneroso pelo fato de o sistema ter um grande número de pequenas ramificações, necessitar a substituição das válvulas a cada 18 meses e a necessidade da instalação de mais do que uma tubulação na mesma linha para o atingimento do calor necessário.

O traço elétrico está deixando de ser uma novidade no Brasil e tem conquistado muitos setores da indústria Química e do Petróleo. A primeira vista não parece ser uma boa alternativa, vide a preocupação por uma crise energética que o Ministério de Minas de Energia tem apresentado, porém com a visão macro, desde custos com instalação, manutenção, material e operação, pode-se concluir que o método traz vantagens significativas para o setor.

Recomenda-se aprofundar o estudo e pesquisa, avaliando a viabilidade econômica da utilização do vapor para a produção de energia elétrica com a utilização de uma turbina, e a aplicação desta energia elétrica para alimentar os traços elétricos da planta de produção. Também faz-se necessário o aprofundamento no custo de manutenção e consumo de energia dos sistemas quando em plena operação.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRAVA, Lei Solar, Edição N: 261, Outubro 2008. ANDRÉ R. PANESI, **Fundamentos da Eficiência Energética**, São Paulo: 2006

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica** – disponível em [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br)

CONTEC – Comissão de Normalização Técnica - **Sistema de Aquecimento por Traço Elétrico Resistivo para Aplicações Industriais**, Petrobrás N-2641, 2012.

CORDEIRO, M. L. R. - ELETROBRAS/ PROCEL - **Manual Prático – Eficiência**

## **Energética em Sistema de Vapor.**

**ELEKTRO - Manuais Elektro de Eficiência Energética Segmento Industrial,**

**IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada** – disponível em [ipeadata.gov.br](http://ipeadata.gov.br); [http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par1\\_cap2.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap2.pdf)

**IEA - International Energy Agency** – disponível em [www.iea.org](http://www.iea.org)

**JANUZZI, M. D. G. e SWISHER, P. N. J. Planejamento integrado de recursos energéticos.** Editora: Autores associados ex: 2, São Paulo, 1975.

**SWISHER, J., G. M. JANNUZZI, R. REDINGLER. (1997) Tools and Methods for Integrated Resources Planning: improving energy efficiency and protecting the environment,** UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, Dinamarca.

**LELLIS, M. M. Fontes alternativas de energia elétrica no contexto da matriz energética brasileira: meio ambiente, mercado e aspectos jurídicos.** UNIFEI, Itajubá-MG, 2007. 134p. (Dissertação de pós-graduação).

**MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2007). Brasil. Empresa de Pesquisa Energética Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006.** Brasília. [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br) > Acesso em 15 de dezembro de 2008.

**ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico** – disponível em [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)

**NOGUEIRA, A. P. F.; MACENA, C. V.; OLIVEIRA, E. V. da; LIMA, F. S. de; BRITO, J. N. de; OLIVEIRA, L. G. de; COSTA, L. B.; CAVALCANTE, M. dos S.; FREIRE, N. P.; NASCIMENTO, P. P. G. do; ALBUQUERQUE, M. A. M. de. Projeto Integrado Monitoria do Curso de Geografia – UFPB: uma experiência de Estudo do Meio. X Encontro de Iniciação à Docência, 2005.**

**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981;**

SILVA, D. A. **Avaliação da eficiência energética em uma indústria de painéis compensado**. UFPR, Curitiba-PR, 2001. 205p. (Tese doutorado)

Telles, P.C.S.,1982, "**Tubulações Industriais**", Livros Técnicos e Científicos, R.Janeiro;

WEG, **Eficiência Energética**, edição N: 55, Novembro / Dezembro 2008. WEG, [www.weg.com.br](http://www.weg.com.br), acesso e, 04/07/2014.

## APÊNCIDE A

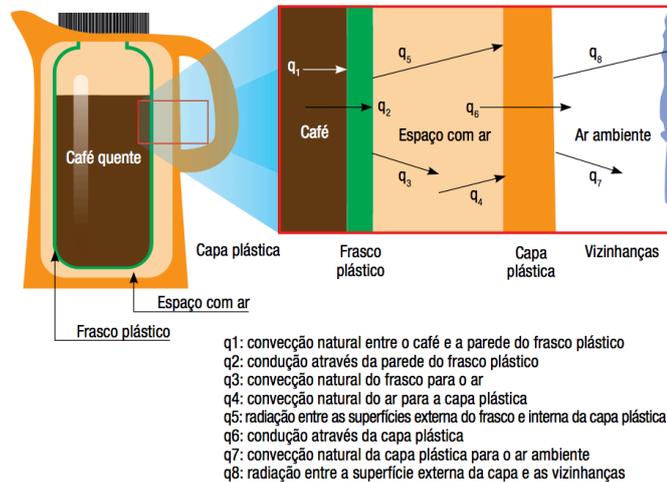
- a) Conceitos da termodinâmica: Termodinâmica é uma área da física que trata da relação entre o calor e as outras formas de energia. A energia pode ser transferida por meio de interações entre o sistema e sua vizinhança. Essas interações são denominadas calor;
- b) Calor e temperatura: temperatura é a grandeza física associada ao estado de movimento ou à agitação das partículas que compõem os corpos. Calor é definido como sendo energia térmica em trânsito e que flui de um corpo para outro em razão da diferença de temperatura existente entre eles;
  - i. Calor específico: consiste na quantidade de calor que é necessária fornecer à unidade de massa de uma substância para elevar a sua temperatura em um grau e se expressa em calorias por grama e por grau;
  - ii. Calor sensível: determina a quantidade de calor que uma unidade de massa precisa perder ou ganhar para que aconteça uma redução ou elevação de uma unidade de temperatura sem, contudo, alterar sua estrutura;
  - iii. Calor latente: é a grandeza física que determina a quantidade de calor que uma unidade de massa de determinada substância deve receber para mudar de estado físico mantendo a temperatura constante;
- c) Poder calorífico: é a quantidade de energia por unidade de massa (ou de volume no caso dos gases) liberada na combustão de um determinado combustível. Este pode ser classificado como superior ou inferior;
- d) Mecanismos de transferência de calor: como já foi visto, calor é definido como sendo energia térmica em trânsito, que flui de um corpo para outro em razão da diferença de temperatura existente entre eles. A seguir, algumas formas de transferência de calor:
  - i. Condução: transferência de energia de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato direto;
  - ii. Convecção: transferência de energia das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de condução de calor, devido às diferenças de densidades das partes quentes e frias das

substâncias envolvidas;

- iii. Radiação: transferência de energia de uma superfície em alta temperatura para uma superfície em temperatura mais baixa, quando tais superfícies estão separadas no espaço, ainda que exista vácuo entre elas;

Na Figura abaixo apresenta-se um exemplo dos mecanismos de transferência de calor combinados para uma melhor compreensão do seu funcionamento.

Mecanismos de transferência de calor:



Fonte: Elektro, Eficiência Energética.

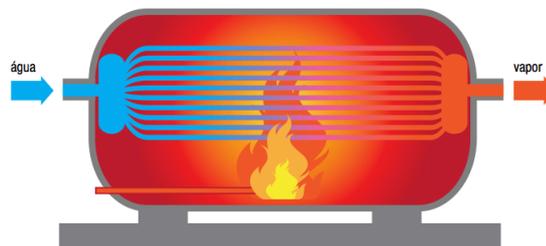
- e) Combustíveis: a queima ou combustão é uma reação química na qual os constituintes do combustível se combinam com o oxigênio do ar. Seguem abaixo os principais combustíveis:
  - i. Combustível sólido: Os principais combustíveis sólidos naturais são a madeira, carvão mineral, coque de carvão, coque de petróleo, bagaço de cana. Para que um sólido possa ter valor como combustível é necessário que tenha um poder calorífico muito elevado e queime com facilidade, com ou sem chama;
  - ii. Combustível líquido: O poder calorífico elevado, provê maior facilidade e economia de armazenagem e fácil controle de consumo. Dentre os principais combustíveis líquidos destacam-se: gasolina, etanol, diesel, etc;
  - iii. Combustíveis gasosos: de acordo com a aplicação muitas vezes define-se o combustível a ser utilizado. No caso dos combustíveis gasosos as principais vantagens são o melhor controle de temperatura, o controle do comprimento da chama, a permissão da eliminação de fumaça e cinzas, etc. Os principais exemplos são: gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), etc.

- f) Sistemas de geração de vapor: o vapor é gerado em uma caldeira ou em um gerador de vapor pela transferência do calor dos gases quentes para a água. Quando a água absorve quantidade suficiente de calor, muda da fase líquida para a de vapor. A energia para gerar o vapor pode ser obtida da combustão de combustíveis ou da recuperação de calor residual de processo;
- g) Caldeiras: a grande parte do setor industrial depende diretamente do uso de caldeiras para geração de vapor e em muitos casos utilizada para geração de energia elétrica. O processo de geração de vapor ou aquecimento de fluidos térmicos envolvem diretamente a condução e transferência de calor, os quais representam as maiores perdas de energia se não forem adequadamente dimensionados e se a sua operação e manutenção não forem praticadas de acordo com certos critérios e cuidados. Os principais modelos utilizados são:
- i. Caldeiras elétricas;
  - ii. Caldeiras com resistores;
  - iii. Caldeiras de eletrodo;
  - iv. Caldeiras a combustível

Dentro do conceito de caldeiras destaca-se as caldeira aquatubulares e caldeiras flamotubulares.

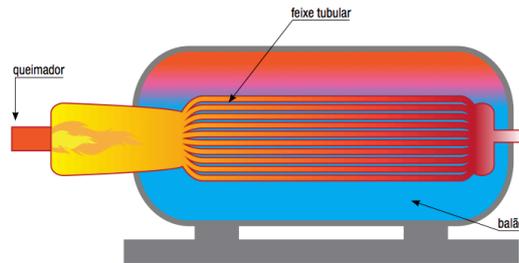
- h) Caldeiras aquatubulares: neste modelo a água a ser aquecida passa pelo interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos por gases de combustão assim como é representado na Figura abaixo:

Caldeira aquatubular:



Fonte: Elektro, Eficiência Energética.

- i) Caldeiras flamotubulares: neste modelo os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor assim como é representado na Figura abaixo:
- Caldeira aquatubular:



Fonte: Elektro, Eficiência Energética.

- j) Poluição do ar: um dos maiores prejuízos causados pelo uso de uma caldeira que não sofre as manutenções periódicas e não tem os dispositivos para contenção dos agentes contaminantes é a poluição do meio ambiente contaminando a qualidade do ar. A queima de um combustível produz gás carbônico, água e emissões gasosas poluentes, como as que vemos no quadro a seguir.
- k) Isolamento térmico: é de fundamental importância que os sistemas que produzem, transportam ou utilizam energia térmica (calor ou frio) apresentem dispositivos capazes de evitar as perdas de calor em decorrência dos fenômenos físicos de condução, convecção e radiação. As aplicações mais comuns na indústria são para isolamento térmico de tanques, equipamentos, tubulações e acessórios. O materiais mais utilizados são definidos os que apresentam baixa condutibilidade térmica, e, portanto são bons isolantes térmicos. Os principais materiais utilizados para essa finalidade são a cortiça, o poliestireno expandido (espuma), a madeira, lã de rocha, fibra cerâmica, etc.