

Manuais Elektro de Eficiência Energética

Segmento Industrial

Uma publicação da Elektro - Eletricidade e Serviços S.A.,
dentro das ações do Programa de Eficiência Energética.

Publicação elaborada com base nos Manuais de Administração de Energia da Secretaria de Saneamento e Energia do Governo do Estado de São Paulo e nas publicações disponíveis no Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL/ELETROBRÁS.

Coordenação geral: PenseEco Consultoria

Projeto gráfico e editoração eletrônica: Casa Paulistana Comunicação & Design

Designers: Simone Zupardo Dias e Cleiton Sá

Preparação e revisão de texto: Temas e Variações Editoriais

Sumário

1. Introdução	4
2. Conceitos	7
2.1 Conceitos da termodinâmica	7
3. Caldeiras	27
3.1 Caldeiras elétricas	29
3.2 Caldeiras a combustível	32
3.3 Estruturas de uma caldeira	34
3.4 Poluição do ar	35
3.5 Economia de energia nas caldeiras	36
4. Fornos industriais	45
4.1 Fornos elétricos	46
4.2 Fornos a combustível	50
5. Aquecimento solar	53
5.1 Energia solar fotovoltaica	54
5.2 Aquecedores solares de água	55
5.3 Isolamento térmico	60
6. Cogeração	69
6.1 Principais atrativos da cogeração na indústria	71
6.2 Equipamentos utilizados em instalações de cogeração	73
6.3 Tipos de cogeração	90
6.4 Ciclos de cogeração	91
6.5 Ciclos de cogeração com motores alternativos de combustão interna	96
6.6 Ciclo de cogeração com produção de frio	97
6.7 O potencial de cogeração	98
6.8 As receitas da cogeração	100
6.9 Conclusão	100



1. INTRODUÇÃO

Nesta publicação, abordaremos conteúdos simples e didáticos, mas importantes para a administração de energia, tais como caldeiras, fornos, isolamento térmico e cogeração.

São temas voltados ao uso eficiente de energia, enfocando principalmente os aspectos relacionados à energia térmica (geração de vapor), utilizada amplamente nos processos industriais e também nos setores comercial e de serviços.

Em um mundo com grande competitividade industrial, como o de hoje, as empresas buscam em seu processo fabril maneiras de otimizar a utilização dos recursos, objetivando gerar economias e melhorias qualitativas nos processos de produção.

Nesse sentido, continuamente, as empresas buscam alternativas que possam atender às suas necessidades e que sejam economicamente viáveis e tecnologicamente eficientes.

A utilização do vapor no processo de produção teve início na Revolução Industrial, no século XVIII. A Inglaterra, por possuir grandes reservas de carvão mineral, foi pioneira na produção de energia a partir desse mineral; com os atributos das máquinas a vapor e da industrialização regional, o vapor logo foi utilizado em larga escala no setor industrial e de transportes.

Hoje, a eficiência energética se coloca como uma importante alternativa para otimizar o uso das fontes de energia, a utilização eficiente de energia térmica em fornos e caldeiras, além de promover a redução dos custos operacionais e apresentar um significativo ganho ambiental. Sendo assim, na medida em que é disponibilizado mais um instrumento útil na busca da redução de custos e também do aumento da competitividade, estamos, de certa forma, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.



2. CONCEITOS

2.1 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.

2.1.1 Calor e temperatura

São dois conceitos bastante diferentes e que muitas pessoas acreditam se tratar da mesma coisa. No entanto, o entendimento desses dois conceitos é necessário para o estudo da termodinâmica. Também chamada de termodinâmica, a termologia é um ramo da física que estuda as relações de troca de calor e manifestações de qualquer tipo de energia que é capaz de produzir aquecimento, resfriamento ou mudanças de estado físico dos corpos, quando eles ganham ou cedem calor. 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.

- a) **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. Isso se reflete na capacidade de um determinado corpo de receber ou rejeitar calor.

Calor específico de algumas substâncias

SUBSTÂNCIA	CALOR ESPECÍFICO (cal/g °C)
Água	1,00
Álcool	0,6
Carbono	0,12
Hidrogênio	3,4
Madeira	0,42

- b) **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. Assim, se o corpo é sólido, continua sólido, se é líquido continua líquido e, se é gasoso, continua gasoso.
- c) **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.

2.1.2 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. Na prática, o poder calorífico mostra que tipo de substância pode liberar maior quantidade de energia (calor) durante sua combustão. Essa combustão não é necessariamente a aplicação de fogo. Pode ser, também, a dissociação química no processo de calor latente (mudança de estado físico de determinado material).

Para se obter o poder calorífico superior e inferior, deve-se entender que, no processo de vaporização da água, a temperatura permanece constante até que toda a água seja transformada em vapor. No início dessa formação, a razão entre a massa de vapor e a massa total da mistura é igual a zero, pois ainda não há massa de vapor formado. Essa razão varia gradualmente de zero até um. Assim que toda a água é transformada em vapor, a razão entre a massa de vapor e a massa total da mistura será igual a um, dando origem ao vapor saturado.

No cálculo do poder calorífico superior, inclui-se a energia que pode ser aproveitada do combustível por meio do calor latente de vaporização da água. No cálculo do poder calorífico inferior, a massa de água do calor latente de vaporização é desconsiderada, resultando em um valor realista do calor disponível após o processo de combustão.

Poder calorífico de alguns combustíveis

COMBUSTÍVEL	Kcal/Nm ³		Kcal/kg	
	PCS	PCI	PCS	PCI
Hidrogênio	3050	2570	33889	28555
Metano	9530	8570	13284	11946
Etano	16700	15300	12400	11350
Eteno ou etileno	15100	14200	12020	11270
GN de Campos	10060	9090	16206	14642
GN de Santos	10687	9672	15955	14440
GN da Bolívia	9958	8993	16494	14896
Propano	24200	22250	12030	11080
Propeno	22400	20900	11700	10940
Buteno-1	29900	27900	11580	10830
iso-Pentano	-	-	11600	10730
GLP (médio)	28000	25775	11920	10997
Acetileno	13980	13490	11932	11514
Monóxido carbono	3014	3014	2411	2411

Fonte: Disponível em: www.krona.srv.br/display05.htm

Poder calorífico de alguns outros combustíveis também na unidade kJ

COMBUSTÍVEL	PODER CALORÍFICO	PC (kJ)
Álcool de cana	5500 kcal/l	23012
Bagaço de cana (50% água)	3200 kcal/kg	13388
Bagaço de cana (20% água)	18000 kcal/kg	75312
Bambu (10% água)	3700 kcal/kg	15480
Carvão vegetal	7500 kcal/kg	31380
Casca de árvore	2200 kcal/kg	9204
Gás de biodigestor (biogás)	5000 kcal/kg ³	20920
Gás de coqueira	4300 kcal/kg ³	17991
Gás de gasogênio	1260 kcal/kg ³	5271
Gás GLP (50%)	10800 kcal/kg	45187
Gás natural	8600 kcal/kg ³	35982
Lascas de madeira	3300 kcal/kg	13807
Lenha (40% água)	2400 kcal/kg	10041
Madeira de caixotes	3800 kcal/kg	15899
Óleo combustível 1A	9800 kcal/kg	41003
Óleo de soja	8125 kcal/l	33995
Óleo diesel	8620 kcal/l	36066

Fonte: FOS Engineering, 2007

2.1.3 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, serão abordadas algumas formas do calor fluir de um corpo a outro.

- a) **Condução:** pode ser definida como o processo pelo qual a energia é transferida 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. Esse mecanismo pode ser visualizado como a transferência de energia de partículas mais energéticas para partículas menos energéticas de uma substância devido a interações entre elas. Esse tipo de transferência ocorre, por exemplo, quando alguém segura uma barra de ferro no fogo. Logo a pessoa que está segurando a barra notará o aumento de temperatura.

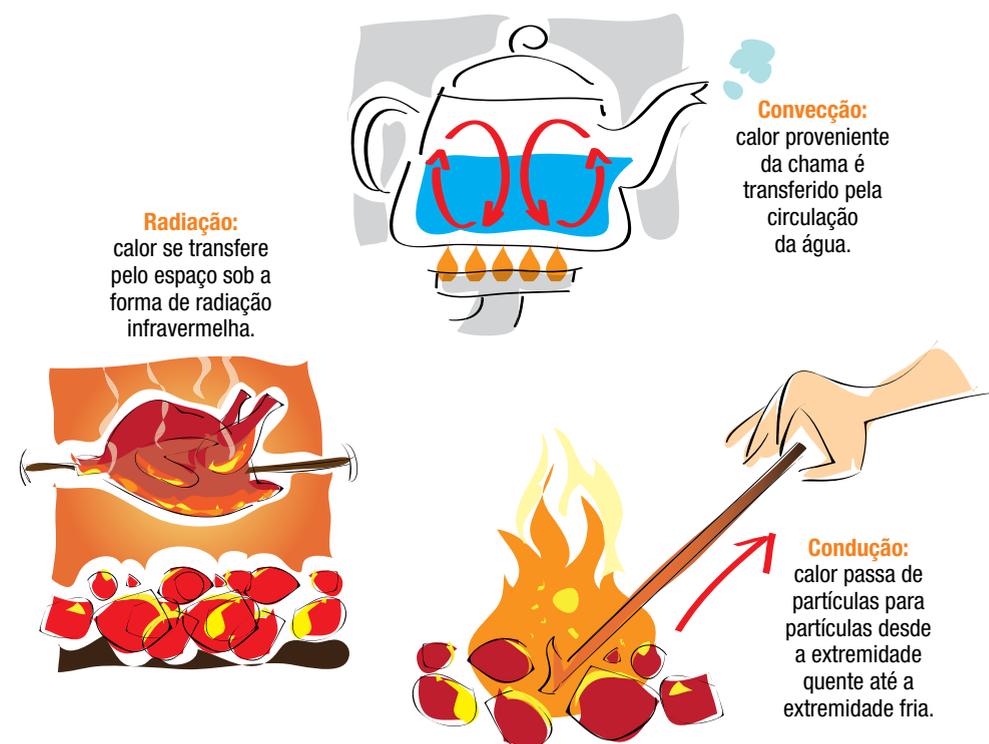
b) Convecção: processo pelo qual a energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. Esse tipo de transferência ocorre devido às diferenças de densidades das partes quentes e frias das substâncias envolvidas. Um exemplo bastante conhecido de convecção natural é o aquecimento de água em uma panela doméstica. Nesse caso, o movimento das moléculas de água pode ser observado visualmente.

c) Radiação: pode ser definida como o processo pelo qual o calor é transferido 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. A energia transferida dessa forma é chamada radiação térmica e é feita sob a forma de ondas eletromagnéticas. O exemplo mais evidente é o próprio calor que recebemos do Sol. Nesse caso, mesmo havendo vácuo entre a superfície do Sol (cuja temperatura é de cerca de 5.500 °C) e a superfície da Terra.

A vida na Terra depende dessa energia recebida, que chega até nós na forma de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas são comuns a muitos outros fenômenos: raio X, ondas de rádio e TV, micro-ondas e outros tipos de radiações. As emissões de ondas eletromagnéticas podem ser atribuídas a variações das configurações eletrônicas dos átomos e moléculas e ocorrem devido a vários fenômenos. Porém, para a transferência de calor interessam apenas as ondas eletromagnéticas resultantes de uma diferença de temperatura (radiações térmicas).

As suas características são:

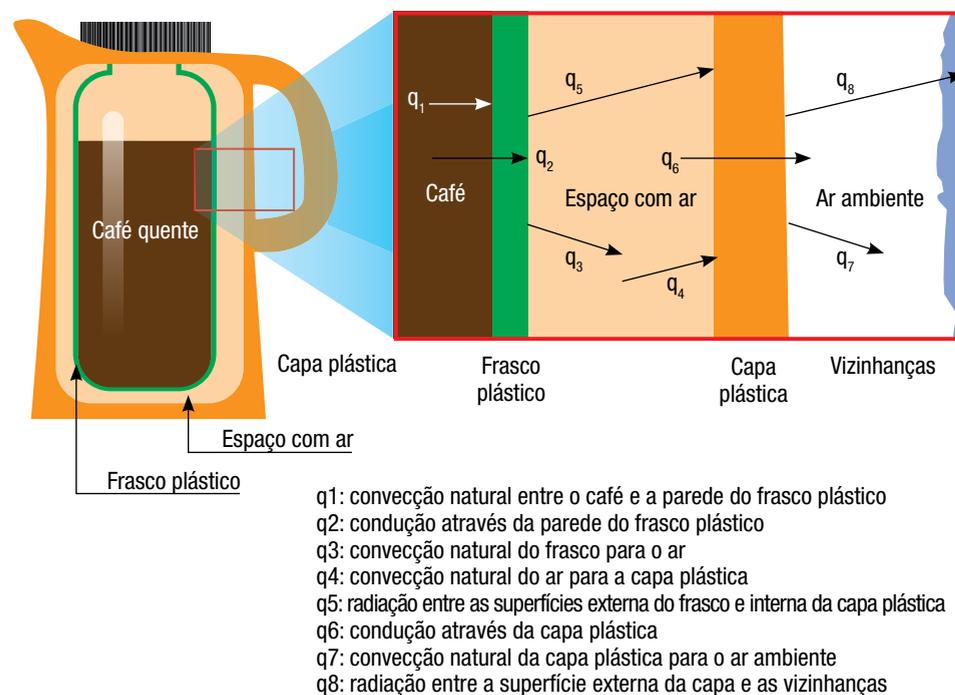
- todos os corpos com temperatura acima do zero absoluto emitem continuamente radiação térmica;
- as intensidades das emissões dependem somente da temperatura e da natureza da superfície emitente;
- a radiação térmica viaja na velocidade da luz (300.000 km/s).



2.1.4 Mecanismos combinados

Na maioria das situações práticas, ocorrem dois ou mais mecanismos de transferência de calor ao mesmo tempo. Nos problemas da engenharia, quando um dos mecanismos domina quantitativamente, soluções aproximadas podem ser obtidas desprezando-se todos, exceto o mecanismo dominante. Entretanto, deve ficar entendido que variações nas condições do problema podem fazer com que um mecanismo desprezado se torne importante.

A garrafa térmica é um exemplo de um sistema no qual ocorrem ao mesmo tempo vários mecanismos de transferência de calor. Nesse caso, podemos ter a atuação conjunta dos seguintes mecanismos:



2.1.5 Combustíveis

O combustível é um material cuja queima é utilizada para produzir calor, energia ou luz. A queima ou combustão é uma reação química na qual os constituintes do combustível se combinam com o oxigênio do ar. Para iniciar a queima de um combustível, é necessário que ele atinja uma temperatura definida, chamada de temperatura de ignição.

O poder calorífico de um combustível é dado pelo número de calorias desprendido em sua queima. Os combustíveis são classificados segundo o estado em que se apresentam (sólido, líquido ou gasoso). Além dos produtos naturais, existem os artificiais.

Tipos de combustíveis

ESTADO FÍSICO	COMBUSTÍVEIS NATURAIS	COMBUSTÍVEIS ARTIFICIAIS
Sólido	Lenha, turfa, carvão, xisto	Coque, briquetes, carvão vegetal, tortas vegetais
Líquido	Petróleo	Produtos da destilação de petróleo de alcatrão; álcool, gasolina sintética
Gasoso	Gás natural	Hidrogênio, acetileno, propano, butano, gás de iluminação, gás de gasôênio, gás de alto-forno

Do total de energia consumida pelas indústrias, cerca de 53% são provenientes de combustíveis, o restante da demanda é suprida com energia elétrica. Antigamente, os combustíveis mais utilizados eram os sólidos; no entanto, eles perderam sua posição para os outros com o advento do petróleo. Com os avanços tecnológicos, a utilização e o transporte têm facilitado o uso dos combustíveis líquidos e gasosos, sendo estes os mais eficientes em queima e produção de energia.

2.1.5.1 Combustível sólido

Os principais combustíveis sólidos naturais são a madeira e os produtos de sua decomposição natural, turfa e carvão. 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.

- a) **Madeira (lenha):** é um dos combustíveis mais antigos, utilizado até os dias de hoje em diversos países para variados usos. É composto basicamente por celulose, resinas, água e sais minerais. Sua principal utilização ocorre na transformação da lenha em carvão vegetal e na geração de energia elétrica.
- b) **Carvão mineral:** é a segunda fonte de energia mais utilizada do mundo, depois do petróleo, sendo responsável por 23,3% da energia consumida no mundo em 2003 e por 6,6% da energia consumida no Brasil. O carvão mineral é um combustível fóssil muito antigo, formado há cerca de 400 milhões de anos. Começou a ter grande importância para a economia mundial a partir da Primeira Revolução Industrial na Inglaterra (século XIX), quando a máquina a vapor passou a ser utilizada na produção manufatureira. O carvão mineral é uma rocha sedimentar combustível, formada a partir do soterramento, da compactação e da elevação de temperatura em depósitos orgânicos de vegetais (celulose). Com o passar do tempo, a matéria orgânica se transforma em turfa, linhito, hulha e antracito, sucessivamente. A principal diferença entre eles é a porcentagem de carbono: a madeira possui cerca de 40% de carbono; a turfa, 55%; o linhito, 70%; a hulha, 80%; e o antracito, de 90 a 96%. No Brasil, a produção de carvão se destina principalmente à região Sul. No entanto, o carvão das jazidas brasileiras é considerado de baixa qualidade, devido às impurezas e cinzas presentes em sua composição.
- c) **Coque de carvão:** o coque é um tipo de combustível derivado do carvão mineral betuminoso (hulha). Começou a ser utilizado na Inglaterra do século XVII. O coque obtém-se do aquecimento da hulha, sem combustão, num recipiente fechado. Pode ser utilizado na produção de ferro gusa (alto-forno), sendo adicionado com a carga metálica. O coque é obtido pelo processo de “coqueificação”, que consiste, a princípio, no aquecimento do carvão mineral a altas temperaturas, em câmaras hermeticamente fechadas (exceto para saída de gases). No aquecimento às temperaturas de coqueificação e na ausência de ar, as moléculas orgânicas complexas que constituem o carvão mineral se dividem, produzindo gases e compostos orgânicos sólidos e líquidos de baixo peso molecular e um resíduo carbonáceo relativamente não volátil. Esse resíduo resultante é o coque, que se apresenta como uma substância porosa, celular, heterogênea, sob o ponto de vista químico e físico. Sua qualidade depende muito do carvão mineral do qual se origina, principalmente do seu teor de impurezas.
- d) **Coque de petróleo (*petroleum coke* ou *petcoke*):** é um combustível fóssil sólido, derivado do petróleo, de cor preta e forma aproximadamente granular ou tipo “agulha”, e que se obtém como subproduto da destilação do petróleo, num processo designado como *cracking* térmico. Esse produto representa cerca de 5% a 10% do petróleo total que entra na refinaria. Como combustível, suas características advêm de sua fácil liberação de energia térmica no processo de combustão.
- e) **Bagaço de cana:** é um dos subprodutos da indústria da cana, assim como a sacarose e a palha. É constituído por celulose, hemicelulose e lignina. Atualmente, o bagaço gerado na usina é consumido para produção de energia por meio da cogeração. A maioria das usinas de produção de cana utiliza o bagaço para produção própria de energia. O bagaço pode servir também como matéria-prima para a produção de etanol, outro tipo de combustível que pode ser comercializado.

2.1.5.2 Combustível líquido

O combustível líquido tem certas vantagens em comparação com os sólidos, como poder calorífico elevado, maior facilidade e economia de armazenagem e fácil controle de consumo. Quase todos os combustíveis líquidos são obtidos a partir do petróleo.

- a) **Gasolina:** é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos e, em menor quantidade, por produtos oxigenados. Esses hidrocarbonetos são, em geral, mais “leves” do que aqueles que compõem o óleo diesel, pois são formados por moléculas de menor cadeia. Além dos hidrocarbonetos e dos oxigenados, a gasolina contém compostos de enxofre, compostos de nitrogênio e compostos metálicos, todos eles em baixas concentrações. A gasolina é obtida pelo processo de refinamento do petróleo bruto. Nesse processo, dezenas de outros combustíveis são obtidos, como o metanol e o diesel.

- b) **Metanol (CH₃OH):** ou álcool metílico, é um composto químico obtido de duas maneiras: pela destilação de madeiras ou pela reação do gás de síntese vindo de origem fóssil (refino do petróleo). O metanol é utilizado em larga escala como solvente industrial, na fabricação de plásticos e como solvente em reações de importância farmacológica. A relação do metanol com os combustíveis é que ele é usado no processo de transesterificação da gordura, na produção do biodiesel. Também pode ser usado como combustível em algumas categorias de postos nos Estados Unidos. No Brasil, o metanol foi utilizado durante uma época em substituição temporária ao álcool, em virtude de uma grande falta desse produto no mercado. Hoje, porém, por ser extremamente tóxico, o metanol já não é mais utilizado como combustível.

2.1.5.3 Biocombustível

É qualquer combustível de origem biológica, desde que não seja de origem fóssil. É originado de mistura de uma ou mais plantas, como cana-de-açúcar, mamona, soja, cânhamo, canola, babaçu, lixo orgânico, entre outros tipos.

- a) **Álcool:** o álcool combustível (etanol) é um biocombustível produzido geralmente a partir da cana-de-açúcar, mandioca, milho ou beterraba. O Brasil possui uma relação muito próxima com o etanol. A partir da crise do petróleo, na década de 1970, o governo brasileiro, numa atitude isolada internacionalmente, criou o programa Pró-Álcool, e o etanol novamente recebeu as atenções como biocombustível de extrema utilidade. Nos dias de hoje, com a certeza de escassez e de crescente elevação no preço dos combustíveis fósseis, priorizam-se novamente os investimentos na produção de etanol por um lado e, por outro, um amplo investimento na pesquisa e criação de novos biocombustíveis. Diante de uma situação nacional antiga e inconstante, causada pelas altas e baixas do petróleo, as grandes montadoras brasileiras se aprofundaram em pesquisas e, dessa forma, lançaram uma tecnologia revolucionária: os carros dotados de motor bicombustível, fabricados tanto para o uso de gasolina quanto de álcool.

- b) **Diesel:** o óleo diesel é um derivado da destilação do petróleo bruto, usado como combustível nos motores diesel, constituído basicamente de hidrocarbonetos. Pelo fato de uma mistura de diesel com o ar produzir uma forte explosão quando comprimida, essa reação passou a ser utilizada para gerar energia e movimentar máquinas e motores de grande porte, conhecidos como motores do ciclo diesel.

- c) **Biodiesel:** é derivado de lipídios orgânicos renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, para utilização em motores de ignição por compressão (diesel). É produzido por transesterificação e é também um combustível biodegradável al-

ternativo ao diesel de petróleo, criado a partir de fontes renováveis de energia, livre de enxofre em sua composição. É obtido a partir de óleos vegetais como o de girassol, nabo forrageiro, algodão, mamona, soja.

2.1.6 Combustíveis gasosos

Os combustíveis gasosos apresentam certas vantagens em relação aos combustíveis sólidos, como permitir a eliminação de fumaça e cinzas, melhor controle de temperatura e comprimento das chamas.

- a) **Gás natural:** é uma mistura de hidrocarbonetos leves encontrada no subsolo, na qual o metano tem uma participação superior a 70% em volume. A composição do gás natural pode variar bastante dependendo de fatores relativos ao campo em que o gás é produzido, processo de produção, condicionamento, processamento e transporte. O gás natural é encontrado no subsolo, por acumulações em rochas porosas, isoladas do exterior por rochas impermeáveis, associadas ou não a depósitos petrolíferos. É o resultado da degradação da matéria orgânica de forma anaeróbica (sem a presença de ar) oriunda de quantidades extraordinárias de microrganismos que, em eras pré-históricas, se acumulavam nas águas litorâneas dos mares. Essa matéria orgânica foi soterrada a grandes profundidades e, por isso, sua degradação se deu fora do contato com o ar, a grandes temperaturas e sob fortes pressões. Os usos hoje desse gás como fonte de combustível estão entre os mais variados devido ao seu alto poder calorífico e à sua ampla gama de aplicações (fogões, motores de carros etc.)
- b) **Gás liquefeito de petróleo (GLP):** é uma mistura de gases de hidrocarbonetos, utilizado como combustível em aplicações de aquecimento (como em fogões) e veículos. O GLP é a mistura de gases condensáveis presentes no gás natural ou dissolvidos no petróleo. Os componentes do GLP, embora à temperatura e pres-

são ambientais sejam gases, são fáceis de condensar. Na prática, pode-se dizer que o GLP é uma mistura dos gases propano e butano. É um dos subprodutos do petróleo, como a gasolina, o diesel e os óleos lubrificantes, sendo retirado dele por meio do refino em uma refinaria de petróleo. Torna-se liquefeito apenas quando é armazenado em bilhas/botijões ou tanques de aço sob pressões, o que facilita sua distribuição e movimentação.

2.1.7 Propriedade dos combustíveis

Para se ter uma correta utilização dos combustíveis, é necessário ter uma correta conceituação e interpretação de algumas de suas características.

- a) **Viscosidade:** é uma propriedade característica dos líquidos, que se caracteriza pela medida da resistência ao escoamento que um fluido oferece quando se encontra sujeito a um esforço tangencial, sendo este variável de acordo com a temperatura. À medida que a temperatura aumenta, a viscosidade de determinado fluido diminui, facilitando o seu escoamento.
- b) **Ponto de fluidez:** é a menor temperatura em que o combustível ainda escoar. Este ponto é uma medida importante para a determinação das características de armazenagem e de transporte do combustível na instalação. Não há uma relação direta entre o ponto de fluidez e a viscosidade do óleo combustível.
- c) **Ponto de fulgor:** temperatura em que o óleo desprende vapores que, em contato com o oxigênio presente no ar, podem entrar em combustão momentânea na presença de uma fonte de calor. O ponto de fulgor não tem relação direta no desempenho do combustível, mas um valor mínimo é estabelecido para garantir a segurança no armazenamento e manuseio do produto.

- d) Granulometria:** ou análise granulométrica dos materiais é o processo que visa definir, para determinadas faixas preestabelecidas de tamanho de grãos, a porcentagem em peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise. Essa análise é utilizada para determinar características de tipos de combustíveis sólidos como carvão e bagaço de cana.
- e) Umidade:** indica que porcentagem de água está contida nos combustíveis. É uma das principais características do carvão mineral e da lenha, e determina a qualidade do combustível.

2.1.8 Combustão

Combustão ou queima é uma reação química exotérmica, ou seja, que libera calor entre uma substância (o combustível) e um gás (o comburente), geralmente o oxigênio. Em uma combustão completa, um combustível reage com um comburente e como resultado se obtêm compostos resultantes da união de ambos, além de energia.

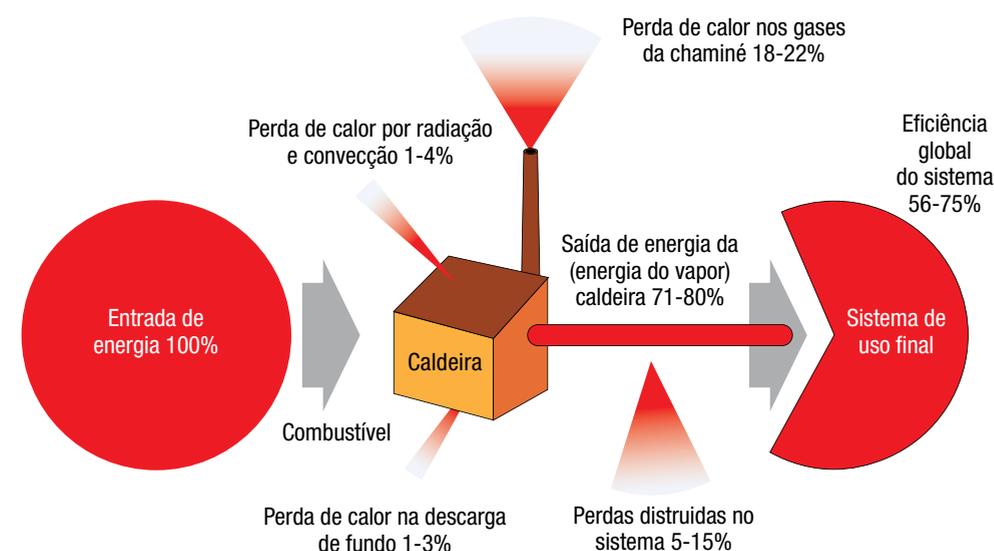
2.1.8.1 Tipos de combustão

Dentro do processo de combustão, estas podem ser qualificadas como completas e incompletas.

- a) Combustão completa:** o reagente irá queimar no oxigênio, produzindo um número limitado de produtos. Quando um combustível queima no oxigênio, a reação gera apenas dióxido de carbono (CO_2) e água. Quando elementos como carbono, nitrogênio, enxofre e ferro são queimados, os resultados serão os óxidos mais comuns. Carbono irá gerar dióxido de carbono. Nitrogênio irá gerar

dióxido de nitrogênio (NO_2). Enxofre irá gerar dióxido de enxofre (SO_2). Ferro irá gerar óxido de ferro III (Fe_2O_3). A combustão completa é normalmente impossível de atingir, a menos que a reação ocorra em situações cuidadosamente controladas, como, por exemplo, em um laboratório.

- b) Combustão incompleta:** não há o suprimento de oxigênio adequado para que ela ocorra de forma completa. O reagente irá queimar em oxigênio, mas poderá produzir inúmeros produtos. Quando um combustível queima em oxigênio, a reação gera dióxido de carbono, monóxido de carbono, água e vários outros compostos, como óxidos de nitrogênio. Também há liberação de átomos de carbono sob a forma de fuligem. A combustão incompleta é muito mais comum do que a completa e produz um grande número de subprodutos. No caso de queima de combustível em automóveis, esses subprodutos podem ser muito prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Como a maioria dos processos de combustão não são completos, esse processo gera perdas de energia, dissipadas por meio de subprodutos não aproveitados no processo de queima ou no mal aproveitamento do meio (comburente) em que o combustível está sendo queimado.



Os sistemas de vapor são de grande importância industrial em processos que necessitam de uma fonte de energia térmica.

Na geração e na utilização do vapor, ocorrem mudanças de fase tanto na vaporização quanto na condensação, o que causa grandes variações de volume, resultando em um elevado coeficiente de transferência térmica, que, somado à alta densidade energética (calor latente) do vapor, produz elevadas taxas de transferência de calor por unidade de área.

Portanto, o vapor conjuga de forma muito interessante baixo preço (dependendo do combustível), alta densidade energética e elevada taxa de transferência de energia.

2.1.9 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.

Na caldeira, a transferência de calor entre os gases quentes e a água 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.

2.1.10 Sistemas de uso final de vapor

Há diferentes aplicações de uso final para o vapor, incluindo aplicações em processos de aquecimento, movimentação mecânica, produção de reações químicas, limpeza, esterilização e fracionamento de componentes de hidrocarboneto em misturas. Os equipamentos mais comuns de sistema de uso final de vapor são: trocadores de calor, turbinas, torres de fracionamento e tanques de reação química.

Em um trocador de calor, o vapor transfere seu calor latente a um líquido de processo. O vapor é mantido no trocador de calor por um purgador de vapor até que se condense. Nesse ponto, o purgador deixa passar o condensado para a linha de drenagem de condensado, ou sistema do retorno de condensado. Em uma turbina, o vapor transforma sua energia térmica em trabalho mecânico, para acionar máquinas rotativas, tais como: bombas, compressores ou geradores elétricos. Em torres de fracionamento, o vapor facilita a separação de vários componentes de um líquido.

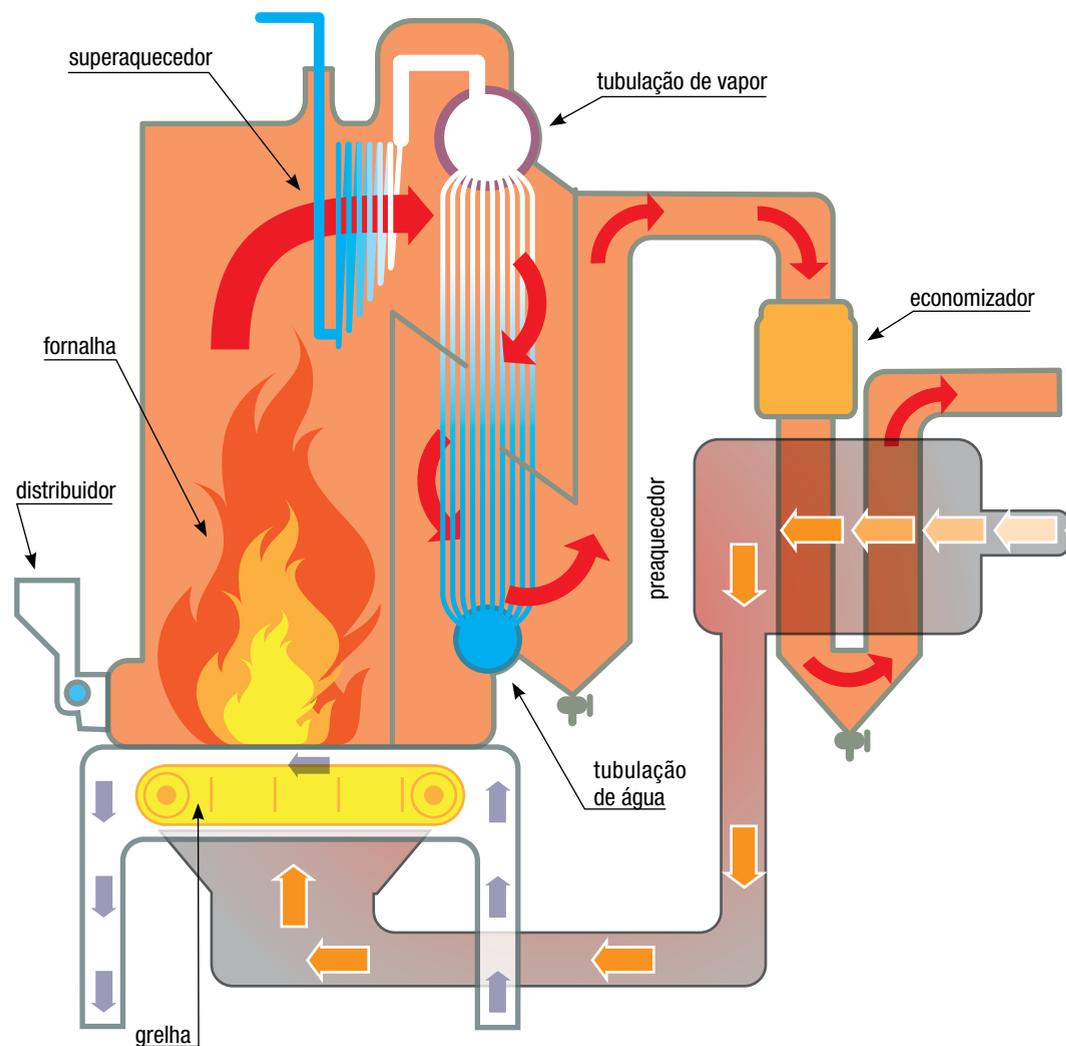


3. CALDEIRAS

Caldeira é o nome popular dado aos equipamentos geradores de vapor, cuja aplicação tem sido ampla no meio industrial e também na geração de energia elétrica nas chamadas centrais termelétricas. Portanto, as atividades que necessitam de vapor para seu funcionamento têm como componente essencial para sua geração a caldeira.

As caldeiras industriais empregadas na produção de vapor de água ou no aquecimento de fluidos térmicos e os sistemas associados de condução e transferência de calor podem apresentar desperdícios e elevadas 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.

As caldeiras são muito utilizadas na indústria e, em geral, o custo dos combustíveis representa uma parcela significativa da conta dos insumos energéticos. As instalações das caldeiras e de seus sistemas associados devem ser abordadas em todo programa de conservação e uso racional de energia. Quase sempre, são detectadas oportunidades de redução de consumo de energia e melhorias de processos industriais, que podem contribuir para a redução dos custos de produção.



3.1 Caldeiras elétricas

As caldeiras elétricas foram muito utilizadas durante a década de 1980, em que havia excesso de oferta de energia elétrica de origem hidráulica, quando foram estabelecidos incentivos tarifários para seu uso. São equipamentos de concepção bastante simples, compostos basicamente de um vaso de pressão, no qual a água é aquecida por eletrodos ou resistências. São fáceis de usar e de automatizar. A eficiência da transformação da energia elétrica em vapor é sempre muita elevada, da ordem 95 a 98%, e, em casos especiais, como caldeiras de alto rendimento, podem atingir até 99,5%.

As caldeiras elétricas mais comuns utilizam um dos dois processos de aquecimento: resistores ou eletrodos.

3.1.1 Caldeiras com resistores

Nessas caldeiras, a água é aquecida através de resistências elétricas blindadas imersas diretamente nela. A quantidade de energia elétrica requerida para vaporizar a água é:

$$Q = \frac{m \times (H_s - H_e)}{\eta}$$

em que:

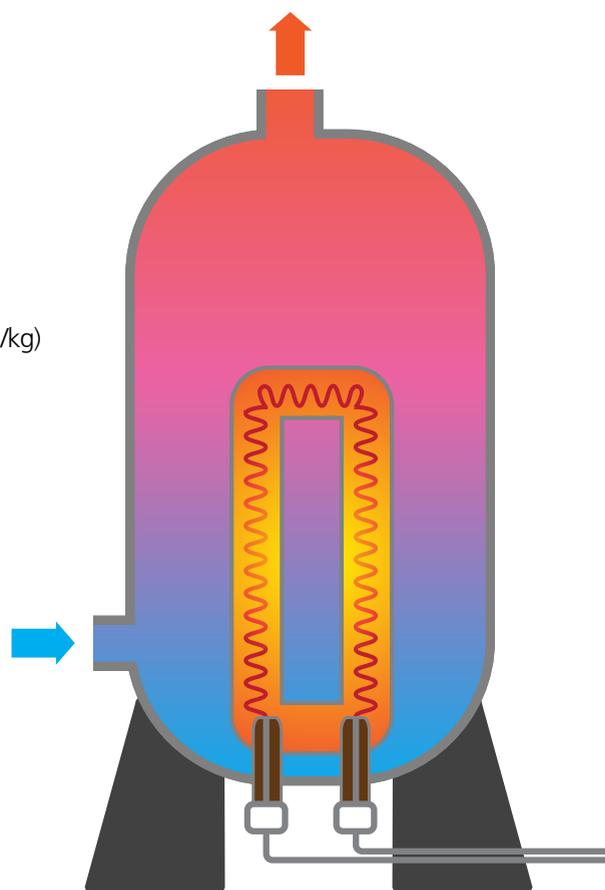
Q = quantidade de calor requerido, em (kJ)

H_s = entalpia do vapor à temperatura e pressão desejadas (kJ/kg)

H_e = entalpia da água de alimentação da caldeira (kJ/kg)

m = massa (kg)

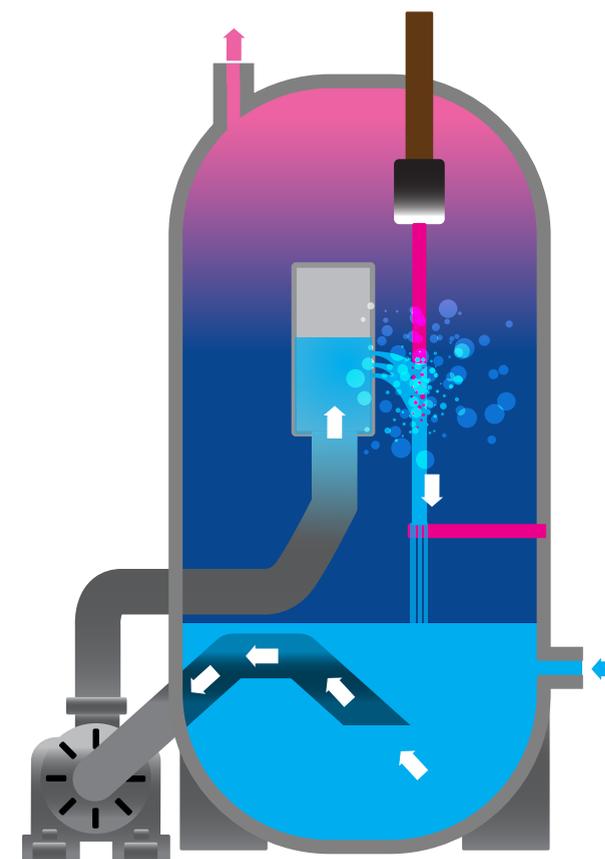
η = eficiência da transformação (>95%)



3.1.2 Caldeiras de eletrodo

Existem dois tipos básicos de caldeiras de eletrodo: a caldeira de eletrodo submerso e a caldeira de jato de água. Em ambos, a corrente elétrica passa diretamente pela água, aquecendo-a por efeito Joule.

O custo de operação de uma caldeira elétrica é muito elevado em razão do custo da energia elétrica. Assim, embora seja um equipamento de grande eficiência, a viabilidade de sua troca por um equipamento que utilize outros insumos energéticos deve ser analisada.



3.2 Caldeiras a combustível

As caldeiras que produzem vapor pela queima de combustíveis podem ser classificadas em dois grandes grupos: caldeiras aquatubulares e caldeiras flamotubulares.

3.2.1 Caldeiras aquatubulares

Nessas caldeiras, a água a ser aquecida passa pelo interior de tubos que, por sua vez, são envolvidos por gases de combustão. Os tubos podem estar organizados em feixes, como nos trocadores de calor – e as caldeiras que os contêm apresentam a forma de um corpo cilíndrico – ou em paredes de água, como nas caldeiras maiores.

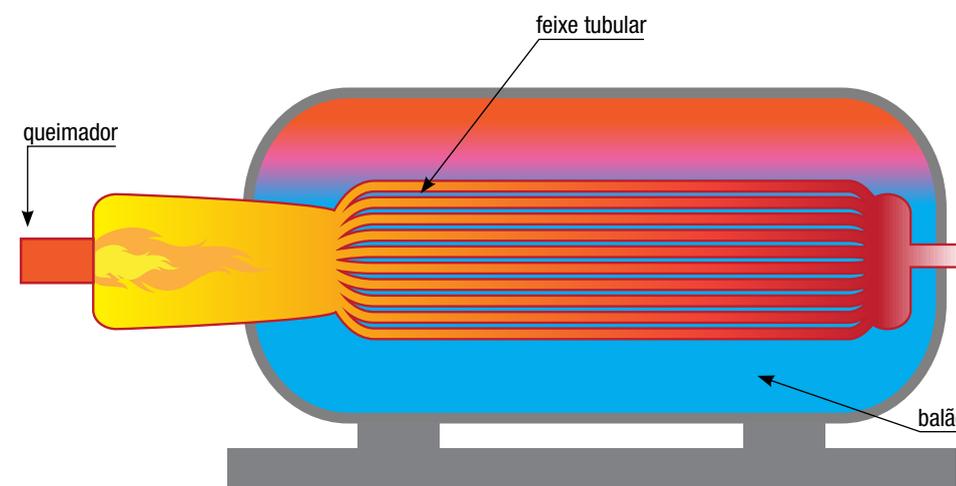


Uma caldeira aquatubular pode custar até 50% mais do que uma caldeira flamotubular de capacidade equivalente. Ela apresenta, porém, algumas vantagens, como uma maior capacidade de produção de vapor por unidade de área de troca de calor e a possibilidade de utilizar temperatura superior a 450 °C e pressão acima de 60 kgf/cm².

Sua partida é relativamente rápida, em razão do volume reduzido de água que ela contém. A limpeza dos seus tubos é simples e pode ser feita automaticamente através de sopradores de fuligem. Sua vida útil pode chegar a 30 anos.

3.2.2 Caldeiras flamotubulares

Nas caldeiras flamotubulares (ou pirotubulares), os gases quentes da combustão circulam no interior de tubos que atravessam o reservatório de água a ser aquecida para produzir vapor. Esse tipo de caldeira, geralmente de pequeno porte, apresenta baixa eficiência e é utilizada apenas para pressões reduzidas. Ainda é muito utilizada em razão do seu baixo valor de investimento se comparado com as caldeiras aquatubulares, e da facilidade de manutenção. Utiliza qualquer tipo de combustível, líquido, sólido ou gasoso. É muito comum o seu uso com óleo e gás.



3.3 Estruturas de uma caldeira

A caldeira é constituída por três partes principais:

- câmara de combustão, ou fornalha, onde o combustível é queimado;
- câmara de água, que contém a água a ser aquecida;
- câmara de vapor, situada acima do nível da água, e que recebe o vapor formado.

As caldeiras eficientes geralmente são de três passes, isto é, os gases quentes são obrigados a cruzar três vezes o feixe de tubos que conduz a água a ser aquecida. A distribuição de fluxo se dá na câmara de reversão, na qual a temperatura dos gases atinge valores próximos a 1.000 °C.

Atualmente, dá-se preferência para as caldeiras conhecidas como “de fundo úmido”, isto é, nas quais a câmara de reversão é montada no interior do corpo da caldeira. Essa disposição aumenta a eficiência da caldeira, embora seu custo inicial seja mais elevado. Devido ao maior volume de água que envolve os tubos, sua partida é mais lenta do que nas caldeiras aquatubulares. A limpeza dos tubos exige a parada da caldeira e deve ser executada anualmente. Sua expectativa de vida útil é de cerca de 15 anos.

3.4 Poluição do ar

A redução do custo de operação de uma caldeira através da redução do consumo de combustível traz como consequência a melhoria da qualidade do ar, em razão da redução da quantidade de poluentes emitidos.

A queima de um combustível produz gás carbônico e água e emissões gasosas poluentes, como as que vemos no quadro a seguir.

Emissões de uma caldeira

Monóxido de carbono (CO)	Gás tóxico, incolor e inodoro, resultante da queima incompleta do carbono.
Óxidos de enxofre (SO ₂ e SO ₃)	Formados pela oxidação do enxofre; reagem na atmosfera produzindo ácido sulfúrico.
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	Gases formados pelo nitrogênio; são irritantes, participando da formação de ozônio na atmosfera.
Fumaça	Materiais sólidos e gasosos produzidos pela queima incompleta do combustível, apresentando cor que varia entre o cinza-claro e o preto.
Particulados	Partículas sólidas de carbono e óleo parcialmente queimados.
Hidrocarbonetos	Combustível parcialmente queimado.

Os poluentes emitidos pelas caldeiras dependem, fundamentalmente, do tipo de óleo queimado, das características das caldeiras, das condições de operação e da manutenção dos equipamentos. Quando a eficiência aumenta e a emissão de poluentes diminui, economiza-se também no consumo dos reagentes necessários à lavagem dos gases para mantê-los dentro dos padrões exigidos pela legislação.

3.5 Economia de energia nas caldeiras

Algumas medidas de economia de energia podem ser executadas com facilidade, sem que sejam necessárias intervenções significativas nas instalações das caldeiras. Como primeiras providências para a promoção de economia de energia, devem-se executar as medidas a seguir.

3.5.1 Regulagem da combustão

Isso significa ajustar o ar de combustão para a combustão mais econômica. Na câmara de combustão, o combustível é misturado com o ar para promover a sua queima. Deve-se utilizar a menor quantidade possível de ar para a combustão, em geral, um pouco mais que a quantidade suficiente para a reação estequiométrica da combustão. Excesso de ar reduz a eficiência da caldeira.

Quando o óleo combustível é queimado, usa-se o atomizador, que é um dispositivo que melhora a mistura do óleo com o ar e o injeta no interior da câmara de combustão. O controle da quantidade de ar a ser injetado na câmara de combustão é feito geralmente através da medição da percentagem de dióxido de carbono (CO_2) e de oxigênio (O_2) remanescente nos gases coletados na chaminé. A boa combustão depende da operação correta do queimador, do seu ajuste e de uma manutenção adequada.

Na utilização de óleos mais densos, a operação correta da atomização pode se constituir no principal item para a obtenção de uma combustão eficiente. É fundamental controlar a vazão, a pressão e a temperatura do óleo, de modo que melhor atenda às características do combustível e do queimador empregado.

3.5.2 Controle da fuligem e das incrustações

Temperatura elevada na chaminé da caldeira significa maiores perdas de calor, ou seja, de energia, através dos gases de exaustão. O acúmulo de fuligem no circuito dos gases forma uma barreira isolante, que prejudica a troca térmica, reduzindo a eficiência, e pode ser detectada pelo aumento da temperatura na chaminé.

Para reduzir a fuligem, deve-se ajustar o ar de combustão e utilizar aditivos especiais quando o combustível utilizado for o óleo pesado. A fuligem pode ser removida por meios manuais e com o uso de produtos químicos. A formação de incrustações do lado da água estabelece uma segunda barreira isolante, reduzindo, assim, a troca de calor entre o gás e a água. Além de reduzir a eficiência, aumenta o risco de degradação das superfícies de troca, o que reduz a vida útil da caldeira.

As incrustações podem ser detectadas por meio da inspeção visual e também pela deterioração das características de operação da caldeira, tais como redução na produção de vapor, aumento do consumo de combustível e elevação da temperatura dos gases na chaminé. Aumento na temperatura de exaustão é um sinal de que a caldeira precisa de limpeza e desincrustação.

A necessidade de desincrustação indica que o tratamento da água de alimentação pode não estar correto. O bom tratamento da água melhora as trocas térmicas, adia ou mesmo evita as lavagens químicas e mecânicas da caldeira, reduz a oxidação do material, reduz a frequência das purgas e contribui para a produção de vapor mais seco.

3.5.3 Monitoração da eficiência da caldeira

As principais causas das perdas de energia em caldeiras são as elevadas temperaturas de exaustão na chaminé e a combustão incompleta. Essas causas podem ser detectadas com a análise do teor de dióxido de carbono e da temperatura nos gases de exaustão. Esses dois parâmetros podem ser aceitos, também, como indicadores da eficiência da caldeira.

Para efeitos práticos e para os tipos de caldeiras mais comuns, o percentual de dióxido de carbono contido na chaminé deve-se situar em uma faixa entre 11 e 13,5%. Esses valores podem variar um pouco de acordo com os tipos de caldeira, de queimador e de combustível. Procura-se manter o teor de dióxido de carbono mais elevado possível sem que isso provoque emissão de fumaça densa na chaminé. O aumento do teor de dióxido de carbono exige redução do excesso de ar de combustão. Por sua vez, a redução do ar de combustão pode provocar um aumento da emissão de monóxido de carbono (CO), aumento de particulados e enegrecimento da fumaça. O ponto ótimo de operação será um compromisso entre a eficiência e as emissões.

As caldeiras mais eficientes apresentam menor temperatura dos gases na saída da chaminé. Essas caldeiras são construídas com dispositivos internos (por exemplo, economizadores e preaquecedores de ar) que permitem o maior aproveitamento da energia residual dos gases. Se o combustível contiver enxofre, a temperatura máxima de exaustão será limitada à temperatura de formação de ácido sulfúrico. São comuns caldeiras flamotubulares com temperaturas na chaminé da ordem de 200 °C. Já as caldeiras aquatubulares, normalmente, não alcançam essa temperatura.

Muitas vezes, é possível reaproveitar o calor perdido na chaminé com a instalação de preaquecedores de água (economizadores). Com essa instalação, pode-se poupar, em média, cerca de 1% de combustível para cada 6 °C de aumento da temperatura

da água de alimentação da caldeira. Com a instalação de preaquecedores de ar de combustão obtém-se, em média, 1% de economia de combustível para cada 22 °C de aumento da temperatura do ar.

A tiragem dos gases da chaminé é outro fator que merece atenção. Obtém-se queima constante quando a tiragem na chaminé permanece constante. Se a tiragem for insuficiente, os gases de combustão demoram a deixar a câmara de combustão e podem surgir pulsações. Se a tiragem for excessiva, a câmara será resfriada e o ar rouba energia sem prover a troca de calor com a água a ser evaporada, e os gases de saída aumentam a sua temperatura. É importante dispor de equipamentos que permitam monitorar a operação da caldeira e a atuação sobre os parâmetros da combustão. Essa atuação proporciona maior eficiência da caldeira.

Devem ser utilizados os seguintes equipamentos de controle e monitoração:

- analisador dos gases de combustão, com indicação de mínimo teor de CO₂ e, eventualmente, de O₂;
- termômetro para controle das temperaturas dos gases de saída (na faixa de 100 a 500 °C);
- aparelhos de medição do índice de enegrecimento dos gases de escape (fuligem);
- manômetro para a medição da depressão na chaminé (tiragem).

3.5.4 Redução das perdas de calor

As caldeiras, como qualquer outro equipamento térmico, perdem calor para o meio ambiente. Para manter a sua eficiência, é necessário limitar essas perdas. Por isso, recomenda-se verificar periodicamente a estanqueidade do corpo da caldeira e as aberturas em torno dos queimadores e dos visores da câmara de combustão. Na manutenção, devem-se eliminar todas as perdas de calor e vazamentos de água quente e de vapor e refazer os isolamentos térmicos do vaso e de todos os circuitos que contenham fluidos quentes.

3.5.5 Ponto de operação da caldeira

Geralmente, as caldeiras apresentam eficiência máxima quando em operação entre 80% a 90% da sua capacidade nominal. Operar acima dessas condições pode comprometer a vida útil do equipamento. Por outro lado, ao operar muito abaixo dos 80%, permanecendo fixas as perdas das trocas de calor, a energia necessária para motorizar a tiragem e outros serviços da caldeira reduz sua eficiência global.

A condição de operação a cargas reduzidas dos queimadores também pode contribuir para essa redução de eficiência. Sempre que possível, deve-se evitar essa zona de funcionamento, atuando sobre a quantidade de caldeiras em operação para atender às necessidades do momento.

NORMA REGULAMENTADORA – NR 13

No Brasil, desde 1943, a CLT contempla a preocupação com a segurança em caldeiras. Porém, apenas a partir de 1978, foi criada a norma sobre Caldeiras e Recipientes de Pressão, a NR 13, que estabeleceu medidas de segurança para os usuários desses sistemas.

Outros órgãos reguladores também têm feito importantes contribuições na questão da segurança e dos estudos desses equipamentos, como o Inmetro, IBP e Abiquim.

A caldeira não é apenas uma máquina no processo produtivo, e um problema apresentado por ela não significa somente uma parada para manutenção. Em muitas situações, essa parada pode gerar uma paralisação total da produção. Se o equipamento não for corretamente operado, monitorado, manuseado e não for realizada a sua devida manutenção, esse equipamento tem um grande potencial de gerar sérios problemas com a segurança, pois ele trabalha com grandezas de risco como pressão e temperatura.

Uma má manutenção pode gerar explosões capazes de destruir uma indústria e ferir muitas pessoas. Os responsáveis pela manutenção e operação da caldeira, bem como o responsável pela indústria, respondem civil e criminalmente pelo fato.

Uma correta utilização do equipamento gera não somente um ganho energético no processo produtivo, mas um ganho de segurança para os operários e as comunidades do entorno.

Ações e economias estimadas

ITEM	SEM INVESTIMENTO	AÇÃO	ECONOMIA EM %
1	Reduzir excesso de ar.	Regulagem da combustão.	5 a 10%
2	Reduzir temperatura de saída dos gases.	Regulagem da combustão. Limpeza da caldeira.	1% a cada 5 °C
3	Reduzir pressão de trabalho.	Verificar necessidade real de pressão.	1% a cada 5 Bar
4	Otimizar temperatura do combustível.	Verificar com frequência a viscosidade do combustível.	Até 5%
5	Otimizar pressão de atomização do combustível.	Seguir indicações do fabricante do queimador.	Até 1%
6	Reduzir descarga de fundo.	Conforme análise de água da caldeira.	Até 1%
7	Otimizar sequência de queima.	Ajuste da modulação.	5 a 10%
8	Otimizar sequência de queima de vários queimadores.	Ajuste da modulação.	2 a 7%
9	Eliminar vazamentos de vapor.	Inspeção das instalações.	Até 10%
10	Eliminar defeitos em purgadores.	Inspeccionar todos.	Até 5%

ITEM	COM INVESTIMENTO	AÇÃO	ECONOMIA EM %
1	Reduzir depósito no queimador.	Regulagem de queima. Usar aditivos.	1 a 5%
2	Reduzir depósito na fornalha.	Regulagem de queima. Usar aditivos.	1 a 3%
3	Reduzir depósito no lado de água.	Conforme análise de água da caldeira.	1 a 2%
4	Reduzir depósito de fuligem nos tubos.	Regulagem de queima. Usar aditivos.	1 a 4%
5	Aumentar temperatura de ar de combustão.	Instalar pré-aquecedor de ar.	2 a 5%
6	Aumentar temperatura de água de alimentação.	Instalar e economizar.	Até 3%
7	Recuperar calor através de descarga de fundo.	Instalar "flash tank".	Até 1%
8	Recuperar perda de calor na instalação.	Otimizar isolamento.	Até 8%
9	Regulagem contínua do nível de água.	Instalar controle de "loop"	Até 1%
10	Recuperar condensado.	Instalar tanque de condensado.	Depende da instalação

ITEM	ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA	AÇÃO	
1	Instalar inversor de frequência.	Incl. melhor ambiente sonoro.	
2	Verificar necessidade de potência dos motores.	Eventuais superdimensionamentos.	
3	Aquecedores de combustível.	Usar somente vapor.	

Fonte: Disponível em: <www.inmar.com.br/caldeiras/Arquivos/Info1.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2009.



4. FORNOS INDUSTRIAIS

São equipamentos destinados ao aquecimento de materiais com vários objetivos: cozimento, fusão, calcinação, tratamento térmico, secagem etc. A característica primordial de um forno, qualquer que seja sua finalidade, é transferir ao material o calor necessário gerado por uma fonte de calor com o máximo de eficiência, uniformidade e segurança.

O rendimento térmico de um forno é dado por: energia absorvida pelo material no tempo dividida pela energia consumida (térmica ou elétrica) pela instalação no tempo.

A fonte de energia que fornece o calor para os fornos é de duas origens: elétrica e de combustíveis fósseis (gás e óleo combustível).

4.1 Fornos elétricos

Os principais tipos de fornos elétricos são a resistência elétrica, de indução eletromagnética e a arco elétrico.

a) Fornos a resistência elétrica

São, geralmente, classificados por aquecimento direto e por aquecimento indireto. Os de aquecimento direto são aqueles em que a corrente elétrica circula pelo próprio material a ser aquecido. Os de aquecimento indireto possuem no seu interior os elementos resistivos, que, por efeito Joule, cedem calor ao ambiente do forno e ao material a ser processado. A parte interna do forno possui materiais refratários e isolantes térmicos, que reduzem as perdas térmicas.

Características técnicas:

- potência: 3 a 300 kW;
- capacidade de carga: 34 a 1.500 kg;
- Rendimentos típicos:
 - fusão de metais sem recirculação forçada da atmosfera do forno: 40 a 60%;
 - fusão de metais com recirculação forçada da atmosfera do forno: 65 a 75%;
 - tratamento térmico: 60 a 70%.

b) Fornos de indução eletromagnética

Esses fornos se baseiam no princípio de que uma corrente alternada circulando por um condutor gera um campo magnético também alternado em volta do condutor. Esse campo pode então ser utilizado para induzir corrente elétrica no material a ser processado (carga), aquecendo-o por efeito Joule. Os fornos de indução são de dois tipos básicos: fornos com canal (com núcleo magnético) e fornos com cadinho (sem núcleo magnético).

Características técnicas do forno com canal:

- potência: 225 a 10.000 kW.
- capacidade de carga: 20 a 40.000 kg de ferro;
- rendimento: 55 a 80%;

Características técnicas do forno com cadinho:

- potência: 15 a 20.000 kW.
- capacidade de carga: 20 a 40.000 kg de ferro;
- rendimento: 55 a 70%;

c) Fornos a arco elétrico

O forno a arco é utilizado para fundir qualquer tipo de metal. Seu funcionamento é ruidoso e poluente. O calor é gerado a partir dos arcos elétricos formados entre os eletrodos e a carga ou, então, entre eletrodos. O arco elétrico é formado na presença de um gás, normalmente, o ar. Os tipos principais são arco direto, arco indireto, arco submerso e os de eletrodo consumível.

Nos fornos de arco direto, o arco é formado entre os eletrodos e a carga. Antigamente, eram alimentados por alta tensão.

Hoje, existem os denominados de UHP (Ultra High Power), alimentados por baixa tensão (arcos curtos).

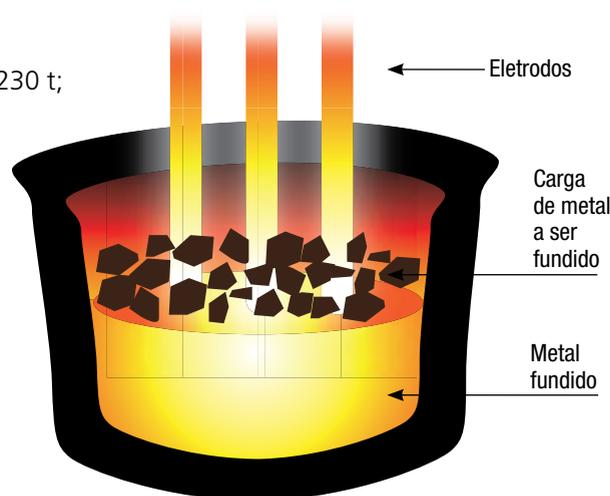
Nos fornos de arco indireto, o calor é transmitido ao meio por irradiação, gerado pelo arco de dois ou três eletrodos. Os eletrodos fundem a carga, mas não mergulham nela. O processo é estável, embora apresente um elevado consumo energético.

Nos fornos de arco submerso, os eletrodos ficam submersos dentro da carga. Na maioria das vezes, são utilizados na redução de óxidos.

Nos fornos de eletrodo consumível, o eletrodo é fabricado com o próprio material a se fundir. Funciona sob vácuo e o arco é alimentado por corrente contínua.

Características técnicas:

- potência até 90 MVA.
- capacidade de carga até 230 t;
- rendimento 40 a 70%;



Medidas para eficiência energética

a) Em fornos elétricos

- Otimizar o carregamento (introdução de volumes/pesos de material), ajustando-o à capacidade nominal dos fornos.
- Manter os menores intervalos possíveis de interrupção do processo para um melhor aproveitamento do calor gerado internamente.
- Manter os refratários em boas condições operacionais, objetivando a redução das perdas térmicas para o ambiente.

b) Em fornos a resistência

- Realizar o controle adequado de programas de potência, buscando regular gradualmente as temperaturas internas e os tempos de processamento em função das necessidades efetivas do material processado.

c) Em fornos de indução eletromagnética e a arco

- Elaborar e otimizar, continuamente, programas de potência, buscando regular gradualmente as correntes de fusão e seus tempos de circulação em função do comportamento do material fundido.

d) Em fornos a arco

- Realizar o controle de vazão de água do sistema de refrigeração, atuando sobre os motores das bombas.
- Realizar o controle de sucção do sistema de despoeiramento durante os tempos de parada do forno, atuando sobre os motores dos exaustores.
- Processar cargas bem elaboradas, com teor de carbono adequado.
- Regular adequadamente o sopro de oxigênio.

4.2 Fornos a combustível

Os fornos a combustível possuem um ou vários equipamentos para efetuar a combustão do óleo combustível ou gás. Tais equipamentos são denominados de “combustores” ou “queimadores”.

Em torno do(s) queimador(es), é construída a câmara do forno, onde o calor será cedido ao material de processo (aço, óxidos etc.). A câmara deverá ser protegida com camadas de materiais refratários e isolantes térmicos para reduzir as perdas de calor pelas paredes.

Existem vários tipos de fornos: desde os mais simples, como os fornos de queimar cerâmica vermelha, até os grandes fornos de tratamento térmico, controlados eletronicamente.

O rendimento térmico desses fornos varia de 30 a 70%.

As maiores economias de energia decorrem dos seguintes procedimentos:

- melhoria do isolamento térmico;
- melhoria nas vedações das portas de carga e descarga;
- redução da temperatura dos gases de exaustão na chaminé.

Recomendações para fornos e estufas:

- Manter as portas frontais dos compartimentos do forno sempre vedadas e fechadas durante as fornadas.

- Efetuar manutenção periódica nos dispositivos de combustão, controle e exaustão dos gases.
- Manter em bom estado o isolamento térmico da estrutura, o piso e o teto dos fornos.
- Evitar a vaporização excessiva de água dentro dos fornos.

Para economizar energia nos fornos:

- Programe a produção para a correta utilização, de preferência de forma contínua, para evitar a perda do aquecimento inicial do equipamento.
- Desligue o equipamento imediatamente após o ciclo de operação programado e mantenha as portas ou tampas fechadas. Elimine as perdas por frestas.
- Avalie a participação do forno no consumo e na demanda da indústria e encontre o melhor horário para seu funcionamento, evitando concentração com outros equipamentos de porte, principalmente no horário de pico, em que a tarifa para as indústrias tem um valor maior.
- Estime o consumo específico (kWh/unidade de produção) e compare com os valores típicos para serviços semelhantes.
- Opere o forno próximo da sua capacidade nominal. O consumo específico aumenta com a redução da carga. Se um forno projetado para produzir 100 kg/h com consumo específico de 0,40 kWh/kg produzir apenas 50 kg/h, o consumo específico poderá se elevar para 0,56 kWh/kg.



5. AQUECIMENTO SOLAR

O Sol envia à Terra em menos de uma hora o equivalente a toda energia que a humanidade consome em um ano. É uma energia renovável, não poluente e abundante no Brasil, especialmente, em face das suas características de país tropical.

Existem dois métodos para se captar a energia do Sol: a energia solar fotovoltaica e o aquecimento de água solar.

5.1 Energia solar fotovoltaica

Com a energia recebida do Sol, é possível se obter a energia fotovoltaica por meio de painéis contendo células solares, que geram energia elétrica através do efeito fotovoltaico, ou seja, a geração de uma diferença de potencial elétrico (tensão). As células solares são, essencialmente, diodos fotossensíveis que geram eletricidade quando expostos à luz.

O efeito fotovoltaico ocorre quando fótons (energia que o Sol carrega) incidem sobre átomos (no caso átomos de silício do painel solar), provocando a emissão de elétrons e gerando corrente elétrica.

A energia gerada pelos painéis é armazenada em bancos de bateria, para que seja usada em período de baixa radiação e durante a noite. A energia solar fotovoltaica é uma das opções de geração de energia da atualidade, especialmente em regiões não atendidas pela rede elétrica. Por ser limpa, abundante e renovável, é uma solução inteligente e ecológica.

A implementação de sistemas fotovoltaicos pode ser feita diretamente nos locais de consumo, evitando a construção de usinas, linhas de transmissão e de distribuição, com total preservação ambiental.

Exemplos de aplicação da energia solar fotovoltaica:

- **Em regiões remotas:** iluminação em geral, TVs, geladeiras e freezers, postos de saúde, escolas, centros comunitários, centros de pesquisa, eletrificação de cercas, telefonia, internet, bombeamento de água.
- **Em regiões urbanas:** sinalização (viária, fluvial, aeroportos), iluminação pública, semáforos, alimentação de sistemas críticos, energia de “backup”.

5.2 Aquecedores solares de água

Os aquecedores solares são, ao mesmo tempo, captadores e armazenadores de uma energia gratuita. Quando se instala um desses equipamentos, monta-se, na verdade, uma microssistema capaz de produzir energia sob a forma de aquecimento de água no mesmo local em que será utilizada.

Um sistema de aquecimento solar é formado por um conjunto de coletores solares, um reservatório térmico, um sistema de circulação de água (natural ou forçada) e um sistema auxiliar de aquecimento elétrico (resistência elétrica ou a gás).

A radiação solar aquece a água na serpentina de tubos de cobre, no interior da caixa do coletor solar. O isolamento térmico e o vidro que recobrem essa caixa impedem a perda do calor para o ambiente. A água quente circula entre a serpentina e o reservatório termicamente isolado, carregando o calor, que permanecerá armazenado. Em períodos encobertos prolongados, se a temperatura tender a cair abaixo de 40 °C, o termostato ligará a resistência elétrica (sistema auxiliar de aquecimento elétrico) ou o queimador de gás, para aquecimento suplementar.

a) Circulação natural

Para as pequenas instalações, a circulação de água é natural, não havendo necessidade de utilização de bomba elétrica.

b) Circulação forçada

Nas instalações de médio e de grande porte, é normalmente utilizado o sistema de circulação forçada de água, composto por uma motobomba elétrica comandada por um controlador diferencial. Quando a temperatura da água dentro do coletor solar for de 3 °C a 10 °C maior que a temperatura da água do reservatório térmico, o termostato ativa a bomba circuladora, levando água quente do

coletor para o reservatório. O diferencial de temperatura citado é o normalmente utilizado, mas cada instalação deve ser otimizada, usando esse diferencial apenas como referência.

c) Outros sistemas

Existem outros sistemas de aquecimento solar de água que utilizam o próprio reservatório térmico como coletor solar ou, ainda, instalações com a resistência elétrica fora do reservatório térmico principal, isto é, dentro de um segundo reservatório de menor volume.

d) Instalação dos equipamentos

Os aquecedores solares podem ser instalados em edificações novas ou antigas. No entanto, para possibilitar uma instalação sem problemas técnicos e a custos menores, é importante que os coletores solares sejam previstos na fase inicial do projeto da instalação ou planta. O custo da aplicação desses equipamentos em edifícios de apartamentos ou vestiários, mantidas as vazões e os níveis de conforto, é inferior ao dos sistemas convencionais normalmente utilizados. Isso significa que o custo do material elétrico necessário para as instalações de chuveiros ou aquecedores elétricos é superior ao custo total de uma instalação de aquecimento solar.

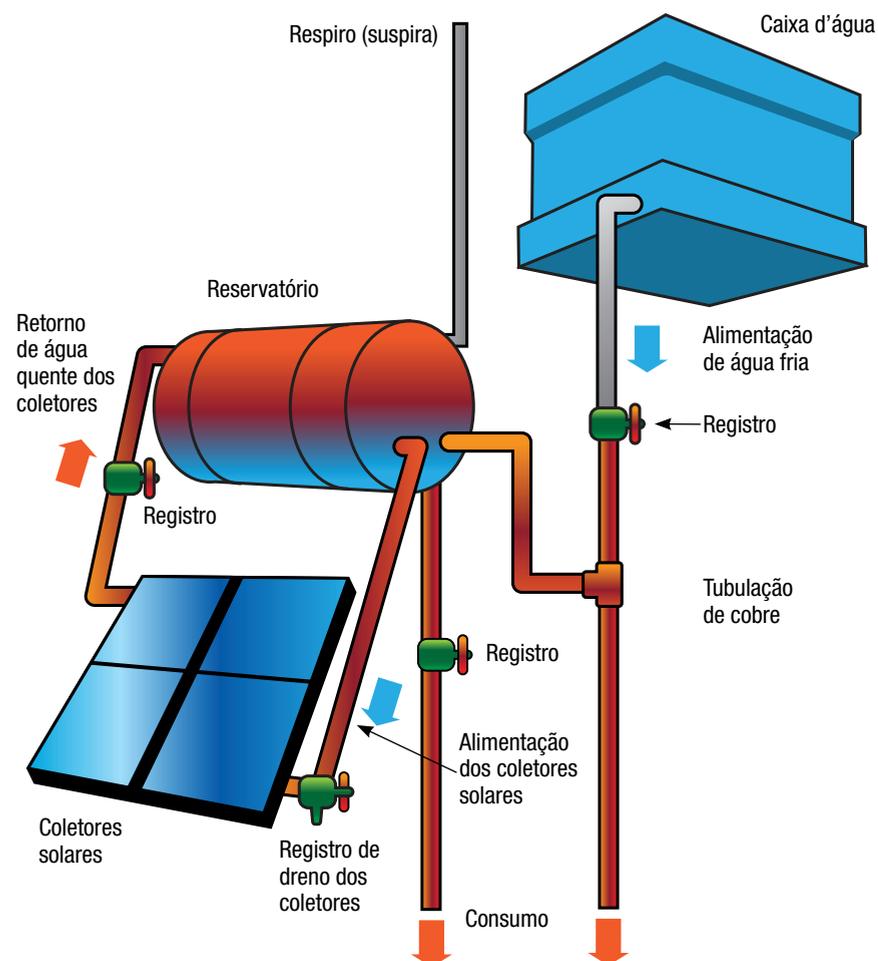
A utilização desse equipamento em prédios de habitação coletiva ou locais com grande concentração de banhos, como vestiários de empresas, principalmente naquelas em que os banhos ocorrem no horário de ponta, portanto, mostra ser economicamente viável na fase de projeto. O preço do aparelho solar, geralmente, inclui o transporte, a instalação, a orientação técnica e outros serviços, a maioria deles não incluídos no preço dos equipamentos que ele substitui (aquecedores).

e) Cuidados com a instalação

Essa é, sem dúvida, a recomendação mais importante. A qualidade da instalação dos aquecedores solares é primordial, pois um bom equipamento pode ter seu funcionamento comprometido por uma instalação mal executada. Há necessidade de tubulação hidráulica de distribuição dupla, uma para água fria e outra para água quente. Esta última poderá ser executada, em princípio, com qualquer material resistente ao calor, como aço galvanizado, cobre, CPVC e polipropileno.

A diferença entre esses materiais está na vida útil, na resistência mecânica e no preço, pois pouca, ou quase nenhuma, influência terão no desempenho do aparelho, requerendo cada um deles uma tecnologia de aplicação diferente. As distâncias a serem percorridas pela água quente, no caso de aquecedores solares, são, normalmente, superiores às dos aquecedores elétricos. Não se deve, portanto, exagerar no diâmetro das tubulações, pois cada vez que se abrir a torneira, terá de passar muita água resfriada na tubulação para a chegada da água quente, causando consumo virtual de água, além do desconforto da espera.

O problema de resfriamento da água na tubulação pode ser diminuído isolando-se as redes por meio de lã de vidro, rocha ou vermiculita expandida com cimento, em traço de 6:1 nas paredes. Essas redes de distribuição poderão ser efetuadas por um instalador. Entretanto, deve-se solicitar orientação ao fabricante do aquecedor solar. Há quesitos técnicos de extrema importância que deverão ser verificados por pessoa competente por ocasião da compra, no local da instalação ou durante a análise dos projetos. É imprescindível prever a orientação de um técnico competente.



No caso de circulação natural, um dos itens mais importantes é a diferença de altura entre os coletores solares e o reservatório térmico que deve ser colocado acima deles. Essa diferença é que provoca a circulação de água pelos tubos, retirando, rapidamente, o calor gerado pelo sol no coletor solar. Um fabricante criterioso apresentará com clareza os limites mínimos aceitáveis de altura.

f) Economia de energia elétrica utilizando aquecedores solares

Um equipamento bem dimensionado economiza em um ano cerca de 80% da energia que seria necessária para efetuar o mesmo aquecimento por meio da eletricidade. Além da economia de energia elétrica, há um aumento expressivo no conforto, com maior vazão nos chuveiros e maior disponibilidade de água quente. O aquecimento solar pode ser aplicado em indústrias e empresas comerciais para aquecer a água de banhos e de cocção, em limpeza geral e para preaquecer águas de processo. Em hotéis, clubes e escolas, utilizando um aquecedor mais simplificado, sem cobertura de vidro, para aquecer piscinas.

A diferença entre equipamentos residenciais e industriais refere-se ao porte da instalação. As características construtivas e as questões de orientação e de instalação mantêm-se. Porém, devido ao porte, instalações industriais devem ser providas de circulação forçada com bombas e reservatórios de maior porte. Recomenda-se a contratação de projetistas ou consultores especialistas para dimensionar e acompanhar a instalação, bem como o uso de equipamentos (placas e motores) certificados com o selo Procel.

5.3 Isolamento térmico

Os sistemas que produzem, transportam ou utilizam energia térmica (calor ou frio) apresentam perdas de calor em decorrência dos fenômenos físicos de condução, convecção e radiação, como definido anteriormente. Nas aplicações industriais mais comuns, a maior parte das perdas ocorre na condução do calor através das paredes dos equipamentos, tubulações e acessórios. Por isso, somente esses tipos de perda serão abordados aqui.

Aplica-se isolamento térmico a equipamentos, tubulações e acessórios para reduzir as perdas de calor, manter as temperaturas requeridas nos processos e para fins de segurança pessoal. Em geral, face às economias que representa, a eficiência do isolamento é um item importante na redução dos custos da energia térmica e da elétrica se for este o insumo para produção do calor. Em geral, os custos de melhoria do isolamento térmico são relativamente baixos e resultam em bom retorno econômico para os recursos investidos. A função básica do isolamento térmico é retardar o fluxo de energia térmica não desejada, seja para dentro ou para fora do equipamento considerado. A eficiência do isolamento térmico é medida com uma propriedade denominada condutibilidade térmica. A condutibilidade térmica, designada pela letra *k*, pode ser expressa em kcal/h.m.°C e significa a quantidade de calor que atravessa um cubo com um metro de lado no período de uma hora, quando há uma diferença de temperatura de 1 °C entre as faces opostas.

Cada material possui um valor típico de *k*. Os materiais com baixos valores de *k* são 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, o vidro duplo com gás argon, as telas refletoras, a fibra-cerâmica, lã de rocha e lã de vidro e também o vácuo. O *k* é uma função da temperatura, e seu valor está associado a uma determinada faixa de temperaturas.

Em geral, os materiais apresentam valores de *k* maiores à medida que a temperatura aumenta, como pode ser observado na tabela a seguir:

Coefficientes de condutibilidade térmica para diversos isolantes térmicos

MATERIAL ISOLANTE	TEMPERATURA MÁXIMA DE UTILIZAÇÃO °C	TEMPERATURA DE OPERAÇÃO °C	k (kcal/h.m.°C)
Poliuretano	100	0	0,020
		100	0,033
Fibra de vidro	550	200	0,041
		300	0,047
		400	0,056
		550	0,075
		650	0,080
Silicato de cálcio	650	100	0,051
		200	0,057
		300	0,062
		400	0,068
		500	0,073
		600	0,078
		650	0,080
Lã de rocha	750	100	0,035
		200	0,041
		300	0,048
		400	0,057
		500	0,066
		600	0,077
		700	0,089
		750	0,096
Fibra cerâmica	1.400	200	0,025
		400	0,050
		600	0,080
		800	0,114
		1.000	0,154
		1.200	0,198

Para avaliar o potencial de economia que pode ser obtido com o redimensionamento do isolamento térmico, adote o seguinte roteiro:

- Faça um levantamento dos principais sistemas ou processos que utilizam energia térmica na indústria, incluindo equipamentos, transporte e armazenamento do calor.
- Meça as temperaturas t_1 do interior, e t_2 do ambiente externo para cada um dos equipamentos, acessório ou tubulação.
- Se possuírem isolamento térmico, meça a espessura (e), identifique o material utilizado e o respectivo coeficiente de condutibilidade térmica (k), de acordo com a temperatura. Assuma os valores médios apresentados na tabela de coeficientes de condutibilidade térmica, na falta de dados melhores de k . Quando o isolamento for constituído por várias camadas isolantes, considere o coeficiente k de cada uma das camadas e as respectivas espessuras.
- A área considerada para as superfícies planas é a exterior (S). No caso de equipamento com corpo cilíndrico, considere a área desenvolvida como uma superfície plana que irradia calor. No caso de equipamentos ou locais com superfícies com isolamentos diferentes, considere cada uma das superfícies.
- Para tubulações, meça o diâmetro externo do tubo (d_2) e o diâmetro interno do tubo mais o isolamento térmico (d_1). Meça também o comprimento (l) das tubulações, em metros.
- Para as instalações sem isolamento térmico, obtenha nos gráficos (ábaco de Wrede, figura a seguir) a correspondente perda de calor (q).
- Determine as perdas Q_1 , da seguinte forma:

Tubulações

$$Q_1 = q \times L$$

em que:

$$Q_1 = \text{perdas de calor (kcal/h.m)}$$

conforme gráfico

$$q = \text{perdas de calor (kcal/h.m)}$$

L = comprimento

da tubulação (m)

Superfícies planas

$$Q_1 = q \times S$$

em que:

$$Q_1 = \text{perdas de calor (kcal/h.m)}$$

$$q = \text{perdas de calor (kcal/h.m)}$$

conforme gráfico

S = área exterior do

equipamento (m²)

- Para os equipamentos que possuem isolamento térmico, determine as perdas de calor Q_1 utilizando as seguintes expressões:

Tubulações

$$Q_1 = \frac{2\pi l (t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_e}{d_a} \sum \frac{e}{K}}$$

Superfícies planas

$$Q_1 = \frac{S (t_1 - t_2)}{\sum \frac{e}{K}}$$

em que:

$$Q_1 = \text{perdas atuais de calor (kcal/h)}$$

k = coeficiente de condutibilidade térmica do isolante, em kcal/h.m.°C, à sua temperatura média

$$t_m = (t_1 - t_2) / 2$$

em que:

t_1 = temperatura interna do equipamento ou da tubulação (°C)

t_2 = temperatura ambiente (°C)

e = espessura do isolante (m)

S = área externa de condução de calor (m²)

L = comprimento da tubulação (m)

d_e = diâmetro externo do tubo (m)

d_a = diâmetro externo do tubo mais isolante térmico (m)

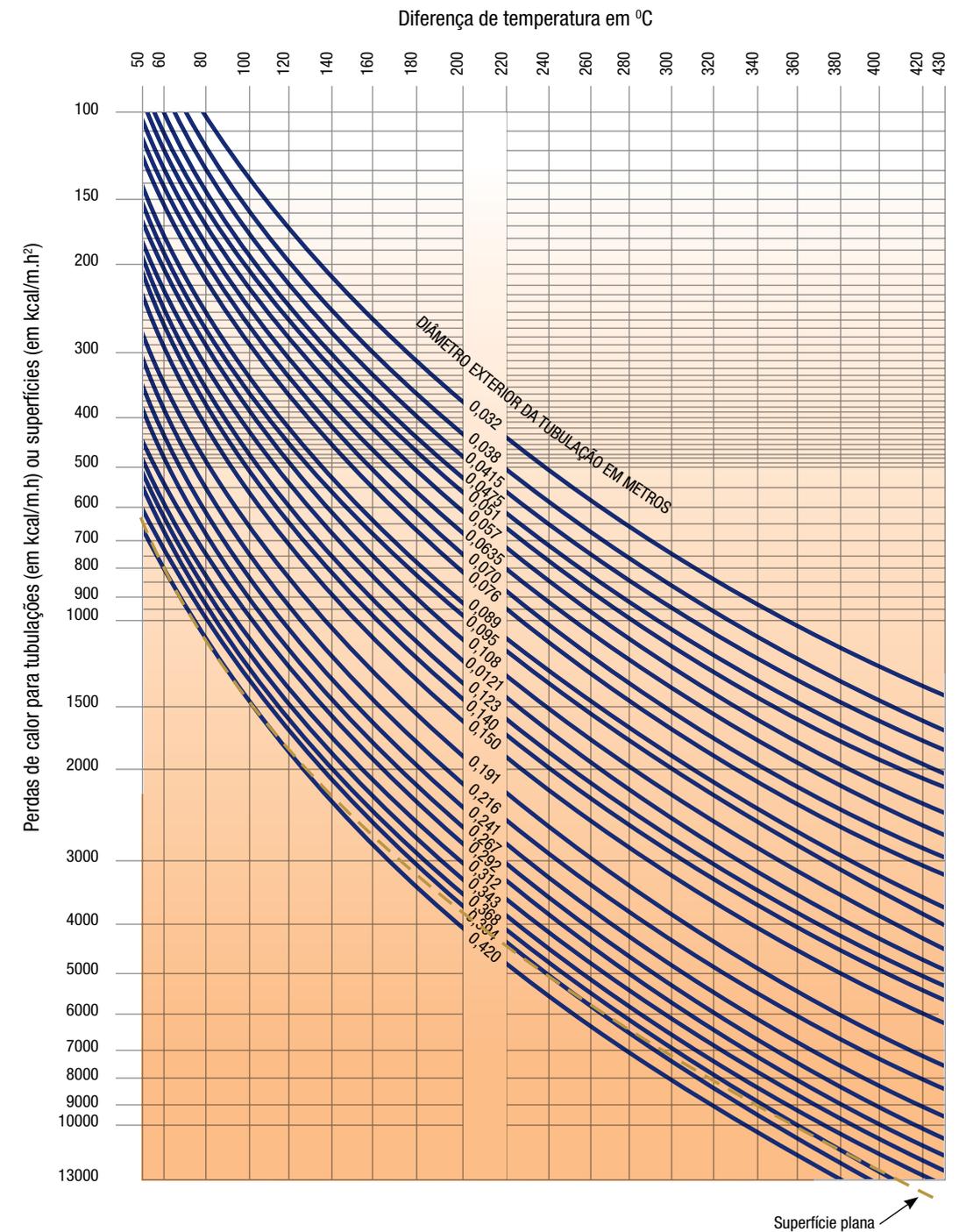
Observação: Quando o isolamento térmico for composto por várias camadas de materiais diferentes, considere o efeito de cada uma das camadas e tome a somatória desses valores.

ÁBACO DE WREDE

Para avaliar o potencial de economia que poderá ser obtido com o redimensionamento do isolamento térmico para instalações que necessitam de um isolamento térmico adequado, ou mesmo que não possuem isolamento, usamos o ábaco de Wrede (página seguinte), que apresenta a perda de calor (q).

Nota: O ábaco de Wrede pode ser utilizado quando a temperatura ambiente está em torno de 20 °C e quando as paredes não sofrem ação de ventos relativamente fortes.

Perdas de calor em tubulações e superfícies



- Para reduzir as perdas de calor, pode-se trocar o isolamento por outro com menores perdas (com menor coeficiente de condutibilidade térmica), aumentar a espessura do isolamento ou, ainda, adotar ambas as soluções simultaneamente. Escolha a alternativa mais adequada para o seu caso. Sempre que possível, reduza o comprimento de tubulações, eliminando os trechos desnecessários, evitando, assim, desperdícios de energia.
- Calcule as novas perdas Q_2 utilizando as expressões anteriores.
- Calcule a redução das perdas consequentes da melhoria do isolamento térmico com a expressão:

$$R = Q_1 - Q_2$$

em que:

R = redução de perdas devido à melhoria do isolamento térmico (kcal/h)

Q_1 = perdas atuais do equipamento ou tubulação (kcal/h)

Q_2 = perdas do equipamento ou da tubulação com o novo isolamento térmico (kcal/h)

- Estime a duração média mensal de operação (h) do sistema que consome energia térmica.
- Calcule o potencial de economia de energia (E) utilizando a seguinte expressão:

$$E = R \times h \text{ (kcal/mês)}$$

- O potencial energia térmica economizada, expressa em quantidade de combustível, é determinado por:

$$E_c = \frac{E}{PCS}$$

em que:

E_c = economia mensal de combustível, em kg/mês, ou litros/mês

E = potencial de economia em kcal/mês

PCS = poder calorífico superior do combustível, em kcal/kg, ou kcal/litro

- Se a energia térmica for proveniente da energia elétrica, o potencial de economia será expresso em kWh/mês:

$$EE = \frac{E}{860}$$

em que:

EE = economia mensal de energia elétrica, em kWh/mês

860 = equivalente mecânico para conversão de kcal para kWh

A aplicabilidade do redimensionamento do isolamento térmico é fundamentalmente uma decisão econômica. A princípio, o investimento feito deverá ser compensado pela economia no consumo dos insumos energéticos (combustível ou energia elétrica). Cada situação deve ser analisada separadamente, uma vez que não há regra geral para recomendação de um tipo ou de outro de isolamento térmico.



6. COGERAÇÃO

A cogeração é definida como o processo de transformação de energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil. As formas de energia útil mais frequentes são a energia mecânica e a térmica.

A energia mecânica pode ser utilizada diretamente no acionamento de equipamentos ou para a geração de energia elétrica. A energia térmica é utilizada diretamente no atendimento das necessidades de calor para processos, ou indiretamente na produção de vapor ou na produção de frio.

A cogeração tem por objetivo o melhor aproveitamento dos insumos energéticos para se obter um balanço de massa energética mais eficiente, utilizando para isso mais de um processo de recuperação de energia.

Para que seja viável a implantação de cogeração em uma indústria, é necessário que:

- a indústria seja consumidora das diferentes formas de energia cogerada (energia mecânica ou elétrica e de calor ou frio);
- o custo da energia cogerada seja inferior à soma dos insumos energéticos adquiridos (energia elétrica mais combustível);
- existam garantias de suprimento de combustível;
- não ocorram restrições ambientais à implantação do empreendimento.

Algumas desvantagens de se utilizar um sistema de cogeração:

- planejamento de operação e expansão do sistema elétrico;
- isolamento para manutenção do sistema elétrico;
- alto custo de implementação.

6.1 Principais atrativos da cogeração na indústria

Sendo viável a implantação do empreendimento, a cogeração pode apresentar para o usuário e para o meio ambiente os atrativos a seguir.

a) Para o usuário da cogeração:

- Independência total ou parcial do sistema da concessionária de energia elétrica.
- Dependendo do processo de cogeração, pode haver maior flexibilidade na escolha de insumos (combustíveis) regionais.
- Possibilidade de redução do impacto ambiental, dependendo do combustível utilizado na cogeração.
- Possibilidade de modular as cargas de acordo com suas necessidades, sem ter de renegociar contratos de energia elétrica.
- Maior independência energética e maior controle e gestão dos custos totais da energia.
- Maior eficiência energética global.

b) Para o meio ambiente:

- Redução da carga térmica rejeitada para o ambiente ao se utilizar de forma mais eficiente a energia contida no combustível.
- Postergação de ampliação de reservatórios de usinas hidrelétricas, ao substituir o insumo elétrico do sistema.
- Redução dos poluentes dos efluentes gasosos se o insumo da cogeração for um combustível mais limpo que o utilizado na produção do calor do processo.

6.2 Equipamentos utilizados em instalações de cogeração

As oportunidades criadas nas últimas décadas, com o crescente mercado de equipamentos e de tecnologias adequados para a geração distribuída, atraíram muitos investimentos em pesquisa e fizeram surgir muitos fabricantes que atualmente oferecem tecnologias competitivas para a implantação dos sistemas de cogeração. Os principais equipamentos que compõem esses sistemas são aqueles que, utilizando um combustível (biomassa e/ou gás natural), produzem energia mecânica para mover um gerador que produz eletricidade e, complementarmente, outros equipamentos produzem energia térmica (calor e frio).

6.2.1 Equipamentos de transformação de energia térmica

São os equipamentos que transformam a energia térmica dos combustíveis em energia útil de acionamento.

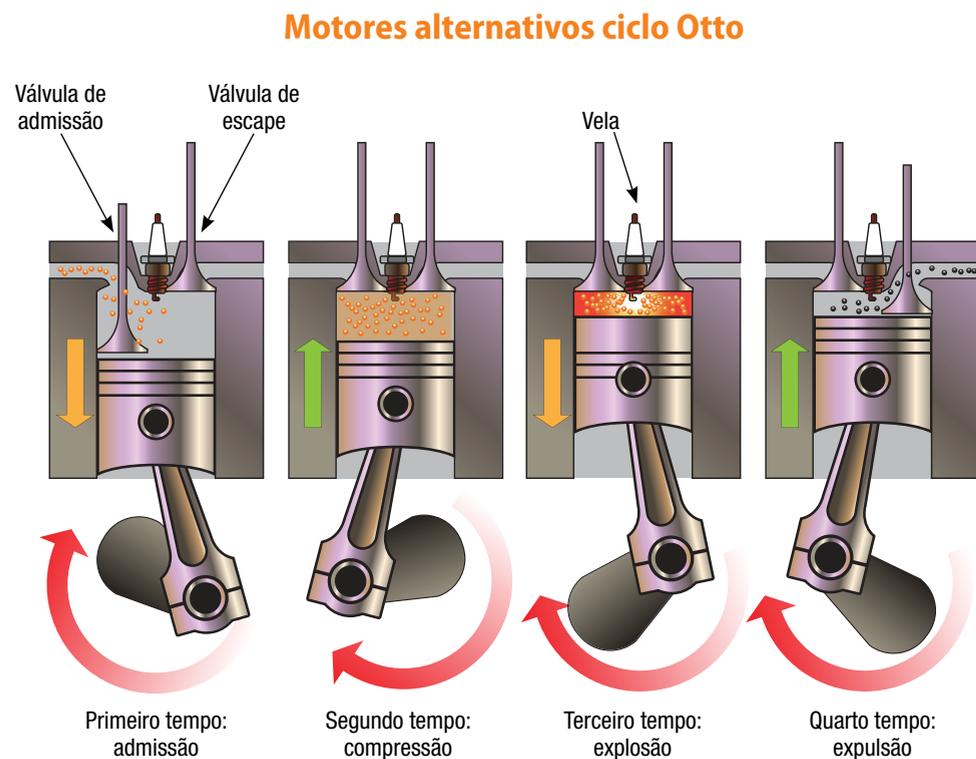
6.2.2 Motores alternativos de combustão interna

O motor de combustão interna é uma máquina térmica, que transforma a energia proveniente de uma reação química em energia mecânica. O processo de conversão se dá através de ciclos termodinâmicos que envolvem expansão, compressão e mudança de temperatura de gases.

Esses motores também são popularmente chamados de motores a explosão. Essa denominação, apesar de frequente, não é tecnicamente correta, pois o que ocorre no interior

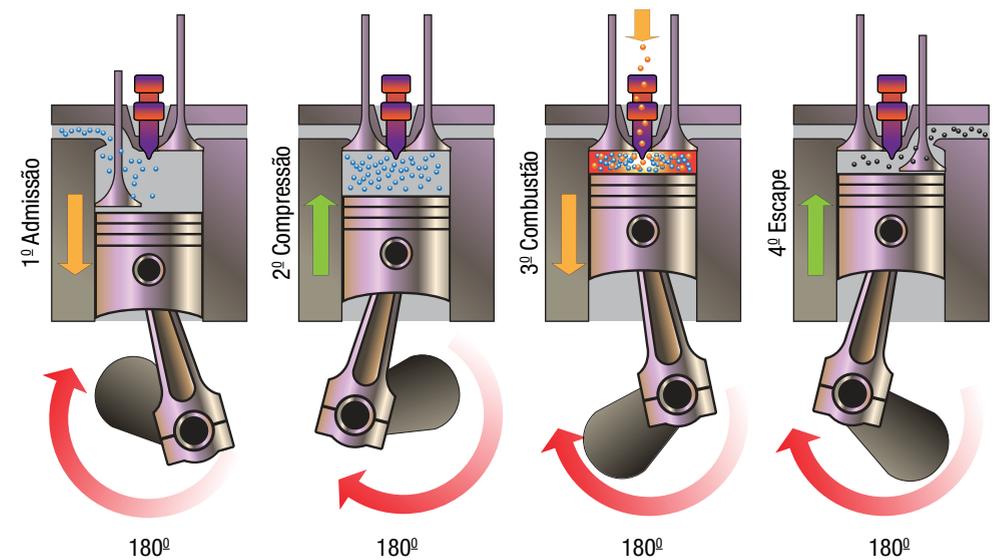
das câmaras de combustão não é uma explosão de gases. O que impulsiona os pistões é o aumento da pressão interna da câmara, decorrente da combustão (queima controlada com frente de chama). O que pode se chamar de explosão (queima descontrolada sem frente de chama definida) é uma detonação dos gases, que deve ser evitada nos motores de combustão interna, a fim de proporcionar sua maior durabilidade e menores taxas de emissões de poluentes atmosféricos provenientes da dissociação do gás nitrogênio.

Uma das principais características que diferenciam o motor Otto de outros é a aspiração de uma mistura ar — combustível. Para iniciar a queima dentro da câmara, produz-se uma centelha elétrica (faísca), através de uma vela, que nada mais é do que um dispositivo ignitor. O ciclo Otto consiste de quatro etapas, como mostra a figura a seguir.



Os motores a diesel caracterizam-se pela ignição por compressão. O fluido de trabalho (normalmente ar) é comprimido sem ser misturado ao combustível, e quando o combustível é injetado no fluido comprimido e quente esse se inflama. As máquinas que impulsionam veículos pesados como caminhões, trens e navios, usualmente são baseadas no ciclo diesel, o que não se refere ao combustível utilizado e sim ao ciclo termodinâmico em que operam.

Motores alternativos ciclo diesel

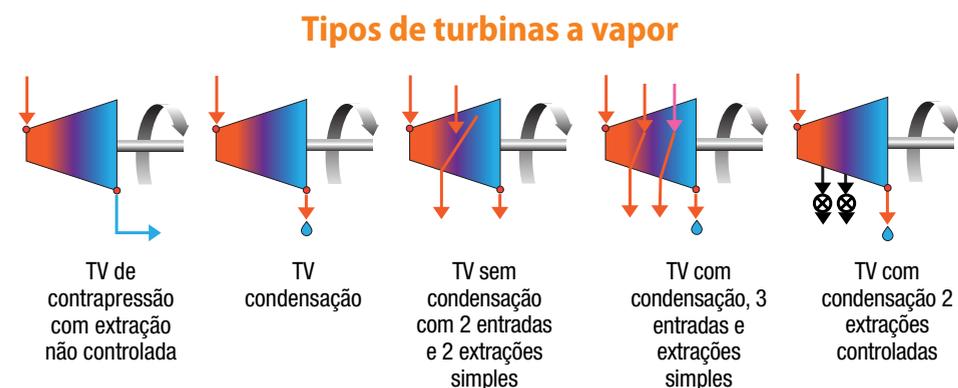


6.2.3 Turbinas a vapor

São máquinas que convertem a energia térmica do vapor em energia mecânica para acionamentos. Podem ser fabricadas com uma grande variedade de configurações: para diversas pressões, diferentes números de estágios, de condensação, de extração simples e controlada, simples e múltiplas entradas etc. São produzidas na faixa de potência desde poucos kW até mais de 1.000 MW.

Embora a invenção do motor de combustão interna no final do século XIX parecesse ter tornado obsoleta a máquina a vapor, ela ainda hoje é muito utilizada, por exemplo, nos reatores nucleares que servem para produzir energia elétrica.

No caso da turbina a vapor, o fluido de trabalho é o vapor de água sob alta pressão e alta temperatura. Seu funcionamento se baseia no princípio de expansão do vapor, gerando diminuição na temperatura e energia interna; essa energia interna perdida pela massa de gás reaparece na forma de energia mecânica, pela força exercida contra um êmbolo. A figura a seguir mostra alguns dos tipos de turbinas a vapor em geral utilizadas em instalações de cogeração.



O princípio básico do funcionamento da turbina a vapor é a injeção de vapor de água, gerado em um sistema de caldeiras sob pressão e altas temperaturas, na turbina por um injetor que, sob um determinado ângulo nas rodas das turbinas, faz com que o equipamento crie energia cinética e produza energia elétrica.

6.2.4 Turbinas a gás

As turbinas a gás são equipamentos constituídos por compressor, câmara de combustão e turbina de expansão. Essa configuração forma um ciclo termodinâmico a gás, cujo modelo ideal denomina-se Ciclo Brayton, concebido por George Brayton em 1870.

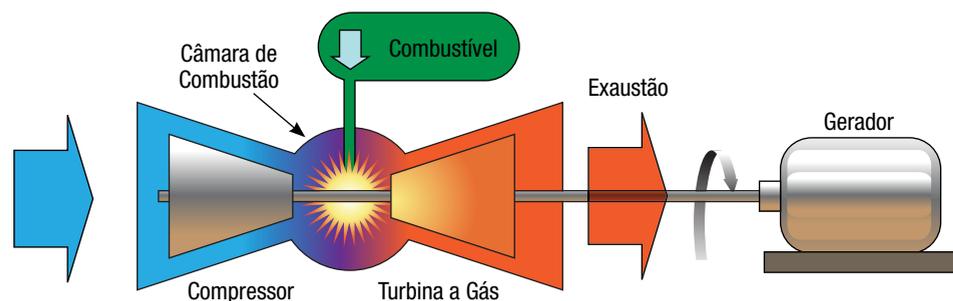
O ar comprimido é injetado na câmara de combustão, fornecendo o oxigênio para a queima do combustível. Essa reação exotérmica à alta pressão transfere a energia química do combustível para os gases, elevando sua temperatura. O gás resultante é expandido na turbina, de onde se extrai a energia mecânica para que o compressor e a carga acoplada ao eixo sejam acionados. Nas turbinas usadas em aviões a jato, os gases quentes são exauridos através de bocais que transformam a energia dos gases em empuxo.

Descrevemos a seguir o funcionamento de cada uma das partes de uma turbina.

- a) **Compressor:** absorve o ar necessário à combustão e o comprime, reduzindo significativamente seu volume.
- b) **Combustor:** aqui, esse ar é misturado ao combustível (normalmente, gás natural ou óleo diesel), entra em combustão, e a mistura sofre uma expansão de volume a pressão constante (isobárica).

- c) **Turbina:** a turbina em si é formada por um conjunto de rodas dotadas de paletas rigidamente engastadas, constituindo um conjunto mecânico similar às rodas da turbina a vapor. Os gases queimados expandem-se na passagem pelas rodas, perdendo entalpia e cedendo energia cinética à turbina, produzindo um movimento de rotação no eixo.
- d) **Exaustão:** o tubo de exaustão, localizado na saída da turbina, libera os gases queimados à pressão atmosférica e temperatura sensivelmente reduzida (algo em torno de 450 °C a 550 °C).

Turbina a gás e gerador de energia elétrica



Esse conjunto opera em um ciclo aberto, ou seja, o fluido de trabalho (ar) é admitido na pressão atmosférica e os gases de escape, após passarem pela turbina, são descarregados novamente na atmosfera sem que retornem à admissão.

A denominação turbina a gás pode ser erroneamente associada ao combustível utilizado. A palavra “gás” não se refere à queima de gases combustíveis, mas, sim ao fluido de trabalho da turbina, que, neste caso, é a mistura de gases resultante da combustão. O combustível em si pode ser gasoso, como gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás de síntese ou líquido, como querosene, óleo diesel e até mesmo óleos mais pesados.

A carga acoplada ao eixo (ou eixos) da turbina, além do compressor de ar do conjunto, pode ser constituída por gerador de energia elétrica, bombas, compressores ou um eixo motor qualquer. As turbinas de pequena e média potência giram a rotações mais elevadas. Dependendo da carga, pode ser necessário inserir um redutor de velocidade entre a turbina e a sua carga. Algumas turbinas possuem mais de um eixo; neste caso, cada eixo acionado por um conjunto de pás de turbina gira a velocidade diferente.

As turbinas a gás são muito empregadas na propulsão de aviões e em outros tipos de aeronaves. Isso se deve principalmente à característica de alta densidade de potência, em relação a outras máquinas, como motores de combustão interna. Ou seja, as turbinas a gás geram maiores potências comparadas a máquinas de mesmo peso, o que é vantajoso, uma vez que a redução do peso das aeronaves acarreta maior eficiência e capacidade de carga.

As turbinas a gás dedicadas à geração de energia elétrica se dividem em duas principais categorias no que se refere à sua concepção. São elas as pesadas (*heavy-duty*), desenvolvidas especificamente para a geração de energia elétrica ou propulsão naval; e as aeroderivativas, desenvolvidas a partir de projetos dedicados a aplicações aeronáuticas.

Com a exceção das microturbinas (dedicadas à geração descentralizada de energia elétrica), o compressor utilizado geralmente trabalha com fluxo axial, tipicamente com 17 ou 18 estágios de compressão. Cada estágio do compressor é formado por uma fileira de palhetas rotativas, que impõem movimento ao fluxo de ar (energia cinética), e uma fileira de palhetas estáticas, que utiliza a energia cinética para compressão.

O ar sai do compressor a uma temperatura que pode variar entre 300 °C e 450 °C. Cerca de metade da potência produzida pela turbina de potência é utilizada no acionamento do compressor e o restante é a potência líquida gerada que movimenta um gerador elétrico.

Saindo da câmara de combustão, os gases têm temperatura de até 1.250 °C. Depois de passar pela turbina, os gases são liberados ainda com significativa disponibilidade energética, a temperaturas entre 500 °C e 650 °C. Levando isso em consideração, as termelétricas mais eficientes e de maior porte aproveitam esse potencial através de um segundo ciclo termodinâmico, a vapor (ou Ciclo Rankine). Esses ciclos juntos formam um ciclo combinado, de eficiência térmica muitas vezes superior a 60%; os ciclos simples a gás têm uma eficiência térmica de 35%.

Por razões de limitação de temperatura suportável pelos materiais utilizados na construção das turbinas, a massa de ar injetada na câmara da combustão é muito superior à quantidade requerida para se estabelecer a reação estequiométrica da combustão. Assim, os gases de exaustão da turbina contêm ainda uma quantidade significativa de oxigênio.

Quanto mais elevadas forem a temperatura e a pressão dos gases na entrada do primeiro estágio da turbina, e quanto mais reduzida for a temperatura dos gases de exaustão, maior será a eficiência da turbina a gás. A evolução tecnológica dos fatores que afetam esses parâmetros tem promovido, nos últimos anos, o contínuo aperfeiçoamento dessas máquinas.

As turbinas projetadas para operar em ciclo simples, tendo em vista a eficiência térmica do ciclo, têm temperatura de saída de gases reduzida ao máximo e otimizada taxa de compressão. A taxa de compressão é a relação entre a pressão do ar na entrada da turbina e na saída do compressor. Por exemplo, se o ar entra a 1 atm e deixa o compressor a 15 atm, a taxa de compressão é de 1:15.

As turbinas a gás específicas para operar em ciclo combinado são desenvolvidas de modo a maximizar a eficiência térmica do ciclo como um todo. Desta forma, a redução da temperatura dos gases de escape não é necessariamente o ponto mais

crítico, em termos de eficiência, uma vez que os gases de saída da turbina ainda são utilizados para gerar potência.

O compressor de ar consome uma parcela significativa da energia mecânica resultante da conversão da energia térmica dos combustíveis.

As turbinas a gás estão disponíveis com potência de poucas centenas de kW até quase 300 MW.

6.2.5 Equipamentos de produção de frio

Os equipamentos de produção de frio são máquinas desenvolvidas para condicionamento térmico de um determinado local/instalação. Esses equipamentos podem produzir sistemas de condicionamento de ar quente ou frio e são empregados com diversos fins, como ar-condicionado, sistemas de câmaras frigoríficas e sistema de condicionamento de ar.

6.2.5.1 Chiller

Um chiller de água é uma máquina que tem como função aquecer a água ou outro líquido em diferentes tipos de aplicações, através de um ciclo termodinâmico. Os dois principais tipos de chiller são o de compressão ou elétrico e o de absorção. Os chillers de compressão utilizam um compressor mecânico, normalmente acionado por um motor elétrico, de forma a aumentar a pressão em determinada fase do ciclo termodinâmico do sistema. A desvantagem desse processo está no seu elevado consumo energético.

O que distingue o funcionamento dos chillers de absorção dos chillers de compressão é o fato de o primeiro ter como princípio de base um “compressor termoquímico”. Os chillers de absorção permitem produzir água gelada a partir de uma fonte de calor, utilizando para isso uma solução de um sal (por exemplo, brometo de lítio ou amônia) num processo termoquímico de absorção. Eles se subdividem em dois tipos:

- Chiller de absorção de queima direta: nestes sistemas, o calor necessário ao processo é obtido queimando diretamente um combustível, tipicamente gás natural.
- Chiller de absorção de queima indireta: nestes sistemas, o calor necessário é fornecido na forma de vapor de baixa pressão, água quente ou de um processo de vapor quente.

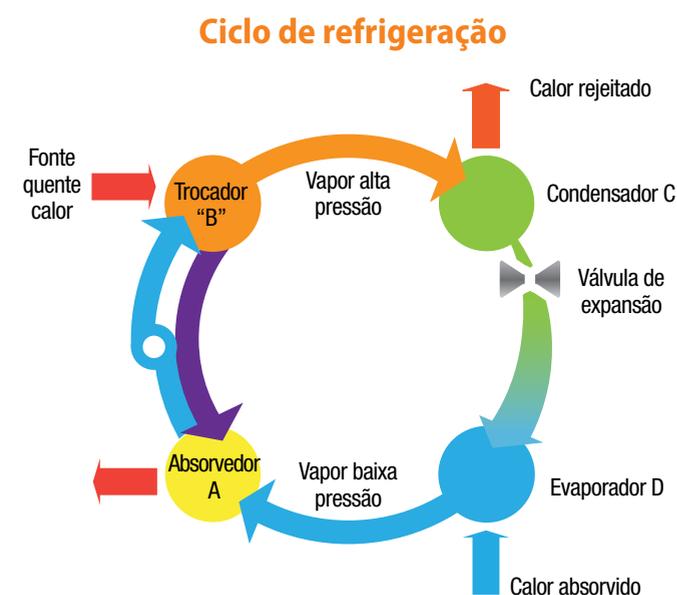
Os chillers de absorção são muitas vezes integrados em sistemas de cogeração, de forma a permitir o aproveitamento do calor que, de outra forma, seria desperdiçado. O chiller de absorção de queima indireta, utilizando água quente como fonte de calor, representa o tipo mais apropriado para a integração com sistemas de microcogeração, já que estes produzem água quente com temperaturas adequadas ao chiller. Existem essencialmente dois tipos distintos de chillers de absorção de queima indireta:

- Sistema no qual o absorvente é o amoníaco: esse sistema representa um investimento relativamente elevado, sendo em geral aplicado apenas em instalações de grande capacidade.
- Sistema em que o absorvente é o brometo de lítio: representa o sistema mais utilizado nos casos de integração com sistemas de microcogeração, devido a uma melhor relação entre o seu custo e a sua eficiência energética.

Os principais componentes de um chiller de absorção e sua função são os seguintes:

- 1) **Evaporador:** local onde é aquecida a água a gelar. O fluido refrigerante (normalmente água) evapora ao absorver calor dos tubos onde circula a água a gelar.
- 2) **Absorvedor:** local onde o vapor de água evaporada é absorvido pela substância absorvente (solução de brometo de lítio). O calor liberado no processo de absorção é dissipado através da passagem dos tubos de água do condensador ao atravessarem o absorvedor.
- 3) **Gerador:** onde é fornecido o calor pela fonte quente, de forma a separar novamente o vapor de água da substância absorvente e reconcentrar a solução.
- 4) **Condensador:** onde o vapor de água produzido no gerador é condensado pela água que circula nesta seção.

O exemplo mostrado na figura a seguir ilustra o princípio básico de funcionamento de um desses ciclos de absorção.



Ele mostra um ciclo frigorífico com solução de amônia. Essa solução, de concentração elevada, é bombeada do absorvedor A para o interior de um trocador de calor B, onde evapora absorvendo a energia proveniente de uma fonte quente, dando origem ao vapor de amônia (em alta pressão). O vapor de amônia é conduzido ao condensador C, no qual, ao condensar, cede calor, que é rejeitado do processo. O líquido condensado é conduzido ao evaporador D, através de uma válvula de expansão. No evaporador D, o líquido condensado evapora, extraindo calor do meio em que está contido (câmara frigorífica, por exemplo). Em seguida, o vapor de amônia a baixa pressão junta-se no absorvedor A com a solução, agora de baixa concentração, e o ciclo se reinicia.

O calor residual proveniente de um processo ou equipamento, como uma turbina ou um motor, pode ser a fonte quente desse ciclo. Nesse caso, o ciclo chama-se de absorção. Como o princípio de base de um chiller de absorção é um sistema termoquímico, não existem componentes móveis no sistema (para além das bombas hidráulicas necessárias). Como consequência, esse tipo de chiller apresenta uma vida útil longa, geralmente superior a vinte anos, e exige muito pouca manutenção.

Por outro lado, nos chillers que usam água como fluido refrigerante, não é utilizada nenhuma substância nociva à camada de ozônio (como os CFC, por exemplo).

O consumo elétrico do chiller de absorção é de cerca de 10% do consumo dos chillers de compressão elétricos. Nas regiões onde existe uma forte procura de eletricidade e/ou em que o preço é bastante elevado, é possível reduzir a fatura energética investindo num sistema de arrefecimento que praticamente não necessita de eletricidade. Os chillers de absorção de queima indireta apresentam também a vantagem de funcionar com uma ampla gama de fontes quentes: vapor de baixa pressão, água quente e energia solar.

6.2.7 Caldeiras e equipamentos de transferência de energia térmica

6.2.7.1 Caldeiras para queima de combustíveis e produção de vapor

As caldeiras são equipamentos construídos para aquecer um fluido ou produzir vapor a partir da queima de combustíveis. Nas caldeiras para vapor de água, de acordo com as necessidades do processo, o vapor pode ser produzido nas condições de saturação ou superaquecimento.

As caldeiras de combustão utilizam uma gama muito extensa de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

6.2.7.2 Caldeiras de recuperação de calor

Estas caldeiras se destinam ao aproveitamento do calor residual de um sistema ou processo para a geração de vapor ou para o aquecimento de um fluido. São muito utilizadas em cogeração de energia elétrica e térmica para recuperar a energia residual dos gases de exaustão de turbinas a gás ou de motores alternativos.

Nas aplicações de recuperação de calor de turbinas a gás, na configuração de geração elétrica em ciclo combinado, esse equipamento pode ser muito sofisticado, com múltiplas pressões e circuitos complexos de troca de calor.

Nas aplicações que exigem maior produção de vapor, maior pressão e temperatura ou maior flexibilidade de operação, são algumas vezes dotados de queima

suplementar de combustível, exaurindo ou não o oxigênio residual da queima do combustível da turbina a gás. Dependendo da quantidade de combustível adicional, pode ser necessário adição de ar para a queima. Quando possível, utiliza-se como combustível suplementar outro combustível mais barato do que o da turbina a gás.

Os motores alternativos de combustão interna permitem outras formas de recuperação de energia além da contida nos gases de exaustão. Os circuitos de refrigeração das camisas e o sistema de resfriamento de óleo são duas outras fontes de energia recuperáveis (com temperaturas menores que a dos gases de exaustão). Nos motores alternativos, a recuperação da energia residual dos gases é feita com caldeiras mais simples em razão do seu conteúdo energético. Nos demais circuitos, a recuperação é feita com trocadores de calor líquido-líquido.

6.2.7.3 Trocadores de calor

O trocador de calor é o dispositivo usado para realizar o processo da troca térmica entre dois fluidos em diferentes temperaturas. Esse processo é comum em muitas aplicações da engenharia. Podemos utilizá-lo no aquecimento e resfriamento de ambientes, no condicionamento de ar, na produção de energia, na recuperação de calor e no processo químico. Em virtude das muitas aplicações importantes, a pesquisa e o desenvolvimento dos trocadores de calor têm uma longa história, mas ainda hoje busca-se aperfeiçoar o projeto e o desempenho de trocadores, com base na crescente preocupação pela conservação de energia.

Os trocadores de calor dos tipos gás-líquido, gás-gás e líquido-líquido são amplamente utilizados em instalações térmicas industriais em geral e de cogeração em particular.

6.2.7.4 Equipamentos auxiliares

São todos os equipamentos necessários para completar as instalações de cogeração, tais como motores auxiliares, sistemas de tratamento de água e efluentes, ar comprimido etc.

6.2.7.5 Alternador

Os alternadores são acionados por motores ou por turbinas a gás ou a vapor. De acordo com a velocidade da máquina motora, pode ser necessário utilizar redutores de velocidade.

6.2.7.6 Gerador elétrico

É um dispositivo utilizado para a conversão da energia mecânica, química ou outra forma de energia em energia elétrica. Os geradores elétricos são aparelhos que convertem energia; o nome gerador elétrico sugere um conceito errado, pois a energia não é gerada e sim convertida. Os geradores elétricos são dispositivos que mantêm entre seus terminais uma diferença de potencial. Há vários tipos de geradores:

- geradores eletroquímicos: pilhas, baterias etc.
- geradores eletrodinâmicos: dínamos e alternadores.
- geradores termoelétricos: onde dois metais diferentes recebem calor e geram tensão em seus terminais.

O tipo mais comum de gerador elétrico, o dínamo (gerador de corrente contínua, eletrodinâmico) de uma bicicleta, por exemplo, depende da indução eletromagnética para converter energia mecânica em energia elétrica.

O dínamo funciona convertendo a energia mecânica contida na rotação do seu eixo, o que faz com que a intensidade de um campo magnético produzido por um ímã permanente que atravessa um conjunto de enrolamentos varie no tempo, o que, pela lei da indução de Faraday, leva à indução de tensões em seus terminais.

A energia mecânica (muitas vezes proveniente de uma turbina hidráulica, a gás ou a vapor) é utilizada para fazer girar o rotor, o qual induz uma tensão nos terminais dos enrolamentos que, ao serem conectados a cargas, levam à circulação de correntes elétricas pelos enrolamentos e pela carga. No caso de um gerador que fornece uma corrente contínua, um interruptor mecânico ou anel comutador alterna o sentido da corrente de forma que ela permaneça unidirecional, independentemente do sentido da posição da força eletromotriz induzida pelo campo. Os grandes geradores das usinas geradoras de energia elétrica fornecem corrente alternada e utilizam turbinas hidráulicas e geradores síncronos.

6.2.7.7 Transformador

É um dispositivo destinado a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, transformando tensões, correntes ou modificando os valores da impedância elétrica de um circuito elétrico. O transformador consiste de duas ou mais bobinas ou rolamentos e um "caminho", ou circuito magnético, que acopla essas bobinas. Há uma variedade de transformadores com diferentes tipos de circuito, mas todos operam com o mesmo princípio de indução eletromagnética.

No caso dos transformadores de dois rolamentos, é comum denominá-los de rolamento primário e secundário. Existem transformadores de três rolamentos, sendo que o terceiro é chamado de terciário. Existe também um tipo de transformador denominado autotransformador, no qual o rolamento secundário possui uma conexão elétrica com o rolamento do primário.

Transformadores de potência são destinados à transformação da tensão e das correntes, operando com altos valores de potência, de forma a elevar o valor da tensão e, conseqüentemente, reduzir o valor da corrente. Esse procedimento é utilizado porque ao se reduzir os valores das correntes, reduz-se as perdas por efeito Joule nos condutores. O transformador é constituído de um núcleo de material ferromagnético, como aço, a fim de produzir um caminho de baixa relutância para o fluxo gerado.

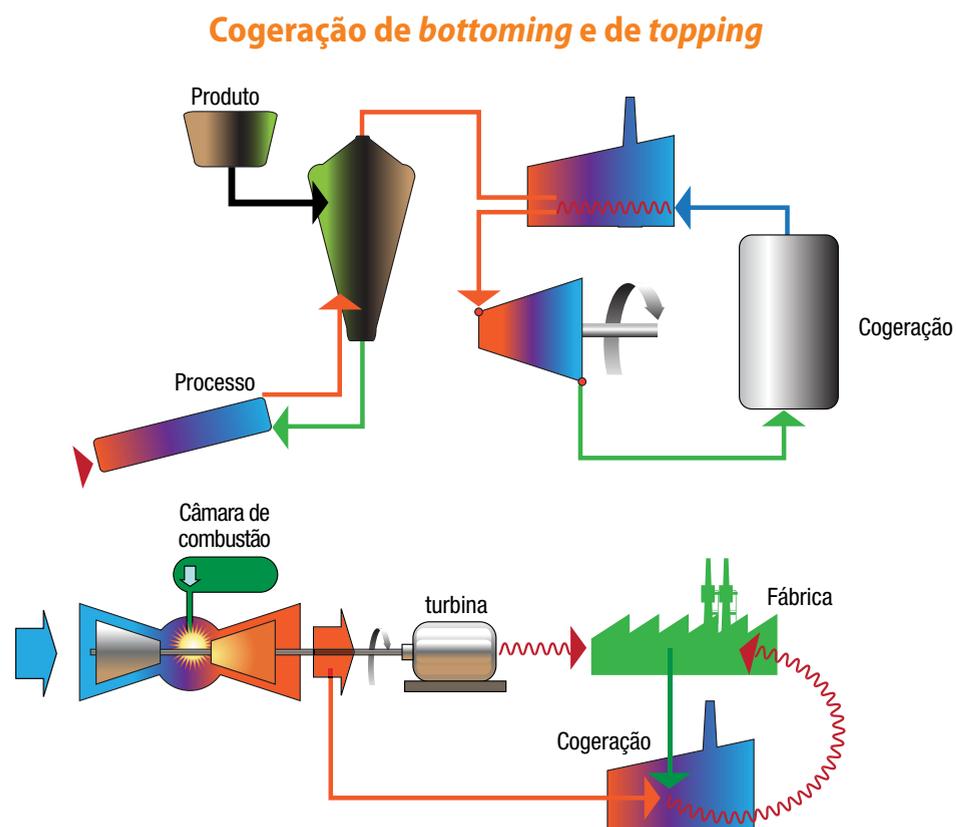


São utilizados para converter uma fonte de energia em uma tensão de alimentação constante e de baixa tensão, como em linhas elétricas para abastecer residências, comércios e indústrias.

6.3 Tipos de cogeração

A partir da fonte de calor disponível, a cogeração pode ser classificada em dois grandes grupos: a cogeração de *bottoming* e a cogeração de *topping*. Na cogeração de *bottoming*, o processo utiliza a energia a temperaturas mais elevadas, e a energia cogerada é o resultado da recuperação do calor residual do processo.

Na cogeração de *topping*, a energia utilizada (acionamento) é extraída no nível mais alto da temperatura da combustão, e a energia recuperada (cogerada) no nível mais baixo.



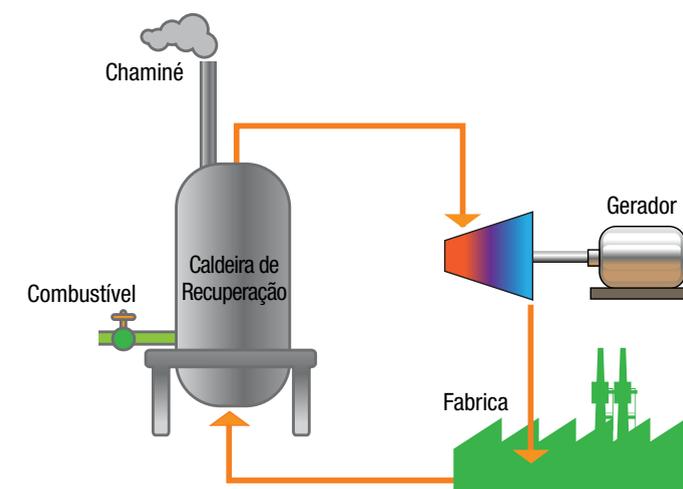
6.4 Ciclos de cogeração

A escolha de um dos sistemas apresentados a seguir, por permitir diferentes configurações, deve levar em conta a viabilidade técnico-econômica, as necessidades estratégicas e outras variáveis como disponibilidade de água, espaço, combustível, condições ambientais etc.

6.4.1 Ciclo de cogeração com turbinas a vapor

Neste ciclo de cogeração, a energia térmica resultante da combustão é transferida, através da caldeira, para a água que vaporiza e superaquece. O vapor superaquecido é expandido em uma turbina que aciona uma carga mecânica (ou gerador elétrico). O vapor é extraído na saída da turbina, nas condições de temperatura e pressão requeridas para o processo que utiliza este calor útil. Geralmente, o fluido é devolvido à caldeira no estado de condensado para reinicializar o ciclo de transferência de energia.

Esse ciclo de cogeração permite a utilização de combustíveis mais baratos, como resíduos industriais, carvão, lenha, bagaço de cana etc., muitas vezes, os únicos disponíveis no local.



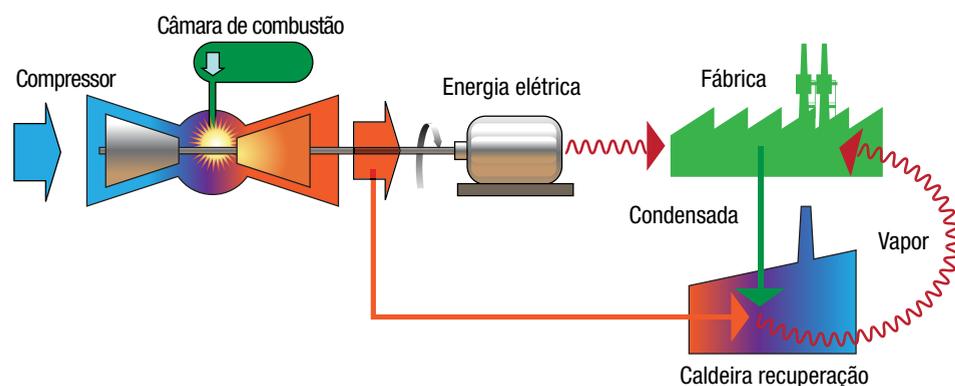
6.4.2 Ciclo de cogeração com turbinas a gás

6.4.2.1 Energia na exaustão das turbinas a gás

Na saída da turbina a gás, os gases de exaustão apresentam ainda uma temperatura relativamente elevada, da ordem de 380 °C a 600 °C. Esses gases possuem um alto conteúdo energético, da ordem de 50 a 70% da energia contida no combustível.

A cogeração se baseia no aproveitamento de parte dessa energia térmica. Dependendo das características da carga térmica, o aproveitamento pode ser maior ou menor. Os processos que utilizam temperaturas mais baixas podem aproveitar mais energia residual dos gases de exaustão. Os usos mais frequentes para essa energia são a utilização dos gases quentes para secagem, a geração de vapor por meio de uma caldeira de recuperação, o aquecimento de fluido térmico, o condicionamento ambiental etc.

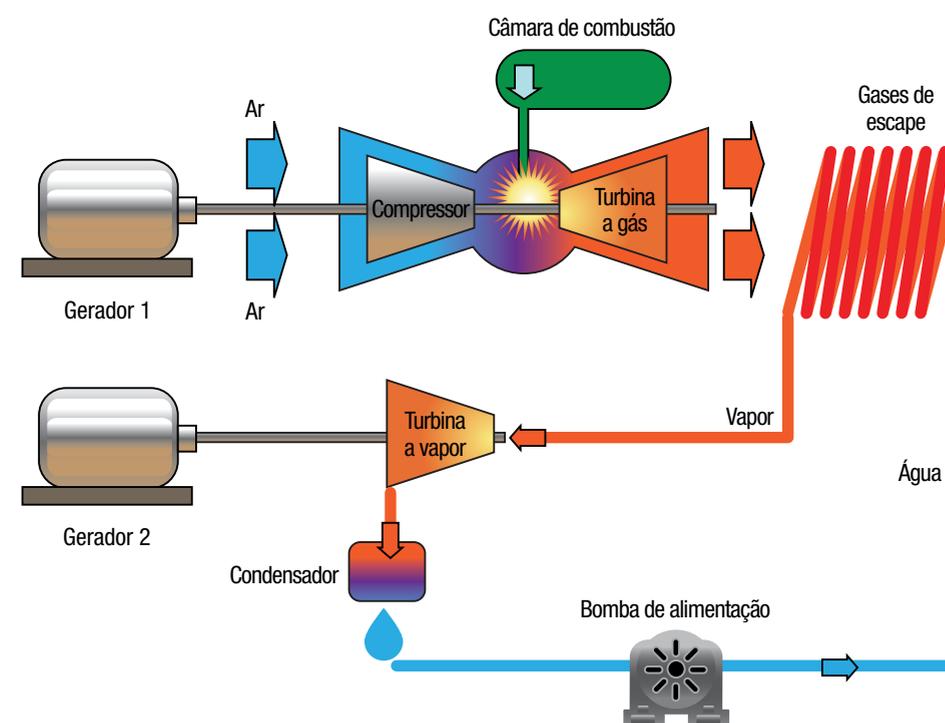
A figura a seguir mostra uma instalação de cogeração na qual uma turbina a gás aciona um gerador que produz energia elétrica, que, por sua vez, alimenta a fábrica que hospeda a instalação. Os gases quentes da saída da turbina produzem vapor em uma caldeira de recuperação que alimenta a fábrica com essa utilidade.



6.4.3 Geração elétrica com ciclo combinado

O ciclo combinado é o processo de produção de energia elétrica que utiliza turbinas a gás e turbinas a vapor. O combustível é queimado em uma turbina a gás, e a energia contida nos gases de exaustão produz vapor em uma caldeira de recuperação. Então, esse vapor aciona uma turbina a vapor de condensação.

Tanto a turbina a gás quanto a turbina a vapor acionam geradores para produção de energia elétrica — única forma de energia útil retirada do sistema. Esse ciclo prioriza a eficiência de conversão da energia do combustível para a energia elétrica. As grandes instalações em ciclo combinado atingem atualmente eficiências superiores a 55%.



6.4.4 Cogeração com ciclo combinado

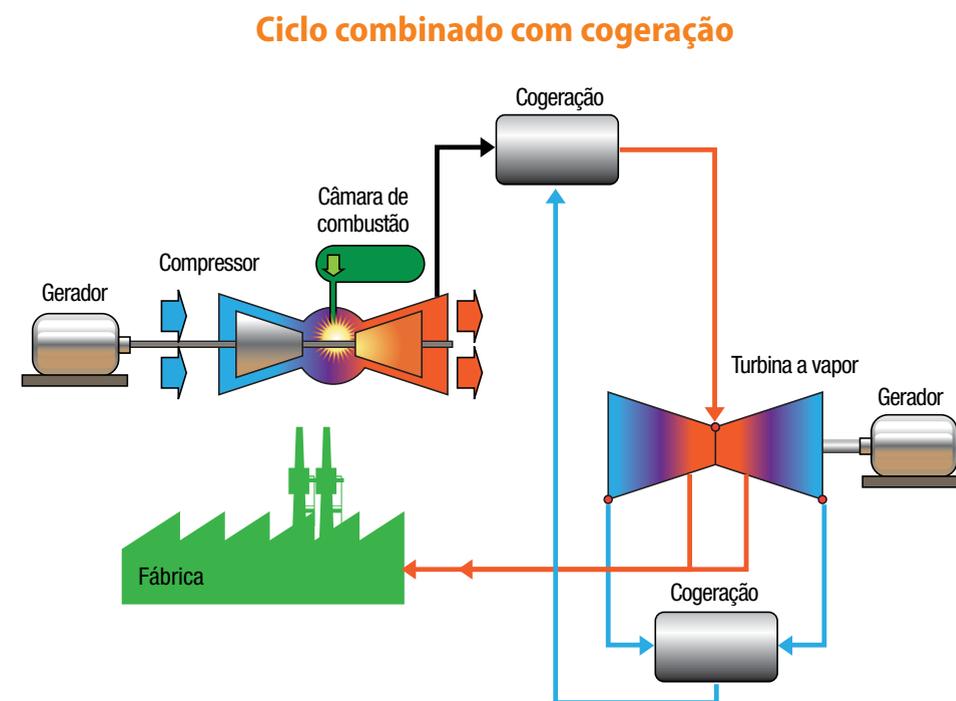
Esta forma de cogeração é utilizada nas situações em que se deseja produzir energia elétrica e energia térmica úteis, em quantidades variáveis, de acordo com as cargas consumidoras ou para atendimento de mercados específicos.

É constituída basicamente de um ciclo combinado com flexibilização da geração elétrica e de energia térmica (normalmente vapor) através da extração de vapor na turbina a vapor, condensação parcial, queima suplementar de combustível na caldeira de recuperação.

Existem plantas tão flexíveis que podem operar desde a produção máxima de energia elétrica sem extração de vapor para o processo industrial até a produção máxima de vapor para processo sem produção de energia elétrica.

Outra forma de cogeração desse tipo é aquela em que os acionamentos são de equipamentos mecânicos (bombas, compressores etc.) em vez de geradores elétricos.

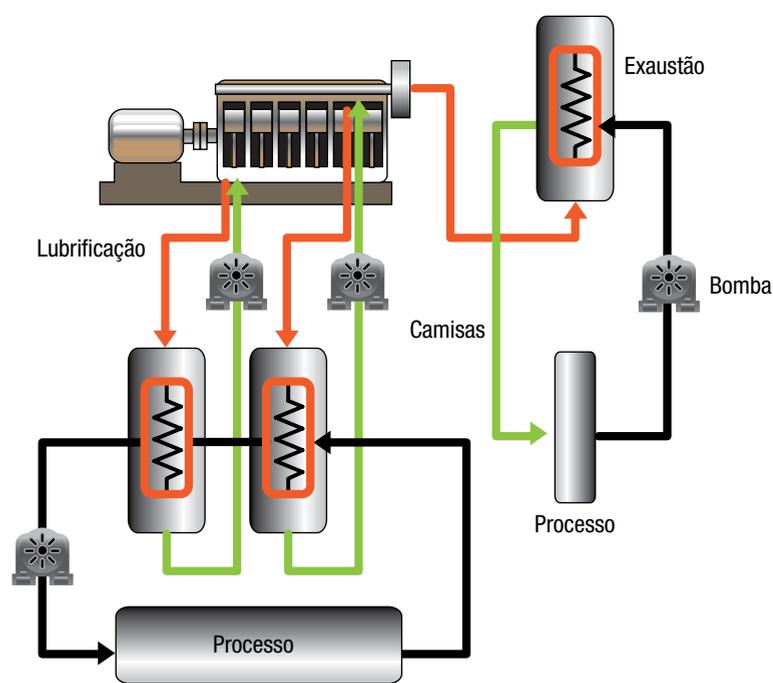
Em determinadas situações, a queima adicional de combustíveis pode reduzir os custos globais de operação por utilizar combustíveis mais baratos. A eficiência pode ser muito elevada, dependendo do balanço de massa e energia que se obtém em determinados projetos. A figura abaixo mostra uma configuração desse ciclo.



6.5 Ciclos de cogeração com motores alternativos de combustão interna

Este ciclo de cogeração utiliza motores alternativos de combustão interna produzindo trabalho (energia elétrica ou acionamento mecânico) e recuperando a energia térmica residual dos gases de exaustão e, eventualmente, o calor dos sistemas de lubrificação de resfriamento das camisas dos pistões.

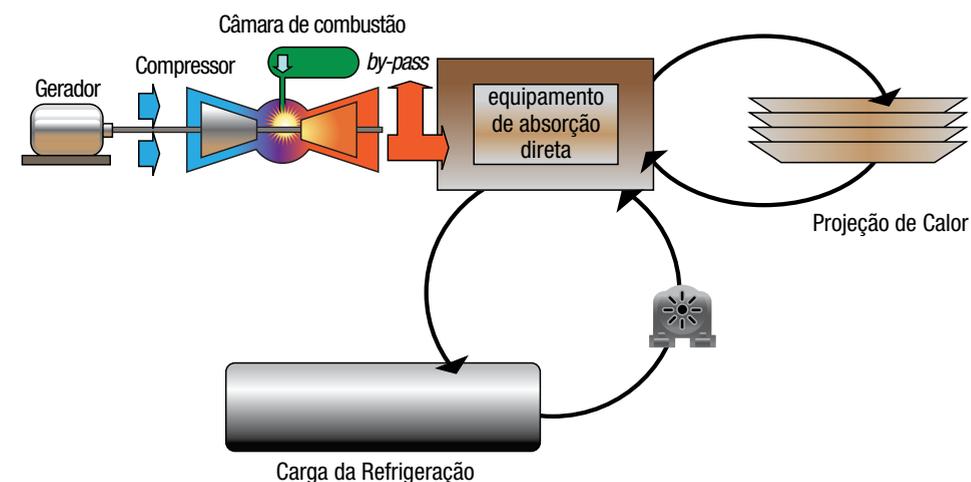
A quantidade de energia residual recuperada não é das mais expressivas, por isso, sua aplicação mais frequente é nas instalações que necessitam de pequenas quantidades de calor a temperaturas moderadas e maiores quantidades de energia elétrica ou força motriz. São comuns plantas de cogeração utilizando esses ciclos nas potências de poucas dezenas de kW até potências da ordem de 20 MW ou pouco mais.



6.6 Ciclos de cogeração com produção de frio

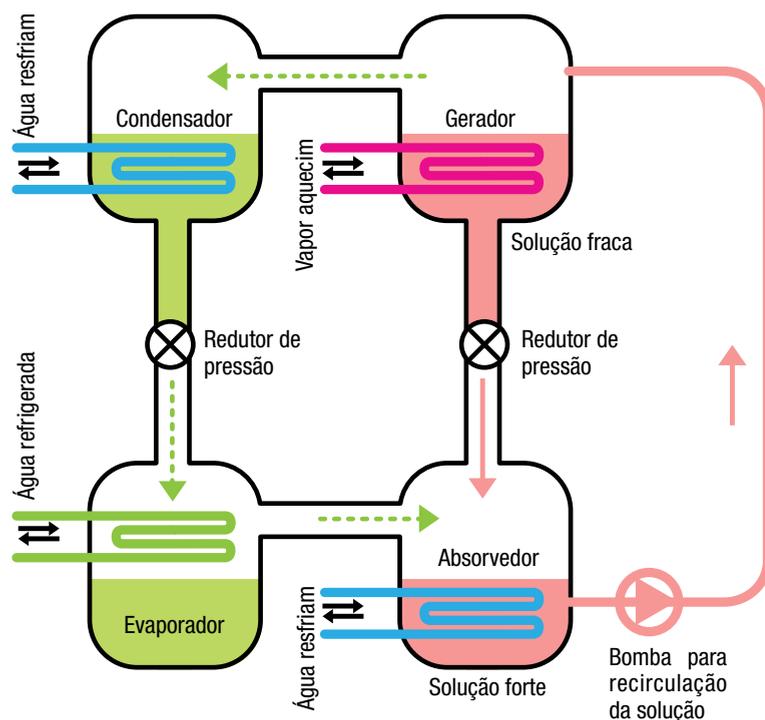
Os mercados potenciais para este ciclo são os hospedeiros da planta de cogeração, que necessitam, além da energia elétrica, de condicionamento ambiental ou sistema de refrigeração.

Os equipamentos ideais para este uso são os resfriadores por absorção. A figura a seguir ilustra algumas aplicações desse tipo.



Os equipamentos de absorção são produzidos industrialmente para capacidades de 100 até cerca de 2.000 toneladas de refrigeração por hora. Os mais comuns são os de um e de dois estágios.

Princípio de funcionamento do ciclo de refrigeração por absorção



6.7 O potencial de cogeração

A determinação do potencial de cogeração associada a um processo industrial ou a uma instalação comercial envolve um conjunto de providências, das quais, as principais são:

- análise e balanço de massa e de energia dos requisitos de energia térmica (nas suas diferentes modalidades), acionamentos, energia elétrica, nas condições atuais e no horizonte de vida útil do projeto;

- modelagem técnica das necessidades de energia nas condições atuais e no horizonte de vida útil do projeto;
- análise e modelagem econômica das condições de operação atuais e futuras;
- modelagem de diversas alternativas de cogeração e análise econômica dessas alternativas;
- modelagem e análise do impacto ambiental provocado pela implantação desse projeto;
- assegurar o abastecimento de combustível, suprimento de utilidades necessárias à operação (por exemplo, água), dar destino aos efluentes, prover acessos, prever condições de operação e manutenção;
- se ocorrerem excedentes de energia elétrica, assegurar o seu mercado e as condições de transporte;
- se o projeto envolver a produção de energia elétrica, independentemente de ser autossuficiente ou não, haverá necessidade de se prever um *back-up* de energia elétrica. Para isso, deve-se contratar reserva de capacidade com a concessionária local (ou com o sistema de transmissão). Esse contrato e seus custos são regulados pela ANEEL. A compra da energia elétrica pode ser contratada com terceiros, com a concessionária local de distribuição de energia elétrica ou adquirida no mercado.

Para que o projeto possa ser viável, é fundamental assegurar garantias de suprimento de combustível, de mercado, de qualidade técnica, de operação e de manutenção. Normalmente, as “receitas” desses projetos são a garantia do próprio financiamento.

6.8 As receitas da cogeração

As receitas da cogeração são as resultantes da venda da energia cogerada: energia elétrica, vapor, frio, calor e, eventualmente, outras utilidades como água tratada, ar comprimido etc.

Dependendo da personalidade jurídica do cogrador, a receita pode ser constituída pelo diferencial de custos entre a compra dos energéticos convencionais e os custos da energia substituída pela instalação da cogeração, como seria o caso do um autoprodutor.

6.9 Conclusão

Hoje, a cogeração é responsável por uma parcela significativa da energia elétrica produzida em diversos países. A elevada eficiência no aproveitamento de combustíveis aliada à proximidade do mercado da energia térmica torna alguns desses empreendimentos muito competitivos. E, com a disponibilização de maiores volumes de gás natural para as indústrias e o comércio, esses empreendimentos ficam ainda mais atraentes.

Na área industrial, as vantagens da cogeração são mais conhecidas. As aplicações comerciais envolvendo o condicionamento ambiental são muito atrativas, principalmente, se forem considerados os investimentos evitados nas instalações convencionais de produção de frio e na redução da demanda e do consumo de energia elétrica possível de se obter com esta tecnologia. A decisão de se implantar cogeração em uma instalação industrial ou comercial nova ou já existente depende de uma análise muito criteriosa para se determinar qual o balanço, o processo, o mercado e o dimensionamento mais convenientes e mais econômicos. Muitos insucessos nos estudos de viabilidade desse tipo de instalação se devem a falhas nessas avaliações, e, por isso, muitos projetos deixaram de ser implantados.