



CURSO DE OPERADOR DE CALDEIRA



Central de Cursos

do Brasil 

1 - NOÇÕES DE GRANDEZAS FÍSICAS E UNIDADES

Carga Horária: 4 horas

1.1 - Pressão

1.1.1 - Pressão atmosférica

1.1.2 - Pressão interna de um vaso

1.1.3 - Pressão manométrica, pressão relativa e pressão absoluta

1.1.4 - Unidades de pressão

1.2 - Calor e Temperatura

1.2.1 - Noções gerais: o que é calor, o que é temperatura

1.2.2 - Modos de transferência de calor

1.2.3 - Calor específico e calor sensível

1.2.4 - Transferência de calor a temperatura constante

1.2.5 - Vapor saturado e vapor superaquecido

1.2.6 - Tabela de vapor saturado

Pressão

Caldeiras são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor a uma pressão maior do que a pressão da atmosfera.

Para produzir o vapor, uma fonte de calor aquece água sob condições controladas.

Quem opera caldeiras e vasos de pressão precisa saber bem como eles funcionam para obter o melhor desempenho possível do equipamento sob sua responsabilidade.

Para isso, além da rotina normal de trabalho, **o operador deve conhecer algumas noções sobre os fenômenos físicos** que permitem que esses equipamentos operem de maneira produtiva e segura.

Por isso, neste módulo, falaremos sobre **fenômenos físicos como:**

**Pressão,
Calor,
Transferência de calor,
Tipos de vapor,
bem como sobre as unidades de medida** que os representam.

Pressão

Se uma pessoa pisar na lama ou na areia fofa, nela será desenhada a marca das solas de seus sapatos.

Isso acontece porque os pés da pessoa exerceram **uma força sobre a superfície** em que se apoiaram.

Toda força, quando aplicada sobre uma área tem como resultado uma grandeza física chamada de pressão.

A pressão é a força distribuída por uma determinada área.

Por ser uma grandeza física, a pressão pode ser representada matematicamente, ou seja:

$P = \frac{F}{A}$, na qual P é a pressão; F é a força e A é a área.

O QUE É PRESSÃO?

O QUE É PRESSÃO ATMOSFÉRICA?

Essa expressão nos ajuda a calcular a pressão sobre os corpos.

Uma unidade de medida chamada *pascal* e representada pelo símbolo *Pa* expressa numericamente essa relação. Assim,

$$1 \text{ Pascal} = \frac{1 \text{ Newton}}{1 \text{ m}^2}$$

Nessa expressão,:

- *newton é a unidade de medida de força e*
- *m² é a unidade de medida de área, segundo o sistema SI.*

Observação

O sistema SI é um sistema internacional que padroniza o uso das unidades de medida.

Seu uso no Brasil é regulamentado por lei.

Qual a pressão exercida pela face de um paralelepípedo que tem uma área de $0,24 \text{ m}^2$ e exerce uma força de 24 N sobre a superfície sobre a qual ele se apoia?

Assim, por exemplo, se quisermos saber qual a pressão exercida pela face de um paralelepípedo que tem uma área de $0,24 \text{ m}^2$ e exerce uma força de 24 N sobre a superfície sobre a qual ele se apoia, teremos:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{24 \text{ N}}{0,24 \text{ m}^2} = 100 \text{ Pa}$$

Isso significa que esse **paralelepípedo exerce uma pressão de 100 Pa sobre a superfície** sobre a qual ele está apoiado.

VÍDEO: PRESSÃO - CONCEITO

Pressão atmosférica

A Terra está envolta por uma camada de ar chamada **atmosfera**.

O ar da atmosfera em torno de nós é tão leve que podemos nos mover através dele sem fazermos esforço.

No entanto, esse ar tem peso.

Como ele é atraído pela gravidade, faz força sobre nós em todas as direções, exercendo uma pressão de várias toneladas sobre nosso corpo.

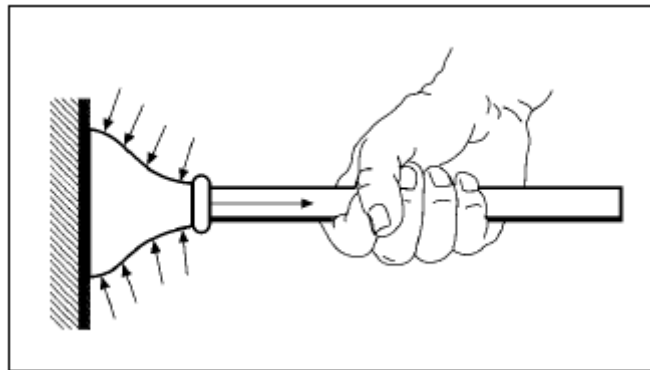
Não percebemos essa força porque a pressão do ar dentro dos nossos pulmões é igual á da atmosfera.

Essa pressão se chama pressão atmosférica.

Ela pode ser comprovada por meio de uma experiência simples: molha-se a borda de um desentupidor de pia que é comprimido contra uma superfície plana.

Isso expulsa a maior parte do ar que havia dentro do desentupidor e será preciso fazer muita força para retirá-lo do lugar.

Isso acontece porque, **sem ar no seu interior, o desentupidor sofre uma pressão externa muito maior do que a pressão interna.**

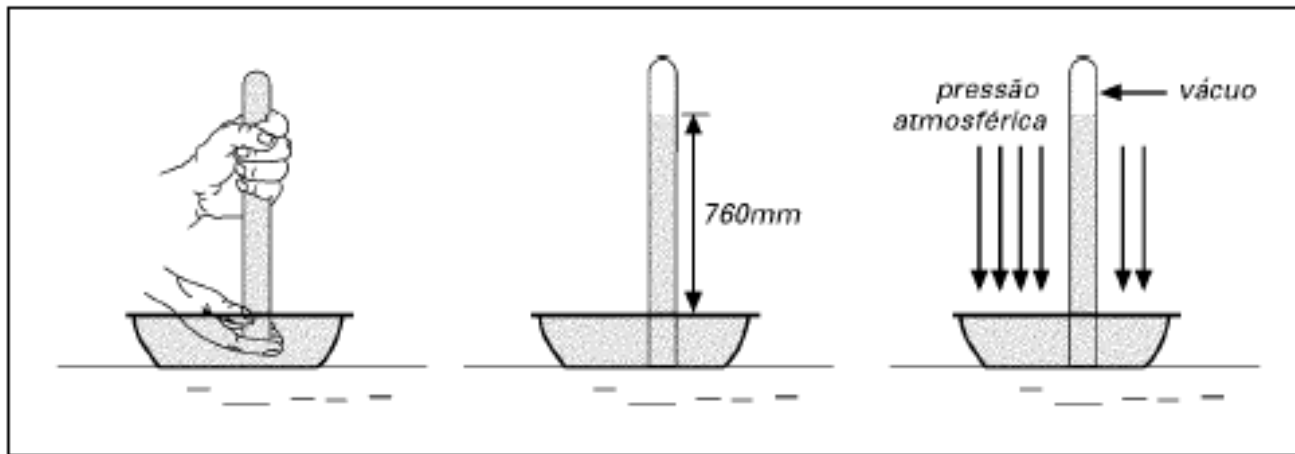


A pressão atmosférica varia de acordo com a altitude, ou seja, **a pressão é maior nos locais mais baixos e menor nos locais mais altos.**

VÍDEO: PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Quem comprovou isso pela primeira vez foi um físico italiano chamado Evangelista **Torricelli**.

Emborcando em uma cuba cheia de mercúrio um tubo de vidro de 1 m de comprimento, fechado em uma das extremidades, e também cheio de mercúrio, ele observou que, **ao nível do mar, a coluna de mercúrio contida dentro do tubo descia até atingir 760 mm de altura (0,76 m).**

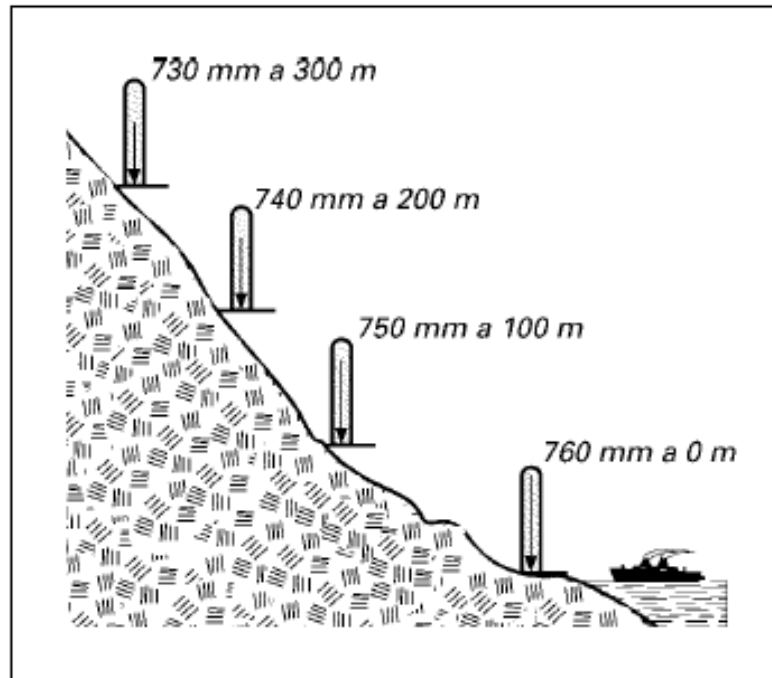


Com isso, ele **comprovou que a pressão atmosférica, agindo sobre a superfície livre do mercúrio que estava dentro da cuba, equilibrou a pressão exercida pela coluna de mercúrio contra o fundo da cuba.**

Para esse valor de 76 cm (760 mm) de altura de mercúrio (Hg), ele deu o nome de **atmosfera (atm)**.

O aparelho simples que Torricelli inventou para fazer essa experiência chama-se **barômetro**.

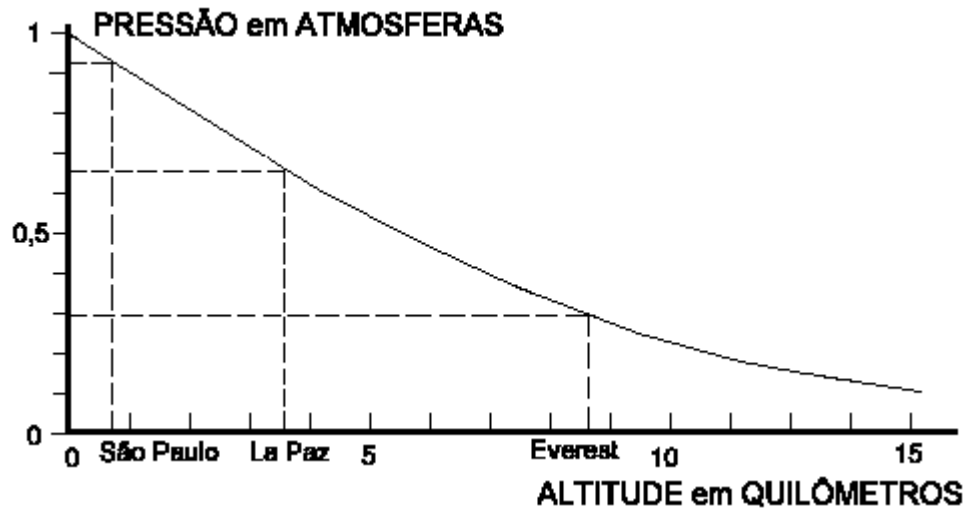
Quando a experiência foi repetida, com o auxílio do barômetro **em locais de altitudes variadas, ficou comprovado que a altura da coluna de mercúrio também variava.**



Com isso, concluiu que a pressão atmosférica varia em função da altitude. Isso pode ser demonstrado nos exemplos do quadro a seguir:

Altitude	Pressão atmosférica em mm de mercúrio (mmHg)
0 m	760 mm de Hg
100 m	750 mm de Hg
500 m	710 mm de Hg
1000 m	660 mm de Hg

O gráfico abaixo dá o valor (médio) da pressão em várias altitudes.



Em Fortaleza, ao nível do mar, a pressão é 1 atmosfera, isto é, 1 kgf/cm² ou **76 cmHg.**

Em São Paulo, a 820 metros de altitude, ela cai um pouco.

Em La Paz, capital da Bolívia, a 3.600 metros de altitude, ela já cai para 2/3 de uma atmosfera.

O ar fica rarefeito, a quantidade de oxigênio é menor que aqui por baixo.

No Everest, ponto mais alto do planeta, a mais de 8000 metros, a pressão é menor que 1/3 de uma atmosfera. Nessa altitude, só com máscara de oxigênio. Os animais que vivem nas altas montanhas têm coração e pulmão maiores que o normal dos outros bichos.

A vicunha, por exemplo, que vive nos Andes, tem 3 vezes mais glóbulos vermelhos por milímetro cúbico de sangue que um homem da planície.

VÍDEO: EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI

Pressão manométrica e pressão absoluta

Uma caldeira ou um vaso de pressão é um equipamento destinado a acumular vapor a uma pressão maior do que a pressão atmosférica.

Como **esse fator é crítico para a operação do equipamento**, seria interessante estudar o que acontece com o vapor encerrado em um recipiente fechado.

Para o operador há dois fatores muito importantes a serem observados:

1. Gases encerrados em recipientes, sem aquecimento, exercem pressão igual em todos os sentidos sobre as paredes do vaso que os contêm.

➤ Um exemplo disso é o pneu do automóvel.

2. Essa pressão se eleva sempre que a temperatura aumenta.

Isso significa que, se uma dona-de-casa descuidada e distraída colocar ao fogo uma panela de pressão com as válvulas entupidas, o aumento da temperatura levará a um aumento constante da pressão interna da panela, até ela explodir.

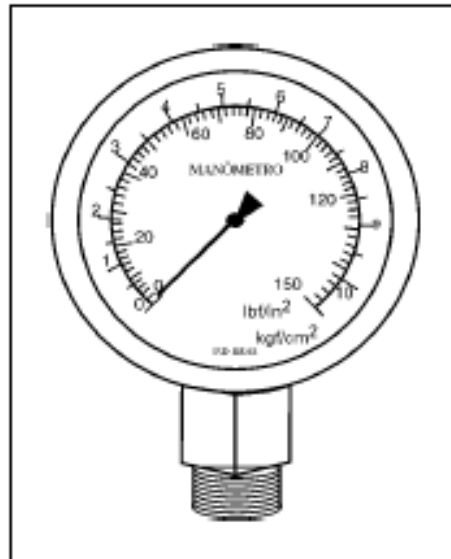
É isso o que acontece com a caldeira, se essa pressão interna não for controlada.

Essa **pressão, que é medida dentro de um recipiente fechado** (caldeira, por exemplo) e **tendo como referência a pressão atmosférica do local onde o recipiente está, é chamada de pressão relativa ou manométrica.**

A pressão relativa pode ser positiva ou negativa.

Se a pressão relativa é positiva, ou seja, se ela for maior que zero, ela é medida por meio de um instrumento chamado de manômetro.

É com o manômetro que o operador verifica os níveis de pressão dentro da caldeira e os mantém dentro de faixas seguras de operação.



Se a pressão relativa for negativa, isto é, se ela for menor que zero, o vacuômetro é usado na medição.

Se no local onde é feita a medição a pressão relativa (ou manométrica) for somada com a pressão atmosférica, obteremos a pressão absoluta.

Manômetros com líquido de enchimento: Uso e vantagens

Manômetros com líquido de enchimento são utilizados em **aplicações que possuem choque dinâmico e carga de vibração.**

O enchimento de líquido **amortece as vibrações que ocorrem, aliviando assim a carga dos componentes mecânicos do manômetro.**

Os líquidos de enchimento frequentemente utilizados, dependendo das condições do processo, **são a mistura de glicerina e água ou óleo de silicone.**

A mistura de glicerina e água é adequada para a maioria das aplicações e temperaturas ambiente.

Particularmente para baixas pressões, faz sentido utilizá-lo, devido à baixa densidade do líquido associado com a baixa resistência que irá gerar no elemento de pressão (Bourdon).

Óleo de silicone é principalmente utilizado quando o manômetro é exposto a temperaturas particularmente elevadas ($> +60\text{ }^{\circ}\text{C}$) ou muito baixas ($< -20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

A caixa do manômetro não é completamente cheia, uma vez que, dependendo da umidade e da temperatura ambiente, o líquido de enchimento absorve água adicional e conseqüentemente se expande.

Para prover espaço suficiente para essa expansão e para prevenir a caixa contra vazamentos, por padrão, **a mesma somente é cheia entre 80 % – 90 %.**

Vantagens do líquido de enchimento

Os líquidos de enchimento amortecem todos os picos de pressão, choques e vibrações que ocorrem e ainda protege os componentes mecânicos do manômetro. Assim, neutralizando a fadiga do material e o mau funcionamento.

Um outro fator – decisivo para o usuário – é assegurar a legibilidade da pressão a ser visualizada.

O líquido de enchimento faz com que o movimento do ponteiro seja limitado, quando utilizado em severas cargas de vibrações.

Sem o amortecimento do líquido de enchimento, o ponteiro não indicará a real pressão aplicada, mas sim se deslocará para frente e para trás da escala devido à frequência das vibrações que prevalecem na aplicação.

No caso de ressonância, um ângulo de 180° poderá até ocorrer.

Manômetros com líquido de enchimento são adequados para uma variedade de aplicações, especificamente para processos que envolvem choques e vibrações.

VÍDEO: O QUE É UM MANÔMETRO

Correspondência entre unidades de medida

Para interpretar os dados do mostrador do manômetro, **é preciso conhecer a correspondência entre as unidades de medidas de força e área, uma vez que elas variam de acordo com as normas de cada país e, portanto, variam de equipamento para equipamento, dependendo do país onde foi fabricado.**

As normas brasileiras, estabelecidas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) recomendam a utilização das unidades do Sistema Internacional (SI).

O quadro a seguir, apresenta a correspondência entre várias unidades de medida de pressão.

Correspondência entre unidades de medida

kPa (KN/m ²) [*]	bar	Kgf/cm ²	psi (lbf/pol ²)	atm	mm Hg (torr)	m H ₂ O (mca)
100	1	1,019716	14,503	0,9869	750,062	10,19716
98,0665	0,980665	1	14,2233	0,967841	735,556	10,00
6,8947	0,068947	0,070307	1	0,068046	51,715	0,70307
101,325	1,01325	1,03323	14,6959	1	760	10,33226
133,322	1,33322	1,3595	19,368	1,31579	1000	13,59
9,80665	0,09806	0,1000	1,42233	0,09677	73,556	1
1	0,0100	0,01019	0,14503	0,009869	7,50062	0,10197

* Unidade do Sistema Internacional

Observação:

De acordo com o sistema SI, uma atm (atmosfera) corresponde a 101.325 Pa.

EXERCÍCIO:

QUAL A PRESSÃO DA SUA CALDEIRA?

Atm?

Pa?

KGF/CM2

PSI?

Calor

Tudo o que nos cerca é formado de partículas - chamadas de **moléculas** - que estão em **constante movimento**, embora isso não seja visível.

Esse fenômeno acontece porque **as moléculas são dotadas de energia de agitação chamada de energia térmica**.

Para saber quanta energia térmica tem um corpo, mede-se sua temperatura, que nada mais é que a grandeza que indica o nível de agitação das partículas.

Assim, quanto maior é a agitação das partículas, maior é a temperatura do corpo.

Quando dois corpos com temperaturas diferentes são postos em contato, acontece a transferência de energia térmica do corpo mais quente para o corpo mais frio, até que se alcance o equilíbrio térmico, ou seja, até que as temperaturas se tornem iguais.

Essa energia térmica que passa de um corpo para outro, enquanto existe diferença de temperatura, tem o nome de calor.

Escalas de temperatura

Há várias maneiras de representar a temperatura: **a escala Celsius, a escala Fahrenheit e a escala Kelvin.**

Como ponto de referência para as medições, as escalas usam a temperatura do gelo fundente e a temperatura da água em ebulição.

Na escala Celsius, por exemplo, a temperatura do gelo fundente corresponde a 0°C , enquanto que a temperatura da água em ebulição corresponde a 100°C na escala.

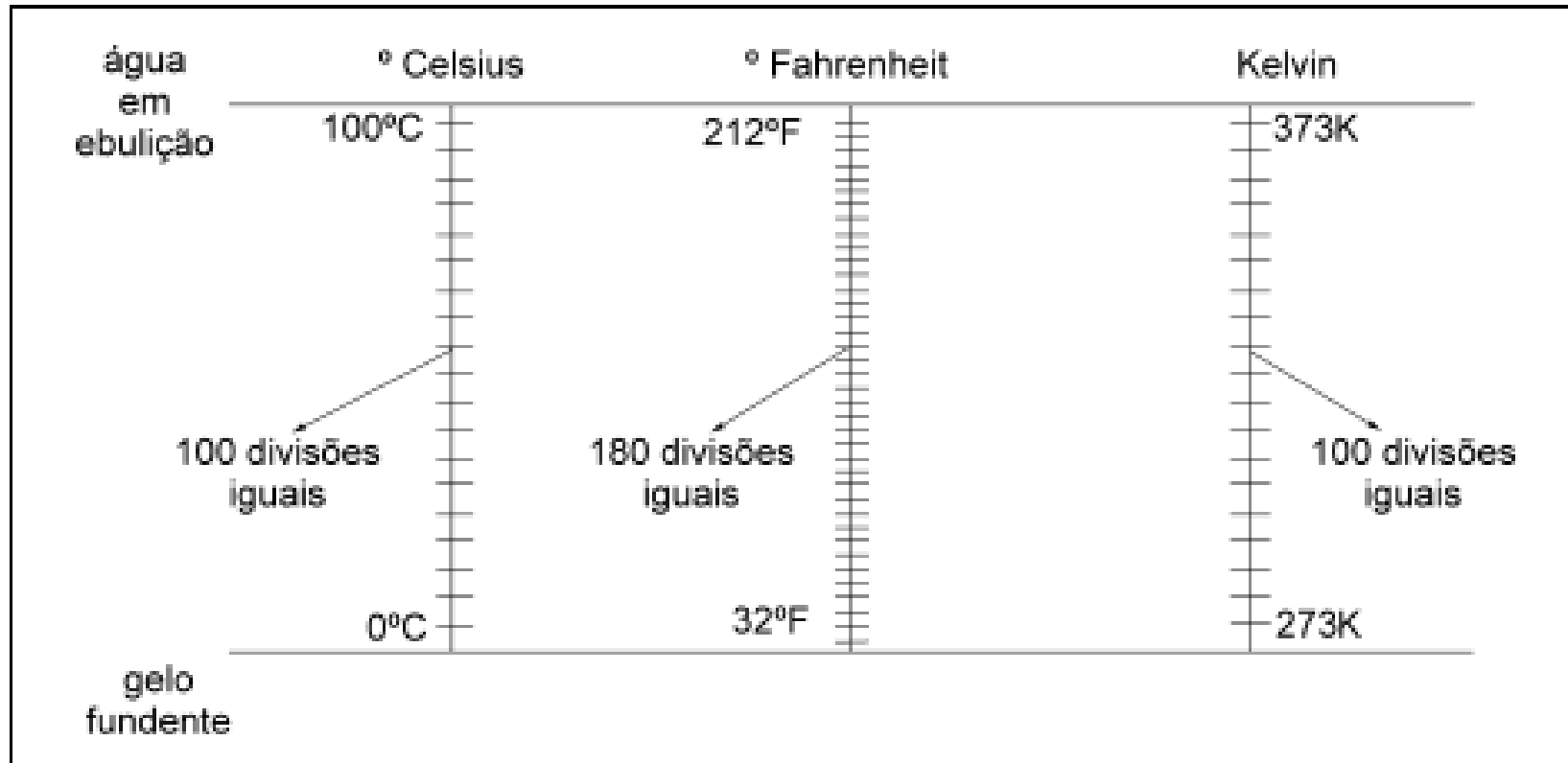
O intervalo entre esses dois pontos foi dividido em 100 partes iguais e cada uma dessas partes corresponde a 1°C .

Na escala Fahrenheit, a temperatura do gelo fundente corresponde a 32°F e a da água em ebulição é de 212°F .

A faixa entre esses dois pontos foi dividida em 180 partes iguais e cada divisão é igual a 1°F .

Para a escala Kelvin, o número de divisões em K corresponde ao equivalente em $^{\circ}\text{C}$, com a temperatura do gelo fundente (0°C) correspondendo ao valor de $+273\text{K}$.

Escalas de temperatura



Escalas de temperatura

Se a temperatura ambiente é de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Quanto seria em Fahrenheit?

E Kelvin?

VÍDEO:

CALOR E TEMPERATURA

CALOR – TELECURSO 2000

Transferência de calor

Quando o calor se propaga de um ponto de maior temperatura para outro de menor temperatura, ocorre um fenômeno chamado de transmissão de calor.

O calor pode propagar-se através das substâncias com **facilidade ou com dificuldade**.

A facilidade ou dificuldade que o calor tem de propagar-se através das substâncias recebe o nome de **condutibilidade térmica** e ajuda a classificar os materiais em **condutores e isolantes**.

Os materiais condutores são aqueles que transmitem o calor com mais facilidade.

Os metais em geral são bons condutores de calor.

Os materiais isolantes, por outro lado, são maus condutores de calor.

Materiais como tecidos, papel e amianto são exemplos de material isolante.

Mesmo entre os materiais condutores, **a quantidade de calor que passa através de uma parede feita de qualquer material depende:**

- ✓ Da diferença de temperatura que existe entre ambos os lados do material;
- ✓ Do tamanho da superfície da face exposta ao calor, ou seja, superfícies maiores transmitem mais calor;
- ✓ Da espessura da parede;
- ✓ Do material de construção da parede.

A propagação do calor acontece nos sólidos, nos líquidos, nos gases e no vácuo e pode ocorrer de três formas:

- **Por condução,**
- **Por convecção e**
- **Por radiação.**

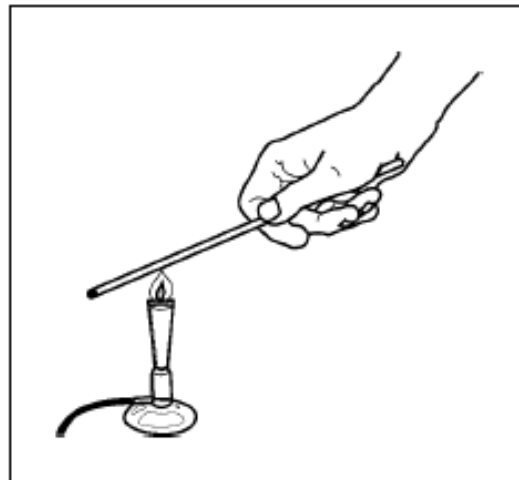
CONDUÇÃO

Nos materiais sólidos, o calor se propaga por condução.

Isso é facilmente verificado ao se colocar a extremidade de uma barra de ferro no fogo.

Após um certo tempo, quem estiver segurando a outra extremidade da barra, começará a perceber que a temperatura aumenta gradativamente, até que fica impossível continuar a segurá-la.

A medida que recebem calor, os átomos ou moléculas do corpo vibram mais intensamente e a energia cinética dessas partículas é transferida sucessivamente de uma partícula para outra, essa transferência de energia cinética é a propagação de calor.



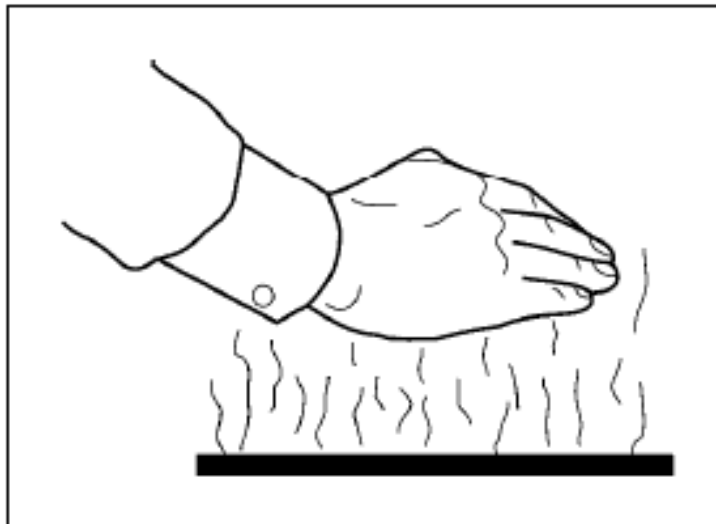
CONVECÇÃO

Nos líquidos e gases, o calor se propaga por convecção, ou seja, as massas de líquidos e gases trocam de posição entre si.

Quando uma certa massa de um fluido é aquecida suas moléculas passam a mover-se mais rapidamente, afastando-se, em média, uma das outras.

Como o volume ocupado por essa massa fluida aumenta, a mesma torna-se menos densa.

A tendência dessa massa menos densa no interior do fluido como um todo é sofrer um movimento de ascensão ocupando o lugar das massas do fluido que estão a uma temperatura inferior.

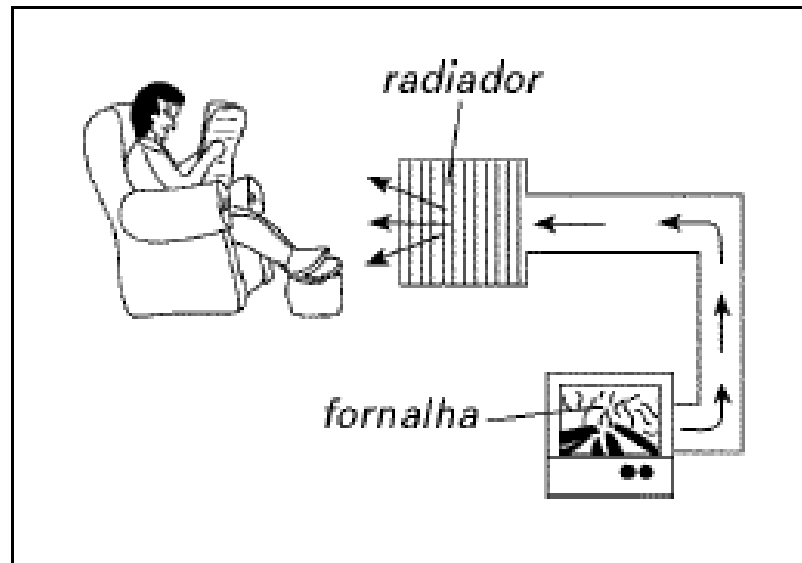


Isso acontece porque **o ar em torno da barra quente se aquece, fica mais leve e sobe.**

O espaço livre deixado pelo ar quente, é então ocupado pelo ar mais frio (mais denso) que, por sua vez, se aquece, repetindo o ciclo anterior.

Dessa forma, estabelece-se uma **corrente ascendente do ar quente, que atua como veículo transportador de calor** desde a barra de ferro até a mão.

Em países de clima frio, por exemplo, o sistema de aquecimento de ambientes se baseia na convecção do calor da água.



RADIAÇÃO

Na transmissão por **condução**, o calor passa de molécula para molécula.

Na transmissão por **convecção** por sua vez, o calor é transferido juntamente com o ar, a água ou outro material.

A transmissão **por radiação** é diferente porque o calor é transferido sem a ajuda de nenhum material.

O melhor exemplo desse tipo de transmissão é o calor do Sol que chega à Terra:

O calor não vem por condução porque não há contato físico entre os dois astros;

Nem vem por convecção porque não há atmosfera ligando um ao outro.

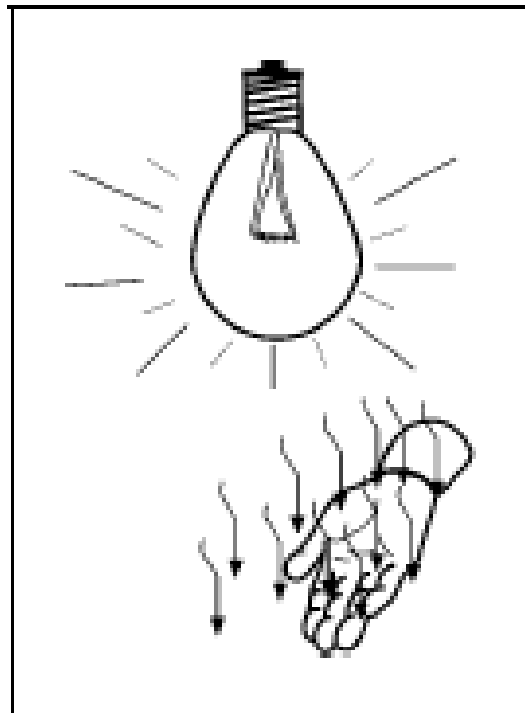
O calor do sol chega até nós por ondas semelhantes às ondas de radio e àquelas que transmitem a luz.

São as chamadas **ondas de energia radiante.**

É possível sentir os efeitos dessas ondas, aproximando a mão por baixo de uma lâmpada elétrica acesa.

A mão ficará quente apesar do fato de que o ar quente sobe.

Na verdade, o calor sentido foi transmitido por radiação.



O fenômeno de troca de calor é muito empregado nos processos industriais e ajuda a atender às exigências tecnológicas desses processos.

Nas caldeiras, o processo de transferência de calor entre a queima do combustível na fornalha e o aquecimento da água e conseqüente geração de vapor pode ocorrer por radiação, convecção ou condução.

Em muitos casos, é importante que o aquecimento ocorra com um mínimo de variação de temperatura.

Através da regulação do fluxo de vapor, é possível controlar e garantir que o aquecimento de um combustível, por exemplo, seja feito sob temperatura constante.

VÍDEO: PROPAGAÇÃO DO CALOR

Calor específico

Algumas substâncias são mais difíceis de se aquecerem do que outras.

Se uma vasilha com água for colocada sobre uma chama e se um bloco de ferro de massa igual for colocado sobre uma chama de mesma intensidade, o ferro ficará logo tão quente que fará ferver qualquer gota de água que respingue sobre ele.

A água, por outro lado, continuará fria o suficiente para que se possa mergulhar a mão nela sem queimá-la.

Isso significa que o ferro necessita de menos calor do que a água para elevar sua temperatura, ou seja, ele tem menor calor específico.

O calor específico indica a quantidade de calor que cada unidade de massa de determinada substância precisa para que sua temperatura possa variar em 1°C .

É uma característica da natureza de cada substância. Portanto cada uma tem seu próprio calor específico. Para os gases, o calor específico varia com a pressão e o volume.

A unidade de medida do calor específico é a caloria por grama por $^{\circ}\text{Celsius}$.

O calor específico do vapor sob pressão constante é $0,421 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

Calor sensível

Calor sensível é a denominação dada à quantidade de calor absorvido ou cedido por um corpo quando, nessa transferência, ocorre uma variação de temperatura.

É a quantidade de calor que tem como efeito apenas a alteração da temperatura de um corpo.

Calor latente

Calor latente é a denominação dada à quantidade de calor absorvido ou cedido por um corpo, quando houver uma mudança de estado sem que haja variação de temperatura.

Como exemplo, pode-se citar a transformação do gelo (água em estado sólido) em água em estado líquido, com a temperatura se mantendo constante.

Dilatação térmica

Quando um corpo é aproximado de uma fonte de calor, vários fenômenos acontecem:

- ✓ A **temperatura** se eleva e
- ✓ Algumas de suas propriedades e características físicas, tais **como dimensões, volume e calor específico, se modificam.**

Vimos que o calor é a energia gerada pelo movimento das moléculas.

Quando um material é aquecido, suas moléculas se agitam mais intensamente.

Por causa disso, elas se movimentam e o material se expande, isto é, aumenta de tamanho.

Esse fenômeno se chama dilatação térmica.

De fato, com o aquecimento, o comprimento, a superfície e o volume do corpo aquecido aumentam proporcionalmente.

Isso quer dizer que, dependendo do material e das condições do aquecimento, **a dilatação pode ser:**

- **Linear**, ou seja, quando o **aumento é maior no sentido de uma das dimensões do corpo.**
- **Superficial**, isto é, a **expansão acontece apenas na superfície do material.**
- **Volumétrica**, quer dizer, a **variação de tamanho se dá no volume do corpo.**

Os materiais sólidos, quando aquecidos, podem apresentar esses três tipos de dilatação.

Já os líquidos e os gases, por não terem formas próprias, apresentam somente a dilatação volumétrica.

Cada tipo de dilatação apresenta um determinado coeficiente de dilatação térmica, ou seja, o aumento de tamanho para cada grau de elevação na temperatura.

Nas caldeiras os coeficientes que interessam ao operador são os coeficientes de dilatação volumétrica, representados pela razão da variação do volume de um corpo por unidade de volume, quando sua temperatura varia de 1°C.

Os líquidos têm um coeficiente de dilatação volumétrica maior que os sólidos e exercem pressão ao serem aquecidos em recipientes fechados.

Vapor saturado e vapor superaquecido

Quando um recipiente fechado contendo água é aquecido, o calor faz as moléculas da água se moverem mais depressa de modo que sua temperatura sobe.

Ao atingir a temperatura próxima de 100 ° C (considerando-se a pressão ao nível do mar), a água entrará em ebulição com formação de vapor.

Enquanto existir água dentro do recipiente, o vapor é considerado saturado e sua temperatura não aumentará.

Mantendo-se o aquecimento após toda a água se evaporar, teremos o que se denomina vapor superaquecido, com conseqüente aumento de temperatura.

Existem processos industriais que exigem vapor seco, sem partículas sólidas em suspensão e com temperatura elevada.

Isso é obtido por meio da produção do vapor superaquecido.

Variação da pressão atmosférica e ponto de ebulição

A temperatura de ebulição da água depende da pressão atmosférica exercida sobre a superfície do líquido .

O valor da temperatura de ebulição da água, de outros líquidos e de soluções é influenciado pela pressão atmosférica.

É bem sabido que o ponto de ebulição da água ao nível do mar (pressão atmosférica igual a 1 atm ou 760 mmHg e altitude igual a zero) é igual a 100°C.

No entanto, se fervermos a água em Brasília, o valor da temperatura de ebulição será um pouco menor, aproximadamente igual a 98,3°C.

Isso ocorre porque Brasília possui uma altitude acima do nível do mar, possuindo uma pressão atmosférica menor e, com isso, o ponto de ebulição da água também será menor.

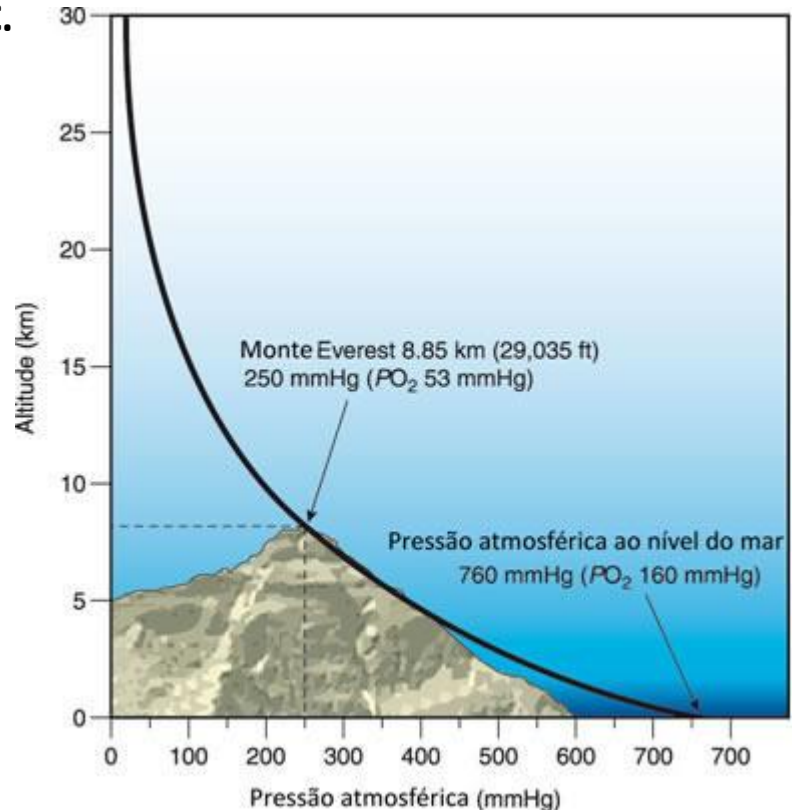
O Rio de Janeiro fica ao nível do mar e Brasília fica acima do nível do mar, por isso a água ferve mais rápido nessa última cidade*

Quanto maior a altitude, menor será o ponto de ebulição.

Por exemplo, o Monte Everest fica na Cordilheira do Himalaia, cuja altitude é de 8.848m e sua pressão atmosférica é de 240 mmHg.

Nesse local, a água entra em ebulição muito mais rápido do que ao nível do mar, possuindo um ponto de ebulição de aproximadamente 71°C.

O contrário também ocorre, em lugares que ficam abaixo do nível do mar, a água ferverá a uma temperatura maior do que 100°C, porque a pressão será maior, como mostra o gráfico ao lado.



Mas por que a pressão atmosférica exerce essa influência no ponto de ebulição?

Para entender isso, vejamos o que é a ebulição.

Quando colocamos a água para aquecer, a energia recebida pelas moléculas possibilita que elas passem para o estado de vapor.

Inicialmente podemos ver no fundo do recipiente a formação de bolhas de vapor de água, e só depois de receber mais energia na forma de calor é que essas bolhas sobem e são liberadas na superfície, entrando em ebulição.

As bolhas ficam no fundo do recipiente porque a pressão atmosférica exerce uma força sobre a superfície do líquido, como que empurrando a bolha de vapor para baixo.

A pressão dentro da bolha vai aumentando cada vez mais, até que ela se iguala à pressão atmosférica e, dessa forma, sobe, entrando em ebulição. A temperatura no momento em que isso ocorre é o ponto de ebulição.

Assim, quanto maior for a pressão sobre a superfície, mais difícil será para suplantá-la e para o líquido entrar em ebulição, logo, o ponto de ebulição será maior.

Por outro lado, se a pressão for menor, será mais fácil entrar em ebulição e o ponto de ebulição será menor.

Isso nos ajuda a entender o princípio de funcionamento da panela de pressão.

Dentro dela a pressão sobre a água é bastante elevada, o que faz com que a água permaneça no estado líquido em temperaturas maiores que 100 °C.

Temperaturas mais elevadas aceleram as mudanças físicas e químicas que ocorrem durante o cozimento de alimentos.

No entanto, se quisermos cozinhar algum alimento em lugares de altitude muito elevada, como o Monte Everest, em panelas comuns, será muito difícil.

Isso porque a água irá entrar em ebulição e secar antes mesmo que o alimento termine de cozinhar.

Porém, o vapor saturado arrasta umidade e grande parte das impurezas na forma de partículas sólidas, causando danos ao processo.

Um tratamento eficaz da água da caldeira pode diminuir a quantidade das partículas, minimizando esse problema.

Mostramos a seguir uma tabela na qual, a um dado valor de pressão absoluta, ou seja, a soma do valor da pressão manométrica com o valor da pressão atmosférica, corresponde uma temperatura de vapor saturado.

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

Relação entre pressão absoluta e temperatura do vapor saturado

Pressão absoluta	Temperatura	Pressão absoluta	Temperatura	Pressão absoluta	Temperatura
kgf/cm ²	°C	kgf/cm ²	°C	kgf/cm ²	°C
0,01	6,7	2,6	128,1	26	225,0
0,015	12,7	2,8	130,5	28	229,0
0,02	17,2	3,0	132,9	30	232,8
0,025	20,8	3,2	135,1	32	236,3
0,03	23,8	3,4	137,2	34	239,8
0,04	28,6	3,6	139,2	36	243,0
0,05	32,5	3,8	141,1	38	246,2
0,06	35,8	4,0	142,9	40	249,2
0,08	41,2	4,5	147,2	42	252,1
0,10	45,4	5,0	151,1	44	254,9
0,12	49,1	5,5	154,7	46	257,6
0,15	53,6	6,0	158,1	48	260,2
0,20	59,7	6,5	161,2	50	262,7
0,25	64,6	7,0	164,2	55	268,7
0,30	68,7	7,5	167,0	60	274,3
0,35	72,2	8,0	169,6	65	279,5

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

Pressão absoluta	Temperatura	Pressão absoluta	Temperatura	Pressão absoluta	Temperatura
kgf/cm ²	°C	kgf/cm ²	°C	kgf/cm ²	°C
0,40	75,4	8,5	172,1	70	284,5
0,50	80,9	9,0	174,5	75	289,2
0,60	85,5	9,5	176,8	80	293,6
0,70	89,5	10	179,0	85	297,9
0,80	92,9	11	183,2	90	301,9
0,90	96,2	12	187,1	95	305,9
1,0	99,1	13	190,7	100	309,5
1,1	101,8	14	194,1	110	316,6
1,2	104,2	15	197,4	120	323,2
1,3	106,6	16	200,4	130	329,3
1,4	108,7	17	203,4	140	335,1
1,5	110,8	18	206,1	150	340,6
1,6	112,7	19	208,8	160	345,7
1,8	116,3	20	211,4	180	355,3
2,0	119,6	22	216,2	200	364,1
2,2	122,6	24	220,8	220	373,6
2,4	125,5				

Observação

Pressão Absoluta corresponde à pressão manométrica + pressão atmosférica

VÍDEO: PRESSÃO DE VAPOR

Outras variáveis

Uma das variáveis mais manipuladas pelo Operador no seu trabalho diário, relaciona-se com o escoamento dos fluidos de um ponto a outro do processo.

Vazão

Vazão é a **quantidade de fluido que escoar por uma tubulação e seus acessórios durante um intervalo de tempo considerado**, que pode ser dado em segundos, minutos, horas, dias.

A quantidade pode ser dada em:

- Volume - vazão volumétrica, ou
- Massa - vazão em massa.

A vazão volumétrica é dada pela seguinte igualdade:

$$Q = \frac{\text{volume transferido}}{\text{tempo de transferência}} = \frac{V}{t}$$

As unidades de medida de vazão volumétrica são m³/h e l/min.

Exemplo:

Volume transferido = 2m³

Tempo = 2 horas

Vazão: 2 m³ ÷ 2 h = 1m³/h

A vazão em massa é obtida pela fórmula:

$$W = \frac{\text{massa transferida}}{\text{tempo de transferência}} = \frac{M}{t}$$

As unidades de representação da vazão em massa são: kg/h, ton/h e g/min.

Exemplo:

Massa transferida = 2 toneladas

Tempo = 2 horas

Vazão: $2 \text{ ton} \div 2 \text{ h} = 1 \text{ ton/h}$

Escoamento

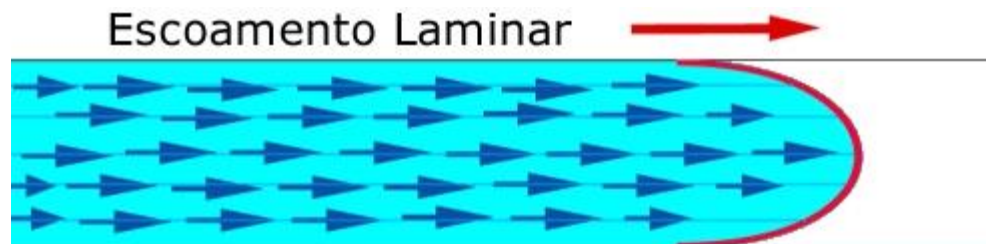
Escoamento é o caminho que o fluido percorre no equipamento.

Dependendo da maneira como o fluido escoa, o escoamento **pode ser de dois tipos:**

- **Escoamento laminar ou**
- **Escoamento turbulento.**

No escoamento laminar, as partículas do fluido deslocam-se paralelamente umas à outras, praticamente sem se misturarem, como se formassem camadas de deslocamento com sentido preferencial.

Veja representação esquemática a seguir.



No escoamento turbulento, as partículas fluem em todas as direções e provocam **turbilhonamento e redemoinhos**.

Isso acontece na associação de **velocidades elevadas associadas a viscosidades baixas**.

O escoamento de água e de gases é sempre do tipo turbulento.

A ilustração a seguir representa esquematicamente esse fenômeno.

Escoamento turbulento



A turbulência favorece as trocas de calor e a mistura do próprio fluido no interior da tubulação, tornando-o mais homogêneo

Vários fatores influenciam no tipo de escoamento, a saber:

- Velocidade do fluido;
- Diâmetro da tubulação;
- Viscosidade do fluido;
- Densidade do fluido.

Velocidade de escoamento

Velocidade de escoamento é a vazão que passa por uma tubulação ou por um equipamento por unidade de área.

A velocidade de escoamento pode ser medida de forma:

- Linear e
- Em massa.

A velocidade linear é aquela pela qual as moléculas do fluido se deslocam na tubulação.

A velocidade em massa é o produto da vazão em massa pela área da seção transversal.

É muito usada para gases, cujo volume varia bastante, porém a massa, não.

Perda de carga

Perda de carga é a queda de pressão que um fluido sofre quando escoar por uma tubulação, devido a atritos e acidentes provocados por curvas, válvulas, derivações e outros acessórios.

Nos equipamentos, as perdas de carga podem ser provocadas por defletores, chicanas, recheios.

EXERCÍCIOS

1. Pressão pode ser definida por:

- a. força distribuída por volume
- b. força distribuída por área
- c. força distribuída por comprimento
- d. nenhuma das anteriores

2. São unidades de pressão:

- a. kg/m²
- b. lbf/pol
- c. kgf/cm²
- d. g/cm³
- e. Newton

3. Pressão manométrica pode ser considerada como:

- a. pressão ao nível do mar
- b. pressão do meio ambiente
- c. pressão no interior de um vaso, medida pelo manômetro
- d. diferença entre a pressão interna e externa de um vaso

4. 1 kgf/cm² equivale a:

- a. 500 mm Hg
- b. 14,22 lbf/in²
- c. 1,308 bar
- d. 1 atm

5. A transmissão de calor pode se dar por:

- a. condução, convecção, radiação
- b. condução, convecção, irradiação
- c. convecção, radiação, aquecimento
- d. resfriamento, condução, radiação

6. O que acontece com determinado material, quando sofre aquecimento?

7. Na caldeira pode ocorrer os três tipos de dilatação? Exemplifique.

8. Em que temperatura (ao nível do mar) inicia-se a ebulição da água?

9. Qual a diferença principal entre vapor saturado e superaquecido?

10. Na tabela de vapor quais as temperaturas correspondentes às pressões absolutas abaixo:

- a. () 1,0 kgf/cm²
- b. () 5,5 kgf/cm²
- c. () 12,0 kgf/cm²

2 - CALDEIRAS - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Carga horária: 08 horas

- 2.1 - Tipos de caldeiras e suas utilizações
- 2.2 - Partes de uma caldeira
 - 2.2.1 - Caldeiras flamotubulares
 - 2.2.2 - Caldeiras aquotubulares
 - 2.2.3 - Caldeiras elétricas
 - 2.2.4 - Caldeiras a combustíveis sólidos
 - 2.2.5 - Caldeiras a combustíveis líquidos
 - 2.2.6 - Caldeiras a gás
 - 2.2.7 – Queimadores
- 2.3 - Instrumentos e dispositivos de controle de caldeiras
 - 2.3.1 - Dispositivo de alimentação
 - 2.3.2 - Visor de nível
 - 2.3.3 - Sistema de controle de nível
 - 2.3.4 - Indicadores de pressão
 - 2.3.5 - Dispositivos de segurança
 - 2.3.6 - Dispositivos auxiliares
 - 2.3.7 - Válvulas e tubulações
 - 2.3.8 - Tiragem de fumaça

2. CALDEIRAS – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Transferência de calor

É o transporte da energia calorífica de um ponto a outro por meio de um fluido portador que pode ser líquido ou gasoso, tendo utilidades do emprego de calor em secagem, cozimento, geração de energia, aquecimento, etc...

A produção de calor pode ser feita de várias maneiras, mas sempre para transformação de outra energia (**elétricas, químicas, etc**) em energia calorífica.

Nem sempre a necessidade de calor ocorre no local da fonte calorífica, sendo necessário transferi-lo do local desta fonte para outro local onde ele se faz necessário.

Quando os locais coincidem diz-se que o aquecimento é direto e, neste caso, o calor se propaga ou se transmite por condução, convecção e radiação.

Por outro lado, **quando os dois locais são distantes o aquecimento é indireto, usa-se então um sistema de transferência de calor.**

Esse sistema pode ser um gás ou um líquido em circuito fechado.

Vapor D'água

Na indústria, o vapor d'água encontra **ampla aplicação como fluido de aquecimento e como fluido motor (turbinas, compressores)**, pois apresenta uma séries de **vantagens** como:

- **Capacidade térmica elevada;**
- **Fornecimento de calor à temperatura constante;**
- **Facilidade de distribuição e controle nas instalações;**
- **Custo baixo;**
- **É fluido limpo, inodoro e não tóxico;**

Após a expansão em turbinas, o vapor de exaustão pode ser usado como fluido de aquecimento etc.

Como fluido de aquecimento usa-se vapor saturado de baixa e média pressão, em geral não ultrapassando a pressão de 10 kgf/cm² que corresponde a uma temperatura de 1 °C.

Para efeitos motrizes em turbinas e compressores usa-se vapor superaquecido de alta pressão.

Como o trabalho mecânico é gerado à custa de expansão do vapor, a regra geral é usar vapor na máxima pressão e temperatura na entrada e mínima pressão possível na exaustão.

Uma análise cuidadosa da instalação de uso do vapor pode mostrar **diversos pontos onde é possível otimizar o consumo de vapor. Alguns desses pontos são:**

- a) Recuperação de calor de condensados;**
- b) Uso do vapor ligeiramente superaquecido para reduzir a condensação na linha;**
- c) Redução das perdas de calor pelas paredes através do isolamento térmico adequado;**
- d) Uso de vapor em temperatura não muito superior à necessária;**
- e) Escolha de sistemas de purga adequados e manutenção periódica;**
- f) Cuidados no dimensionamento de linhas e equipamentos.**

Vapor saturado

É o que chamamos simplesmente “vapor” e **é o vapor gerado em contato com a água, sendo o vapor saturado seco o vapor na temperatura da água fervendo (na pressão correspondente) que não contém partículas livres de água.**

É a “qualidade” ideal do vapor, mas que não se encontra na prática.

Vapor superaquecido

É o vapor saturado da caldeira ao qual se adicionou calor extra por mais de um equipamento chamado “superaquecedor”.

No vapor seco a sua temperatura é maior que a temperatura do vapor saturado a mesma pressão.

Calor Específico do Vapor Superaquecido

$C_{sup} = 1/18 \times (7,3 + 2,46 \times 10^{-3} \times t_{sup})$ onde:

C_{sup} = calor específico do vapor superaquecido (Kcal/ Kg °C)

t_{sup} = temperatura de superaquecimento (Kelvin)

Entalpia de Superaquecimento

$$H_{\text{sup}} = C_{\text{sup}} \times (t_{\text{sup}} - t_{\text{sat}})$$

t_{sa} = temperatura de saturação

t_{sup} = temperatura de superaquecimento

A diferença entre as temperaturas ($t_{\text{sup}} - t_{\text{sat}}$) denomina-se grau de superaquecimento.

Nas caldeiras, o superaquecimento do vapor é obtido fazendo com que os gases da combustão transfiram calor para o vapor saturado.

Nestas condições à pressão se mantém constante, aumentando a temperatura e o volume do vapor em relação ao saturado (transformação isobárica).

O estado de superaquecimento do vapor pode ser reconhecido por sua temperatura e pressão.

As propriedades dos vapores saturado e superaquecido diferem-se no seguinte:

- ✓ Para o vapor saturado, um pequeno aumento de pressão ou diminuição de temperatura transforma parte dele em água;
- ✓ Para o vapor superaquecido, pode haver resfriamento ou compressão, dentro de certos limites, sem ocorrer transformação em água.

Exemplo:

Caso tenhamos um vapor com pressão de 3,4 Kgf/cm² e temperatura de 137,2 °C (temperatura de ebulição para essa pressão), o mesmo será saturado.

Caso a temperatura estiver acima de 137,2 °C o vapor será superaquecido.

Poderemos também reconhecer um vapor superaquecido pela sua pressão e volume ou peso específico.

Durante o superaquecimento, o volume específico aumenta e o peso específico do vapor diminui.

Sob igual pressão temos um maior volume de vapor superaquecido do que o mesmo vapor quando saturado.

Nos sistemas de aquecimento, o vapor mais empregado é o baixa pressão, entre 4 a 16 ATA (atmosfera absoluta), compreendidas entre 140 e 200 °C, por dois motivos:

- 1) Vapor com pressão acima de 16 ATA exige tubulações reforçadas e com dispositivos de segurança;**
- 2) Quanto maior a pressão do vapor, menor o calor latente disponível quando ele se condensar.**

Exemplo:

1 Kg de vapor de 4 ATA fornece a um trocador de calor 510 Kcal ao se condensar, enquanto que um vapor a 16 ATA fornece 462,4 Kcal / Kg.

O vapor superaquecido e em altas pressões usado em turbinas não contém gotículas de água, as quais poderiam danificar as palhetas da turbina.

Após ser utilizado nas turbinas, o vapor superaquecido e com alta pressão poderá ser usado em trocadores de calor, porém antes tem-se que reduzir a sua pressão.

Tabela de Pressão x Temperatura

PRESSÃO ABSOLUTA	TEMPERATURA	PRESSÃO ABSOLUTA	TEMPERATURA
Kgf/cm ²	°C	Kgf/cm ²	°C
0,01	6,7	8,0	169,6
0,015	12,7	8,5	172,1
0,02	17,2	9,0	174,5
0,025	20,8	9,5	176,8
0,03	23,8	10	179,0
0,04	28,6	11	183,2
0,05	32,5	12	187,1
0,06	35,8	13	190,7
0,08	41,2	14	194,1
0,10	45,4	15	197,4
0,12	49,1	16	200,4
0,15	53,6	17	203,4
0,20	59,7	18	206,1
0,25	64,6	19	208,8
0,30	68,7	20	211,4
0,35	72,2	22	216,2
0,40	75,4	24	220,8
0,50	80,9	26	225,0
0,60	85,5	28	229,0
0,70	89,5	30	232,8
0,80	92,9	32	236,3
0,90	96,2	34	239,8
1,0	99,1	36	243,0

Tabela 1 - Vapor Saturado

Tabela de Pressão x Temperatura

1,1	101,8	38	246,2
1,2	104,2	40	249,2
1,3	106,6	42	252,1
1,4	108,7	44	254,9
1,5	110,8	46	257,6
1,6	112,7	48	260,2
1,8	116,3	50	262,7
2,0	119,6	55	268,7
2,2	122,6	60	274,3
2,4	125,5	65	279,5
2,6	128,1	70	284,5
2,8	130,5	75	289,2
3,0	132,9	80	293,6
3,2	135,1	85	297,9
3,4	137,2	90	301,9
3,6	139,2	95	305,8
3,8	141,1	100	309,5
4,0	142,9	110	316,8
4,5	147,2	120	323,2
5,0	151,1	130	329,3
5,5	154,7	140	335,1
6,0	158,1	150	340,6
6,5	161,2	160	345,7
7,0	164,2	180	355,3
7,5	167,0	200	364,1
8,0	169,6	220	373,6

Tabela 1 - Vapor Saturado

CALDEIRAS - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Caldeira

É um vaso de pressão no qual, mediante aplicação de calor é gerado sob pressão superior a atmosfera vapor para uso externo.

A aplicação de calor é considerada tanto por **combustão** como **eletricamente**.

Entendemos também o conceito de caldeira ao caso de:

Equipamento industrial no qual é gerada água quente sob pressão para uso externo, mediante aquecimento direto por combustão e ainda

o caso dos vaporizadores e aquecedores de fluido térmico.

2.1 TIPOS DE CALDEIRAS E SUAS UTILIZAÇÕES

As Caldeiras podem ser classificadas **quanto a localização de água e gases:**

✓ **Flamotubulares e Aquotubulares e,**

quanto à forma de energia de aquecimento:

✓ **Combustíveis e elétricas.**

• **Caldeiras flamotubulares (fogotubulares)**

❖ **Caldeiras flamotubulares (fogotubulares)**

São aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes) circulam no interior dos tubos, ficando por fora a água, vaporizando.

Este tipo de caldeira é o mais simples, tendo sido muito usada em navios e locomotivas, mesmo com aparecimento de caldeiras mais modernas, posteriormente, com alguns aperfeiçoamentos.

Podem ser classificadas em:

1. Verticais
2. Horizontais

a)

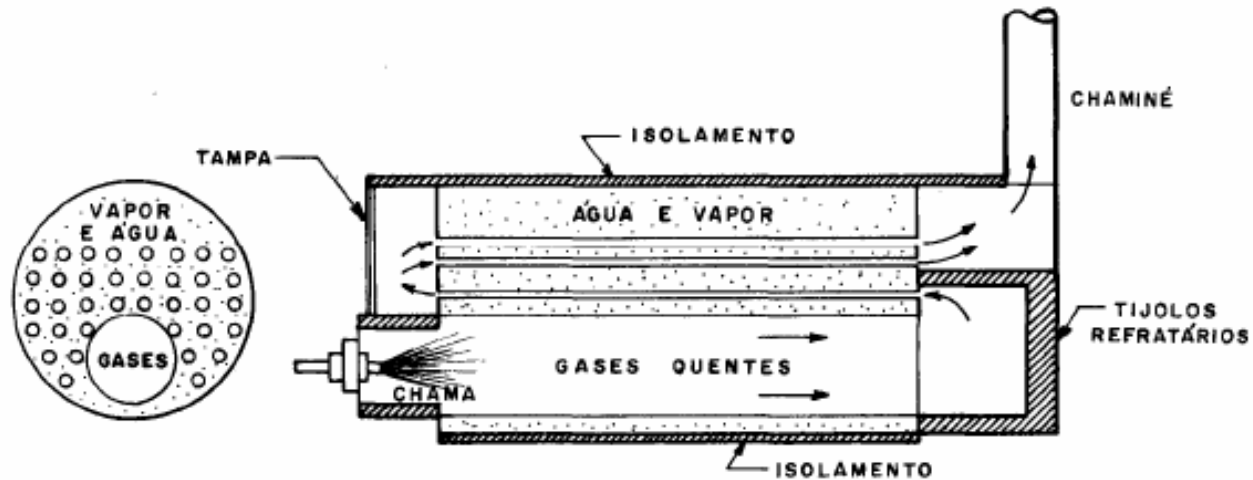


Figura 2 - Caldeiras flamotubulares ou fogotubulares I

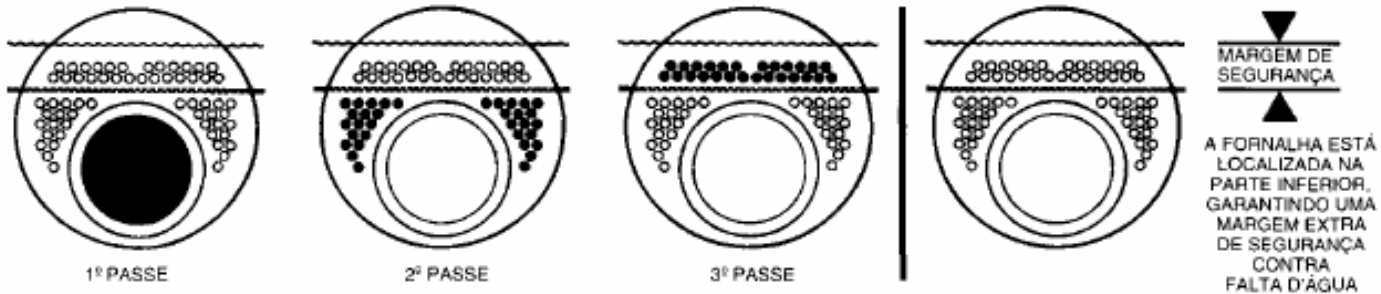


Figura 3 - Caldeiras flamotubulares ou fogotubulares II

b) Caldeiras horizontais com tubocâmara de combustão.

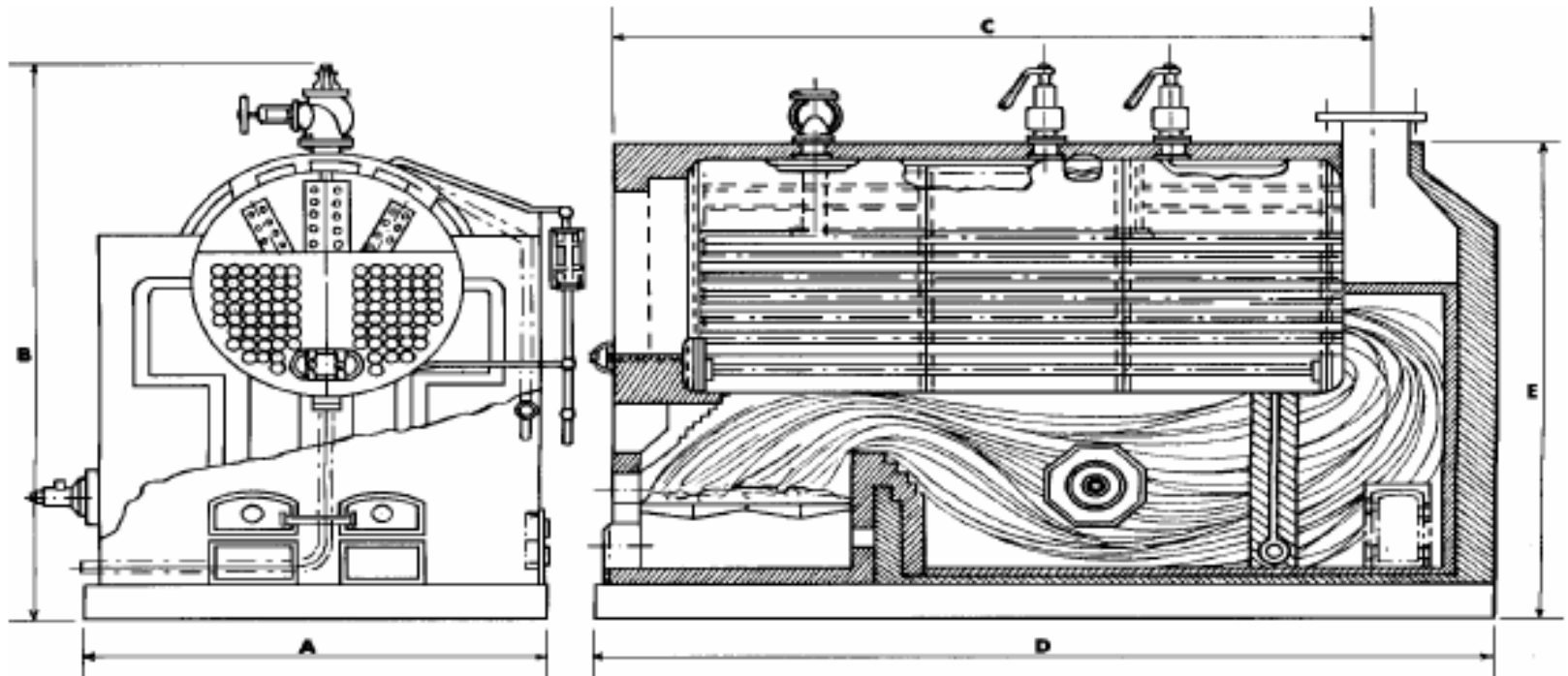


Figura 4 - Caldeira flamotubular a carvão ou lenha

Combustíveis: lenha e cavacos, serragem, carvão, cascas, óleo combustível.

c) **Caldeiras verticais** - A vantagem que apresentam é a de ocuparem pequeno espaço. São, em geral, pequenas, contendo câmara de combustão interna na parte inferior.

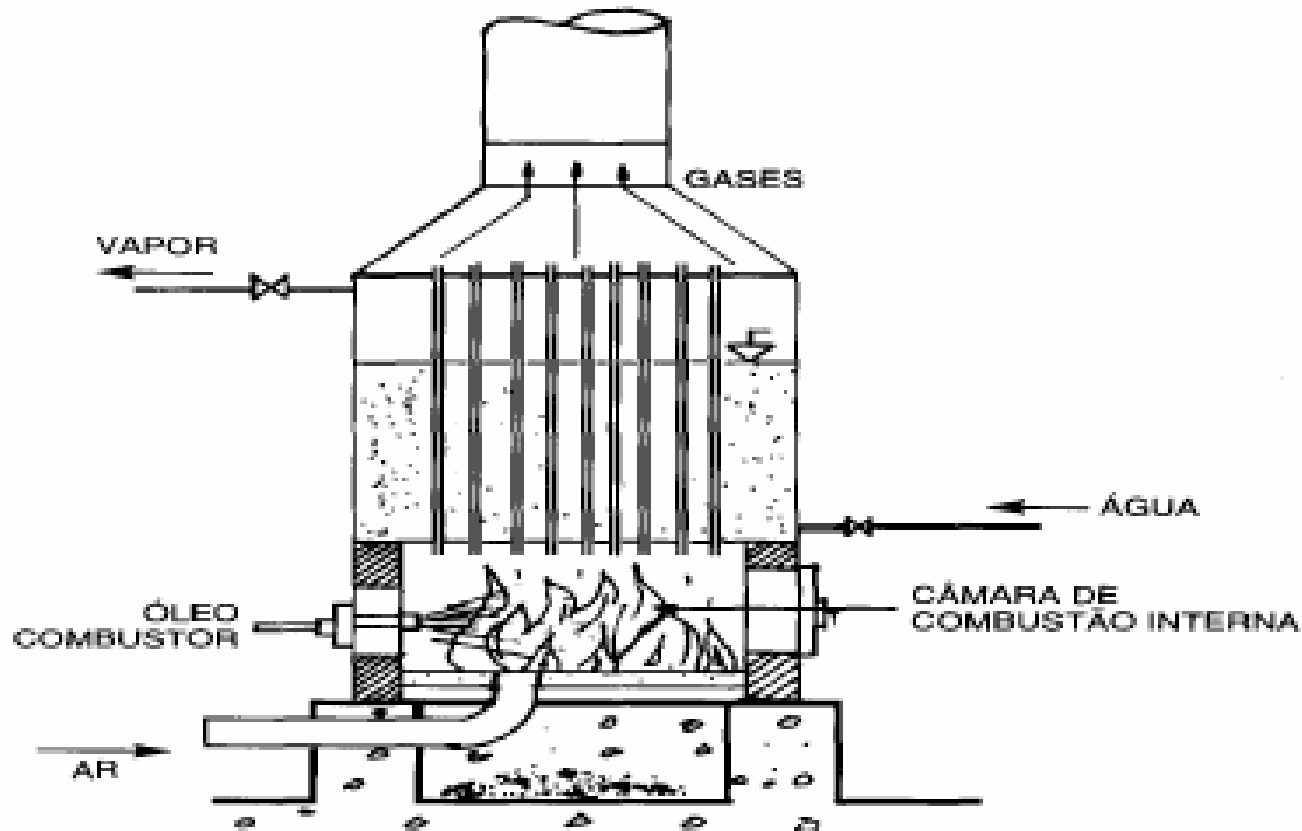


Figura 5 - Caldeira flamotubular vertical.

· Caldeiras aquotubulares

São aquelas em que **a água circula dentro dos tubos e os gases quentes originados da combustão fluem sobre os tubos, por fora.**

Hoje são usadas quase completamente caldeiras tipo tubo de água, dando ensejo a que se tenha e produzam grandes quantidades de vapor a elevadas pressões e temperaturas.

Nas caldeiras de circulação de água, o funcionamento baseia-se na diferença de densidade conseguida pela diferença de temperaturas, existente entre os tubos geradores de vapor e os tubos economizadores (tubos não vaporizantes).

Quando os tubos geradores de vapor normalmente estão a uma temperatura superior a dos tubos não vaporizantes, a densidade da água nos tubos geradores de vapor será menor que a densidade nos tubos economizadores.

Assim sendo, haverá circulação de água.

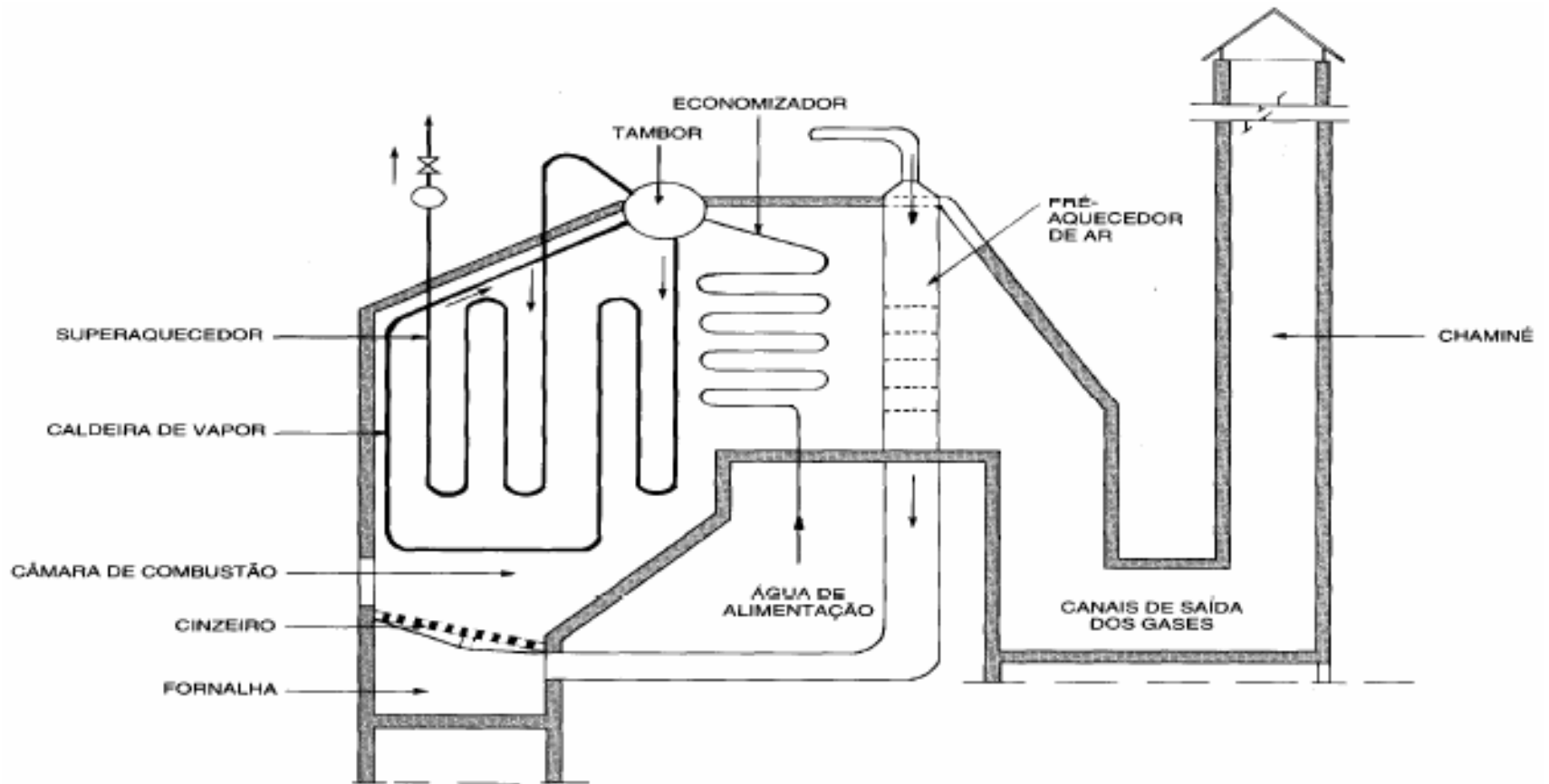


Figura 6 - Caldeira aquotubular de tubos curvos com um único tambor.

Quando a temperatura nos tubos geradores de vapor for à de saturação da água a uma determinada pressão, haverá formação de vapor nos tubos e no tambor de vapor.

Atente-se para a importância de altura “H”, entre os dois tambores, pois haverá um valor mínimo para que se estabeleça a circulação, motivada pela diferença de densidades.

Com a circulação natural teremos limitada pressão de trabalho (até 2.500 psig) e a produção de vapor.

Havendo maior queima de combustível, os tubos não vaporizantes se aquecerão em demasia, tornando a diferença de densidade muito pequena, diminuindo consideravelmente a circulação.

Quando a circulação cessa por completo dizemos que a caldeira se afogou.

Caldeiras aquotubulares de tubos retos { Com tambor transversal;
Com tambor longitudinal.

Caldeiras aquotubulares de tubos curvos { Com 4 ou mais tambores;
Com 3 tambores, podendo ser longitudinais ou transversais;
Com 2 tambores;
Com 1 tambor.

A caldeira aquotubular compacta tem bastante utilidade para instalações móveis, pois praticamente são entregues pelo fabricante, em condições de operação.

No Brasil, ficam limitadas praticamente, a unidades não superiores a 30 ton. de vapor por hora.

Porém, têm sido construídas unidades compactas até 90 ton. de vapor por hora.

Nas caldeiras aquotubulares a circulação de água acontece naturalmente em consequência da diferença de densidade entre a água na região mais fria e a água mais quente misturada com bolhas de vapor, na região mais quente.

Quando a circulação é deficiente, poderá ocorrer ruptura de tubos em virtude de superaquecimento.

Nas caldeiras de circulação positiva são utilizadas bombas externas para provocar a circulação de água ou vapor, independente da tendência da circulação natural.

Como exemplo, existem caldeiras fabricação japonesa, do tipo aquotubular, com tiragem forçada, queima frontal e fornalha de pressão positiva.

Produzem vapor superaquecido com pressão de 120 kgf/cm² a 538oC, tem capacidade para geração nominal de 400 t/h com possibilidade de atingir 440 t/h em pico mantendo a especificação durante duas horas no máximo, utilizando o calor resultante da queima de combustíveis líquidos e/ou gasosos.

· Caldeiras elétricas

Podem ser classificadas em:

- Caldeiras elétricas tipo resistência
- Caldeiras elétricas tipo eletrodos

Para que a água seja considerada boa condutora de corrente elétrica deve-se adicionar determinados sais como:

- **Adição cáustica ou fosfato trisódico para que ela possa obter uma determinada condutividade.**

Para que a geração de vapor seja eficiente, devemos observar a condutividade, nível de água, distância entre os eletrodos e evitar incrustações nas resistências elétricas.

Principais Características das Caldeiras Elétricas

- **Não necessita de área para estocagem de combustível;**
- **Ausência total de poluição (não há emissão de gases);**
- **Baixo nível de ruído;**
- **Modulação da produção de vapor de forma rápida e precisa;**
- **Alto rendimento térmico (aproximadamente 98%);**
- **Melhora do Fator de Potência e Fator de Carga;**
- **Área reduzida para instalação da caldeira;**
- **Necessidade de aterramento da caldeira de forma rigorosa;**
- **Tratamento de água rigoroso.**

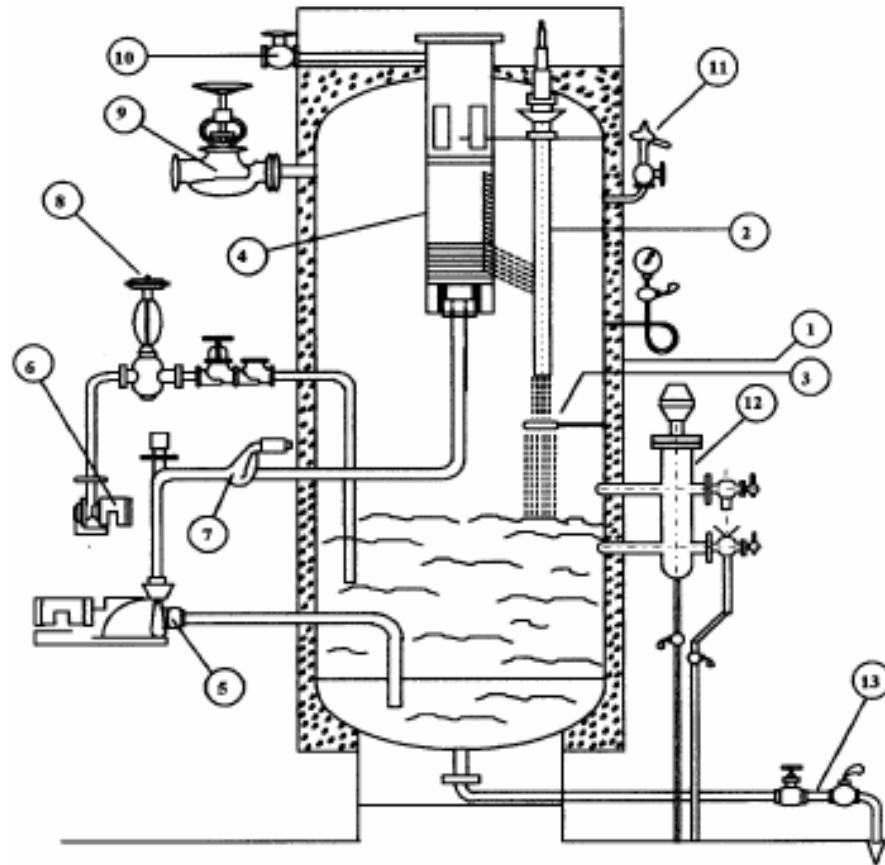


Figura 7 - Caldeira Elétrica Tipo Jato de Água (CASCATA)

1- corpo da caldeira; 2- eletrodo (+); 3- contra-eletrodo; 4- corpo da cascata;
5- bomba de circulação; 6- bomba de alimentação; 7- válvula controle de produção;
8- válvula controle de alimentação; 9- saída de vapor; 10- eliminador de ar;
11- válvula de segurança; 12- controle de nível de água; 13- descarga de fundo.

Utilizações do Vapor:

O vapor produzido em um gerador de vapor pode ser usado de diversas formas, dependendo do tipo de indústria e da região.

De uma forma geral pode-se destinar o vapor para:

- a) O processo de fabricação, beneficiamento;**
- b) Gerar energia elétrica;**
- c) Gerar trabalho mecânico;**
- d) Aquecimento de linhas e reservatórios de Óleo combustível;**
- e) Prestação de serviços.**

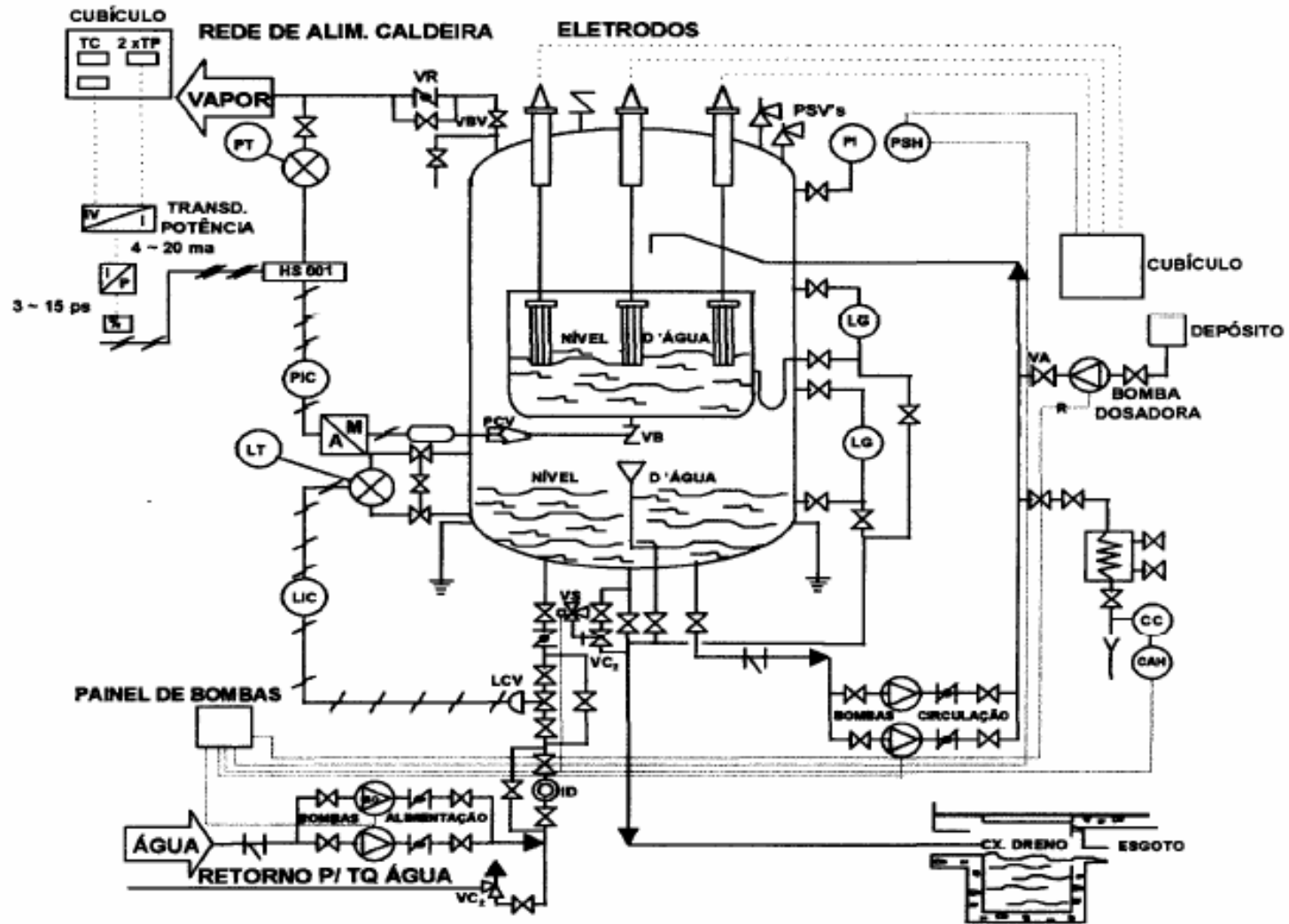


Figura 8 - Caldeira Elétrica Tipo Eletrodo Submerso

Vantagens:

- ✓ **Ausência de produtos da combustão,**
- ✓ **Diminuição da poluição atmosférica e pluvial.**
- ✓ **Baixa nos custos de operação, manutenção e supervisão por ser alto o grau de automatismo atingido, permitindo o controle automático numa faixa de operação de 0 a 100%.**
- ✓ **Inexistência de custo de transporte e estocagem de combustíveis, diminuindo acentuadamente a área ocupada.**
- ✓ **Grande versatilidade e rapidez de resposta às variações de carga.**
- ✓ **Eficiente, elevado rendimento para todos os regimes de funcionamento (97 - 99,5%).**
- ✓ **Segura, não falha em caso de falta de água.**
- ✓ **Eliminam a necessidade de equipamentos de circulação de ar, pré-aquecedores, economizadores, movimentação e eliminação de cinzas, sistemas de segurança de combustão, equipamentos para redução de ruídos, etc...**

PARTES DE UMA CALDEIRA

Consideramos como partes de uma **caldeira** aquelas indispensáveis ao processo fundamental de aquecimento de água suficiente para transformá-la em vapor, sem levar em conta a segurança, confiabilidade, continuidade de operação, utilidade e economia.

E, como acessórios de caldeira, qualquer equipamento ou dispositivo que tenha por finalidade aumentar o rendimento, melhorar as condições de segurança, facilitar a continuidade de operação e o controle de regulação.

Componentes Internos

Ficam expostos à pressão e temperatura

a) Economizador:

Tem por finalidade aumentar a temperatura da água de alimentação, às expensas do calor residual dos gases de combustão, especificando s temperatura dos gases antes da emissão para a atmosfera.

Com isto, consegue-se melhorar o rendimento da caldeira e ainda evitar possíveis choques térmicos no tambor de vapor.

Para 6°C de aumento na água de alimentação temos uma economia de aproximadamente 1°C no consumo de óleo combustível.

b) Dessuperaquecedores:

Tem por finalidade reduzir a temperatura do vapor por injeção de água na corrente de vapor superaquecido.

c) Feixe tubular:

Como o próprio nome indica é constituído de tubos de vários perfis que interligam os tambores.

Esses tubos, colocados sobre as paredes da fornalha e no percurso dos gases quentes, integram a superfície de troca de calor da caldeira aquotubular.

Tem como finalidade realizar a troca de calor, entre os gases quentes que deixaram o superaquecedor, e a água que se vaporiza nos tubos de subida e se aquece nos tubos de descida (traseiros).

d) Superaquecedor:

Tem por finalidade **transformar o vapor saturado proveniente do tambor de vapor em vapor superaquecido, ou seja, com uma temperatura superior (maior),** de modo a aproveitar o máximo da capacidade *entálpica do vapor.

Assim no acionamento das turbinas, ocorre um maior fornecimento de energia entálpica evitando a condensação interna.

Exemplo de grau de superaquecimento:

Suponhamos um vapor superaquecido com pressão de 400 psig e temperatura de 320°C. O vapor saturado à mesma pressão terá a temperatura de 230°C.

O grau de superaquecimento será 90°C, ou seja, 320 – 230°C.

***Entalpia**, por vezes referida como **entalpia absoluta**, é uma grandeza física definida no âmbito da termo dinâmica clássica de forma que esta meça a máxima energia de um sistema termodinâmico, teoricamente passível de ser deste removida na forma de calor.

É particularmente útil na compreensão e descrição de processos isobáricos : a pressão constante as variações de entalpia encontram-se diretamente associadas às energias recebidas pelo sistema na forma de calor, estas facilmente mensuráveis em calorímetros.

Dispositivos de alimentação

· De água:

O sistema de bombeamento de água da caldeira é composto de duas unidades independentes:

a) Unidade de funcionamento normal:

Esta unidade será comandada automaticamente pelo nível de água da caldeira, caso necessário poderá ser ligado manualmente.

Conforme o tamanho e o tipo de sua caldeira, ela será composta de uma ou duas bombas ligadas em paralelo.

Na sucção da bomba teremos um filtro de água, a tubulação de alimentação de água deverá ser ligada a este filtro.

Dispositivos de alimentação

· De água:

b) Unidade de emergência:

Esta unidade só entrará em funcionamento, por ser inteiramente manual, para substituir, em caso de necessidade, a primeira.

É composta de um injetor e uma bomba, dependendo do tamanho e da pressão da caldeira.

Alimentação com água fria:

A sucção da bomba deverá ser ligada diretamente ao tanque de serviço de água, observando o seguinte:

- ✓ **Ligação direta com mínimo de curvas; se houver curvas tem que ser bem suave sem joelhos e o tubo não deverá ter o diâmetro menor que 2" .**
- ✓ **Não esquecendo de colocar uma válvula gaveta antes do filtro no caso de necessidade de desmontar o filtro, a bomba ou a válvula de retenção.**

Dispositivos de alimentação de água - Unidade de emergência:

Alimentação com aproveitamento de condensado:

O tanque de serviço que é um tanque próprio para receber condensado, dependendo da bomba utilizada na caldeira deverá ter uma altura manométrica máxima de 6 m para água com 80°C, 4m para água com 60° C e 2m para água com 40° C, para evitar o processo de cavitação, sendo que a tubulação de água deverá ter diâmetro suficiente para não prejudicar a sucção, não sendo nunca inferior a 2", visto que a água quando quente aumenta de volume.

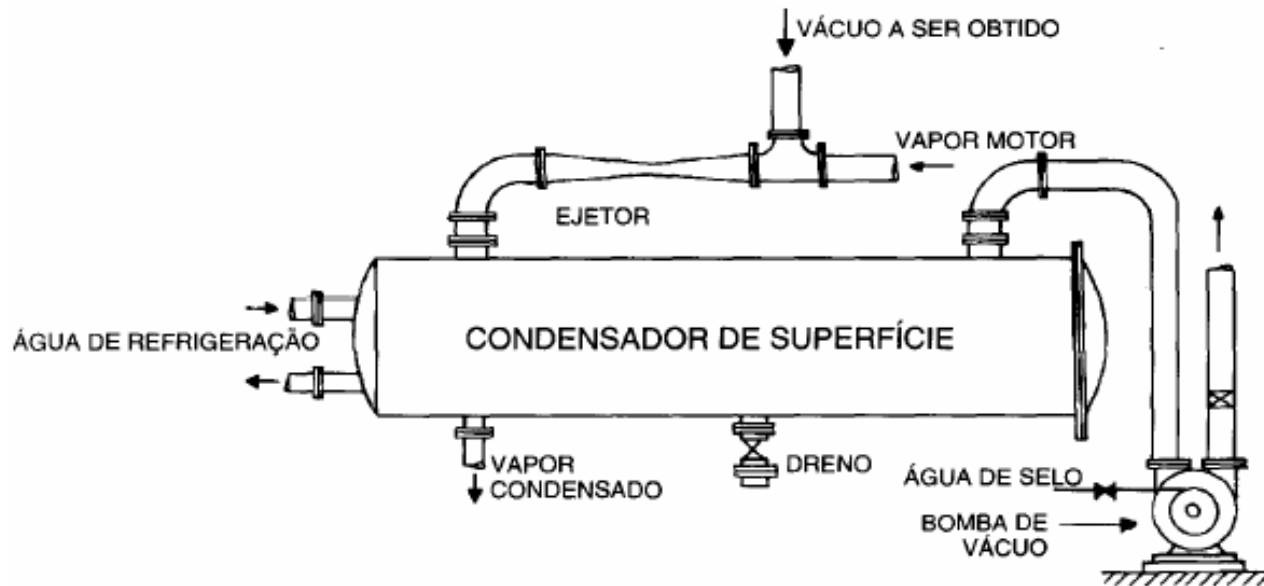


Figura9 - Sistema de alimentação com aproveitamento de condensado

· **De combustível:**

Para evitarmos flutuação de carga, baixa temperatura de bombeamento, etc., a rede geral de óleo combustível BPF não deve ser ligada diretamente à bomba de óleo e sim a um tanque de serviço que deverá ficar bem próximo à mesma, tendo antes do filtro da bomba uma válvula de gaveta e a linha de retorno com instalação livre.

A finalidade da instalação do tanque de serviço é o aproveitamento do retorno do óleo préaquecido, não deixando que o mesmo esfrie.

Quando o bombeamento é o do óleo diesel, o mesmo é feito sem que precise aquecer o óleo, pois já é fluido o bastante para pulverizar e queimar.

· De ar para combustão:

O ar de combustão é fornecido através da tiragem natural, soprado por ventilador ou quando a tiragem for induzida.

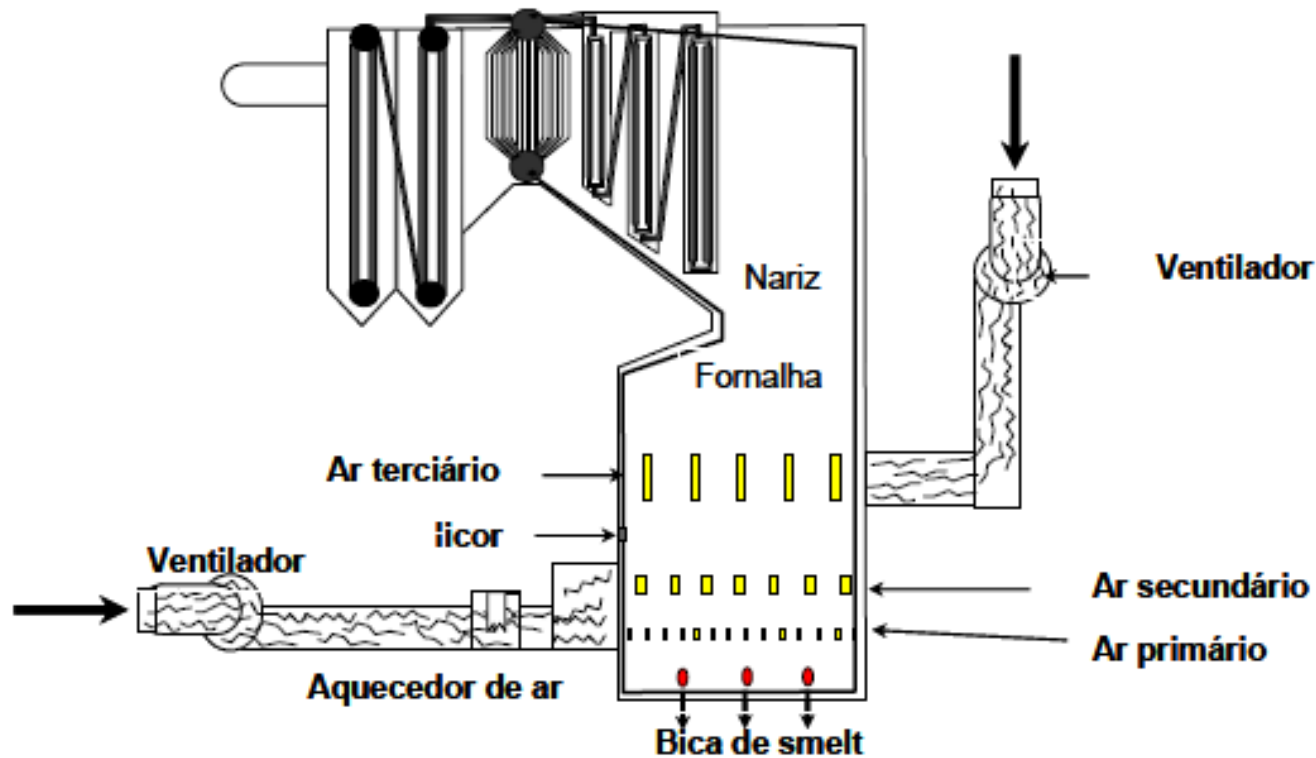


Figura 10 - Sistema de alimentação de ar em caldeira de recuperação

· De ar para combustão:

O ar de combustão é fornecido através da tiragem natural, soprado por ventilador ou quando a tiragem for induzida.

Ar primário:

É aquele que entra no corpo do combustor para que se consiga o efeito de pulverização.

Ar secundário:

É aquele que entra no processo de combustão, quando são utilizados maçaricos de baixa pressão, por efeito Venturi, através de janelas reguláveis, convenientemente colocadas.

Ar terciário:

Quando o ar secundário não for suficiente para o processo de combustão, faz-se uma terceira adução de ar, que pode ser succionada por efeito de tiragem ou soprada por um ventilador.

· **De energia elétrica:**

O sistema elétrico de comando é por assim dizer cérebro da caldeira, para iniciar a operação, basta adicionar a chave de comando automático, ficando a caldeira a partir deste momento, operando automaticamente, segundo as necessidades.

De forma geral recebe e colhe os impulsos fotoelétricos, mecânicos, elétricos e térmicos, determinando a seqüência das operações a serem mantidas.

Montado no chassi da caldeira existe um armário metálico onde estão abrigados todos os elementos componentes do sistema elétrico de comando ficando livres da poeira e umidade, de golpes ou choques possíveis, abaixo discriminados:

- a) Quadro completo com fusíveis, contator e relês para motor do ventilador;**
- b) Bombas d'água e de óleo e compressor de ar;**
- c) Contadores auxiliares para sistema de intertravamento;**
- d) Comutadores, botoeiras e demais elementos necessários ao comando da caldeira;**

- e) Sinaleiros para indicação dos diversos eventos e funcionamento dos equipamentos;**
- f) Programador de combustão para controle da seqüência de partida e parada da caldeira;**
- g) Transformador de tensão para alimentação do comando com fusíveis para proteção;**
- h) Cigarra tipo industrial para alarme sonoro;**
- i) Controle de nível com transformador e relês especiais.**

Instrumentos de controle de uma caldeira

· Sistema de controle de nível.

Durante o funcionamento da caldeira, a água é convertida em vapor e nesse estado é retirado para o processo, fazendo com que o nível da água na caldeira diminua, portanto torna-se necessário sua reposição, tendo em vista a manutenção de determinados níveis (máximo e mínimo).

O controle de alimentação de água quando não é automático e sim manual, apresenta alguns inconvenientes:

- ✓ **Alimentação descontínua,**
- ✓ **Nível alto na caldeira pela precaução exagerada do operador, podendo provocar arraste de água para o vapor,**
- ✓ **Nível de água baixo na caldeira, às vezes por descuido do operador.**

O controle de alimentação de água automático introduziu estabilidade e segurança à operação.

Instrumentos de controle de uma caldeira

- Sistema de controle de nível.

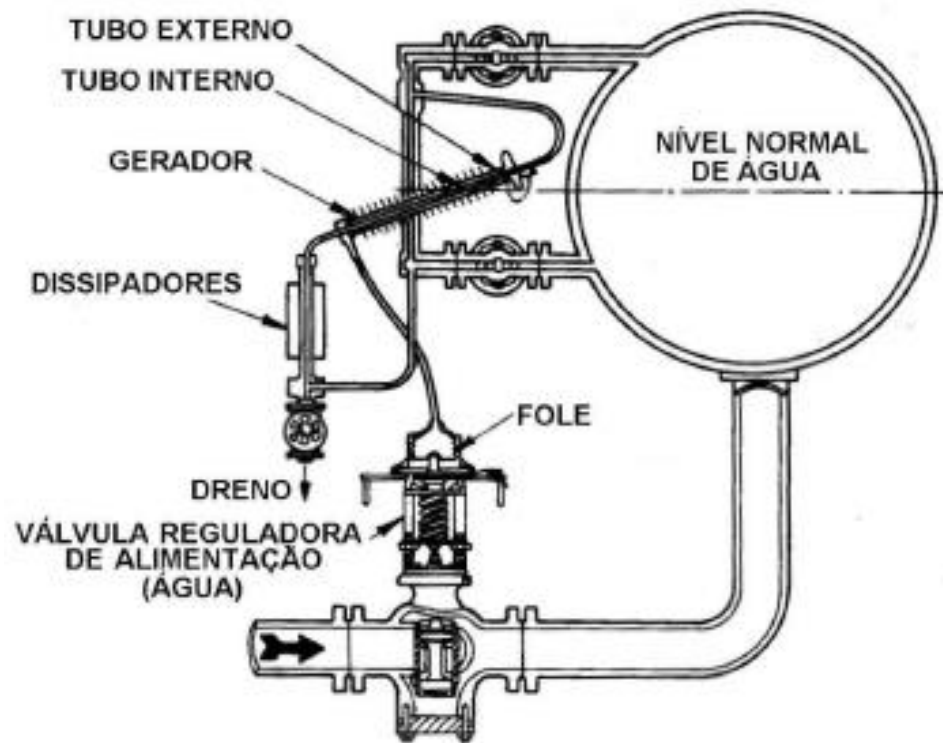


Figura 11 - Sistema de controle de nível.

Instrumentos de controle de uma caldeira

Visor de nível.

É um tubo de vidro fixado na coluna de nível d'água cuja finalidade é determinar a altura exata em que se encontra a água da caldeira, está situado na faixa de separação vapor / água.

Periodicamente, devemos acionar a válvula de dreno, para constatarmos que a altura marcada é a correta, servindo também para remover a sílica acumulada que costuma danificar os vidros.

Controle de nível com bóia

É geralmente uma câmara ligada à caldeira e uma bóia que por sua vez está ligada a uma chave que comanda o circuito elétrico da bomba de alimentação de água.

Instrumentos de controle de uma caldeira

Controle de nível com eletrodos:

Baseia-se no princípio da condutividade elétrica da água.

Introduzem-se quatro eletrodos de aço inoxidável, isolados do corpo da caldeira, na altura do nível máximo o quarto eletrodo, nível mínimo o terceiro eletrodo, e baixo do nível segundo eletrodo juntamente com o primeiro eletrodo que comanda a passagem de corrente através da água para os demais eletrodos.

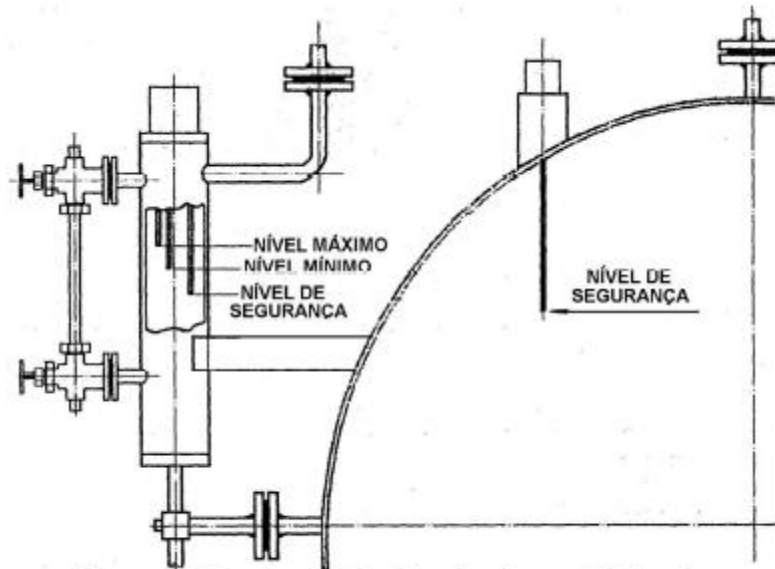


Figura 12 - Controle de nível com eletrodos

Controle de nível termostático

Tem como elemento atuante, um tubo de expansão termostático, dentro do qual o nível de água sobe e desce, acompanhando o nível de água dentro da caldeira.

A expansão ou a contração deste tubo depende da proporção entre vapor e água no tubo.

O elemento de controle é constituído por uma válvula equilibrada com precisão e praticamente isenta de fricção. Normalmente, uma haste rígida liga o termostato à válvula.

O tubo termostático ligado à caldeira comunica-se com a câmara de vapor e com o nível inferior de água.

No seu interior há, portanto, água e vapor, em virtude da irradiação de calor, da temperatura da água no tubo termostático que fica inferior à temperatura do vapor.

É esta diferença de temperatura que assegura o funcionamento do instrumento.

À medida que desce o nível de água na caldeira, maior a quantidade de vapor que penetra no tubo.

O tubo assim se aquece e é obrigado a se expandir.

À medida que sobe o nível de água na caldeira, maior quantidade de água penetra no tubo e este, ficando mais frio, é obrigado a se contrair.

Esta expansão e contração do tubo transformam todas as flutuações do nível de água em força de considerável potência, que movimenta a válvula de controle de alimentação.

Essa força é instantânea e exata e a válvula responde da mesma maneira.

Uma porca de regulagem localizada no extremo do tubo pode ser girada para proporcionar o nível desejado, mesmo com a caldeira em funcionamento.

· Indicadores de Pressão:

São instrumentos que servem para medir a pressão para que a operação se torne segura e econômica.

É o manômetro o aparelho com o qual se mede a pressão dos gases, de vapores e de outros fluidos.

Comumente os dois tipos de manômetros mais usados são: com mola e tubular.

A pressão máxima de funcionamento da caldeira deverá estar sempre marcada sobre a escala do manômetro, com um traço feito à tinta vermelha, para servir de alerta ao operador no controle da pressão.



· **Válvula de Segurança:**

É um dispositivo aliviador de pressão atuado pela pressão estática e caracterizado pela rápida ação, abrindo-se integralmente a uma pressão definida, devendo permanecer aberta enquanto não houver a queda de pressão e fechar-se instantaneamente e com perfeita vedação logo após a queda de pressão.

Deve permanecer vedada para pressões inferiores à sua regulagem.

- a) Acumulação ou pressão de acúmulo:
- b) É o acréscimo da pressão de trabalho, em termos percentuais,
- c) permissível no equipamento durante a descarga da válvula.



b) Sobrepressão:

É o acréscimo da pressão, em termos percentuais, acima da pressão de ajustes, até a sua abertura total, ou seja, a válvula atingir a sua capacidade total de descarga.

c) Contra pressão:

É a pressão estática existente na saída de uma válvula de segurança devido à pressão no sistema de descarga, podendo causar, mudanças nas pressões de abertura e fechamento, diminuição na capacidade de descarga e instabilidade dinâmica.

d) Ajuste:

Sendo a válvula de segurança um dispositivo indispensável à caldeira, sua regulagem deve ser efetuada por pessoas habilitadas e com conhecimentos indispensáveis no setor.

O ajuste da pressão de abertura é feito pelo respectivo parafuso.

Os valores das pressões de disparo das válvulas devem ser: para a primeira válvula igual a PMTP; as válvulas restantes no máximo 3% acima da PMTP.

O ajuste do diferencial de alívio se refere à diferença das pressões de abertura e fechamento, geralmente limitadas em 4%.

VÍDEO: Válvula de Segurança - TESTE DE ABERTURA PSV



Dispositivos auxiliares

São aqueles projetados para garantir que a caldeira funcione em perfeita segurança.

a) Pressostato de pressão máxima:

É o dispositivo que desliga o circuito automático, quando atinge a pressão máxima de trabalho da unidade e torna a religar o circuito quando a pressão cai, conforme a regulação.

b) Pressostato de modulação de chama:

É aquele que, invertendo a posição dos contatos ou auxiliando um relê na inversão, quando atinge a pressão em que foi regulado e vice-versa processa o fogo máximo ou mínimo.



VÍDEO: PRESSOSTATO

c) Foto resistor:

Constitui a proteção contra falha na combustão.

Recebendo luminosidade da chama, ele emite um impulso elétrico que é retificado no programador abrindo e fechando circuitos.

A célula propriamente dita é uma placa que se encontra no interior do cabeçote.

Sua sensibilidade pode ser regulada para mais ou para menos, atuando sobre um parafuso ajustando a resistência variável do programador.

Existem outros tipos de sensores que detectam ondas infravermelhas, não visíveis, e os que detectam a radiação ultravioleta emitida pela chama.

a) Programador de combustão:

É um dispositivo que controla a segurança e o funcionamento do combustor.

Ao operar, o programador faz as seguintes supervisões:

- ✓ Partida em baixa combustão;**
- ✓ Verificação da ignição piloto na partida;**
- ✓ Permanente verificação da chama principal;**
- ✓ Liberação para modulação automática após o acendimento e verificação da chama principal;**
- ✓ Limitação da pressão máxima da caldeira.**

b) Válvulas solenóides:

São comandadas eletricamente.

Existe uma bobina elétrica que ao energizar-se cria um campo magnético, abrindo a válvula para passagem do óleo combustível ou vapor.

Quando se corta a corrente, termina o campo magnético e a mesma se fecha.



VÍDEO: FUNCIONAMENTO DE VÁLVULA SOLENÓIDE

Válvulas - Tipos de Válvulas

Os dois principais tipos de válvulas são:

- ✓ Válvulas de bloqueio ou de isolamento, que são usadas para desligar ou regular o fluxo de fluido, e
- ✓ Válvulas de retenção, que impedem o refluxo de fluido.

As válvulas globo e de gaveta, juntamente com a válvula borboleta e esfera, são consideradas válvulas de bloqueio por serem utilizadas tanto para parar como para regular o fluxo de fluido, além de serem controladas pelo movimento da haste da válvula.

Válvula globo

Uma válvula globo tem esse nome devido à forma globular do seu corpo, sendo a válvula mais frequentemente usada.

As aberturas de entrada e saída do corpo da válvula podem ser dispostas de várias maneiras diferentes, dependendo da sua utilização.

As configurações mais comuns são o fluxo direto, o fluxo de ângulo e o fluxo cruzado.

A válvula globo utiliza um plugue cônico, que se move para dentro e fora do fluido, causando uma restrição de fluxo e uma queda de pressão, podendo ser usado com um elevado grau de precisão.

Válvula de gaveta

O nome válvula de gaveta deriva do fato de que a parte da válvula que controla o fluxo do líquido é similar à de uma abertura e fecho de uma gaveta.

Esse dispositivo deve ser utilizado totalmente aberto ou totalmente fechado, não sendo uma boa válvula para controlar a pressão devido ao seu modelo.

Essa válvula pode ser danificada devido ao líquido que flui contra a gaveta parcialmente fechada.

Elas empregam uma haste ascendente, com a gaveta indo para cima e para baixo na haste da válvula, ou uma não ascendente, em que tanto a haste como a gaveta sobem e descem juntas.

Válvulas e tubulações

a) Válvula principal de saída de vapor:

Válvula tipo globo em sua maioria, podendo usar válvula tipo gaveta quando não se tem e não se quer um rigoroso controle da vazão, ou queremos bloquear a linha.

b) Válvula de segurança:

As válvulas de segurança destinam-se a evitar que a pressão das caldeiras eleve-se além do limite especificado pelo projeto. Isto reverte em favor da segurança e em vida mais longa para o equipamento.

c) Válvulas de alimentação:

Serve para permitir ou interromper a alimentação de água para a caldeira. São válvulas do tipo globo ou reta.

d) Válvulas de retenção:

Válvula colocada após a válvula de alimentação da caldeira, evita o retorno de água sob pressão do interior da caldeira.

Válvulas e tubulações

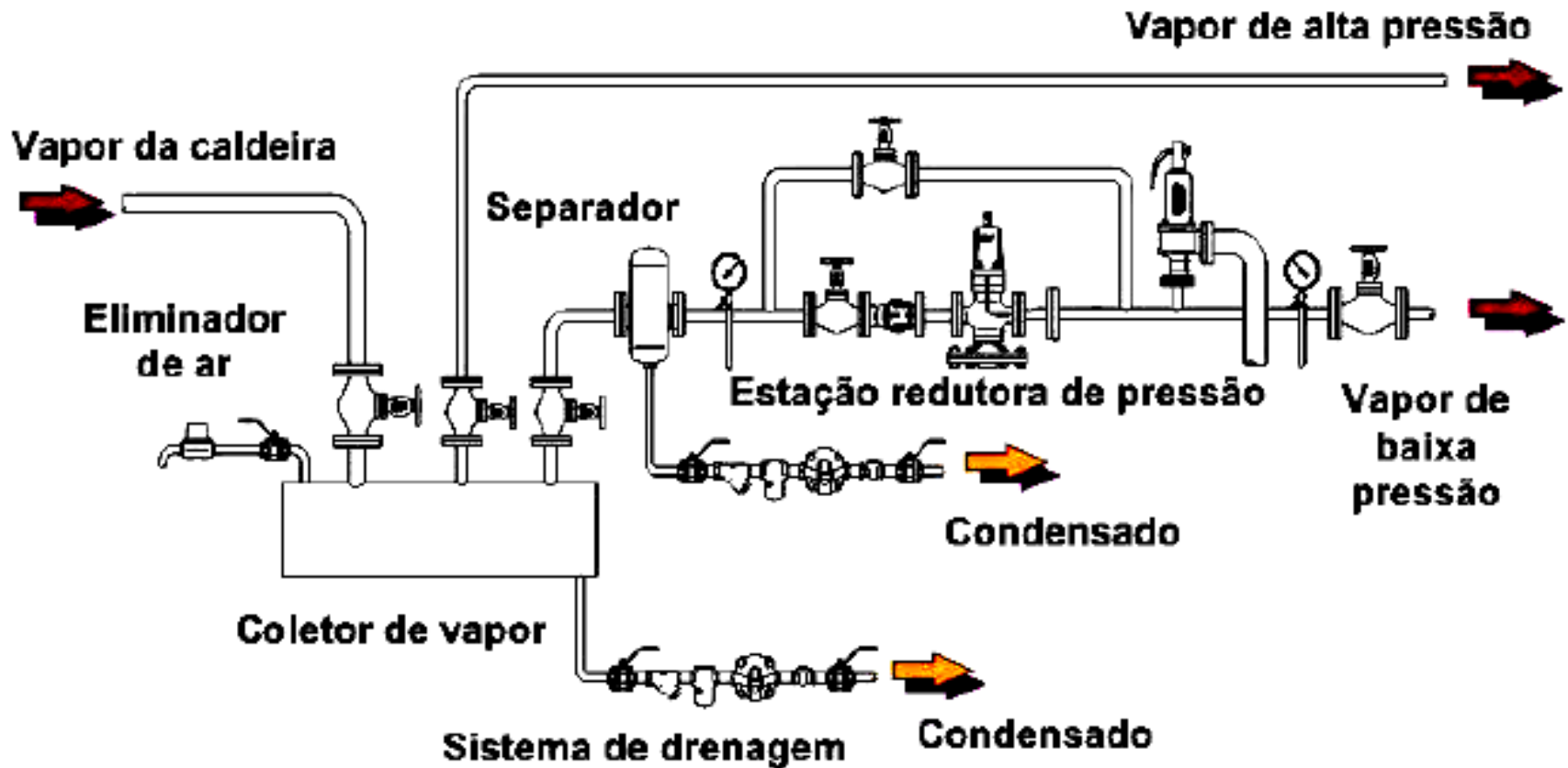


Figura 15 – Válvulas e Tubulações

Válvulas e tubulações

e) Válvula de descarga de fundo:



São instaladas na região mais baixa da caldeira e **tem por finalidade purgar o sistema, quando abertas, retira da mesma toda a lama ou lodo dos materiais sólidos em suspensão que se deposita no fundo**, são também instaladas nas colunas de níveis de água.

Existem dois tipos de válvulas de descarga de fundo: de descarga lenta; de descarga rápida.



VÍDEO: DESCARGA DE FUNDO

Válvulas e tubulações

f) Válvulas de vapor:

Tipo globo para suprir de vapor a válvula solenóide que controla o aquecimento do pré-aquecedor do óleo combustível, supre também o combustor quando a atomização do óleo é processada pelo vapor, os injetores e bombas de alimentação de água.

g) Válvulas de alívio:

Válvula instalada no pré-aquecedor de óleo combustível, visando a segurança do mesmo, caso o óleo combustível ultrapasse a pressão para que o mesmo foi projetado.

h) Válvulas de ar:

Tipo globo, nos inícios e fins de operação, controla a saída ou entrada de ar na caldeira.

Válvulas e tubulações

i) Rede geral de alimentação de água:

É a tubulação que interliga o tanque geral de água à bomba de água, sempre que possível instalando um tanque de serviço entre os dois, para uma possível queda de pressão e aproveitamento do condensado.

Esta rede deve possuir um número bastante reduzido de curvas e atender somente a este equipamento

Válvulas e tubulações

j) Rede de óleo combustível:

É a tubulação que liga o tanque geral de armazenamento do óleo BPF ao tanque de serviço e à bomba de óleo e o retorno do mesmo.

Faz parte integrante da rede, a bomba de óleo que irá bombear o óleo do caminhão tanque ao tanque de armazenamento; a bomba que irá bombear o óleo do tanque de armazenamento ao tanque de serviço, normalmente controlado por uma bóia elétrica e sistema de filtragem.

A distância do tanque de serviço à bomba de óleo da caldeira deverá ser a mais próxima possível para que a mesma receba o óleo quente e sem muita perda de carga, garantindo assim que a pressão de queima do óleo permaneça constante, sem variação.

Válvulas e tubulações

k) Rede de drenagem: duas redes de drenagem devem ser previstas:

Uma que trabalhará sob a pressão da caldeira (rede fechada) e outra que estará à pressão atmosférica (rede aberta).

Compõem o sistema fechado às redes das válvulas de descarga de fundo e descarga da coluna de nível de água e o sistema aberto às redes do purgador da serpentina e dreno do pré-aquecedor de óleo, torneiras de prova e injetor da caldeira, válvula de descarga do indicador de nível de água.

l) Descarga de fundo

A descarga de fundo da caldeira deve ser feita geralmente sob pressão.

A pressão e a temperatura da água (acima da ebulição) poderão destruir o sistema de esgoto, por isso, recomenda-se instalar um tanque de descarga entre a caldeira e o esgoto, onde os golpes e a temperatura elevada da água serão eliminados.

Válvulas e tubulações

Em muitas caldeiras, principalmente as de menor porte, é suficiente instalar uma válvula de descarga rápida (válvula de fundo de caldeira) para se obter a extração de lodo e sais.

Mas as caldeiras de maior porte requerem um dispositivo adicional para a dessalinização contínua e a automatização da válvula de descarga periódica.

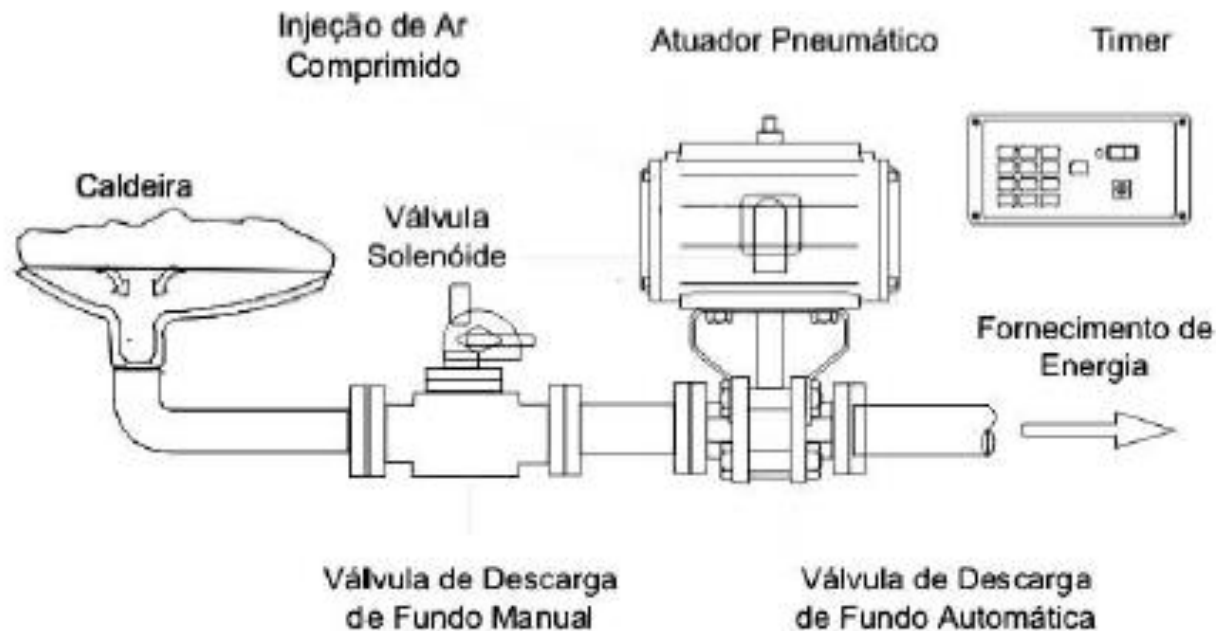


Figura 16 – Tubulação de Descarga

Válvulas e tubulações

A dessalinização contínua mantém a densidade da água na caldeira dentro dos limites admissíveis.

Já a extração periódica do lodo, serve para conservar o fundo da caldeira livre do lodo, microorganismos e outras impurezas que aí se acumulam.

Mesmo quando a água de alimentação da caldeira for inteiramente abrandada e desmineralizada, é recomendável instalar válvulas de descarga periódica e de dessalinização contínua, pois qualquer falha nos equipamentos de tratamento da água ou em seus acessórios pode provocar a entrada de água não tratada na caldeira.

A continuidade dos processos de vaporização e reposição de água acarreta o aumento de concentração de impurezas na caldeira.

Para evitar a conseqüente formação de incrustações nas suas paredes, adicionam-se determinados produtos químicos a água que modificam a constituição de certas impurezas, dando origem a partículas que se depositam no fundo da caldeira em forma de lodo.

A mistura desse lodo com o oxigênio e gás carbônicos exerce ação corrosiva, danificando as paredes dos tubos da caldeira ou destruindo-os.

O acúmulo progressivo das incrustações pode provocar tensões térmicas capazes de fender as paredes da caldeira ou rachar os rebites e se as camadas de lodo atingirem os tubos, as tensões térmicas ainda podem ser agravadas pela conseqüente retenção de calor, causando a destruição do tubo.

À medida que a caldeira produz vapor, acumulam-se os sais minerais que penetram no seu interior com a água de reposição.

A concentração excessiva desses sais e conseqüente formação de incrustações nas instalações da jusante da caldeira comprometem o funcionamento eficiente de todo o sistema.

Para evitar estes problemas, cuja gravidade nem sempre é previsível, efetua-se a extração periódica do lodo através de válvulas instaladas no fundo das caldeiras.

A duração de descarga, normalmente não deve exceder a 3 segundos, para garantir por um lado, o máximo efeito de arraste e, por outro lado, minimizar as perdas de água.

Além disso, as válvulas devem fechar automaticamente com a mesma instantaneidade da abertura, a fim de minimizar as perdas de pressão e água, e garantir o funcionamento normal de toda instalação, independente de eventual falha do operador.

j) Rede de vapor: a válvula de saída de vapor para o consumo está localizada na parte superior da caldeira, onde ocorre a extração de vapor para o consumo, a abertura e fechamento desta válvula não devem ocasionar choques (mecânicos ou térmicos) no restante da instalação, deve ocorrer lenta e continuamente.

A tubulação principal de vapor deve ser feita, na mesma bitola da saída da válvula de saída.

A perda de carga (queda de pressão) e a conseqüente condensação nas linhas dependem do comprimento, do diâmetro e do número de curvas da rede, por este motivo, algumas vezes é necessário construir as linhas com maior bitola que o especificado.

Uma redução de pressão implica num aumento de diâmetro da tubulação da rede, uma vez que o volume aumenta.

O sistema de purga e condensado deve ser previsto nas partes mais baixas da rede, evitando-se assim bolsas de água, este condensado além de prejudicar a distribuição de vapor irá fatalmente às máquinas dificultando o funcionamento das mesmas e podendo causar grandes avarias, teremos também de prever a purga do ar na tubulação.

A rede de distribuição de vapor é composta de: rede principal e secundária, e devido ao aquecimento da mesma, as tubulações se dilatam, devemos prever os pontos que se devem colocar as juntas de dilatação e as que a absorvem.

Além de isolá-las termicamente para evitar perdas de calor latente do vapor.

Informações complementares

· Injetor:

São peças confeccionadas para abastecer a caldeira de água fria em situações de emergência.

Não fazem sucção e não trabalham com água quente; o tanque de água deve ser elevado, pois trabalham sob carga, e utilizam o próprio vapor da caldeira como meio de impulsão da água.

· Bombas centrífugas:

Possuem elevada capacidade de aspiração (com a tubulação de sucção cheia de água), pela sua simplicidade é a que tem oferecido melhores resultados.

Nas caldeiras de baixa pressão, usamos bombas com apenas um estágio e nas de alta pressão, usamos bombas de multiestágios.

· Tambor de vapor:

É um vaso fechado, localizado no ponto mais alto da caldeira aquotubular, onde se encontram em equilíbrio água líquida evaporando-se e vapor de água.

Ao tambor estão conectados os tubos de descida de água (economizadores) e os tubos de chegada da mistura de vapor mais água (vaporizantes).

O tambor é adaptado com válvulas de segurança, entrada de água de alimentação e possuem internamente dispositivos destinados a evitar que o vapor que sai do tambor arraste partículas de água e impurezas sólidas, chamadas de partes internas do tambor.

Informações complementares

· Tambor de lama:

Fica localizado no ponto mais baixo do sistema de tubos e tem por finalidade acumular lama, ferrugem e outros materiais.

Faz-se periodicamente a descarga desses materiais.

Este tambor trabalha cheio de água.

No tambor estão conectados os tubos economizadores, vaporizantes e no fundo, estão instaladas uma ou mais válvulas de descargas de fundo, com a finalidade de purgar o sistema.

Informações complementares

· Aparelho de *Ramonagem:

Durante a operação normal da caldeira, verificam-se depósitos de fuligem nos tubos, resultantes da queima do combustível.

Esta fuligem tem de ser retirada, pois atua como isolante.

Em vista disso são instalados nas caldeiras, entre as fileiras dos tubos, aparelhos destinados a limpar periodicamente o lado do fogo das caldeiras, removendo os depósitos de fuligem.

Esta operação de limpeza deve ser efetuada duas vezes ao dia, no mínimo, antes de qualquer parada da caldeira, sendo mais freqüente com a caldeira em operação, com cargas elevadas, de modo a evitar explosões no percurso dos gases.

* Ramonagem : Operação que consiste em lançar um jato de vapor nos tubos de uma caldeira para remover a fuligem aí depositada.

Informações complementares

· Pré-aquecedor de ar:

Tem por finalidade elevar a temperatura do ar de combustão.

Com, isto se consegue melhor queima, aumentando o rendimento da caldeira.

· Chaminé:

É o componente que permite o escoamento dos gases de combustão;

· Fornalha:

É o local destinado à queima do combustível, que pode ser sólido, líquido ou gasoso.

É composta do combustor (maçarico), que promove a queima do combustível e da câmara de combustão onde se verifica a completa queima dos gases.

Alguns fornos são dotados de câmara de pré-combustão.

· Tiragem de fumaça:

É o processo pelo qual se garante a admissão de ar na fornalha e circulação dos gases de combustão através de todo o sistema até a saída para a atmosfera.

A tiragem deve vencer a resistência oposta, por vezes considerável.

É medida em mm de coluna de água e pode ser obtida através de métodos naturais ou processos mecânicos.

O valor da perda de carga através do sistema é que determina o processo a ser usado.

Tipos de tiragem:

a) Tiragem mecânica (induzida, forçada e mista):

É empregada, quase que na sua totalidade, para aumentar a velocidade dos gases, que irá acarretar maiores coeficientes de troca térmica, **obtendo com isso maiores rendimentos, o que não ocorre com a tiragem natural** (antieconômica quando as perdas de carga ultrapassam determinados limites).

b) Tiragem induzida:

Nesta tiragem, o circuito total permanece com compressão reduzida, podendo ser conseguida de duas maneiras: aspiração com ejetor; aspiração com exaustor.

O sistema mais difundido nas caldeiras é a aspiração por exaustores.

O ventilador é dimensionado para a vazão total dos gases da combustão à temperatura de saída.

c) Tiragem forçada:

A tiragem forçada é realizada por ventiladores tipo centrífugo ou axial.

Estes ventiladores devem ser dimensionados, levando em consideração a perda de carga no sistema, o suprimento de ar de combustão e garantir a saída dos gases de combustão até a saída para a atmosfera.

Para impedir a fuga de gás no sistema, estas caldeiras têm que ter perfeita vedação. São também chamadas de caldeiras pressurizadas.

d) Sistema misto:

Este sistema utiliza dois ventiladores: um ventilador soprador responsável pela alimentação do ar de combustão e que vence as perdas de cargas no circuito de ar, e um ventilador exaustor que vence as perdas de carga no circuito dos gases de combustão, desde a câmara de combustão até a chaminé.

Este sistema é utilizado nos geradores de vapor de grande capacidade de combustão.

O controle de tiragem é indispensável ao bom funcionamento das caldeiras.

Os sistemas de tiragem, via de regra, são superdimensionados, com a finalidade de atender as variações de demanda de vapor.

A regulagem se faz de maneira a aumentar ou diminuir a circulação dos gases com o propósito de assegurar a adequada entrada de ar e perfeita combustão.à temperatura de saída.

· **Desaeração térmica:**

Esse processo consiste na introdução de vapor na água a uma pressão constante, reduzindo a pressão parcial de oxigênio e do gás carbônico, dissolvidos na mesma, eliminando-se assim parte desses gases dissolvidos na água.

Utiliza-se o vapor para o aquecimento da água a uma temperatura de 100 a 150°C, aproveitando-se assim a queda de solubilidade desses gases, que é diretamente proporcional ao aumento da temperatura.

Desaeração térmica:

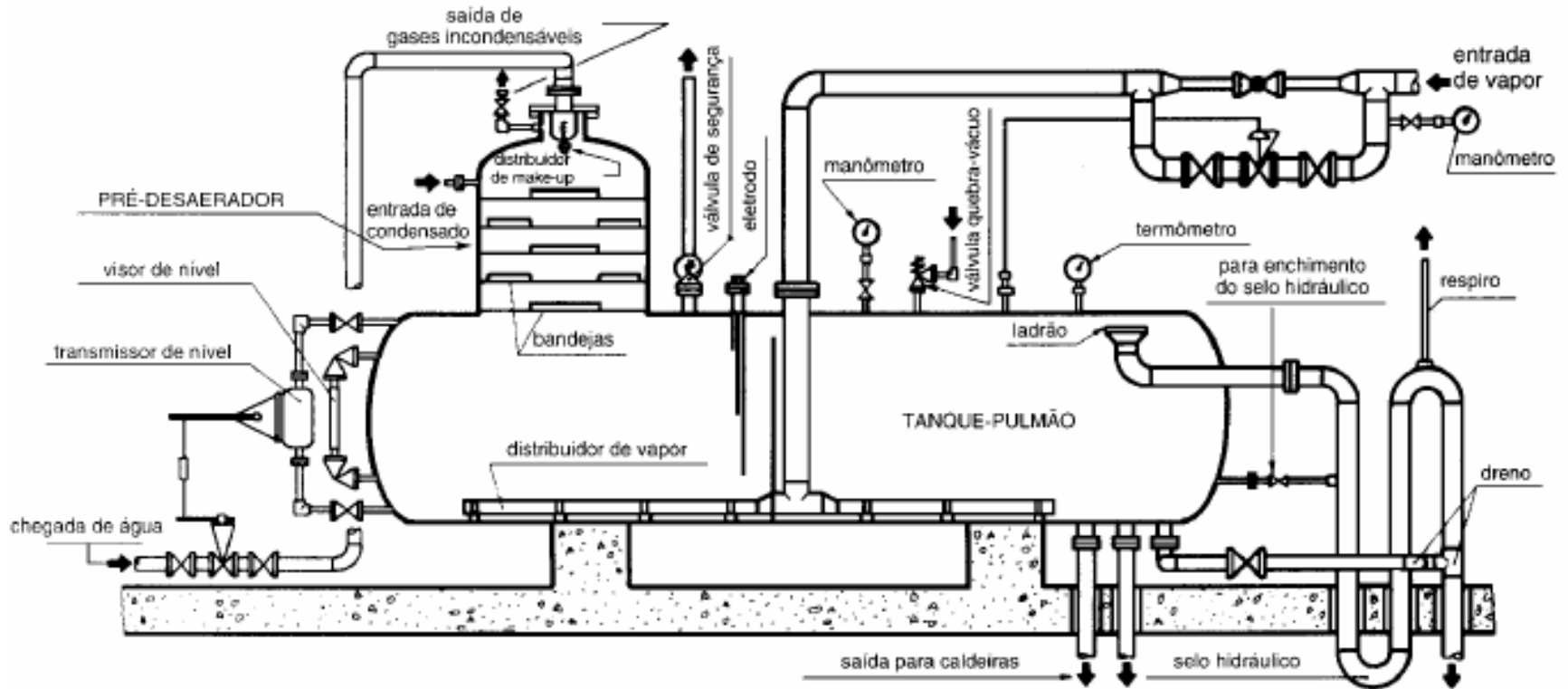


Figura 18 - Desaerador térmico do tipo bandeja.

Para que um processo de combustão seja eficiente, vários fatores são necessários:

- a) A relação entre combustível e comburente deve-se manter entre limites estreitos e bem determinados;**
- b) A mistura entre combustível e comburente deve ser a mais íntima possível e no menor espaço de tempo;**
- c) O excesso de ar necessário à combustão deve ser bem determinado, de acordo com o combustível. Se houver grande excesso de ar, o rendimento técnico do conjunto fica prejudicado;**
- d) A temperatura da câmara de combustão deve ser tão alta quanto possível, de maneira a gaseificar, no menor tempo, as gotículas do combustível que saiam do combustor;**
- e) A fornalha deve ser criteriosamente dimensionada, de acordo com a temperatura que deva trabalhar e com a quantidade de combustível a ser queimado;**

f) A circulação dos gases de combustão através do sistema deve ser de tal forma que permita boas possibilidades de troca térmica, sem, no entanto prejudicar a tiragem.

g) Classificação dos combustores: combustores de baixa pressão; de alta pressão com vazão fixa; de alta pressão com vazão variável; de acordo com combustível; de acordo com o agente atomizador.

h) Pedra refratária: em todos os queimadores, principalmente nos de baixa pressão, a pedra refratária desempenha um papel importante.

É uma peça de refratário, trabalha aquecida e, geralmente incandescente, tem por função ser o primeiro elemento a irradiar calor para a mistura ar-gotículas de combustível efluente do maçarico e proporciona a adução do ar pelo efeito venturi.

i) Câmara de pré-combustão: a chama é combustão em processamento, em seu interior coexistem combustível e comburente que devem combinar-se desenvolvendo uma reação exotérmica.

Colocando-se a câmara de pré-combustão, haverá uma quantidade menor de chama na fornalha, pois que, as câmaras de pré-aquecimento trabalhando a altas temperaturas proporcionam a volatilização e o craqueamento rápido do combustível.

Em muitos casos são indispensáveis nas caldeiras.

j) Capacidade de um gerador de vapor: existem diversas maneiras de se definir a capacidade de um gerador de vapor.

Atualmente está se generalizando a tendência de expressar a capacidade em quilos ou toneladas por hora (kg/h ou t/h), indicando em paralelo a pressão em Kgf/cm².

k) Chicanas ou defletores: são colocados na saída da fornalha para a chaminé, a fim de dirigir o fluxo dos gases de combustão através dos tubos economizadores, economizador e pré-aquecedor de ar.

Isto é feito de maneira estratégica, por barreiras ou costados e material refratário.

3 - OPERAÇÃO DE CALDEIRAS

Carga horária: 12 horas

- 3.1 - Partida e parada
- 3.2 - Regulagem e controle
 - 3.2.1 - de temperatura
 - 3.2.2 - de pressão
 - 3.2.3 - de fornecimento de energia
 - 3.2.4 - do nível de água
 - 3.2.5 - de poluentes
- 3.3 - Falhas de operação, causas e providências
- 3.4 - Roteiro de vistoria diária
- 3.5 - Operação de um sistema de várias caldeiras
- 3.6 - Procedimentos em situações de emergência

Neste capítulo de Operação de Caldeiras **estamos considerando que a caldeira foi entregue pelo fabricante ou pela equipe de manutenção em condições adequadas para início do processo de partida.**

Falaremos inicialmente sobre os **fatores presentes no processo de combustão, como ele acontece e como obter dele os melhores resultados.**

Falaremos, também dos **processo de pré-partida, partida e parada dos diversos tipos de caldeira.**

Combustão

Para produzir vapor é necessária a **geração de calor.**

Para tal, uma das maneiras mais usuais é **utilizar-se os processos de combustão.**

A combustão é o resultado de fenômenos físicos e químicos.

Para que ela aconteça, é preciso que se disponha de um combustível e do comburente adequadamente misturados.

Combustível

Podemos definir combustível como sendo um **“material... usado para produzir calor por combustão”, ou então: “qualquer material que alimenta fogo”**.

Dependendo de sua disponibilidade e da viabilidade econômica de seu uso, os combustíveis utilizados na geração de vapor **podem ser sólidos, líquidos ou gasosos**.

Os combustíveis sólidos foram os primeiros utilizados pelo homem.

Lenha, carvão mineral, bagaço de cana e outros resíduos vegetais diversos são exemplos desse tipo de combustível.

Para que sua utilização seja eficiente em nível industrial, são necessários altos investimentos em equipamentos específicos.

Os combustíveis líquidos são, em sua maioria, os de origem fóssil, ou seja, o óleo diesel e os óleos combustíveis nas classificações de 1A / 1B até 9A/9B.

Os combustíveis líquidos de fontes renováveis, como o álcool, são usados na geração de vapor apenas em aplicações específicas como combustível alternativo em usinas de produção de álcool.

Para a combustão, a propriedade mais importante do combustível líquido, é a viscosidade, que é controlada pela temperatura:

Quanto mais viscoso for o combustível, maior deverá ser sua temperatura para atingir a viscosidade ideal para circulação e para a queima.

Entre os combustíveis gasosos, pode-se citar o gás liquefeito de petróleo (GLP), que é o produto da destilação de petróleo, e o gás natural, originário dos poços de exploração de petróleo.

Se estiverem disponíveis, os gases gerados nos processos industriais, como o gás do alto-forno ou gás de hulha, também poderão ser usados.

Elementos químicos na combustão

O combustível, líquido ou gasoso, é constituído basicamente por carbono (C) e hidrogênio (H), ou seja, os hidrocarbonetos.

Alguns tipos de combustível apresentam em sua composição, elementos como enxofre (S), vanádio (V) e outras impurezas.

Os hidrocarbonetos são formados por moléculas de diversos tamanhos e formas que definem seu estado, a viscosidade e outras características presentes nos combustíveis e que são importantes para a combustão.

Na combustão podem também estar presentes componentes inorgânicos como o nitrogênio (N₂), o vanádio (V), o ferro (Fe) e o níquel (Ni), que geram as cinzas.

Comburente

O comburente é uma **“substância que produz ou auxilia a combustão”**.

Essa substância é o oxigênio.

Por razões econômicas, na combustão usa-se **o oxigênio presente no ar, uma vez que ele contém 21% dessa substância em sua composição.**

O restante é composto basicamente por nitrogênio que não participa das reações de combustão, mas que representa um volume extra de gás a ser aquecido.

Isso diminui o aproveitamento energético da caldeira e esfria a chama.

Para melhorar a combustão, em alguns tipos de queimadores é feita a adição de oxigênio do ar, e até mesmo oxigênio puro no processo em alguns casos específicos.

Tipos de combustão

A combustão pode ser **completa ou incompleta**.

Na combustão completa, a máxima geração de energia é obtida e os gases resultantes desse processo são menos nocivos ao ambiente.

Assim, dependendo das características do combustível, a geração de material em partículas é mínima, ou nula.

Não se pode eliminar a emissão de dióxido de enxofre (SO₂).

Na combustão incompleta existe a presença de monóxido de carbono (CO) e fuligem.

Esses poluentes, além de nocivos à saúde, diminuem o rendimento da combustão, com conseqüente diminuição da geração de energia.

Tipos de combustão

A combustão pode ser **completa ou incompleta**.

Na combustão completa, a máxima geração de energia é obtida e os gases resultantes desse processo são menos nocivos ao ambiente.

Assim, dependendo das características do combustível, a geração de material em partículas é mínima, ou nula.

Não se pode eliminar a emissão de dióxido de enxofre (SO₂).

Na combustão incompleta existe a presença de monóxido de carbono (CO) e fuligem.

Esses poluentes, além de nocivos à saúde, diminuem o rendimento da combustão, com conseqüente diminuição da geração de energia.

VÍDEO: COMBUSTÃO COMPLETA E INCOMPLETA

Poder calorífico

A quantidade de calor obtido na combustão de determinada parcela de combustível por unidade de massa é denominada de poder calorífico.

O poder calorífico de um combustível pode ser definido como superior ou inferior em função da quantidade de água que se origina a partir de sua combustão.

A tabela a seguir mostra valores práticos do poder calorífico inferior para alguns combustíveis usuais.

Combustível	Poder calorífico inferior
óleo diesel	10.220 kcal/kg (8.670 kcal/l)
óleo combustível 1A	9.660 kcal/kg
óleo combustível 2A	9.300 kcal/kg
gás natural	9.065 kcal/Nm ³ (Comgás)
	8.500 kcal/Nm ³ (Bolívia)
GLP	24.000 kcal/Nm ³ (11.000 kcal/kg)

Excesso de ar na combustão

Para que se obtenha o maior rendimento possível no processo de combustão, deve-se trabalhar com a quantidade estequiométrica de ar, ou seja, **a quantidade de ar que considera, uma relação exata e correta entre comburente e combustível, a fim de que todo o combustível seja queimado.**

Na prática, porém, os equipamentos estão sujeitos a variações de temperatura e pressão do ar, bem como a variações nas condições nas câmaras de combustão.

Isso impede a geração do calor em condições ideais.

Quando se opera a caldeira com excesso de ar, além de dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O), dióxido de enxofre (SO₂) formados na combustão e do nitrogênio (N₂), presente no ar, encontra-se, também, dentro da fornalha, oxigênio que não reagiu com o carbono.

A quantidade de ar fornecida a um determinado queimador é indicada numericamente como porcentagem da quantidade estequiométrica.

Por exemplo, em um queimador trabalhando com ar de combustão a 110%, tem-se 10% de excesso de ar em relação à quantidade estequiométrica.

Excesso de ar na combustão

Para que se obtenha o maior rendimento possível no processo de combustão, deve-se trabalhar com a quantidade estequiométrica de ar, ou seja, **a quantidade de ar que considera, uma relação exata e correta entre comburente e combustível, a fim de que todo o combustível seja queimado.**

Na prática, porém, os equipamentos estão sujeitos a variações de temperatura e pressão do ar, bem como a variações nas condições nas câmaras de combustão. Isso impede a geração do calor em condições ideais.

Quando se opera a caldeira com excesso de ar, além de dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O), dióxido de enxofre (SO₂) formados na combustão e do nitrogênio (N₂), presente no ar, encontra-se, também, dentro da fornalha, oxigênio que não reagiu com o carbono.

A quantidade de ar fornecida a um determinado queimador é indicada numericamente como porcentagem da quantidade estequiométrica.

Por exemplo, em um queimador trabalhando com ar de combustão a 110%, tem-se 10% de excesso de ar em relação à quantidade estequiométrica.

O ar excedente, representa um volume extra a ser aquecido. Isso diminui o aproveitamento energético e esfria a chama. Por causa disso, o excesso de ar deve ser o menor possível.

Parâmetros de avaliação da combustão

Como o excesso de ar influi diretamente no aproveitamento energético de uma caldeira, **é importante estabelecer parâmetros para avaliar sua eficiência e controlar o processo de combustão.**

Para esse tipo de avaliação, os parâmetros **podem ser estabelecidos por meio de medição, que é mais seguro e mais correto, ou onde não existir, por métodos práticos, por meio da observação da chaminé e da coloração da chama.**

Uma fumaça esbranquiçada pode significar excesso de oxigênio, enquanto que uma fumaça escura pode significar falta de oxigênio na fornalha.

A situação ideal, independente do combustível utilizado (sólido ou líquido), é operar de modo que se obtenha uma coloração acinzentada nos gases da chaminé.

Pela medição, pode-se obter o teor de:

- Oxigênio (O₂);
- Dióxido de carbono (CO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Fuligem/elementos particulados da fumaça.

A medição de gases existentes na combustão pode ser realizada por meio de diversos aparelhos existentes no mercado, pela coleta de uma amostra dos gases gerados, sendo fixos ou portáteis.

O aparelho possui reagentes alcalinos especificados para que reajam com o O₂, CO e CO₂ existentes nos gases de combustão de chaminés e dutos de gases.

A porcentagem de CO₂ é registrada em uma escala, indicando se a combustão é completa ou não.

As indicações em porcentagem destes gases indicam as características da combustão.

Veja ilustração.

Analísadores de Gases - Fixo



Opacímetro contínuo Industrial



Sonda termopar de amostragem fixa de gases de combustão



Analísador contínuo de combustão (O2 e COe)



Medidor contínuo de velocidade dos gases de combustão



Analísador de Gases de Combustão e otimização de combustível

Analísadores de Gases Portáteis



Analísador de combustão 3 gases



Analísador multi gas portátil



Analísador de Gás - método O2 (Oxigênio)



Medidor de Fuligem e Fumaça



Multi Analísador Profissional para Gases com IR



Sonda termopar universal p/ analisadores de combustão

A tabela a seguir mostra o teor máximo admissível de dióxido de carbono (CO₂) para alguns tipos de combustíveis.

Combustível	Teor máximo de CO ₂ *
Óleo diesel	15,4 %
Óleo combustível	16,0 %
Gás natural	12,0 %
GLP (propano/butano)	14,0 %

* Valores de orientação. Os valores exatos dependem de uma análise precisa do combustível.

A medição do teor de fuligem/partículas é feita em pontos de amostragem nas chaminés das caldeiras de combustíveis líquidos.

Os detetores de fumaça, chamados de opacímetros são instalados nos dutos das saídas de gases e detectam a combustão incompleta comparando a opacidade da fumaça gerada com um padrão ideal de combustão, em função do combustível que estiver sendo utilizado.

Existem, também, disponíveis em alguns tipos de caldeiras, analisadores contínuos de gases de combustão, que fornecem ao operador os parâmetros necessários para avaliação e controle da combustão.

Características da combustão de líquidos

A presença de oxigênio é muito importante na combustão.

Para permitir a mistura dos combustíveis líquidos com o ar, e sua conseqüente queima, esses combustíveis devem ser nebulizados ou atomizados, ou seja, transformados em gotas muito pequenas (gotículas).

A queima será tanto melhor quanto menor for o tamanho dessas gotículas, que chegam a ter um diâmetro médio de 50 a 100 μm .

O mecanismo de combustão dessas gotículas é complexo. Ele envolve:

1. Atomização mecânica ou por fluido auxiliar (vapor ou ar) com formação de gotículas e conseqüente vaporização;
2. Craqueamento ou polimerização, ou seja, a queima propriamente dita, quando o combustível atomizado entra em contato com a chama;
3. Oxidação final do combustível com a geração dos gases de combustão que apresentam um teor maior ou menor de fuligem em função das condições da queima.

Observação: Não deverá haver formação de fuligem no processo de queima.

Características da combustão dos gases

Os combustíveis gasosos queimam muito mais facilmente do que os líquidos, embora seja igualmente importante sua mistura adequada com o ar.

Se ela não acontecer, haverá formação de monóxido de carbono (CO).

Quando o gás queima completamente, a formação de fuligem é mínima, ou nula, dependendo do tipo de gás empregado na combustão.

Nessa condição, a chama de gás tende a ser azulada.

Operação de caldeiras

A operação de caldeiras de combustíveis sólidos ou líquidos/gasosos **prevê as seguintes etapas:**

A pré-partida, a partida, a operação propriamente dita e a parada.

Pré-partida das caldeiras de combustíveis sólidos

A pré-partida das caldeiras de combustíveis sólidos prevê as seguintes etapas:

- Verificação do nível de água no tanque de abastecimento;
- Verificação e realização do alinhamento da alimentação de água;
- Verificação geral das válvulas e instrumentos da caldeira;
- Verificação das condições operacionais da bomba de água de alimentação;
- Drenagem dos indicadores e controladores de nível (garrafa e visor) e teste do sistema de segurança (alarme e “trip”);

- **Abertura dos drenos e dampers (ou persianas) do superaquecedor, onde for aplicável;**
- **Ajuste do nível de água da caldeira na posição operacional;**
- **Verificação das condições operacionais dos ventiladores e sistema de tiragem da caldeira;**
- **Verificação das condições de alimentação elétrica dos painéis de comando e sinalização;**
- **Verificação da quantidade disponível de combustível e manutenção desse material próximo à caldeira;**
- **Verificação do funcionamento do mecanismo de alimentação de combustível;**
- **Verificação do funcionamento do mecanismo de acionamento das grelhas (rotativas ou basculantes);**

Partida das caldeiras de combustíveis sólidos

A partida prevê as seguintes etapas:

- Colocação de combustível seco, fino e um pouco de combustível líquido para facilitar a combustão inicial;
- Acendimento do fogo com tocha ou outro sistema disponível;
- Alimentação da fornalha de maneira a garantir aquecimento gradual dos refratários e grelhas da caldeira;
- Fechamento do respiro do tubulão superior após garantir eliminação total do ar, nas caldeiras que não possuem superaquecedor;
- Abertura lenta da válvula de saída de vapor para evitar golpe de aríete, quando a pressão de trabalho da caldeira é atingida e há liberação do vapor para consumo;
- Fechamento do respiro (damper) do superaquecedor nas caldeiras que possuem superaquecedor.

Operação normal das caldeiras de combustíveis sólidos

A operação normal de uma caldeira para combustíveis sólidos mantém a seguinte rotina:

- **Observação atenta do nível de água da caldeira, fazendo os ajustes necessários;**
- **Observação das temperaturas do economizador e pré-aquecedor de ar, quando aplicável;**
- **Observação das indicações dos dispositivos de controle de temperatura e pressão, fazendo os ajustes necessários;**
- **Realização de todos os testes de rotina da caldeira;**
- **Verificação dos tanques de suprimento de água a fim de confirmar se estão sendo suficientemente abastecidos;**
- **Verificação da reposição de combustível;**
- **Vistoria nos equipamentos a fim de detectar qualquer anormalidade (ruído, vibrações, superaquecimento);**

- **Verificação da temperatura dos gases da chaminé a fim de detectar se está dentro dos parâmetros normais;**
- **Observação da combustão através dos visores e da chaminé fazendo os ajustes necessários;**
- **Regulagem nos “dampers” quando necessário;**
- **Sopragem periódica de fuligem conforme rotina de cada equipamento, onde seja aplicável;**
- **Realização de descargas de fundo conforme recomendações do laboratório de análise de água;**
- **Fazer as anotações exigidas pelos superiores;**
- **Manutenção da ordem e da limpeza da casa de caldeiras;**
- **Notificação a outro operador habilitado ou a um superior para que se efetue sua substituição em caso de necessidade de se afastar da casa de caldeiras;**
- **Se a caldeira apagar subitamente durante a operação normal, a retomada do processo de acendimento somente deverá ocorrer após garantia de completa purga e exaustão dos gases remanescentes.**

Parada das caldeiras de combustíveis sólidos

Para fazer a parada das caldeiras, procede-se da seguinte forma:

- **Sopragem de fuligem (ramonagem) em caldeiras aquatubulares dotadas destes dispositivos;**
- **Interrupção da alimentação de combustível e execução dos cuidados necessários com relação aos alimentadores (pneumáticos, rotativos, etc.);**
- **Manutenção do nível de água ajustando-o, conforme a vaporização que irá ocorrer e a quantidade de combustível disponível na fornalha;**
- **Desligamento dos ventiladores e exaustores se o combustível remanescente na fornalha não é suficiente para geração de vapor;**
- **Abafamento da caldeira por meio do fechamento dos dampers e portas de alimentação da fornalha, garantindo vedação contra entradas de ar frio;**
- **Fechamento da válvula de saída de vapor;**
- **Abertura do respiro da caldeira, ou do superaquecedor, onde existir um;**

- **Basculamento das grelhas para possibilitar limpeza da fornalha.**

Após a parada, devem ser tomadas as providências necessárias quanto ao registro dos motivos da parada no livro da caldeira e as próximas ações a serem providenciadas.

Pré-partida das caldeiras de combustível líquido e/ou gasoso

Para as caldeiras de combustível líquido ou gasoso, a pré-partida acontece na seguinte seqüência de etapas:

- **Verificação do nível dos tanques de água e de combustível;**
- **Verificação e execução do alinhamento da alimentação de água;**
- **Verificação e execução do alinhamento da alimentação de combustível e limpeza dos sistemas de filtros, se necessário;**
- **Para caldeiras a óleo combustível, início do processo de aquecimento e controle de temperatura até atingir temperatura suficiente para circulação do óleo;**
- **Acionamento da bomba e início da circulação de óleo até que a temperatura ideal do combustível para a partida da caldeira seja atingida;**
- **Verificação geral das válvulas e instrumentos da caldeira;**

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

- **Verificação das condições operacionais das bombas de alimentação de água e de combustível;**
- **Drenagem dos indicadores e controladores de nível (garrafa e visor) e teste do sistema de segurança (alarme e trip);**
- **Ajuste do nível de água da caldeira na posição operacional;**
- **Abertura de drenos e respiros da caldeira;**
- **Abertura de drenos e respiros do superaquecedor, nas caldeiras que os possuem.**
- **Verificação das condições de alimentação elétrica dos painéis de comando e sinalização;**
- **Verificação das condições operacionais dos ventiladores e do sistema de tiragem da caldeira;**
- **Verificação, onde houver, das condições operacionais do compressor de ar utilizado na atomização do combustível;**
- **Verificação do posicionamento e condições dos eletrodos de ignição;**
- **Limpeza da fotocélula.**

- **Partida das caldeiras de combustível líquido e/ou gasoso**

Para dar a partida na caldeira, a seqüência é a seguinte:

- **Ventilação ou purga da fornalha por um período suficiente para garantir a eliminação total de gases;**
- **Partida do compressor de ar para atomização, onde for aplicável;**
- **Verificação se os valores de temperatura e pressão do combustível são ideais para acendimento;**
- **Acendimento do queimador piloto;**
- **Alinhamento lento da válvula manual de combustível, certificando-se de que a caldeira está acesa;**
- **Para caldeiras com mais de um queimador, a seqüência de acendimento recomendada pelo fabricante deve ser obedecida;**

- **Ajuste das condições de queima, garantindo estabilidade de chama;**
- **Desligamento do queimador piloto e verificação da estabilidade da chama;**
- **Aquecimento gradual com acompanhamento para não danificar o refratário e tubos respeitando-se a curva de aquecimento recomendada para cada tipo de caldeira;**
- **Verificação, durante a fase de aquecimento, de quaisquer anormalidades nos equipamentos e nos instrumentos indicadores de controle, tomando as providências para os ajustes necessários;**
- **Fechamento do respiro do tubulão superior, após garantir eliminação total do ar em caldeiras que não possuem superaquecedor;**
- **Passagem do controle da caldeira para o automático quando as condições de pressão atingirem valores preestabelecidos para tal, conforme procedimento operacional;**
- **Atingida a pressão de operação, abertura lenta da válvula de saída de vapor para evitar o golpe de aríete e para liberar o vapor para consumo;**
- **Fechamento do respiro do superaquecedor, se houver.**

Operação normal das caldeiras de combustível líquido e/ou gasoso

Para a operação normal de caldeiras de combustível líquido e/ou gasoso, o operador deve seguir as seguintes recomendações:

- **Observação atenta do nível de água da caldeira, fazendo os ajustes necessários;**
- **Observação das temperaturas do economizador e préaquecedor de ar, onde existirem;**
- **Observação das indicações dos dispositivos de controle de temperatura e pressão, fazendo os ajustes necessários;**
- **Realização de todos os testes de rotina da caldeira;**
- **Verificação do abastecimento dos tanques de suprimento de água;**
- **Verificação da reposição de combustível;**
- **Vistoria nos equipamentos, observando qualquer anormalidade (ruído, vibrações, superaquecimento).**

- **Verificação dos parâmetros de temperatura dos gases da chaminé;**
- **Observação da combustão através dos visores e da chaminé fazendo os ajustes necessários;**
- **Regulagem nos dampers quando necessário;**
- **Sopragem periódica de fuligem conforme rotina de cada equipamento;**
- **Realização de descargas de fundo conforme recomendações do laboratório de análise de água;**
- **Execução das anotações exigidas pelos superiores e dos registros necessários no livro da caldeira;**
- **Manutenção da ordem e da limpeza da casa de caldeiras;**
- **Nunca se ausentar da casa de caldeira sem notificar algum colega ou superior para que se efetue a substituição;**
- **Se a caldeira apagar subitamente durante sua operação normal, retomar o processo de acendimento somente após garantia de completa purga e exaustão dos gases remanescentes.**

- **Parada das caldeiras de combustível líquido e/ou gasoso**

A parada é feita através das seguintes etapas:

- **Sopragem de fuligem (ramonagem) em caldeiras dotadas destes dispositivos;**
- **Interrupção da alimentação de combustível, fazendo a purga da linha, uma parte para queima e o restante para uma linha de retorno.**

No caso de queima de óleo combustível, a purga da linha pode ser feita com óleo menos viscoso o qual não poderá passar pelo aquecedor de óleo que deverá ser desligado.

Para linha de gás, esta purga poderá ser feita com injeção de vapor;

- **Apagamento dos queimadores obedecendo à seqüência recomendada pelo fabricante da caldeira;**
- **Para caldeiras de óleo combustível, deve-se desligar a bomba de alimentação de óleo;**
- **Ventilação da fornalha para exaustão completa de gases remanescentes;**

- **Drenagem dos visores de nível, fazendo os ajustes necessários para manter a caldeira com nível operacional;**
- **Após a exaustão da fornalha, desativação do ventilador e abafamento da caldeira fechando todos os dampers e registros de ar;**
- **Fechamento da válvula de saída de vapor e bloqueamento de todos os pontos de drenagem da caldeira;**
- **Interrupção da alimentação de água;**
- **Abertura do respiro da caldeira ou do superaquecedor.**

Após a parada, devem ser tomadas as providências quanto ao registro dos motivos da parada no livro da caldeira e as próximas ações a serem implementadas.

- **Regulagem e controle**

Além das rotinas de pré-partida, partida, operação e parada, devem ser realizados os controles de temperatura e de pressão.

Os controles de temperatura mais importantes em uma caldeira são:

- **Controle de temperatura do ar;**
- **Controle de temperatura dos gases de combustão;**
- **Controle de temperatura do óleo combustível;**
- **Controle de temperatura do vapor em caldeiras com superaquecedor;**
- **Controle de temperatura de água de alimentação.**

Em uma caldeira, a temperatura do vapor gerado está diretamente ligada à sua pressão. Por isso, não é possível realizar o controle somente da temperatura.

Para o vapor superaquecido, o controle e ajuste de temperatura pode ser feito através de dessuperaquecimento, que consiste em diminuir a temperatura do vapor pela injeção de água.

Assim, o controle da temperatura do vapor é realizado por meio do controle das condições de regulação da relação combustível x ar, que afetam diretamente a pressão do vapor gerado.

O controle de temperatura do ar é realizado no préaquecedor de ar e no economizador e deve ser feito a fim de aumentar o rendimento em termos de combustão.

O controle de temperatura dos gases de combustão é feito para detectar o aparecimento de temperaturas altas na saída dos gases de combustão.

Quando essa temperatura se eleva, isso pode ser sintoma de alguma anormalidade operacional, dentre as quais:

- Caldeira suja, com deficiência de troca térmica;
- Queda de material refratário, mudando o caminho preferencial dos gases;
- Juntas de amianto não dão perfeita vedação;
- Tamanho de chama maior que o aceitável;
- Excesso de ar na fornalha, causando aumento de velocidade dos gases.

Os controles de temperatura do óleo devem ser dimensionados e ajustados para garantir a circulação e a viscosidade ideal de pulverização para queima no queimador.

O controle de temperatura pode ser feito na regulagem do termostato ou do Set Point dos controladores.

O controle de temperatura da água de alimentação tem o objetivo principal de garantir uma faixa de temperatura ideal para favorecer a desgaseificação da água.

Normalmente este controle é feito por uma controladora que está ligada à malha do sistema de alimentação.

Os controles de pressão mais importantes de uma caldeira são:

- **Controle da pressão da água de alimentação;**
- **Controle da pressão do ar;**
- **Controle da pressão da fornalha;**
- **Controle da pressão do combustível;**
- **Controle da pressão do vapor.**

O controle da pressão da água faz parte da malha de controle.

Em caso de baixa pressão de água de alimentação, que pode ser causado por uma parada da bomba ou problemas mecânicos com a bomba, ocorre o desarme da caldeira.

A atuação para sanar o problema pode ser feita manual ou automaticamente, ligando-se uma bomba reserva, por exemplo.

O controle de pressão de ar é executado regulando-se a ventilação/exaustão de modo a evitar-se pressão muito acima ou muito abaixo das recomendadas no interior da fornalha.

O controle de pressão da fornalha é muito importante para evitar vazamentos de gases para o ambiente de trabalho, ou ocorrência de infiltrações de ar falso e frio que altera o rendimento da caldeira.

A regulagem e o **controle da pressão do combustível são muito importantes para a** eficiência da combustão, afetando a atomização e a dispersão do combustível.

As variações de pressão podem causar problemas inclusive de desarme da caldeira.

A regulagem de controle de pressão de vapor deve ser executada diretamente no vapor, de modo que seja alcançada a pressão requerida pelos consumidores.

Deve-se tomar especial atenção para que a pressão de vapor não suba a níveis acima da pressão de trabalho, pois irá gerar perdas de insumos (água, produtos químicos, combustível etc.) através da abertura das válvulas de alívio e segurança do sistema.

Controle do fornecimento de energia

Nas caldeiras de combustível sólido, a regulagem da energia para geração de vapor é feita mediante atuação na dosagem de combustível (manual ou automaticamente), em sintonia com a injeção de ar para melhoria da combustão.

Nas caldeiras de combustível líquido ou gasoso, mediante sinal recebido do controle de pressão do vapor, haverá atuação na abertura da válvula de admissão de combustível, também em sintonia com a vazão de ar para ajuste e melhoria da combustão.

Nível de água

Basicamente, a regulagem e o controle de nível para controladores tipo bóia, necessitam de intervenção mecânica, alterando-se as dimensões da haste entre as chaves liga/desliga.

Para controladores com eletrodos, esta regulagem exige alteração nas dimensões dos eletrodos, em função da deposição/corrosão dos eletrodos.

Para os controladores termostático e hidráulico, esta regulagem necessita de ajustes na válvula automática de admissão de água.

Este ajuste deve ser realizado sempre que o nível real estiver fora da posição ideal de operação.

Para os controladores do tipo de transmissão por pressão diferencial, a regulagem é feita mediante ajuste do set point no próprio controlador.

Otimização da combustão

O controle e a otimização da combustão são fatores importantes na economia de combustíveis e preservação do meio ambiente.

A melhor eficiência da combustão é obtida observando-se fatores como:

- ✓ uso do queimador adequado,
- ✓ nebulização perfeita,
- ✓ porcentagem correta de ar,
- ✓ manutenção periódica no equipamento,
- ✓ análise contínua dos gases, etc..

Para otimizar o processo de combustão, podem-se utilizar os seguintes meios:

- Pré-aquecimento do ar de combustão,
- Pré-aquecimento do combustível;
- Controle de tiragem;
- Análise e controle da combustão por instrumentos.

Atomização e queimadores

Para que a combustão ocorra, é necessário que exista o maior contato possível do combustível com o oxigênio do ar de combustão.

Para isso acontecer quando se usa um combustível líquido, é preciso aumentar sua superfície específica.

Isso é feito na fase de atomização, ou seja, quando o combustível é transformado em gotículas.

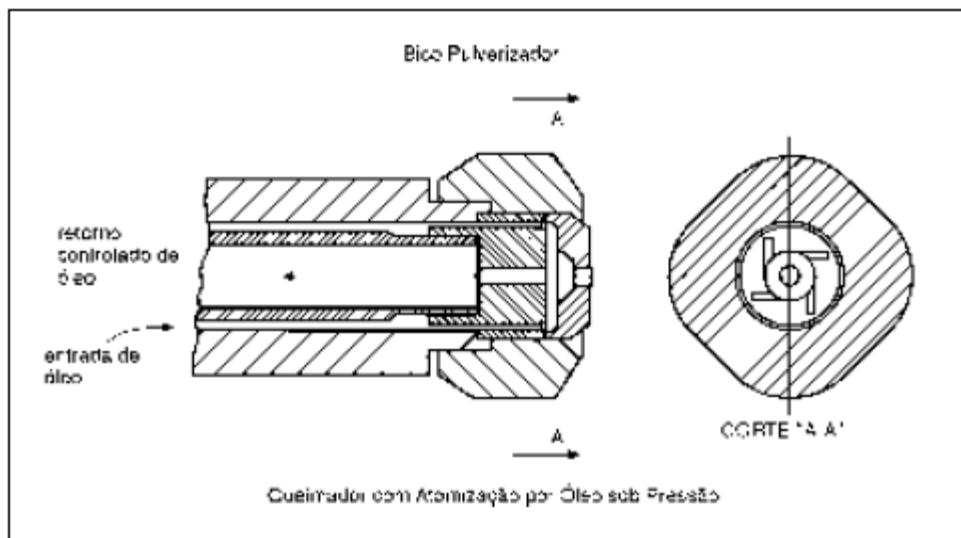
Os tipos de atomização podem ser:

- Mecânico, no qual a atomização se dá por óleo sob pressão ou por ação centrífuga (copo rotativo),
- Por fluido auxiliar, no qual a atomização acontece com o auxílio do próprio vapor ou com ar comprimido.

O queimador que emprega a **atomização por óleo sob pressão, também** denominado jato-pressão, é normalmente empregado em instalações de grande porte nas quais predomina o fator econômico e em instalações marítimas, devido não só ao menor consumo de energia, como principalmente devido à economia de água.

A pulverização de óleo combustível é produzida pela passagem do óleo sob alta pressão através de um orifício.

A pressão do óleo varia normalmente de 60 a 140 psi, mas pode atingir valores bem maiores e é produzida por uma bomba.



O queimador que usa a **atomização por ação centrífuga** emprega um processo que consiste em injetar combustível no interior de um elemento rotativo (copo nebulizador).

O óleo injetado no interior do copo é forçado pela ação centrífuga da rotação (3000 a 8000 rpm) contra as paredes internas desse copo que, devido à sua conicidade, faz o óleo mover-se para fora dele.

A atomização **por fluido auxiliar, mais comumente adotada, pode ser feita através de** ar a alta pressão e através de vapor.

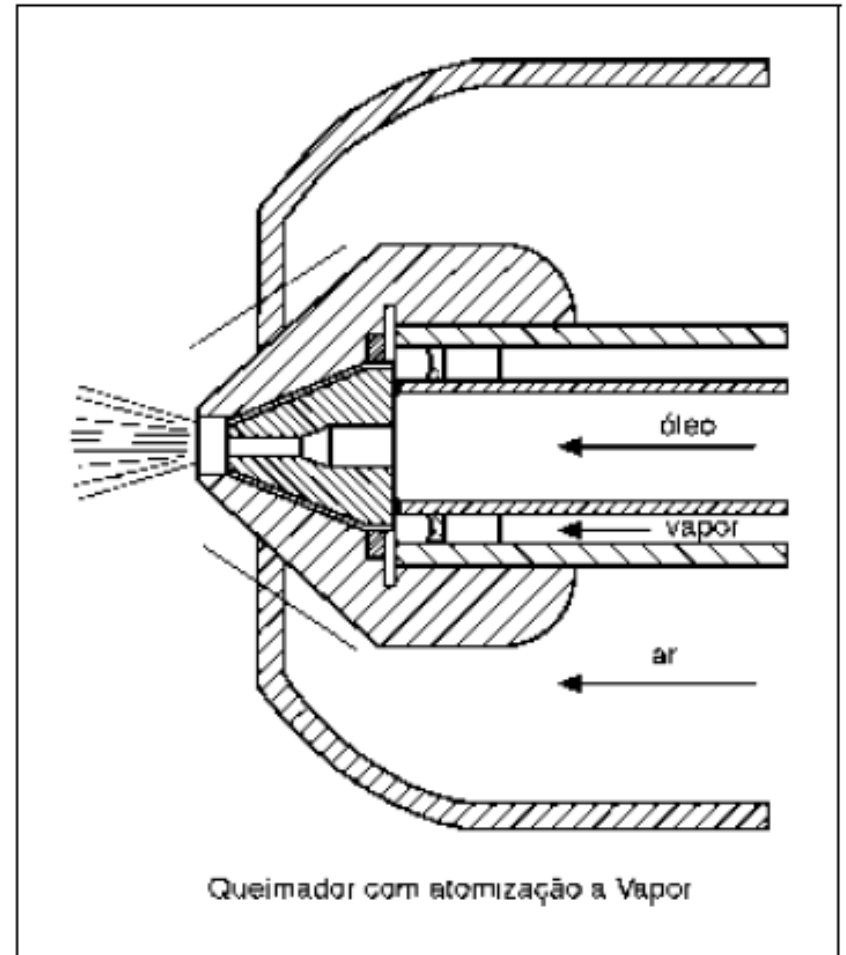
Os queimadores com **atomização de ar a alta pressão possuem um compressor que** faz a geração de ar primário.

Quanto maior a pressão do ar primário menor sua quantidade na porcentagem total de ar necessário; complementa-se com ar secundário, facilitando o controle da combustão.

A pressão de operação do ar no queimador é superior a $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ e este tipo de queimador pode ser utilizado também com atomização a vapor.

A atomização a vapor é semelhante à do ar, na qual o vapor passa por um estreitamento arrastando consigo o combustível em forma de gotículas.

O consumo de vapor é de 0,15 a 0,40 kg de vapor por kg de óleo combustível.

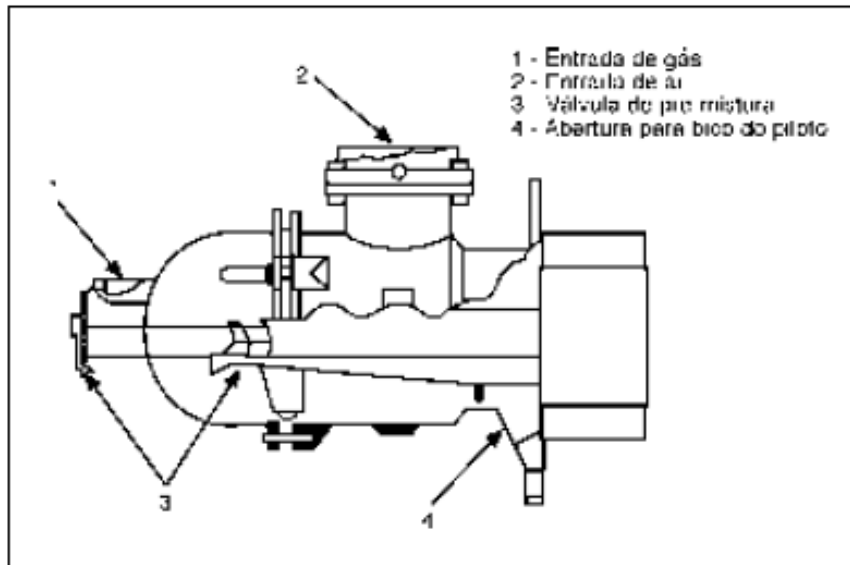


Além dos queimadores descritos, temos que descrever particularidades dos queimadores a gás que, em um sistema de combustão, têm as seguintes funções:

- Fornecer o gás combustível e o comburente à câmara de combustão, fixando adequadamente o posicionamento da chama;
- Misturar convenientemente o gás combustível e o comburente;
- Proporcionar os meios necessários para manter uma ignição contínua da mistura gás combustível/ar (evitando a extinção da chama).

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

Para utilizar um sistema de queima de gás natural ou outro, é necessária uma adaptação do sistema de queima normal a óleo.



Para essa adaptação, utilizam-se obrigatoriamente os seguintes equipamentos:

- Reguladores de vazão;
- Válvula solenóide;
- Pressostatos e válvulas reguladoras;
- Manômetros especiais para gases;
- Lança de queima principal para melhor homogeneização e
- Materiais para instalação elétrica, tubos e conexões.

Segurança na construção de queimadores

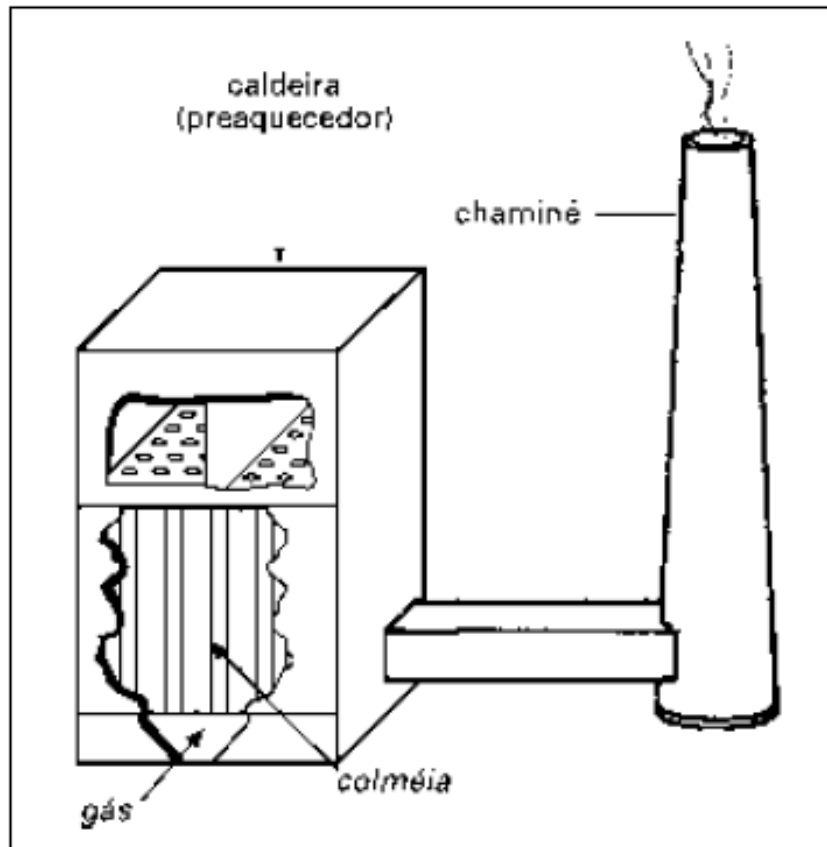
Em relação à segurança de operação, os queimadores são construídos visando garantir:

- Controle e estabilidade da chama: essa função é realizada pelo bocal, pelo disco difusor, e pelo sistema de dosagem de combustível;
- Interrupção do fornecimento de combustível em caso de anomalia: essa função é executada pelo programador e sensor de chama e pelos sistemas de bloqueio de combustível;
- Bloqueio da entrada de combustível na câmara de combustão durante a parada do queimador: essa é a função das válvulas de bloqueio e segurança e do pressostato de ar;
- Ausência de gases explosivos na câmara de combustão no momento da ignição:

essa é a função da rotina da pré-purga ou da pré-ventilação.

Chaminé

A chaminé é uma parte importante na caldeira. Ela ajuda na tiragem (saída dos gases da combustão) devido à diferença de pressão atmosférica que existe entre a sua base e o seu topo, provocada pela diferença de temperatura dos gases de combustão.



Pode ser constituída de chapas de aço ou alvenaria de tijolo comum, porém em qualquer um dos casos sua construção deve ser rigorosamente projetada e executada, levando-se em conta:

- ✓ a quantidade de gases que deverá passar pela chaminé,
- ✓ a velocidade destes gases,
- ✓ a temperatura (tanto na base como no topo) e
- ✓ a pressão atmosférica local.

Também deve ser observado que não haja qualquer fenda que possibilite uma entrada falsa de ar.

Tiragem

Tiragem é o processo pelo qual se garante a admissão de ar na fornalha e a circulação dos gases de combustão através de todo o sistema, até a saída para a atmosfera.

A tiragem deve vencer a perda de carga do sistema e o ventilador deverá ser dimensionado para esse fim.

O valor da perda de carga através do sistema determina o processo de tiragem a ser usado. Assim, a tiragem pode ser: natural ou mecânica (forçada, induzida ou mista).

Tiragem natural

A tiragem natural é o processo no qual a diferença de pressão gerada pela diferença de densidade entre os gases quentes e o ar frio na entrada da fornalha provoca o escoamento natural dos gases de combustão para a chaminé.

A altura da chaminé limita a entrada de ar para combustão.

A tiragem natural tem por base três fatores: a altura da chaminé, a temperatura ambiente e a temperatura dos gases quentes.

Tiragem mecânica

A tiragem mecânica utiliza equipamentos mecânicos para promover o suprimento de ar quando as perdas de carga ultrapassam determinado limite.

A função da chaminé, nesse caso, limita-se ao lançamento dos gases para pontos mais altos, favorecendo sua dissipação na atmosfera. Ela pode ser **forçada, induzida ou mista**.

A **tiragem forçada** é o processo pelo qual o suprimento de ar para o interior da fornalha é feito por um ventilador centrífugo.

As caldeiras com tiragem forçada possuem a fornalha pressurizada e precisam ter boa vedação das paredes para evitar fuga dos gases da combustão para o ambiente.

A **tiragem induzida** consiste em aspirar os gases por meio de ventilador com função de exaustor ou ejetor. A aspiração com ejetor a vapor encontra aplicações nas locomotivas e caldeiras marítimas.

A **tiragem mista** emprega dois ventiladores, dos quais um tem a finalidade de fornecer o ar para dentro da caldeira e outro com a função de retirá-lo (ventiladorexaustor)

Atualmente, os equipamentos com recursos eletrônicos sofisticados aplicados às caldeiras modernas reproduzem esses efeitos por meio de:

- Diferencial de temperatura;
- Diferencial de pressão;
- Diferencial de extração;
- Quantidade de oxigênio;
- Coloração da chama detectada por meio de sensores (fotocélulas).

Operação de um sistema de várias caldeiras

Um sistema operacional onde existem várias caldeiras em operação paralela, possui algumas particularidades de segurança que devem ser atendidas.

Por isso, o operador deverá conhecer:

- A rede de distribuição de vapor e seus consumidores;
- Os pontos mais críticos de bloqueio e interligação dos sistemas;
- A flexibilidade operacional em função da disponibilidade de vapor.

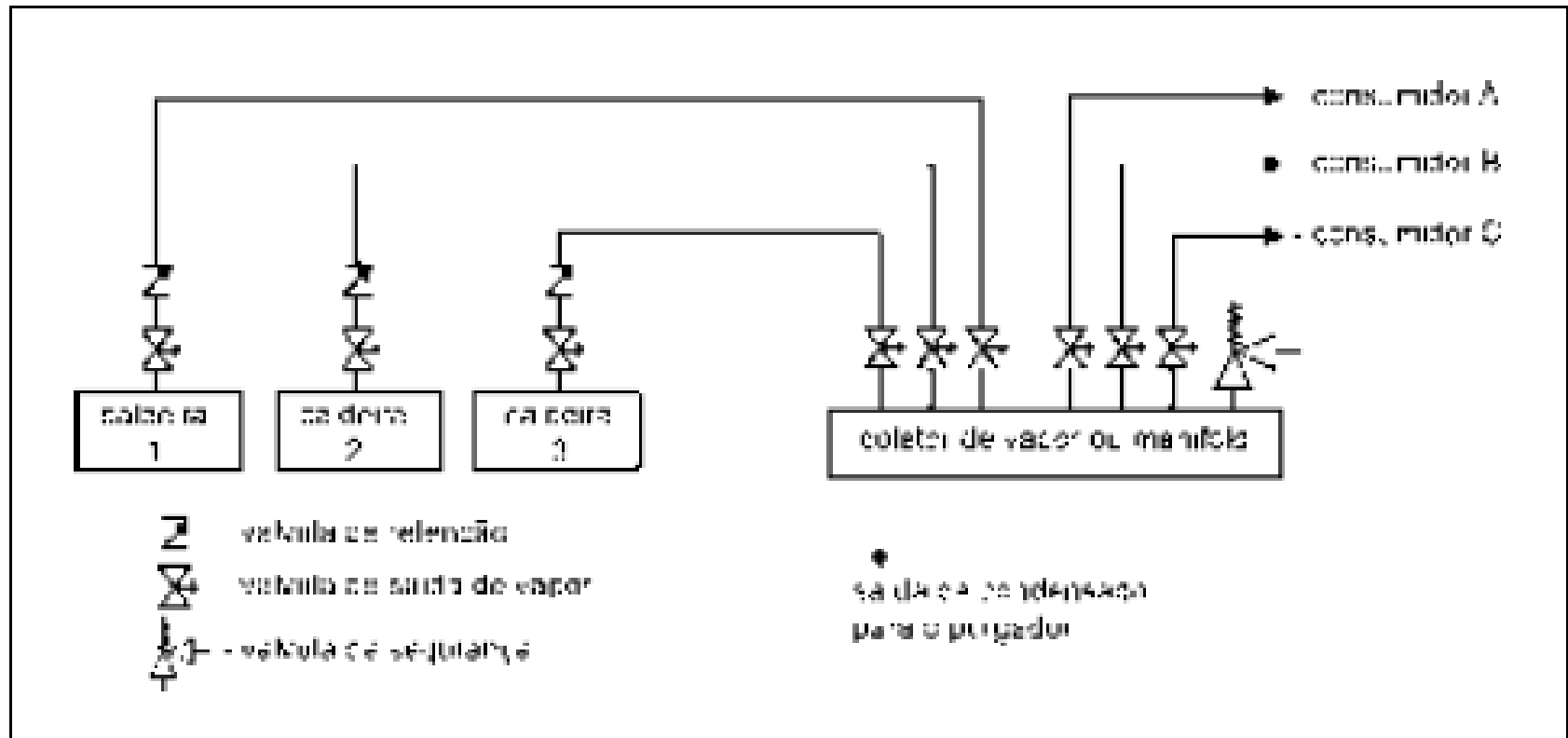
Em um sistema com varias caldeiras é necessário que cada uma delas possa ser isolada das demais.

Para isso, é necessária a instalação de uma válvula de retenção após a válvula principal de saída de vapor;

Além disso, a carga das caldeiras operando em paralelo é regulada normalmente pela controladora de pressão do coletor.

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

A figura a seguir mostra um esquema de 3 caldeiras operando em paralelo.



Roteiro de vistoria diária

Durante o funcionamento normal da caldeira, o operador deve seguir um roteiro de vistoria, com o objetivo de garantir um perfeito funcionamento do gerador de vapor.

Um roteiro de vistoria pode incluir:

- Verificação do abastecimento correto do tanque de água de alimentação da caldeira;
- Verificação, no caso de caldeira a óleo, do nível e da temperatura do óleo nos seus depósitos, e do termômetro e manômetro da linha de óleo próximo ao queimador;
- Exame dos manômetros e termômetros de ar, água e gases de combustão;
- Controle do nível de água através dos indicadores existentes na caldeira;
- Verificação da lubrificação dos equipamentos;
- Execução das descargas de fundo conforme exigido pelo laboratório de qualidade da água;

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

- Verificação do funcionamento das diversas bombas existentes;
- Verificação do funcionamento dos ventiladores;
- Observação da combustão da fornalha, através dos visores e da cor da fumaça na chaminé;
- Movimentação periódica de todas as válvulas, para evitar que estas fiquem presas;
- Teste do regulador e do visor de nível, várias vezes ao dia, verificando se os dispositivos de operação e segurança estão atuando normalmente;
- Verificação do funcionamento dos pressostatos e do sistema de acendimento;
- Teste da fotocélula, para verificar se há corte de chama quando ela é escurecida com um tampão;
- Teste das válvulas de segurança, conforme recomendação do fabricante ou conforme recomendado pela NR-13;
- Preenchimento do relatório de vistoria diária fornecida pelos supervisores.

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

Preenchimento do relatório de vistoria diária fornecida pelos supervisores.

ROTEIRO DE VISTORIA DIÁRIA (Exemplo)	DATA ___/___/___					
	OPERADOR _____					
OPERAÇÕES	PADRÃO DE FUN- CIONAMENTO	1	2	3	4	5
I - SISTEMA DE COMBUSTÃO						
1A - Compressor						
Nível de óleo	NORMAL					
Pressão de ar	82 Kpa					
Refrigeração	NORMAL					
Temperatura	NORMAL					
1B - Ventilador						
Temperatura dos mancais	NORMAL					
Folga das correntes do ventilador	NORMAL					
Rolamentos (estado geral)	NORMAL					
1C - Bomba de óleo						
Temperatura dos mancais da bomba de óleo combustível	NORMAL					
Redutor (estado geral) e nível de óleo(até ¼ de engrena- gens conduzidas)	NORMAL					
1D Circuito de óleo						
Temperatura do óleo combustível	120°C					
Pressão do óleo combustível	206 Kpa					
1E - Ignição						
Pressão do óleo diesel do piloto	820 Kpa					

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

Preenchimento do relatório de vistoria diária fornecida pelos supervisores.

II - SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DA ÁGUA						
Funcionamento da bomba de água	NORMAL					
Situação da gaxeta da bomba	NORMAL					
Temperatura da água de alimentação no tanque de condensado	90°C					
Indicador de nível de água	NORMAL					
Descarga da coluna de nível	SIM					
Descarga de fundo (conferir indicação do tratamento da água)	SIM					
III - COMANDO AUTOMÁTICO						
Pressão máxima de trabalho	820 Kpa					
Diferencial de pressão para modulação	34 - 102 Kpa					
Funcionamento da fotocélula	NORMAL					
IV - DIVERSOS						
Lubrificação geral	NORMAL					
Temperatura dos motores	NORMAL					
Temperatura dos gases de combustão da chaminé	120°C					
Descarga da válvula de segurança	SIM					

Falhas de operação:

Causas e Providências

As caldeiras, em geral, possuem grande quantidade de equipamentos e instrumentos, e quando estes **apresentam algum tipo de defeito, nem sempre sua correção é fácil.**

Em qualquer situação, no entanto, o operador deverá aplicar rigorosamente as normas de segurança e os procedimentos indicados no manual de operação do equipamento fornecido pelo fabricante.

Os principais itens que podem apresentar defeitos em operação são:

- Sistema de alimentação de combustível
- Sistema de alimentação de água;
- Controle de nível;
- Controle de combustão;
- Controle de pressão.

Para melhor entendimento, as tabelas apresentadas a seguir mostram alguns tipos de defeitos, causas e providências a serem tomadas pelo operador ou pelos responsáveis pela manutenção da caldeira.

Falhas de operação: Causas e Providências

Alimentação de óleo combustível

Defeitos	Causas prováveis	Providências
A bomba de óleo pesado não funciona.	Defeito no sistema de comando elétrico.	Ler as instruções de manutenção.
A bomba não fornece pressão ou fornece pressão insuficiente.	Defeito no circuito de óleo combustível.	Pesquisar no manual o capítulo referente ao sistema automático de combustão, no item "manômetro de pressão não registra pressão".
	Defeito mecânico da bomba.	Ler as instruções de manutenção.
A bomba de óleo diesel não funciona.	O motor não gira.	Ler as instruções de manutenção
	A bomba está engripada.	Desmontar a bomba e verificar estado das engrenagens. Consultar as instruções de manutenção.
Temperatura alta demais.	Regulagem mal feita	Corrigir a regulagem do óleo.
	Válvula automática de vapor não fecha.	Ler as instruções de manutenção.
Temperatura baixa demais.	Válvula manual de vapor fechada.	Abrir válvula.
	Purgador não funciona.	Examinar e trocar, se necessário.
	Regulagem mal feita.	Corrigir regulagem do óleo.

Falhas de operação: Causas e Providências

Aquecimento elétrico não funciona.	Termostato desregulado ou danificado.	Verificar o termostato. Regulá-lo ou substituí-lo.
	Fusíveis queimados.	Verificar e trocar.
	Bobina da chave queimada.	Trocar bobina.
	Corrente não chega na bobina da chave eletromagnética.	Examinar o circuito elétrico e verificar funcionamento da chave.
	Resistência queimada.	Trocar resistência.
Aquecimento a vapor não funciona	Válvula de vapor fechada.	Abrir a válvula.
	Purgador não funciona.	Examinar e trocar, se necessário.
	O termostato ou a válvula solenóide do aquecedor desregulada ou danificada.	Verificar o estado do termostato ou da válvula.

Falhas de operação: Causas e Providências

Alimentação de água

Defeitos	Causas prováveis	Providências
A bomba não recalca, ou recalca água insuficiente.	Ar na sucção.	Purgar o ar da bomba e verificar se não há entrada de ar pelas conexões da rede.
	Filtro de água sujo.	Limpar o filtro.
	Válvula fechada na sucção ou no recalque.	Verificar se há alguma válvula fechada na rede de água.
	Cavitação.	A instalação para água quente está incorreta, causando vaporização na sucção. Verificar instalação.
	Válvula de retenção dando passagem.	Verificar ajuste da válvula ou se há partículas sólidas na rede.
	Bomba com capacitação inferior à exigida para a caldeira.	Verificar projeto da caldeira e redimensionar bomba.
	Rotação invertida da bomba.	Solicitar ao pessoal da manutenção a verificação da instalação elétrica do motor da bomba.
	Válvula de descarga de fundo aberta.	Verificar se as válvulas de descarga de fundo estão fechadas.
	Instalação incorreta da bomba.	Verificar procedimento de instalação.
	Defeito mecânico da bomba.	Ver instruções de manutenção.

Falhas de operação: Causas e Providências

Alimentação de água

Bomba de água não funciona.	Defeito no comando elétrico.	Solicitar ao pessoal da manutenção a verificação do regulador de nível automático ou da chave eletromagnética.
A bomba enche a caldeira de água e não pára automaticamente	Eletrodos do controle de nível com óleo, lama, etc.	Drenar o regulador de nível por alguns segundos, repetindo a operação quantas vezes forem necessárias.
	Fio do eletrodo do nível máximo está partido ou com defeito.	Solicitar troca do fio ao pessoal da manutenção.
	Eletrodo danificado.	Contatar manutenção para troca de eletrodos.
	Defeito no sistema elétrico.	Solicitar manutenção especializada.

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de nível

Defeito	Causas prováveis	Providências
A bomba só liga quando soa o alarme.	Imantação permanente na bobina de caixa. Alta tensão nas vizinhanças pode causar esse defeito.	Blindar a caixa.
A bomba não funciona, o nível baixa e o alarme soa.	Depósitos nos eletrodos.	Abrir totalmente a válvula de dreno reguladora de nível durante um minuto. Fechá-la em seguida e verificar se o defeito persiste.
	Chave magnética da bomba desarmada ou com defeito.	Ler sobre chaves magnéticas nesta lista.
	Umidade na caixa dos eletrodos	Eliminar a umidade.
A bomba não funciona, o nível baixa, o alarme não soa, mas a caldeira continua funcionando.	Lama no regulador de nível por falta de limpeza.	Apagar a caldeira imediatamente. Se o nível estiver abaixo do visor, deixar a caldeira esfriar sozinha. Se ainda houver água no visor, de nível, acionar a bomba manualmente, restabelecendo o nível. Descarregar a válvula do dreno reguladora de nível até eliminar a lama. Fazer uma limpeza completa.
	Oxidação nos bomes de ligação nos eletrodos.	Limpar os bomes (manutenção) elétrica).

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de nível

A bomba funciona, mas o nível baixa.	Defeito no sistema de alimentação de água.	Providenciar o reparo.
O nível está normal no visor de nível, porém o sistema de combustão não funciona e o alar me está soando.	Defeito no regulador de nível devido à presença de lama ou óleo no água.	Descarregar o regulador de nível, abrindo a válvula até o fim. Repetir a operação quantas vezes forem necessárias.
	Bobina do regulador de nível queimada (dentro do armário de controle).	Examinar a bobina na caixa de controle e trocá-la.
	Fio do eletrodo partido.	Trocar o fio.
	Transformador da caixa de controle queimado.	Trocar o transformador.
	Mau contato.	Lixar os contatos elétricos do relê à esquerda do regulador de nível.
	Sistema do automático da combustão com defeito.	Ver nesta lista informações sobre defeitos do sistema automático de combustão.
	Registros de visor de nível fechados.	Abrir os registros.
	Alar me queimado.	Trocar o alar me.

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de combustão

Defeitos	Causas prováveis	Providências
O queimador piloto não acende ou às vezes falha e o manômetro de óleo não registra pressão.	Falta de óleo no depósito de combustível para ignição.	Encher o tanque, tendo o cuidado de purgar o ar da sucção da bomba. Ver instruções de manutenção.
	Válvula de saída do combustível para ignição fechada.	Abrir válvula.
	Ar na tubulação de sucção.	Manutenção mecânica
O queimador piloto não acende ou às vezes falha. A pressão registrada no manômetro de óleo é inferior a 100 lb/pol	Ar na tubulação.	Manutenção mecânica
	Filtro sujo	Limpar filtro
	Atomizador de óleo diesel sujo.	Limpar o furo do giclê. Não usar estopa, arame ou estilete metálico.
	Eletrodos de ignição desajustados.	Consultar módulo sobre manutenção.
	Porcelanas partidas.	Trocar as porcelanas.
O sistema automático de combustão opera, o piloto acende, mas o queimador principal não acende apesar de o manômetro indicar que a pressão do óleo está boa.	O óleo não chega normalmente ao combustor.	Verificar se o atomizador está obstruído. Limpar a peça com querosene ou solvente apropriado. Usar, de preferência, ar comprimido. Não usar estopa. Se o atomizador estiver limpo, e o fenômeno permanecer, observar se a junta, colocada no acento da culatra da parte interna da sede do combustor, está mal ajustada.

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de combustão

<p>O sistema automático de combustão opera, o piloto acende, mas o queimador principal não acende e a pressão indicada no manômetro está boa.</p>	<p>A válvula de entrada de óleo está aberta, porém não chega óleo no combustor .</p>	<p>Retirar a parte interna do combustor; abrir a válvula de entrada de óleo no combustor; colocar uma lata em frente à entrada de óleo do queimador; ligar a chave de comando manual. Deverá sair um jato de óleo do queimador. Se não sair, verificar se há alguma obstrução na tubulação de óleo, desde o manômetro até o combustor.</p>
<p>Apesar de a pressão indicada no manômetro de óleo ser muito baixa ou nula, o sistema automático de combustão opera, o piloto acende, mas o combustor principal não acende.</p>	<p>Tubulação fechada.</p>	<p>Verificar se a(s) válvula(s) entre o depósito e a bomba está(rão) fechada(s).</p>
	<p>Filtros sujos.</p>	<p>Fazer uma limpeza nos filtros, depois de consultar as instruções de manutenção.</p>
	<p>Ar na sucção da bomba.</p>	<p>Verificar se há uma entrada de ar na canalização de sucção.</p>
	<p>Válvula de retorno aberta pela ação de partículas sólidas na rede.</p>	<p>Ver instruções de manutenção a respeito desta limpeza.</p>
	<p>Falta de óleo impede o funcionamento da bomba</p>	<p>Verificar se o depósito de serviço está cheio.</p>

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de combustão

O sistema automático de combustão opera, o piloto acende, mas o combustor principal não acende, apesar de o manômetro indicar que a pressão do óleo está boa.	Válvula de entrada de óleo no combustor fechada.	Abrir a válvula.
A temperatura de saída dos gases da caldeira é superior à normal.	Tubulação da caldeira suja de fuligem.	Limpar a tubulação segundo instruções de manutenção.
	Tampa traseira da caldeira mal fechada.	Retirar a tampa e verificar o estado dos refratários. Fazer os reparos seguindo as instruções de manutenção.

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de combustão

A fumaça na saída de gases está mais escura que o normal.	Pressão de óleo elevada.	Verificar se a válvula de retorno está colada e descolá-la. Verificar se a válvula no tubo de retorno para o depósito está fechada e abri-la.
	Pressão do óleo oscilando por causa de ar na canalização.	Fechar a válvula de entrada de óleo no combustor e fazer a circulação do óleo, acionando a chave de comando manual até que o ponteiro do manômetro de pressão de óleo se estabilize. Verificar se há linha de conexão solta na linha de sucção da bomba.
	Falta de ar secundário, motivada pelas correias frouxas do ventilador.	Trocar as correias ou esticá-las
	Registro da borboleta de ar fora do lugar.	Colocar o registro no lugar certo.
	O servomotor não abre a borboleta porque a alavanca de comando está solta.	Prender a alavanca de comando.
	Ventilador sujo.	Limpar o rotor e a tela de entrada, seguindo as instruções de manutenção.
	Caixa de ar suja.	Providenciar limpeza.
	Temperatura do óleo alta ou baixa	Ver nesta lista o item sobre o aquecedor de óleo.
	Baixa pressão no ar de atomização.	Ver lista de defeitos no compressor
	Atomizador entupido.	Desmontar e lavar o atomizador de óleo de óleo combustível.

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de combustão

O ventilador não funciona.	Defeito no sistema de comando elétrico.	Ler sobre chaves magnéticas e sistema de comando automático nesta lista.
	Defeito no motor, impedindo-o de dar partida.	Providenciar conserto ou troca.
	Correias partidas.	Substituir as correias.
	Defeito no ventilador.	Providenciar conserto.
O ventilador funciona, mas sua atuação não é normal.	Correias bambas.	Trocar ou esticar as correias.
	Borboleta de regulação fora do lugar.	Regular borboleta: totalmente aberta - para fogo alto; meio-fechada - para fogo baixo.
	Ventilador sujo.	Limpar o ventilador.
	Defeito mecânico no ventilador	Providenciar conserto.
O combustor piloto não acende ou falha às vezes. A pressão registrada no manômetro de óleo é inferior a 7,0 kgf/cm ² .	Não chega corrente nos eletrodos.	Verificar, aproximando os terminais um do outro e observando se saltam centelhas. Verificar também se o defeito está no circuito elétrico do transformador, por interrupção nos fios ou cabos. Uma vez que chegue corrente no transformador e não saia pelos cabos de alta-tensão, o transformador está defeituoso. Ver as instruções de manutenção

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de pressão

Defeitos	Causas prováveis	Providências
A pressão está acima da permitida. As válvulas de segurança e o automático de parada não funcionam.	Está ligada a chave de comando manual de ignição.	Verificar se as chaves de comando manual e de comando automático de ignição não foram ligadas ao mesmo tempo.
A pressão está acima da permitida. As válvulas de segurança e o automático de parada não funcionam.	Platinado de pressostato colado.	Lixar o platinado.
	Pressostato com o diafragma furado. (Neste caso, sai vapor pelo pressostato).	Trocar o pressostato.
	Capilar do diafragma defeituoso.	Tirar o pressostato e limpá-lo.
O gerador de vapor pára de funcionar e a pressão registrada no manômetro de vapor está abaixo do nível máximo normal.	Pressostato desregulado e defeituoso. (É muito difícil o pressostato desregular).	Regular o pressostato.
	Defeito no manômetro.	Trocar o manômetro.

Falhas de operação: Causas e Providências

Controle de pressão

O manômetro de ar não registra pressão ou registra pressão muito baixa.	Defeito no compressor	Ver sobre o compressor de ar
	Defeito do manômetro.	Trocar o manômetro
	Defeito no circuito de óleo.	Ver sobre o sistema automático de combustão.
O manômetro de óleo não registra pressão	Defeito no circuito de óleo.	Verificar.
	Defeito no manômetro	Trocar o manômetro.
O manômetro de vapor registra pressão inferior quando o gerador de vapor desliga automaticamente.	Defeito no manômetro.	Trocar o manômetro.
O manômetro de óleo oscila muito sem indicar a pressão exata.	Ar na tubulação de óleo.	Purgar o ar na tubulação e estudar o assunto referente à tubulação em que o respectivo manômetro se encontra.

Procedimento em situações de emergência

Todas as ocorrências de emergência deverão ser atendidas de acordo com o indicado no manual de operação da caldeira.

Dentre essas emergências, é possível citar:

- Retrocesso;
- Nível de água baixo;
- Nível de água alto;
- Pressão do vapor acima do normal;
- Falhas em partes sob pressão.

Procedimento em situações de emergência

Retrocessos

Este fenômeno ocorre quando a pressão interna da caldeira aumenta bruscamente, podendo afetar o ambiente na sala e área das caldeiras, com risco de graves acidentes.

Os retrocessos podem ser causados por:

- Vazamento do sistema de alimentação de óleo, com acúmulo de resíduos de combustível no interior da fornalha;
- Falhas no sistema de ignição;
- Defeito ou falha no sistema de tiragem da caldeira;
- Tentativas de acender o queimador a partir de uma parede incandescente;
- Procedimento incorreto no acendimento da caldeira;
- Abertura da boca de visita da fornalha de forma indevida;
- Alimentação de combustível sólido pulverizado de maneira incorreta.

Procedimento em situações de emergência

Para evitar esses problemas, deve-se:

- Evitar o acúmulo de óleo ou gás no interior da fornalha. Todo óleo que eventualmente se acumulou no piso da fornalha deve ser retirado e a fornalha deve ser completamente ventilada antes de ser acesa;
- Manter as válvulas dos queimadores sempre em boas condições de vedação;
- Nunca tentar reacender um queimador através do calor das paredes incandescentes;
- Não fazer mais que duas tentativas de acendimento após concluída a purga;
- Nunca abrir a boca da fornalha de forma brusca.

Os procedimentos posteriores deverão incluir a interrupção do suprimento de combustível e o desligamento do queimador, para eliminar a causa desta ocorrência.

Procedimento em situações de emergência

Nível de água baixo

O nível de água baixo pode ter as seguintes causas:

- Falha no sistema de controle automático de nível;
- Válvula de retenção da linha de água dando passagem;
- Falta de água de alimentação;
- Falta de atenção do operador;
- Defeito no sistema de alimentação de água (bombas, turbinas, motor elétrico, filtros, etc.);
- Cavitação na bomba.

Procedimento em situações de emergência

Para evitar esses problemas deve-se:

- Efetuar revisões de rotina nos sistemas de controle de nível;
- Manter atenção constante ao sistema de alimentação de água (tanques, bombas, válvulas, etc.);
- Fazer manutenção preventiva do sistema de alimentação de água;
- Manter atenção ao nível de água quando se fizer as descargas de fundo.

O nível de água baixo com o calor da fornalha agindo sobre os tubos secos provocará deformações no invólucro, danos ao refratário, vazamento d'água e danos aos tubos.

Procedimento em situações de emergência

Neste caso, deveremos proceder da seguinte forma:

- Cortar alimentação de ar e combustível;
- Fechar válvula de saída de vapor, e respiro do superaquecedor;
- Testar visores de nível confirmando nível real da caldeira;
- Não repor água para evitar choque térmico na caldeira caso o nível no visor não seja visível;
- Proceder resfriamento lento na caldeira, para posterior inspeção e identificação do motivo da queda de nível.

Nível de água alto

O nível de água alto pode ter como causas prováveis:

- Falha no sistema automático de controle de nível;
- Falta de atenção do operador;
- Falha no sistema de alimentação de água
- Controle de alimentação de água no modo manual.

Para evitar esses problemas deve-se:

- Efetuar revisões de rotina nos sistemas de controle de nível;
- Manter atenção constante ao sistema de alimentação de água;
- Manutenção preventiva do sistema de alimentação de água.

Como formas de atuação neste tipo de ocorrência, deve-se:

Como formas de atuação neste tipo de ocorrência, deve-se:

- Cortar alimentação de água (desligando a bomba, fechando a válvula, etc.);
- Testar visores de nível , certificando-se se o nível é real;
- Atuar na descarga contínua após confirmação do valor real do nível alto,
- Atuar na descarga de fundo tomando todos os cuidados necessários após terem sido esgotados todos os recursos;
- Informar o ocorrido à manutenção.

Pressão do vapor acima do limite normal

Quando a pressão do vapor está acima do limite normal, podem existir duas situações:

a válvula de segurança não abre ou

a válvula de segurança abre, mas a pressão continua a subir.

Isso pode ter as seguintes causas:

- **Sede da válvula de segurança está emperrada;**
- **Válvula de segurança desregulada;**
- **Válvula de segurança subdimensionada;**
- **Caldeira com controle no modo manual.**

Os problemas podem ser evitados da seguinte forma:

Os problemas podem ser evitados da seguinte forma:

- **Nunca alterar a regulagem da válvula de segurança, caso seja necessária esta alteração registrar o novo valor no registro de segurança da caldeira;**
- **Testar regularmente a válvula de segurança de acordo com procedimentos do fabricante;**
- **No caso da válvula estar subdimensionada, providenciar sua substituição, atualizando a respectiva documentação da válvula e da caldeira.**

Como providências, a alimentação de combustível deve ser completamente cortada e a evolução da pressão deve ser acompanhada.

Conforme a tendência de subida de pressão, deve-se providenciar abertura da válvula de alívio de pressão onde houver.

Para caldeiras de combustível sólido, além da providência acima, deve-se parar ventiladores e fechar todas as entradas e saídas de ar da caldeira.

Falhas em partes sob pressão

Sempre que ocorre uma ruptura de tubos ou que há um grande vazamento de vapor, é necessária uma ação imediata para evitar danos pessoais, a fim de se reduzirem os efeitos da avaria, de modo que o restante da instalação sofra o menos possível.

Para isso, procede-se da seguinte maneira:

- Cortar alimentação de combustível;
- Se houver mais de uma caldeira operando em paralelo, fechar a válvula de vapor da caldeira avariada;
- Manter o nível de água pelo tempo que for possível evitando choque térmico, protegendo os tubos e refratários, favorecendo o resfriamento lento da caldeira;
- Manter os ventiladores ligados pelo tempo que for possível de modo a expulsar o vapor pela chaminé;

- **Abrir as válvulas de segurança, a menos que a pressão apresente tendência de queda;**
- **Se não for possível manter o nível de água, cortar a alimentação imediatamente, fechar as válvulas de alimentação e parar a bomba;**
- **Depois de ocorrer a despressurização da caldeira, parar ventiladores e efetuar processo de resfriamento natural.**

Podem ser considerados ainda como emergência outros tipos de ocorrência, tais como:

- Queda de uma parede refratária causando superaquecimento da chaparia;
- Paradas de ventiladores;
- Parada de energia elétrica dos painéis de comando;
- Pane no sistema de instrumentação.

Nesses casos, deve-se:

- Fechar a válvula principal da saída de vapor e cortar o combustível;
- Manter nível de água dentro da faixa operacional;
- Fazer avaliação da situação, e caso haja previsão de normalização, manter a caldeira pressurizada, se possível;
- Caso a situação custe a se normalizar, entrar em procedimento de parada da caldeira.

ACIDENTES COM CALDEIRAS

CASOS DE CALDEIRAS QUE EXPLODIRAM NOS ÚLTIMOS ANOS E CAUSARAM MORTES E DESTRUIÇÃO - SAIBA O QUE PODE COLOCAR SUA VIDA EM RISCO

***Risco Grave e Iminente (RGI) em Caldeiras:**

1. Falta de instrumento de segurança. Exemplos:

Falta de válvula de segurança ajustada em valor igual ou inferior à PMTA;
Falta de manômetro para indicar a pressão do vapor acumulado e outros mencionados no item 13.1.4 da NR 13.

2. Instalação Inadequada. Exemplos:

Falta de sensor de gás (para caldeiras a gás);
Falta de iluminação de emergência e outros, em conformidade com os itens 13.2.3; 13.2.4 e 13.2.5.

***Risco Grave e Iminente (RGI)** - Na revisão da NR13 destacamos um novo RGI – Risco Grave e Iminente, portanto sujeito a interdição, conforme consta na Portaria 594 MTE, de 28-04-2014 [D.O.U. 02-05-2014] o item 13.3.1

ACIDENTES COM CALDEIRAS

3. Artíficios, ou “gambiarras”. Exemplos:

Jumps ou outros artíficios que neutralizem elementos de controle (tais como pressostatos) ou elementos de segurança (como válvulas de segurança, manômetros e outros), em conformidade com o item 13.3.2.

4. Falta de operador

“Toda caldeira a vapor deve estar obrigatoriamente sob operação e controle de operador de caldeira, sendo que o não atendimento a esta exigência caracteriza condição de risco grave e iminente” (íntegra do item 13.3.4, cujo detalhamento encontra-se na seqüência do item 13.3.5 ao 13.3.11).

Desrespeito ao projeto de fabricação. As condições de projeto de uma caldeira devem ser rigorosamente observadas, em conformidade com o item 13.3.12.

GRÁFICO MOSTRA PORCENTAGEM DAS MAIORES CAUSAS DE ACIDENTES COM CALDEIRAS



VÍDEOS: ACIDENTES COM CALDEIRAS

4 - TRATAMENTO DE ÁGUA E MANUTENÇÃO DE CALDEIRAS

Carga horária: 8 horas

4.1 - Impurezas da água e suas conseqüências

4.2 - Tratamento de água

4.3 - Manutenção de caldeiras

ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DAS CALDEIRAS

As águas de alimentação de caldeiras provêm de fontes naturais como poços, lagos, córregos, rios, e de outros mananciais contendo reservas deste fluido.

Conforme a sua procedência, tais águas podem conter diferentes produtos dissolvidos ou em suspensão, em concentrações bem diversas.

O emprego direto das águas “in natura”, como água de alimentação de caldeiras, implica num processo de evaporação da fase líquida, com conseqüentes concentrações dos produtos minerais dissolvidos.

Outros produtos, entretanto, também se liberam, tais como gases dissolvidos existentes na fonte fornecedora ou mesmo resultante da decomposição de matérias orgânicas igualmente presentes.

Os resíduos, após a evaporação da fase líquida, formam depósitos sobre as superfícies metálicas das caldeiras, com aderências de diferentes tipos, de conformidade com a natureza do material acumulado.

Certos produtos depositados, permanecem na forma de um lodo de fácil remoção; outros se incorporam a própria parte metálica na forma de resíduos resistentes, de remoção mais difícil, constituindo um depósito denominado pêlos caldeiros de incrustações.

Como esses depósitos incrustantes, são fracos condutores de calor, seu acúmulo sobre as superfícies metálicas tendem a criar maiores resistências ao escoamento do calor, contribuindo para uma sensível diminuição do Coeficiente de Condutividade entre os gases quentes e a água situada no interior da tubulação.

Evidentemente, diante de uma condição de trabalho que prejudica a troca de calor entre os fluidos do processo, a caldeira, passa a produzir menor quantidade de vapor e a apresentar uma diminuição no seu rendimento térmico.

UNIDADES ADOTADAS

A unidade mais universal para exprimir a concentração das substâncias em solução nas águas naturais é o ppm, ou seja, partes por milhão.

Conhecem-se outras unidades mais comuns nas análises inglesas:

Gpg = grãos americanos por galão
pts/100.000 = partes por 100.000 partes de água
gpg imp = grãos por galão inglês

Entre as diferentes unidades há as seguintes equivalências:

1 gpg = 17,1 ppm
1 ppm = 1 mg/l = 1 g/m³
1 ppm = 0,0583 gpg = 0,07 gpg imp = 10lb/1.000.000 galões ingleses

As análises são sempre feitas com referência ao volume de água e não ao peso, assumindo o peso de 1 kg por cada litro de água sem levar em conta a correção pela temperatura.

ANÁLISE DA ÁGUA

Toda água de alimentação deve ser conhecida e controlada.

Baseado no fato de se conhecer quais as impurezas normais das águas naturais, foram formulados métodos simplificados suficientemente satisfatórios para assegurar um controle rotineiro.

O método consiste na determinação dos seguintes valores:

- ✓ dureza
- ✓ alcalinidade
- ✓ cloretos
- ✓ fosfatos
- ✓ pH

ANÁLISE DA ÁGUA

Certas águas obrigam a determinação de outros dados como sejam:

- ✓ sólidos totais
- ✓ resíduos calcinado
- ✓ matéria orgânica
- ✓ concentração de O₂ livre.
- ✓ sílica.

Dureza

O grau de dureza exprime a concentração dos sais de cálcio seja na forma de carbonato, sulfato silicato ou cloreto.

Pode ser expressa em grau alemão, francês ou inglês, entre os quais há uma relação:

Grau F = 0,5 grau A Grau A = 0,7 grau I

O grau F equivale a 10 mg CaCO_3 /litro

O grau I equivale a 14,3 mg CaCO_3 /litro

O grau A equivale a 10mg CaCO_3 /litro

Alcalinidade

Exprime a presença de ions dos sais de bicarbonato, carbonatos, hidróxidos, fosfatos, silicatos, etc., ou seja, todos os que contribuem para a alcalinidade da água.

Destes os mais expressivos são os carbonatos e hidróxidos.

Cloretos

São geralmente muito solúveis, sejam de cálcio, magnésio, sódio, ferro e outros.

Sua determinação se faz com solução de Nitrato de Prata N10 padrão empregando como indicador o Cromato de Potássio.

Estes sais, por serem altamente solúveis permitem, em primeira aproximação, estabelecer a porcentagem de descarga da caldeira.

Fosfatos

Os sais de fosfatos são auxiliares valiosos no tratamento de água.

Geralmente não aparecem nas águas naturais. Sua determinação se processa com reagente de molibdato de amônio.

A concentração é feita por teste colorimétrico comparativo com escala padrão.

A intensidade da cor é proporcional à concentração do fosfato. A escala comparativa já indica a concentração dos fosfatos.

PH - Indica a acidez ou alcalinidade das águas. As águas naturais são geralmente ligeiramente ácidas: 6,3 - 6,5 pH.

O pH é determinado por escala comparativa de indicadores padrões.

Matéria orgânica

Podem comparecer nas águas na forma coloidal ou de algas microscópicas, respondendo por sérios problemas de corrosões nos superaquecedores e também nas caldeiras.

Sua determinação se faz pelo processo do permanganato.

Gases dissolvidos

As águas naturais contém sempre gases dissolvidos.

O CO₂ se apresenta com concentração até 50 ppm, porém, facilmente eliminável por aquecimento.

A solubilidade do oxigênio chega a ser até 5,7 ml/l à 25°C.

O oxigênio é extremamente agressivo, atacando o metal da caldeira.

O aumento da temperatura da água acentua a agressividade deste gás.

Sua determinação, para caldeiras de pressões mais elevadas, acima de 21 kg/cm² é obrigatória.

O método para determinação do oxigênio exige cuidados especiais e deve-se a Winkler baseado na rápida ação oxidante do elemento em soluções de hidróxido manganoso Mn (OH)₂.

Sílica

-É responsável pelas incrustações mais difíceis de serem removidas das superfícies metálicas. Sua determinação se faz por processo quantitativo.

Sólidos totais

É a soma dos sólidos em suspensão e dos sólidos dissolvidos.

Os sólidos totais são uma medida da possibilidade de formação de espuma, arraste de sílica volátil e formação de depósitos.

Supondo que o tratamento d'água está obtendo o máximo de eficiência possível, é necessário purgar a caldeira para reduzir sua concentração.

Esta purga é realizada pela extração de superfície, que é uma purga contínua e, quando necessário, pela extração de fundo, que é uma purga intermitente, limitando assim a concentração de sólidos totais admissíveis na água de caldeira, cujo teor tolerável é inversamente proporcional à pressão de operação, como se segue:

TRATAMENTOS E APARELHAGENS

Basicamente apresenta-se em dois métodos sempre associados, o primeiro método denominado de TRATAMENTO EXTERNO, proporciona o melhoramento da qualidade da água antes de sua introdução no gerador de vapor.

O outro método é chamado de TRATAMENTO INTERNO realizando as reações químicas de tratamento no interior da própria caldeira.

TRATAMENTOS EXTERNOS

O primeiro passo no tratamento da água é sua clarificação a fim de remover todas as partículas sólidas existentes em suspensão responsáveis pela sua turbidez.

O método tradicional de simples filtração só obtém resultado quando a água procede de poços artesianos profundos, os quais as vezes já dispõe de uma água límpida, embora fortemente carregada de sais dissolvidos.

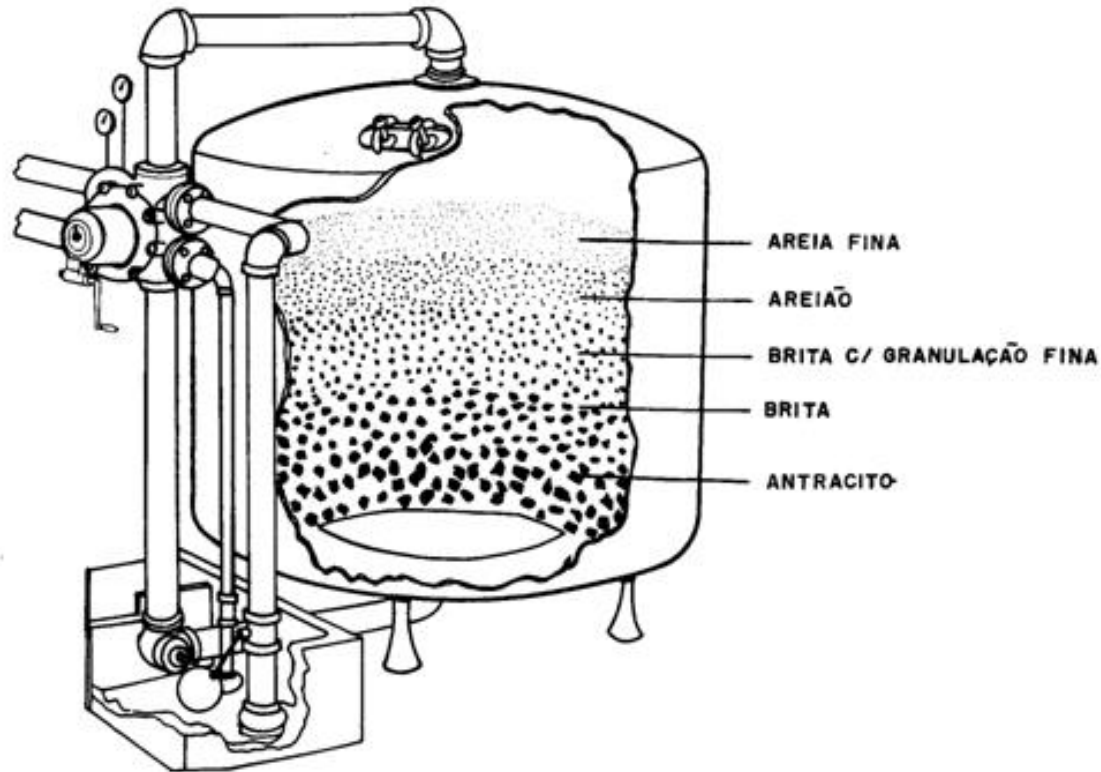
Nessa hipótese, a aplicação de um filtro de areia aberto com remoção das impurezas por gravidade ou uma variante de filtro auto lavável, também aberto, atendem as necessidades do processo.

Na ausência de espaço para se instalar um filtro deste tipo, se recorre a um filtro de camadas de areia e antracito, fechado, compacto que promove a circulação da água sob pressão até no máximo de 10 m c.a. (vide fig.8.1).

Quando a pressão interna do vaso do filtro acusa valores superiores a pressão atrás indicada promove-se uma inversão do fluxo da água que passa a circular no sentido ascendente, arrastando para o esgoto todo o material acumulado sobre a camada superior de areia.

Esta operação se prolonga até o visor existente no circuito, acusar passagem de água límpida, com duração aproximada de 5 a 10 minutos.

TRATAMENTOS EXTERNOS



Naturalmente durante esta limpeza o suprimento de água fica interrompido, razão pela qual, ser de boa norma, instalar dois aparelhos em paralelo.

Enquanto um deles atende a operação de limpeza, o segundo continua suprindo água ao processo.

A periodicidade da operação limpeza depende da qualidade da água, porém, na maioria dos casos não ultrapassa 24 horas com um mínimo de 12 horas.

Todavia, a turbidez da água igualmente se deve a presença de matérias coloidais dificilmente retidas nos filtros anteriores.

Esta ocorrência é comum nos mananciais de superfícies que agregam águas correntes com todos os tipos de rejeitos por onde passam, humanos, vegetais e minerais.

Difícilmente hoje se encontra um córrego, rio ou lago que disponha de água límpida sendo forçoso o acréscimo de um pré tratamento, antes da filtração, denominado clarificação.

Os aparelhos clarificadores recebem a água bruta tal qual procedem das fontes de suprimento juntamente com agentes coaguladores que promovem a formação de flocos gelatinosos dotados de grande capacidade de absorção das impurezas existentes no fluido.

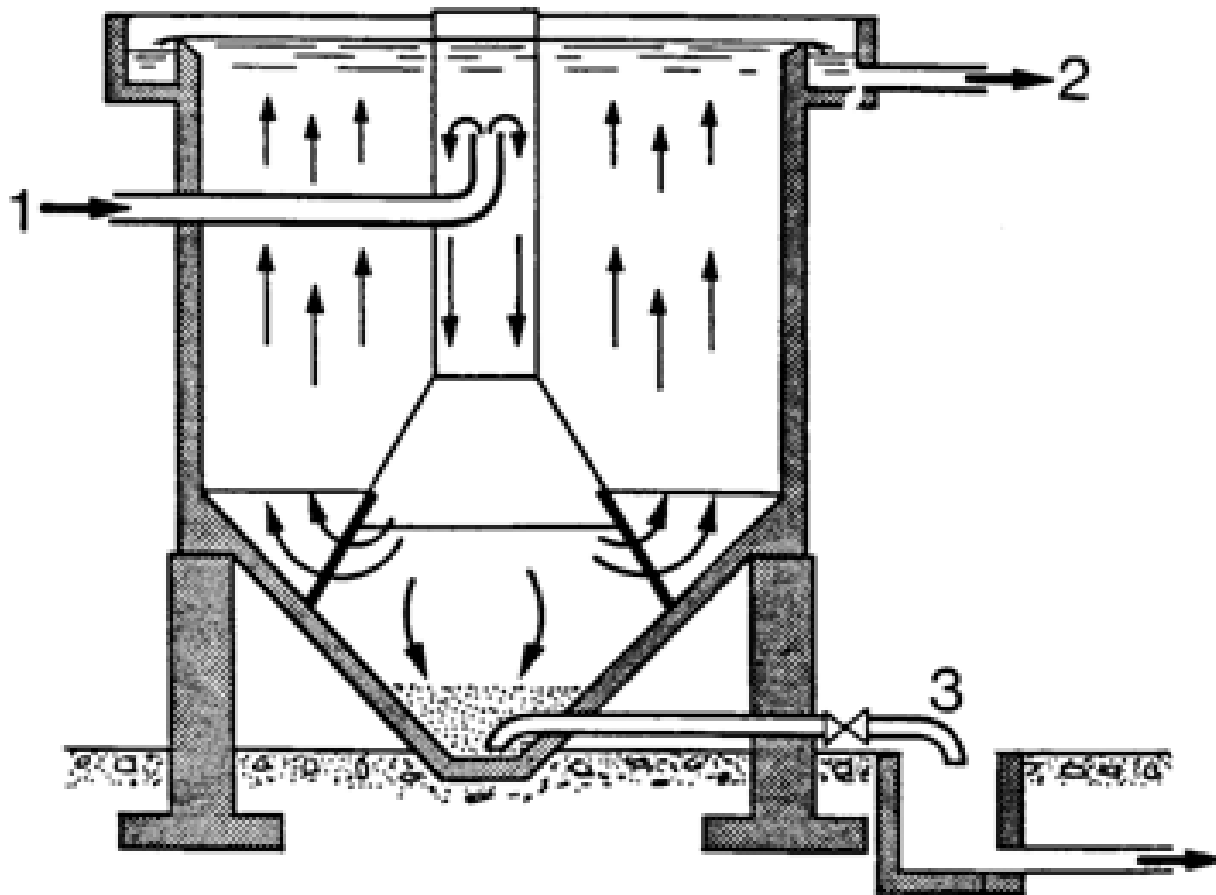
Os agentes coagulantes minerais mais divulgados são compostos de ferro e de alumínio estes últimos de maior aplicação.

O hidróxido de alumínio formado no aparelho com o aspecto de flocos gelatinosos vão paulatinamente decantando, arrastando para o fundo do aparelho toda a turbidez da água.

Os aparelhos destinados a formar os flocos são denominados floculadores, os destinados a decantar são os decantadores.

As duas funções podem ser verificar num único aparelho denominado Clarificador.

A figura 8.2 mostra um esquema de um decantador estático tipo cilíndrico cônico.



Decantador Cilindrico Cônico

Fig.8.2

A água límpida a seguir deve ser submetida a outros tratamentos para eliminar as impurezas dissolvidas.

Serão parâmetros determinantes na decisão do processo de tratamento a ser adotado, a qualidade da água, a pressão da caldeira e a pureza do vapor.

Determinadas águas uma vez isentas de turbidez, podem ser introduzidas diretamente no interior das unidades geradoras de vapor de baixa pressão, e ali serem submetidas ao chamado tratamento interno descrito páginas adiante.

Caldeiras de maior responsabilidades, principalmente aquelas que se destinam a suprir vapor para centrais térmicas exigem águas absolutamente isentas de impurezas.

A segunda etapa dos tratamentos externos praticados pela tecnologia, encontram-se aqueles que promovem apenas o abrandamento da água, ou seja, que eliminam a sua dureza, e outros projetados para fornecer uma água totalmente desmineralizada.

Em ambos, em seguida, se acrescenta a desgaseificação.

ABRANDAMENTO

Existem na literatura diversos métodos para se obter o abrandamento da água, dentre eles o mais difundido atualmente é o abrandamento por troca de íons.

Este método se baseia na propriedade de certas areias naturais que imersas em água provocam um intercâmbio de íons.

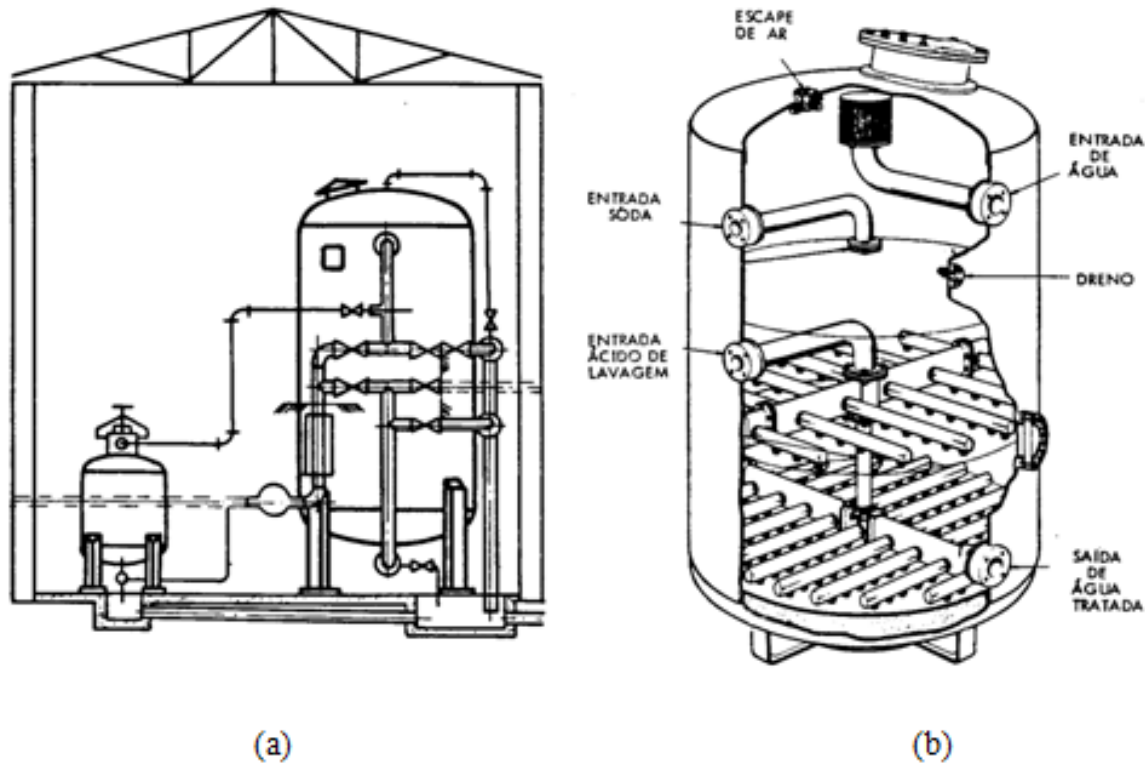
O abrandamento da água consiste em passar a água dura através de uma coluna de resina aniônica a base de sódio.

O sódio presente na resina substituí o cálcio e o magnésio da água num processo contínuo até o seu exaurimento, momento a partir do qual se torna forçoso a regeneração.

Neste estágio se interrompe a passagem da água a ser tratada substituindo-a por uma solução de cloreto de sódio a qual recompõe o cátion consumido e remove o cálcio e o magnésio do aparelho diretamente para o esgoto.

Feita a regeneração, volta a operação do ciclo de tratamento.

A figura 8.3 -a exibe um aparelho abrandador de um estágio, com tanque de salmoura para regeneração e todas as tubulações de operação, já a figura 8.3-b representa o corte em perspectiva de um abrandador de leito misto.



a) Instalação de abrandador de um Estágio, b) Corte em Perspectiva de um Permutador Abrandador de Leito Misto.

Fig.8.3

DESMINERALIZAÇÃO

Efetuada sobre uma série de trocadores de íons, é o tratamento escolhido para a alimentação das caldeiras com pressões acima de 40kgf/cm^2 , especialmente quando estas caldeiras comportam superaquecedores ou alimentam turbinas, caso nas usinas térmicas para geração de potência.

Uma unidade para suprimento de água desmineralizada contém os aparelhos de troca aniônicos e catiônicos, conforme a exigência da qualidade da água e se complementa com outros aparelhos como preparadores das soluções regenerativas, bombas dosadoras e aparelhos registradores.

Aparelhos Desgaseificadores

O degaseador a pulverização (Vide figura 8.4) dispersa a água em finas gotas através de pulverizadores na câmara de vapor do aparelho proporcionando um aumento da superfície de contato das fases.

O degaseador de cascata, também conhecido como tipo de bandejas, operam em contra corrente, despejando a água a partir de um distribuidor superior na forma de múltiplas cascatas através do qual o vapor flui em sentido contrário.

A fase líquida se aquece ao longo do percurso até se acumular no vaso de reserva.

O vapor, parte condensa parte escapa pelo escape na atmosfera arrastando consigo os gases incondensáveis.

DESGASEIFICAÇÃO

Tem a finalidade de eliminar todos os gases ainda dissolvidos na fase líquida, para a atmosfera, como por exemplo o oxigênio, gás carbônico, sulfídrico e outros.

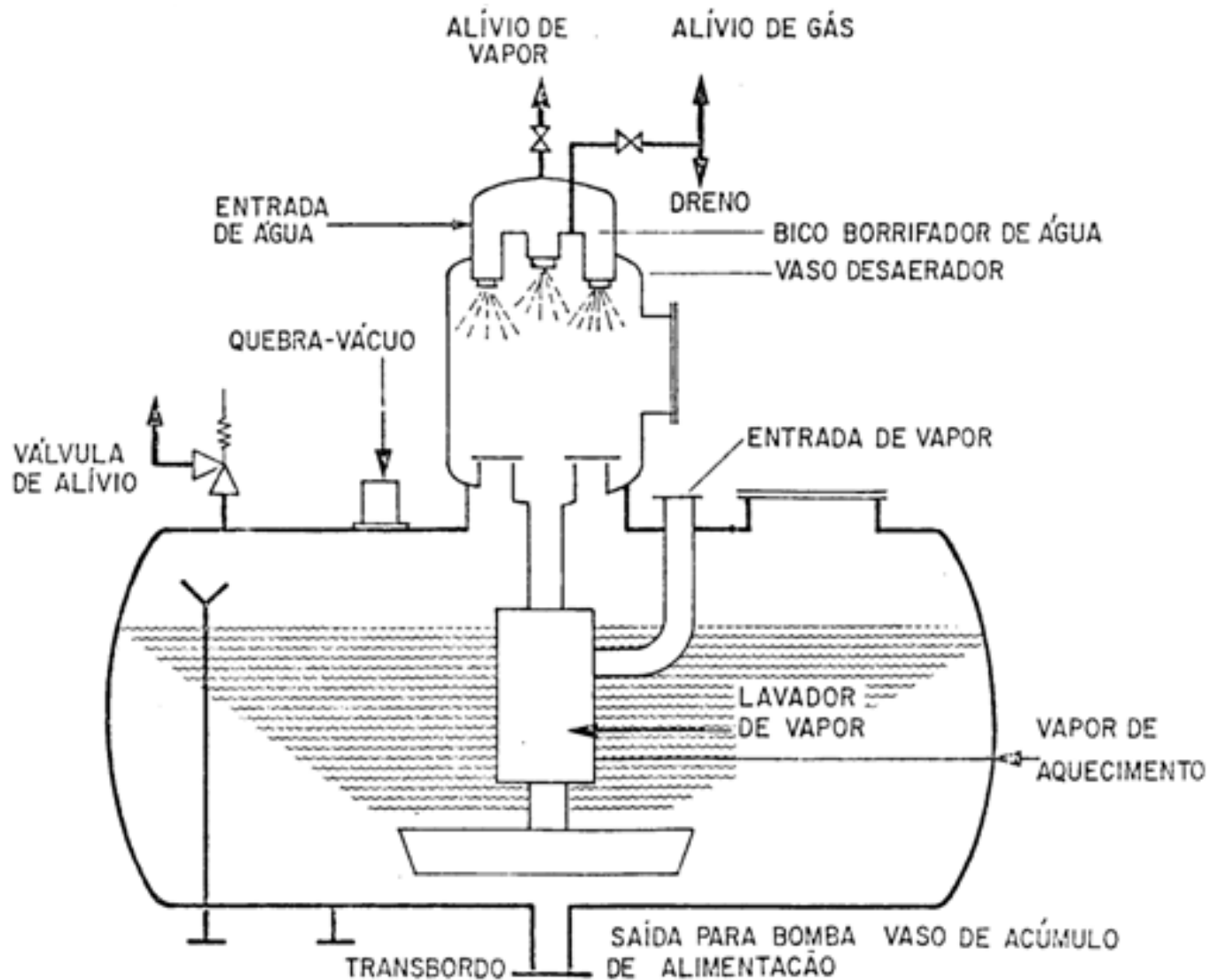
A eliminação dos gases Normalmente é executada por aparelhagem específica, denominada DEGASEADOR.

Todavia, unidades que operam com baixas pressões, podem dispensar o acréscimo da aparelhagem, adotando métodos químicos para atenuar o efeito corrosivo, sobretudo o oxigênio.

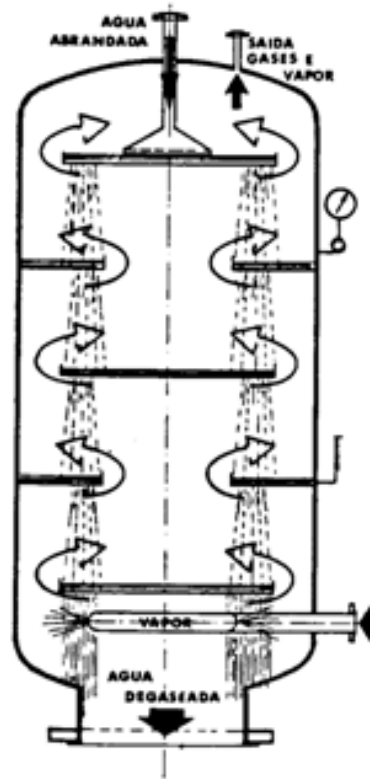
Os produtos mais difundidos neste tipo de tratamento são o Sulfito de Sódio e a Hidrazina.

A Hidrazina simples ou catalizada vem sendo mais utilizada para neutralizar a corrosão do oxigênio, porquanto ela seqüestra este gás dissolvido na água.

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS



Uma variação mais moderna deste tipo, aplica bandejas perfuradas de forma a criar uma série de jatos cilíndricos de água em queda vertical aumentando a superfície de contato das fases, conforme esquema da fig.8.5.



Degaseador de bandejas perfuradas

Fig.8.5

Os gases incondensáveis são arrastados pelas bolhas de vapor em excesso para a coluna do aparelho que dispõe de uma distribuição da água de ingresso na forma de cascatas.

O aparelho deste tipo precisa ser rigidamente fixado a base, e todos os acessórios firmemente atados, dado que a injeção do vapor diretamente no fundo do vaso cheio de água fria, no início do processo de aquecimento provoca fortes golpes de aríete pela instântanea condensação do vapor.

As melhores construções destes aparelhos contém em cada orifício de distribuição do vapor um misturador para atenuar os efeitos da forte trepidação resultante do golpe de aríete.

Deve-se acrescentar na instalação destes aparelhos, uma série de acessórios de controle de nível, da pressão interna de operação, da pressão do vapor de injeção, manômetros e termômetros, indicadores de nível, bem como, a providência de adequado isolamento.

Na maioria das instalações de degaseamento, o aparelho opera com uma pressão interna ligeiramente superior a pressão atmosférica, de conformidade com a temperatura desejada na água degaseada.

REMOÇÃO DA SÍLICA

Como já foi observado anteriormente, a sílica está presente na água como ácido silicíclico e silicatos solúveis.

Forma incrustações de difícil remoção que podem ser retirados pelo tratamento com óxidos por troca iônica.

TRATAMENTO INTERNO

Aplica-se em água de baixa dureza, não turvas, adicionando-se produtos químicos que reagem no interior da caldeira.

Há varias composições no mercado, cujas doses são prescritas pêlos fabricantes em função das impurezas encontradas pela análise da água.

O produto básico destas composições, porém, é o trifosfato de sódio.

É o método mais econômico que consiste em adicionar uma solução dos sais de tratamento no próprio tanque de alimentação de água ou no tubo de injeção desta, no interior da caldeira, mediante um dosador contínuo.

As reações do fosfato no interior da caldeira precipitam os sais de cálcio, numa forma não aderente a superfície metálica e tornam altamente solúveis os sais que davam dureza a água.

O precipitado formado pelas reações, sob forma de um lodo, depositam-se nas partes inferiores da caldeira, de onde são eliminados por meio de descargas intermitentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do tratamento mais rigoroso que se possa adotar, é impossível eliminar da água todos os sais em solução. Excetua-se o método da destilação.

A caldeira com a água que produz vapor, portanto, vai acumulando e concentrando os sais que ingressam com a água.

A concentração deve ser mantida até o limite de solubilidade a partir do qual há precipitações que concorrem para incrustação, arraste de partículas sólidas pelo vapor e formação de espuma.

É a descarga da caldeira que mantém a concentração destes sais dentro dos limites convenientes, além de arrastar o lodo que se acumula nas partes inferiores da caldeira.

FORMAÇÃO DE ESPUMA E ARRASTE.

O arraste consiste de diminutas gotículas de água que são carregadas pelo vapor no momento que este se desprende da superfície da água.

Em condições normais de operação, o arraste de água é uma possibilidade remota pois os internos do tubulão superior são projetados para evitar que isto ocorra. Entretanto, pode ocorrer este tipo de arraste se houver:

- danos nos aparelhos separadores de vapor
- nível alto no tubulão
- variação brusca de carga
- presença de espuma no tubulão superior

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

A formação de espuma é devida a concentração de produtos químicos provocando redução de tensão superficial da película de água que envolvem as bolhas de vapor em geração. As causas da formação espuma são:

excessiva concentração de sólidos na água
excessiva alcalinidade cáustica
matéria orgânica em suspensão na água como óleo, graxas, etc.

Assim, os produtos químicos são lançados no espaço de vapor e carregados por ele.

A intensidade desta espuma depende da natureza dos compostos químicos na água da caldeira.

O problema de arraste provoca a formação de depósitos no superaquecedor, nas pás das turbinas e no sistema de condensado, além de problemas de corrosão e erosão, nas caldeiras aquotubulares.

Outro contaminante indesejável é o óleo ou graxa presentes na água de caldeiras os quais são grandes formadores de espuma.

Formam também uma película isolante sobre a superfície interna dos tubos da caldeira provocando superaquecimento.

Dependendo da temperatura, podem ser carbonizados resultando uma deposição de carbono na caldeira.

5 - PREVENÇÃO CONTRA EXPLOSÕES E OUTROS RISCOS

Carga horária: **4 horas**

5.1 - Riscos gerais de acidentes e riscos à saúde

5.2 - Riscos de explosão

RISCO DE EXPLOSÕES

A utilização de caldeiras implica a existência de riscos de natureza diversificada, tais como: explosões, incêndios, choques elétricos, intoxicações, quedas, ferimentos diversos, etc..

Deve-se, no entanto, destacar a importância do risco de explosões, por quatro motivos principais:

- Por se encontrar presente durante todo o tempo de operação, sendo necessário o seu controle contínuo, sem interrupção.
- Em razão da violência com que as explosões se manifestam, na maioria dos casos suas conseqüências são catastróficas, em face da **grande quantidade de energia liberada instantaneamente;**
- **Por envolver não só o pessoal de operação, como também os que trabalham nas proximidades, podendo atingir até mesmo a comunidade (vizinhos e vias públicas) e a clientela, quando se trata de empresas de serviços (hospitais e hotéis, principalmente);**
- Porque sua prevenção deve ser considerada em todas as fases: projeto, fabricação, operação, manutenção, inspeção e outras.

O risco de explosões do lado água está presente em todas as caldeiras, uma vez que a pressão nesse lado é sempre superior à atmosférica.

Qualquer quantidade de um fluido compressível, não importa qual, quando comprimida a uma pressão de 10 atm (p/ ex.), estará ocupando um espaço 10 vezes menor do que ocuparia se estivesse submetida à pressão atmosférica.

Essa massa “deseja”, portanto, ocupar um espaço 10 vezes maior, “procurando”, através das fendas e rupturas, e “conseguindo-o” com a explosão, quando, por um motivo ou outro, a resistência do vaso é superada.

Daí a necessidade do emprego de espessuras calculadas em função de resistência do material e das características de operação.

SUPERAQUECIMENTO COMO CAUSA DE EXPLOSÕES

Superaquecimento é a exposição do aço, material com que é construída a caldeira, a temperaturas superiores às admissíveis, o que causa a diminuição da resistência do material e cria o risco de explosões.

Pode causar danos intermediários antes da ocorrência de explosões, tais como o empenamento, o envergamento, o abaulamento de tubos e outros.

Nas caldeiras aquatubulares é muito freqüente a ocorrência do abaulamento (defeito usualmente denominado “laranja” ou “joelho”, dada sua forma esferóidica, coma superfície convexa voltada para o lado dos gases), decorrente de deformação plástica do aço em temperatura da ordem de 400 a 540 °C, sob a ação prolongada da pressão interna do vapor.

O superaquecimento contribui também para a oxidação das superfícies expostas, se o meio for oxidante, ou para a carbonetação (formação de carbonetos ou carbetos de ferro), se o meio for redutor.

O superaquecimento pode ser causado por:

a) Escolha inadequada de material no projeto da caldeira.

Se no projeto da caldeira essas condições de escolha de materiais não forem convenientemente consideradas, haverá o risco de ruptura de partes submetidas a pressão, em razão do emprego de materiais não resistentes às solicitações impostas.

b) Emprego de material defeituoso

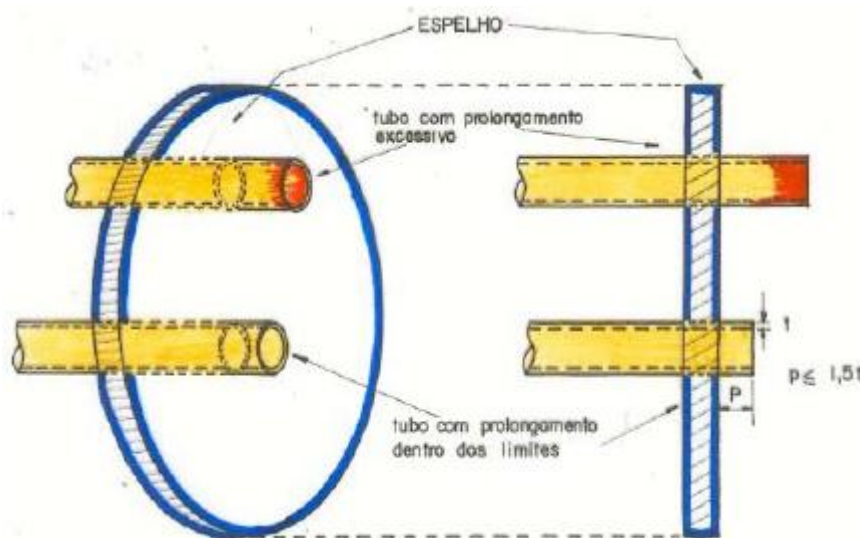
Dos processos utilizados para a produção de chapas e de tubos, a laminação é destacável pela possibilidade de inclusão de defeitos.

È freqüente ocorrer em chapas o defeito que consiste em vazios no interior do material.

Defeitos dessa natureza fazem com que as chapas não resistam às cargas térmicas e/ou mecânicas previstas no projeto.

c) Dimensionamento incorretos

Ainda em consequência de erro de projeto ou de construção, podem surgir riscos de superaquecimentos localizados, que potencializam os riscos de explosão. Exemplo disso são os prolongamentos excessivos dos tubos expandidos em espelhos de câmaras de reversão nas caldeiras flamotubulares. Esses prolongamentos impedem a trajetória livre dos gases quentes à reversão, causando o superaquecimento localizado nos prolongamentos e, conseqüentemente, fissuras nos tubos e/ou no espelho nas regiões entre os furos (ver fig. 16).



e) Incrustações

Um problema clássico da segurança das caldeiras é o da incrustação.

Consiste na deposição e agregação de sólidos junto ao aço de que se constitui a caldeira, no lado da água, em razão da presença de impurezas tais resultantes de tratamentos inadequados da água da caldeira (borras de fosfato de cálcio ou magnésio) e de óxidos de ferro não protetores.

A incrustação se comporta como isolante, ela não permite que a água “refrigere” o aço, ou seja, ou seja, há menor transferência de calor do aço para a água, e com isso, o aço absorve calor sensível, isto é, sua temperatura se eleva proporcionalmente à quantidade de calor recebida.

O aço previsto para trabalhar em temperatura da ordem de 300 °C, fica exposto a temperaturas da ordem de 500 °C, fora dos limites de resistência e, portanto, em condições de risco de explosão

Operação em “Marcha Forçada”

Quando uma caldeira possui potencia baixa em relação às necessidades das áreas servidas pela sua produção de vapor, há o risco de operação em “marcha forçada”.

Na expectativa de atender a demanda, intensifica-se o fornecimento de energia à fornalha e, dadas as limitações da caldeira, em vez de se alcançar a produção desejada, o que se consegue é a ruptura, ou pelo menos a deformação dos tubos, potencializando-se assim, os riscos de explosão.

Falta de água nas regiões de transmissão de calor

O contato da água com o aço é fundamental para a “refrigeração” deste.

Há necessidade rigorosa de que o calor recebido pelos tubos e pelas chapas seja transferido para a água, pois somente assim será mantido o processo de transferência de calor sem que haja aumento de temperatura e que todo calor recebido pela água será empregado para sua vaporização à temperatura constante, determinada pela pressão.

Havendo, portanto, falta de água em determinada região, terá a elevação da temperatura, que provocará o superaquecimento do aço, e sua conseqüente perda de resistência.

A maioria absoluta dos acidentes com caldeiras é composta de explosões que ocorrem em razão de falta de água nas regiões de transmissão de calor.

Os motivos que levam à falta de água são vários, dos quais vale ressaltar a má circulação de água no interior da caldeira e a falhas operacionais, que são exemplificados a seguir:

Circulação deficiente de água

A rugosidade, as corrosões e os depósitos internos são fatores que reduzem a vazão de água em um tubo, no qual, conseqüentemente, haverá maior proporção de vapor na emulsão água-vapor e, portanto, pior “refrigeração”.

Falha operacional

Na maioria dos casos, a posição “manual” é necessária para o acendimento “partida” e para o desligamento da caldeira, pois se para acende-la fosse utilizada a posição “automático”, os controles admitiriam o Maximo fornecimento de energia, uma vez que usualmente são comandados pela pressão de vapor, levando a conseqüências desastrosas.

Nessa posição, o risco de falta de água está associado a procedimentos inadequados do operador, ou seja, especificamente, não aumentar a vazão de fornecimento de água quando o nível tende a descer.

Falhas dessa natureza geralmente decorrem de falsas indicações de nível ou imperícia na condução do equipamento.

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS

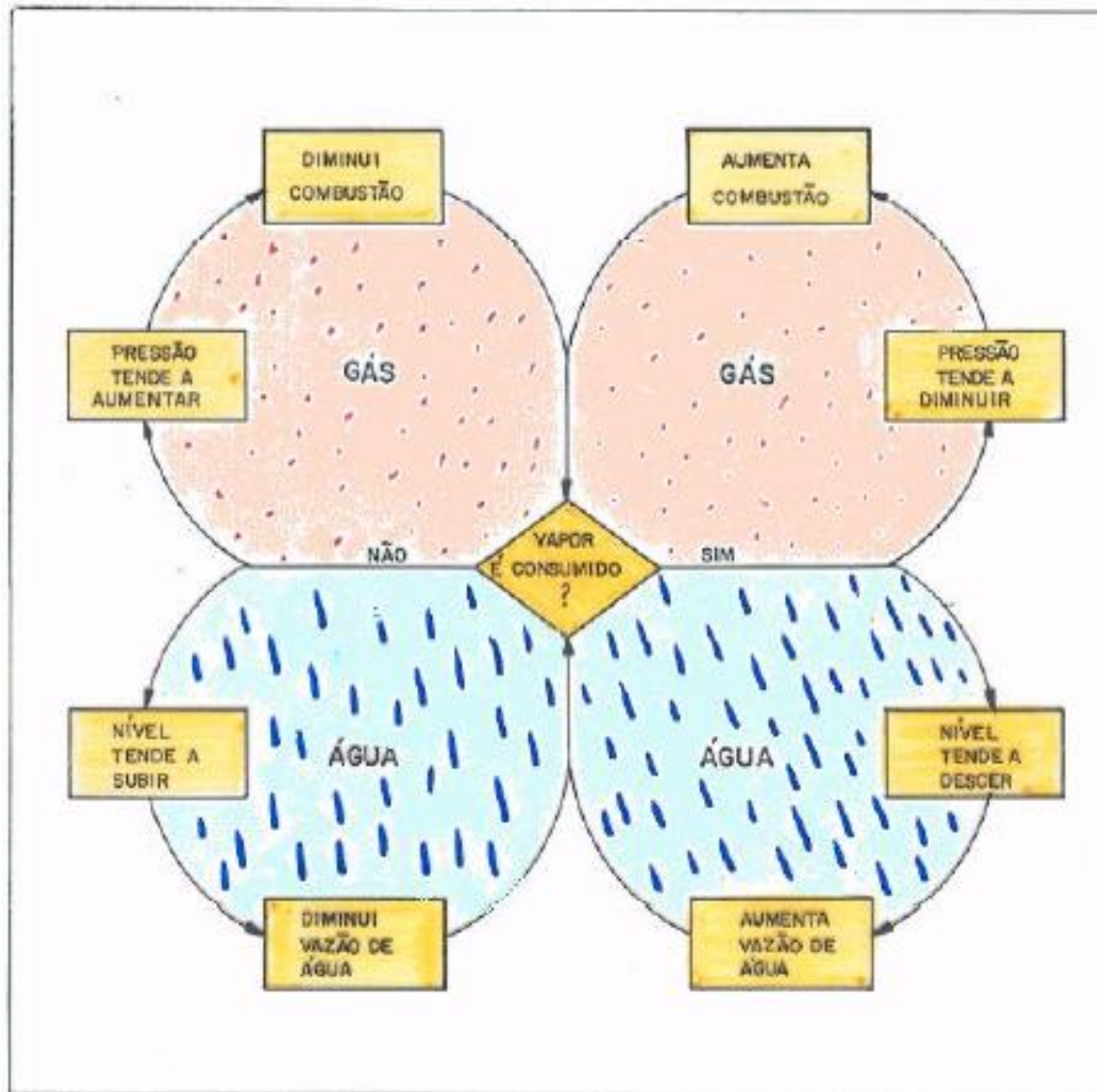


Fig. 22 - Lógica do automatismo das caldeiras

Quando a limpeza ou a manutenção preventiva ou o tratamento da água não são convenientemente praticados, há o risco de obstruções, ou de acúmulo de lama na coluna de nível, o que fornecerá indicações incorretas para o operador ou para os sensores dos instrumentos responsáveis pelo suprimento de água.

De modo semelhante, obstruções em tubulações de suprimento de água podem levar a acidentes de graves conseqüências uma vez que a vazão de entrada de água será menor que a vazão de saída de vapor.

A instrumentação pode ainda ser “responsável” pela falta de água quando, **em casos de variações no consumo, ocorrer um aumento muito brusco na vazão de vapor.**

Nesses casos, em razão da queda brusca da pressão, bolhas de vapor que se formam sob a superfície da água, se expandem, dando origem a uma falsa indicação de nível alto, que como conseqüência, diminui a vazão de entrada de água.

Nota-se que, como a pressão encontra-se baixa, o sinal que o pressostato envia aos dispositivos de combustão, irá solicitar aumento do fornecimento de energia, agravando-se ainda mais a situação.

E evidente que nesses casos não se atribui a responsabilidade aos instrumentos, mas sim ao ser humano, que falhou ao projetar, especificar ou manter o instrumento de controle.

CHOQUES TÉRMICOS

Há registro de explosões de caldeiras e de incidentes menos significantes, causados por choques térmicos muito freqüentes que provocam a fadiga e o envelhecimento do metal nas extremidades de tubos.

Os choques térmicos ocorrem em razão de freqüentes paradas e recolocações em marcha dos queimadores.

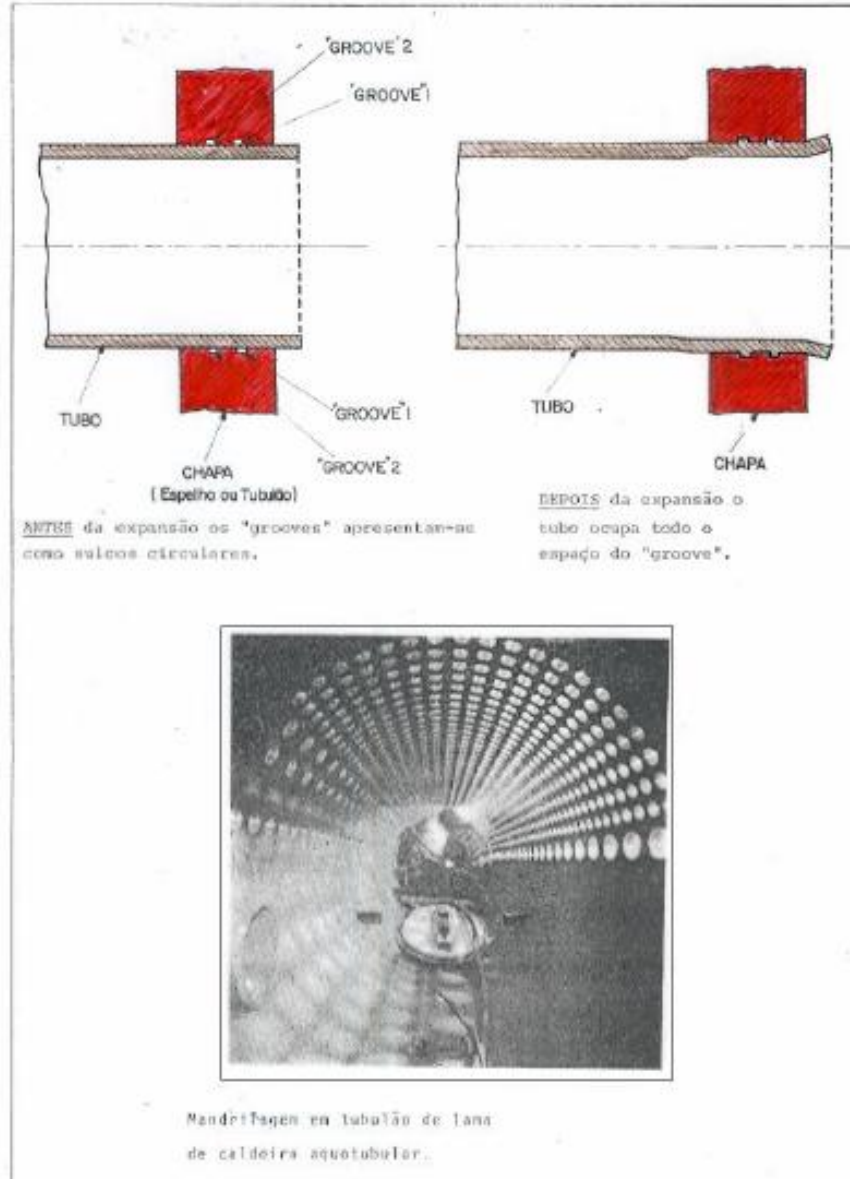
São suscetíveis a essas condições, as caldeiras que possuem queimadores “ON-OFF”, que não modulam a chama ou queimadores com potência excessiva.

Choques térmicos também podem ocorrer se a alimentação da caldeira é feita com água fria (temperatura inferior a 80 °C), em condições descontinuas e com a entrada de água nas regiões mais frias da caldeira.

Constata-se com mais freqüência esse tipo de incidente, em caldeiras flamotubulares.

São registradas também ocorrências de choques térmicos em virtude de falha operacional, quando após um rebaixamento excessivo de nível, por uma razão qualquer, o operador injeta água fria, tentando restabelecer o nível normal. (nesses casos, a medida correta a ser adotada é a cessação imediata do suprimento de emergência à caldeira).

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES MECÂNICAS



FALHAS EM JUNTAS SOLDADAS

Operações de soldagem são numerosas na fabricação de caldeiras, soldagem peças para a confecção de tubulões, soldas de tubos, soldas de costados, pedestais, etc..

Falhas em juntas soldadas potencializam os riscos de explosão da caldeira, uma vez que podem representar áreas de menores resistências.

Atualmente, porém, vêm sendo empregados pela grande maioria dos fabricantes de caldeiras, processos automáticos de soldagem.

Seja qual for o processo, a execução das operações de soldagem deve ser realizada por soldadores qualificados e segundo processos reconhecidos por normas técnicas específicas.

Após as operações de soldagem as caldeiras devem passar por tratamentos térmicos especiais, de alívio de tensões ou de normalização, para aliviar as tensões existentes na zona afetada termicamente pelo processo de soldagem.

O controle das juntas soldadas é fundamental para a segurança e a sua falta ou falha representa risco de explosão em potencial.

O controle radiográfico das juntas é o principal exame entre os não destrutivos aplicáveis nesses casos.

MUDANÇA DA ESTRUTURA METALÚRGICA

Nas caldeiras que operam com pressões elevadas e com alta capacidade de produção de vapor, verifica-se a ocorrência da decomposição da água, com a conseqüente liberação de oxigênio e de hidrogênio.

O hidrogênio, difundindo-se no aço, age sobre o carboneto (Fe_3C), **que, por ser muito dura e quebradiça, é responsável pela dureza e pela resistência do aço carbono.**

Dessa ação ocorre a decomposição do carbono, diminuindo assim, a resistência do aço.

Como agravante dessa ação do hidrogênio, ocorre, ainda sua reação com o carbono, gerando gás metano, que provoca a formação de protuberâncias superficiais.

CORROSÃO

A corrosão constitui um dos mais importantes fatores de deterioração de caldeiras.

Como causa de explosões, ela atua principalmente como fator de diminuição de espessura das partes sujeitas a pressão.

Essa atuação é “silenciosa” e não detectável pelos instrumentos de operação da caldeira - os pressostatos e as válvulas de segurança não impedem essas explosões, uma vez que elas não são necessariamente acompanhadas de elevação de pressão de operação; podem até mesmo ocorrer em pressões inferiores à MPTA (máxima pressão de trabalho admissível).

A detecção dessa causa de explosão só pode, portanto, ser obtida de uma única forma:

Por meio das inspeções internas, daí a importância dessa medida, obrigatória não só por lei, mas também como prática recomendada pela boa técnica.

Nas caldeiras, a corrosão está presente não só no lado água, como também no lado do gás (denominados interior e exterior, respectivamente), e embora seu mecanismo seja bem conhecido nos dias de hoje, seu controle ainda é razoavelmente difícil em certos casos.

EXPLOSÕES CAUSADAS POR ELEVAÇÃO DA PRESSÃO

De acordo com a teoria dos gases, a pressão exercida por um gás é o resultado dos impactos das partículas (moléculas ou átomos) contra as paredes do recipiente que as contem.

Dessa forma, tem-se que a pressão é diretamente proporcional à energia das moléculas.

A pressão do vapor contido em uma caldeira é, portanto, função direta da quantidade de calor transmitida ao sistema água-vapor, uma vez que a energia cedida em forma de calor aumentará a energia das moléculas que constituem o vapor.

Dessa forma, entende-se que a pressão interna da caldeira depende fundamentalmente da atuação dos queimadores.

O queimador porem, não é o único responsável pela elevação da pressão no interior da caldeira, uma vez que o sistema de alimentação injeta água no interior da caldeira com pressão superior à pressão de operação.

É possível notar que, se a vazão de entrada de água for muito maior que a vazão de saída de vapor, além da subida do nível de água no interior da caldeira, incorrerá também o aumento da pressão interna.

Durante a operação normal da caldeira, a pressão é mantida dentro de seus limites pelos seguintes sistemas:

Sistema de modulação de chama

Esse sistema é constituído por um pressostato de modulação de chama, um servo-motor e um conjunto de “dampers”.

O pressostato possui um diafragma ou fole que se estende com o aumento da pressão e que aciona contatos emitindo sinais elétricos para o servo-motor.

Os movimentos do motor são transmitidos a um jogo de alavancas que movimentam lâminas adequadamente instaladas (“dampers”) para modificar a vazão de combustível e a vazão de ar, que, por sua vez, alimentam o queimador, obtendo, desta forma, a modulação da chama, ou seja, sua redução nos momentos de pressões elevadas e sua intensificação nos momentos de pressões baixas.

Sistema de pressão máxima

Esse é um dos sistemas de segurança das caldeiras e, como tal, age abruptamente.

É composto por um pressostato e uma válvula solenóide.

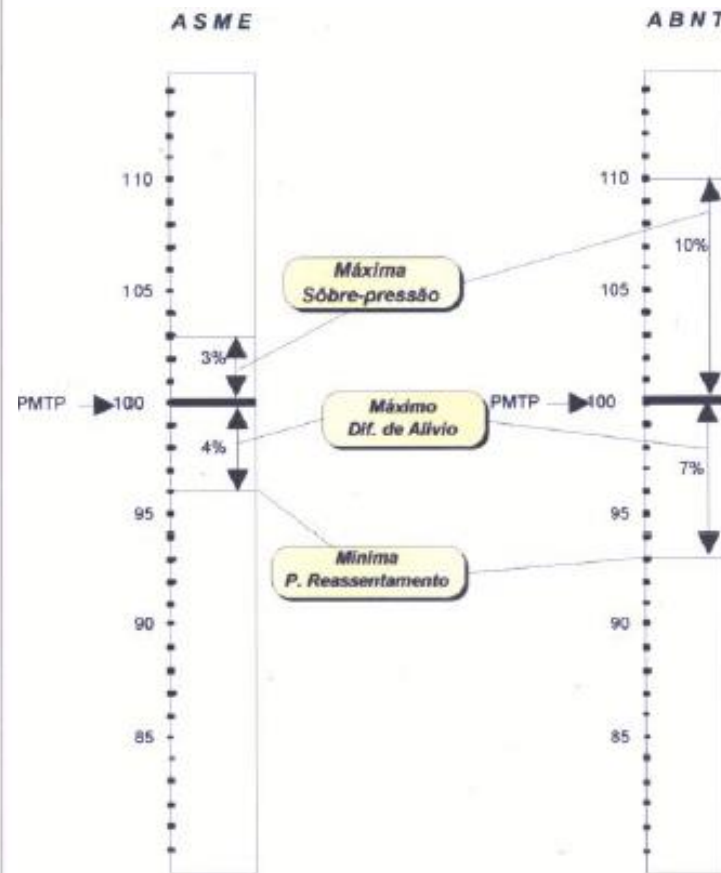
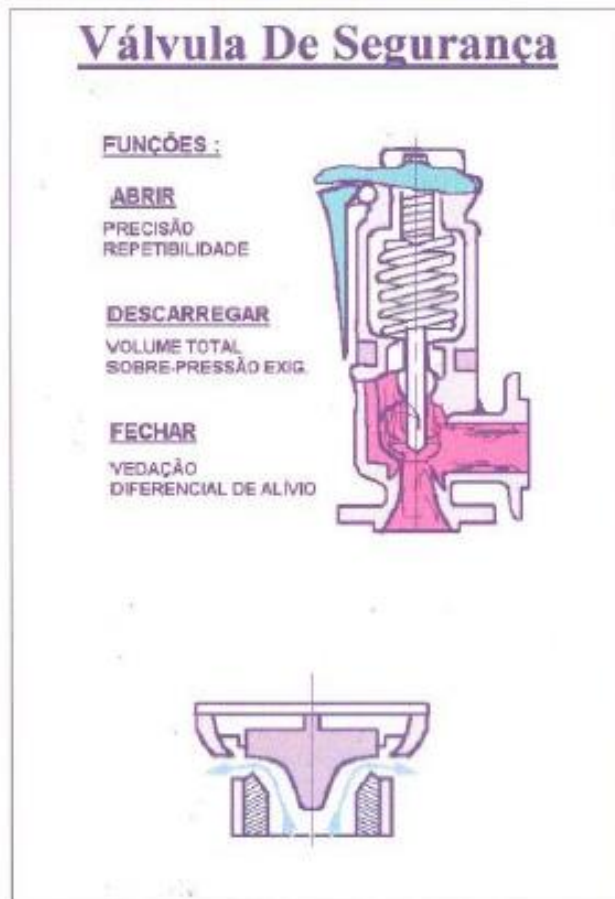
Quando o pressostato é pressionado, a alimentação elétrica da bobina da válvula solenóide é cortada, seu campo magnético é desfeito e, por gravidade, a haste ferro-magnética cai, fechando a válvula que dá passagem ao combustível para o queimador.

Quando a pressão normal se restabelece, o pressostato fecha novamente o circuito, a bobina é energizada e o campo magnético criado atrai a haste ferro-magnética, abrindo a válvula.

VÍDEO: VÁLVULA SOLENÓIDE

Válvula de segurança

As válvulas de segurança de caldeiras como dispositivo de proteção, tem a função de dar saída ao vapor quando a pressão ultrapassa a MPTA, fazendo diminuir a pressão interna.



Sistema manual.

Com base na indicação do manômetro, o operador aciona os diversos dispositivos da caldeira, tendo condições de interferir onde for necessário para manter a pressão interna da caldeira: nos queimadores, na alimentação ou mesmo na válvula de segurança, liberando vapor à atmosfera por meio do acionamento da alavanca da válvula.

Com todas essas possibilidades, conjugadas ou não, é de se esperar que as caldeiras tenham grande chance de ser operadas com segurança, porém, mesmo assim, há inúmeros casos de explosões causadas por falhas.

A possibilidade de falhas em pressostatos pode ser de natureza mecânica, como o bloqueio de sua comunicação com a caldeira ou a deterioração do diafragma ou de natureza elétrica, pelo colamento dos contatos.

Falhas nas válvulas solenóides oferecem risco quando impedem o bloqueio do combustível, ou seja, quando param na posição aberta.

Há possibilidades da ocorrência desse defeito, por falha mecânica, de fabricação ou pela instalação incorreta, fora da vertical, ou, de cabeça para baixo.

As válvulas de segurança, para funcionarem adequadamente, devem ser fabricadas em processo de rigoroso controle de qualidade, com molas testadas, dimensões calibradas, concentricidade dos elementos e vedações perfeitas, do contrário não fecham após o alívio da pressão, ou, o que é mais grave, não abrem no momento em que se necessita sua abertura.

É importante notar que, normalmente, a válvula de segurança funciona após o sistema de pressão máxima não ter funcionado; portanto, se a válvula de segurança não funcionar, a segurança do sistema estará fortemente comprometida, restando apenas a sistema manual como possível controle da situação.

Falhas no sistema manual são decorrentes de defeitos em instrumentos de indicação (manômetros e nível, principalmente), ou nos dispositivos de controle ou ou, ainda, de procedimentos inadequados por parte do operador.

EXPLOSÕES NO LADO DOS GASES

As explosões no lado dos gases de combustão possuem características peculiares uma vez que, são originadas por uma reação química – a combustão.

Trata-se de uma reação de oxidação específica, que além de ser exotérmica, se processa em um intervalo de tempo muito curto, da ordem de miléssegundos, cuja consequência é o aumento rápido e violento da pressão em um espaço restrito.

São freqüentes em caldeiras que trabalham com combustíveis gasosos ou líquidos.

As nevoas de líquidos inflamáveis ou de óleos combustíveis aquecidos tem comportamento semelhante a dispersões gasosas inflamáveis.

Quando em contato com o ar, formam uma mistura que entra em combustão instantânea, se houver uma pequena fonte de calor para a ignição.

As caldeiras aquatubulares, em face da complexa disposição do circuito dos gases, favorecem a existência de zonas mortas, onde podem ocorrer acúmulo de gases não queimados.

Essas explosões acontecem com freqüência na recolocação (manual) em marcha da caldeira, quando se promove a ignição com retardo, ou sem purga previa, condição em que a fornalha se encontra inundada com a mistura combustível-comburente.

Há casos também de explosões que ocorrem durante a operação da caldeira:

Falta de limpeza dos queimadores ou presença de água no combustível ou, ainda, carbonização do óleo no queimador podem levar à interrupção da alimentação de combustível.

Essa falha, associada ou não a falhas no sistema de alimentação de ar, pode causar a perda momentânea da chama; com isso a atmosfera da fornalha será enriquecida com a mistura e a explosão ocorrerá, deflagrada pelo sistema de ignição, ou por partes incandescentes da fornalha, ou, ainda, por outro queimador, no caso de a perda da chama ocorrer em um queimador, enquanto outros funcionam.

Há tipos de sopradores de fuligem que contribuem como causadores de explosões também no lado dos gases, uma vez que há possibilidade de a fuligem formar uma nuvem de poeira explosiva quando suficientemente misturada com o ar.

Daí a recomendação de que nunca se deve dar a partida em uma caldeira logo após o acionamento de sopradores de fuligem.

Existem “válvulas de alívio”, instaladas nos espelhos dianteiros de caldeiras flamotubulares que se mantêm fechadas por meio da pressão de molas durante o funcionamento normal da caldeira, e que abrem para fora, quando a pressão da fornalha supera a pressão exercida pelas molas.

São previstas para abrir às pressões das explosões no lado dos gases e dar alívio, minimizando seus efeitos;

Porém esse resultado nem sempre é alcançado, dada a violência com que as explosões ocorrem, fazendo voar até os espelhos, em certos casos.

Há casos também de pequenas explosões em que essas válvulas são lançadas fora, e como se localizam geralmente à altura do corpo ou da cabeça dos operadores, criam riscos adicionais.

RISCOS DE ACIDENTES DIVERSOS E RISCOS À SAÚDE

No trabalho rotineiro com caldeiras, os operadores são obrigados a executar uma série de tarefas que possuem riscos de acidentes inerentes, que podem, ainda, ser agravados por condições de insegurança peculiares a cada situação.

Entre esses riscos, é necessário ressaltar:

- Choques elétricos

Os ventiladores, os queimadores e as bombas de água ou de óleo combustível são os principais elementos de uma caldeira que funcionam com energia elétrica.

O manuseio desses equipamentos, bem como da instalação elétrica da casa da caldeira, requer cuidados para que o corpo humano ou parte dele não se torne parte de um circuito.

Quando pelo menos dois pontos de uma pessoa têm contato com potenciais elétricos diferentes, há possibilidade de a passagem de corrente elétrica, cujas conseqüências ocorrem em função da diferença de potencial, da intensidade da corrente, do tempo de duração, da região do corpo atingida, etc., podendo, portanto, variar desde uma simples contração muscular localizada até uma parada cardíaca por eletrocussão, ou mesmo a morte instantânea.

Queimaduras

A produção de vapor sob pressão ocorre em temperaturas superiores a 100 °C (temperatura de vaporização da água a pressão atmosférica).

Contatos com o vapor, portanto, produzem sérias queimaduras, uma vez que estão em jogo altas temperaturas e a possibilidade de lesionar grandes superfícies do corpo.

Além de queimaduras térmicas por contato com água, vapor, óleo aquecido, tubulações desprotegidas, etc., deve-se considerar, ainda, o risco de queimaduras por contato com produtos cáusticos, usualmente empregados para a neutralização do Ph da água de alimentação da caldeira, como o hidróxido de sódio, por exemplo, e outros produtos químicos..

Quedas

Na casa de caldeiras ou nas caldeiras instaladas ao tempo, há riscos consideráveis de quedas de mesmo nível, em razão de impregnações de óleo no piso, se o local de trabalho não for convenientemente limpo.

As quedas de níveis diferentes, por sua vez, representam maiores perigos, considerando-se que existem caldeiras de diversos tamanhos (atingindo até mesmo, dezenas de metros de altura) e que há necessidade de acesso do operador a diversos níveis, seja para a observação de visores de fornalha, de sistemas de alimentação, de válvulas, de instrumentos de controle, etc..

Os operadores de caldeiras geralmente estão também expostos a riscos à saúde e a agentes causadores de desconfortos.

Do ponto de vista ergonômico, as caldeiras têm evoluído muito nos últimos anos, hoje existem até mesmo caldeiras que possuem câmaras de vídeo para que o operador possa observar e exercer a distancia, e confortavelmente sentado a frete de um painel geral, o controle das fornalhas, do nível, dos sistemas de alimentação etc..

Porém, há que se considerar não serem essas, de modo geral, as condições mais freqüentemente encontradas.

O corpo de um operador de caldeiras, do ponto de vista de ergonomia, é solicitado por esforços muitas vezes desordenados e excessivos, localizada ou generalizadamente:

São visores de nível mal posicionados,
manômetros instalados em ângulos inadequados,
válvulas emperradas ou que possuem volantes exageradamente pequenos,
válvulas cuja ação deve ser comandada com observação simultânea de instrumentos de indicação, instalados à distancia, regulagens de chama que exigem operações interativas, etc..

A presença de ruído de baixa freqüência dos queimadores e de alta freqüência de vazamentos de vapor (acidentais ou propositalmente promovidos pelas válvulas de segurança) constitui um espectro sonoro peculiar e variável ao longo da jornada de trabalho.

Existem, disponíveis no mercado, silenciadores para queimadores e para válvulas de segurança, porém, suas dimensões e as condições de instalação que exigem, tem dificultado sua aceitação e, seu emprego ainda não é generalizado.

Desconforto térmico nas operações de caldeiras é muito freqüente e de fácil constatação, porem a sobrecarga térmica para ser identificada, exige a analise de cada caso em particular, sendo necessário para tanto, não só avaliações com termômetros de globo e de bulbo úmido, como também exames médicos e acompanhamentos individuais.

Há também o risco dos operadores terem os olhos expostos à radiação infravermelha em operações de regulagem de chama e em observações prolongadas de superfícies incandescentes.

Fumaças, gases e vapores expelidos pela chaminé, representam, em certas condições, riscos não só aos operadores, como também à comunidade.

Há registros de um caso ocorrido em um hospital da cidade de São Paulo, em que os gases de caldeira tiveram acesso às áreas de internação de pacientes, colocando-os em risco de intoxicação por monóxido de carbono.

Caldeiras movidas a carvão, lenha, bagaço de cana, leito fluidizado, biomassa e outras, oferecem ainda, riscos inerentes ao manuseio, armazenagem e processamento do combustível.

CONCLUSÕES E MEDIDAS DE SEGURANÇA PARA O CONTROLE DOS RISCOS

O risco de acidentes na operação de caldeiras é caracterizado por grande quantidade de variáveis, não só de operação, como também de fabricação e de conservação do equipamento.

A sintetização mais objetiva desses riscos é aquela que os contrapõe às medidas com as quais podem ser controlados, entendendo-se em suma, os riscos existem, quando a segurança da caldeira não é convenientemente imposta na operação ou em alguma das fases que a antecede.

De fato, a segurança da operação, independentemente do tamanho ou do modelo da caldeira, começa no projeto de sua construção.

O controle dos riscos é intrinsecamente considerado em normas técnicas específicas sobre materiais, procedimentos de fabricação, métodos de controle da qualidade, etc..

A construção das partes de uma caldeira e a sua montagem devem ser realizadas com atenção especial, visando a garantia da qualidade do equipamento.

Dessa forma, cada série de operações de fabricação deve ser sucedida de inspeções de controle de qualidade, que variam desde o exame visual até a radiografia das juntas soldadas.

A instrumentação deve ter características funcionais e qualidade adequada para que sejam fornecidas informações corretas aos sistemas de controle, e estes, devem ser devidamente dimensionados para que atuem com precisão sobre as variáveis de funcionamento da caldeira.

Hoje em dia, a gama de instrumentos de controle e os sistemas lógicos gerenciadores de informações e comandos, através de softwares e periféricos convencionais ou específicos para determinadas aplicações, permitem garantir que a segurança das caldeiras seja obtida com padrões elevados e confiáveis.

Os dispositivos de segurança requerem fabricação rigorosamente dentro das normas de controle de qualidade.

È prática comum que as válvulas de segurança sejam fabricadas sob controle de qualidade não só se seu fabricante, como também dos consumidores, sendo igualmente aconselhável o envolvimento de entidades neutras como participantes desse sistema de “Garantia da Qualidade”.

Quando não aplicados corretamente os princípios de manutenção preventiva e corretiva das caldeiras, e não seguem os mesmos rigores das normas de construção, os riscos de acidentes de operação são fortemente agravados.

Em face da obrigatoriedade legal e das recomendações exaradas pelas normas técnicas, como medida de controle de acidentes, as caldeiras devem ser inspecionadas, por engenheiros habilitados.

Essas inspeções, único método possível para a detecção de inúmeras causas de acidentes, devem ser realizadas pelo menos uma vez ao ano, e ainda, antes da entrada em funcionamento das caldeiras novas, após intervalos de inatividade e após a ocorrência de acidente ou de reparações de grande porte.

O tratamento da água é de fundamental importância para a operação segura das caldeiras.

É certo e seguro que a água, como é encontrada na natureza ou como é fornecida em redes urbanas de abastecimento, ainda que “potável”, não é normalmente, adequada para a alimentação de caldeiras .

Os “sais minerais” indispensáveis à água que bebemos, podem levar caldeiras à explosão. Projetos de tratamento de água devem, portanto, ser concebidos e implantados para que os agentes incrustantes, corrosivos, fragilizantes e outros sejam controlados com o rigor necessário ao funcionamento da caldeira.

Para finalizar, é necessário ressaltar a importância do elemento humano na segurança de operações de caldeiras, não só como responsável pelo projeto, pelas especificações de materiais na construção de caldeira, pela escolha de instrumentos, mas também na condução do equipamento, ou seja, na operação propriamente dita.

É fundamental que os operadores e seus supervisores sejam treinados (por força da própria NR-13) para desenvolvimento de suas atividades rotineiras, porém a habilidade, a pratica, a harmonia Homem-Máquina tem sido considerados como os fatores mais importantes nessa questão.

Os riscos de acidentes na operação de caldeiras, portanto, são controláveis pela pratica da técnica correta em todas essas fases: projeto, construção, controle de qualidade, operação, manutenção e inspeção.

6. LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Carga horária: **4 horas**

6.1 - Normas Regulamentadoras

6.2 - Norma Regulamentadora 13 - NR 13

13.1 Caldeiras a Vapor

13.1.1 **Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia**, excetuando-se os refervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo.

13.1.2 Para efeito desta NR, considera-se "**Profissional Habilitado**" **aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro** nas atividades referentes a **projeto de construção, acompanhamento operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de pressão**, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País.

13.1.3 Pressão Máxima de Trabalho Permitida - PMTP ou Pressão Máxima de Trabalho Admissível

PMTA é o maior valor de pressão compatível com o código de projeto, a resistência dos materiais utilizados, as dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais.

13.1.4 Constitui risco grave e iminente a **falta** de qualquer um dos seguintes itens:

- a) **Válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a PMTA;**
- b) **Instrumento que indique a pressão do vapor acumulado;**
- c) **Injetor ou outro meio de alimentação de água, independente do sistema principal, em caldeiras combustível sólido;**
- d) **Sistema de drenagem rápida de água, em caldeiras de recuperação de álcalis;**
- e) **Sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.**

13.1.5 Toda caldeira deve ter afixada em seu corpo, **em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo,** as seguintes informações:

- a) Fabricante;
- b) Número de ordem dado pelo fabricante da caldeira;
- c) Ano de fabricação;
- d) Pressão máxima de trabalho admissível;
- e) Pressão de teste hidrostático;
- f) Capacidade de produção de vapor;
- g) Área de superfície de aquecimento;
- h) Código de projeto e ano de edição.

13.1.5.1 Além da placa de identificação devem constar, em local visível, a categoria da caldeira, conforme definida no subitem 13.1.9 desta NR, e seu número ou código de identificação.

13.1.6 Toda caldeira deve possuir, no estabelecimento onde estive instalada, a seguinte documentação, devidamente atualizada:

a) "Prontuário da Caldeira", contendo as seguintes informações:

-Código de projeto e ano de edição;

-Especificação dos materiais;

-Procedimentos utilizados na fabricação, montagem, inspeção final e determinação da PMTA;

-Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira;

-Características funcionais;

-Dados dos dispositivos de segurança;

-Ano de fabricação;

-Categoria da caldeira;

b) "Registro de Segurança", em conformidade com o subitem 13.1.7;

c) "Projeto de Instalação", em conformidade com o item 13.2;

d) "Projetos de Alteração ou Reparo", em conformidade com os subitens 13.4.2 e 13.4.3;

e) "Relatórios de Inspeção", em conformidade com os subitens 13.5.11, 13.5.12 e 13.5.13

13.1.6.1 Quando inexistente ou extraviado, o "Prontuário da Caldeira" deve ser reconstituído pelo proprietário, com responsabilidade técnica do fabricante ou de "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, sendo imprescindível a reconstituição das características funcionais, dos dados dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para determinação da PMTA.

13.1.6.2 Quando a caldeira for vendida ou transferida de estabelecimento, os documentos mencionados nas alíneas "a", "d", e "e" do subitem 13.1.6 devem acompanhá-la.

- a) Prontuário da Caldeira,
- b) Projetos de Alteração ou Reparo,
- c) Projetos de Alteração ou Reparo,

13.1.6.3 O proprietário da caldeira deverá apresentar, quando exigido pela autoridade competente do Órgão Regional do Ministério do Trabalho, a documentação mencionada no subitem 13.1.6:

- a) Prontuário da Caldeira;
- b) Registro de Segurança;
- c) Projeto de Instalação,
- d) Projetos de Alteração ou Reparo;
- e) Relatórios de Inspeção;

13.1.7 O "Registro de Segurança" deve ser constituído de livro próprio, com páginas numeradas, ou outro sistema equivalente onde serão registradas:

- a) todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança da caldeira;
- b) as ocorrências de inspeções de segurança periódicas e extraordinárias, devendo constar o nome legível e assinatura de "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, e de operador de caldeira presente na ocasião da inspeção.

13.1.7.1 Caso a caldeira venha a ser considerada inadequada para uso, o "Registro de Segurança" deve conter tal informação e receber encerramento formal.

13.1.8 A documentação referida no subitem 13.1.6 deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores (Prontuário da Caldeira, Registro de Segurança, Projeto de Instalação, Projetos de Alteração ou Reparo e Relatórios de Inspeção) , do pessoal de manutenção, de inspeção e das representações dos trabalhadores e do empregador na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA, devendo o proprietário assegurar pleno acesso a essa documentação.

13.1.9 Para os propósitos desta NR, as caldeiras são classificadas em 3 categorias, conforme segue:

- a) caldeiras da **categoria A** são aquelas cuja **pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 Kgf/cm² ou 284,27 psi);**
- b) caldeiras da **categoria “B”** são aquelas cuja **pressão de operação é igual ou inferior a 588 KPa (5.99 Kgf/cm² ou 85,28 psi) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros;**

13.2 Instalação de Caldeiras a Vapor

13.2.1 A autoria do "**Projeto de Instalação**" de caldeiras a vapor, no que concerne ao atendimento desta NR, **é de responsabilidade de "Profissional Habilitado"**, conforme citado no subitem 13.1.2, e deve obedecer aos aspectos de segurança, saúde e meio ambiente previstos nas Normas Regulamentadoras, convenções e disposições legais aplicáveis.

13.2.2 As caldeiras de qualquer estabelecimento **devem ser instaladas em "Casa de Caldeiras" ou em local específico para tal fim, denominado "Área de Caldeiras"**.

13.2.3 Quando a caldeira for instalada em ambiente aberto, a "Área de Caldeiras" deve satisfazer aos seguintes requisitos:

a) estar afastada de, no mínimo, 3 (três) metros de:

-outras instalações do estabelecimento;

-de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para partida com até 2000 (dois mil) litros de capacidade;

-do limite de propriedade de terceiros;

-do limite com as vias públicas;

b) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;

- c) dispor de acesso fácil e seguro, necessário à operação e à manutenção da caldeira, sendo que, para guarda-corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;**
- d) ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação atendendo às normas ambientais vigentes;**
- e) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes (mínimo 200 LUX);-**
- f) ter sistema de iluminação de emergência caso operar à noite.**

13.2.4 Quando a caldeira estiver instalada em ambiente fechado, a "Casa de Caldeiras" deve satisfazer aos seguintes requisitos:

a) constituir prédio separado, construído de material resistente ao fogo,

O prédio poderá ter apenas uma parede adjacente a outras instalações do estabelecimento, porém com as outras paredes afastadas de, no mínimo, 3 (três) metros de outras instalações, do limite de propriedade de terceiros, do limite com as vias públicas e de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para partida com até 2.000 (dois mil) litros de capacidade;

b) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;

c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;

d) dispor de sensor para detecção de vazamento de gás quando se tratar de caldeira a combustível gasoso.

e) não ser utilizada para qualquer outra finalidade;

- f) dispor de acesso fácil e seguro, necessário à operação e à manutenção da caldeira, sendo que, para guarda-corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;**
- g) ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão para fora da área de operação, atendendo às normas ambientais vigentes;**
- h) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes e ter sistema de iluminação de emergência.**

13.2.5 Constitui risco grave e iminente o não-atendimento aos seguintes requisitos:

a) para todas as caldeiras instaladas em ambiente aberto, as alíneas "b" , "d" e "f" do subitem 13.2.3 desta NR;

Ítems "b" , "d" e "f" do subitem 13.2.3 :

- b. A falta de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;**
- d. A falta de sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação atendendo às normas ambientais vigentes;**
- f. Ter sistema de iluminação de emergência caso operar à noite.**

b) para as caldeiras da categoria "A" instaladas em ambientes fechados, as alíneas "a", "b", "c", "d", "e", "g" e "h" do subitem 13.2.4 desta NR;

Alíneas "a", "b", "c", "d", "e", "g" e "h" do subitem 13.2.4:

- a. Constituir prédio separado, construído de material resistente ao fogo, (O prédio poderá ter apenas uma parede adjacente a outras instalações do estabelecimento, porém com as outras paredes afastadas de, no mínimo, 3 (três) metros de outras instalações, do limite de propriedade de terceiros, do limite com as vias públicas e de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para partida com até 2.000 (dois mil) litros de capacidade);**
- b. Dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;**
- c. Dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;**
- d. Dispor de sensor para detecção de vazamento de gás quando se tratar de caldeira a combustível gasoso.**
- e. Não ser utilizada para qualquer outra finalidade;**
- g. Ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão para fora da área de operação, atendendo às normas ambientais vigentes;**
- h. Dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes e ter sistema de iluminação de emergência.**

c) para as caldeiras das categorias “B” e “C” instaladas em ambientes fechados, as alíneas “b”, “c”, “d”, “e”, “g” e “h” do subitem 13.2.4 desta NR.

- ❖ **Caldeiras da categoria “C”** são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 KPa (5.99 Kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros;
- ❖ **Caldeiras da categoria “B”** são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

Alíneas “b”, “c”, “d”, “e”, “g” e “h” do subitem 13.2.4

- b) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;**
- c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;**
- d) dispor de sensor para detecção de vazamento de gás quando se tratar de caldeira a combustível gasoso.**
- e) não ser utilizada para qualquer outra finalidade;**
- g) ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão para fora da área de operação, atendendo às normas ambientais vigentes;**
- h) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes e ter sistema de iluminação de emergência.**

13.2.6 Quando o estabelecimento não puder atender ao disposto nos subitens 13.2.3 ou 13.2.4, deverá ser elaborado "Projeto Alternativo de Instalação", com medidas complementares de segurança que permitam a atenuação dos riscos.

13.2.3 Quando a caldeira for instalada em ambiente aberto, a "Área de Caldeiras" deve satisfazer aos seguintes requisitos:

13.2.4 Quando a caldeira estiver instalada em ambiente fechado, a "Casa de Caldeiras" deve satisfazer aos seguintes requisitos:

13.2.6.1 O "**Projeto Alternativo de Instalação**" deve ser apresentado pelo proprietário da caldeira para obtenção de acordo com a representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento.

13.2.6.2 Quando não houver acordo, conforme previsto no subitem 13.2.6.1, a intermediação do órgão regional do MTb poderá ser solicitada por qualquer uma das partes, e, persistindo o impasse, a decisão caberá a esse órgão.

13.2.7 As caldeiras classificadas na *categoria “A” deverão possuir painel de instrumentos instalados em sala de controle, construída segundo o que estabelecem as Normas Regulamentadoras aplicáveis.

*Caldeiras da **categoria A** são aquelas cuja **pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 Kgf/cm² ou 284,27 psi);**

13.3 Segurança na Operação de Caldeiras.

13.3.1 Toda caldeira deve **possuir "Manual de Operação" atualizado, em língua portuguesa, em local de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo:**

- a) Procedimentos de partidas e paradas;
- b) Procedimentos e parâmetros operacionais de rotina;
- c) Procedimentos para situações de emergência;
- d) Procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente.

13.3.2 Os **instrumentos e controles** de caldeiras devem ser mantidos **calibrados e em boas condições operacionais, constituindo condição de risco grave e iminente o emprego de artifícios que neutralizem sistemas de controle e segurança da caldeira.**

13.3.3 **A qualidade da água deve ser controlada e tratamentos devem ser implementados, quando necessários para compatibilizar suas propriedades físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira.**

13.3.4 Toda caldeira a vapor **deve estar obrigatoriamente sob operação e controle de operador de caldeira, sendo que o não atendimento a esta exigência caracteriza condição de risco grave e iminente.**

13.3.5 Para efeito desta NR **será considerado operador de caldeira aquele que satisfizer pelo menos uma das seguintes condições:**

- a) Possuir certificado de "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" e comprovação de estágio prático conforme subitem 13.3.11;
- b) Possuir certificado de "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" previsto na NR 13 aprovada pela Portaria 02, de 08/05/84;
- c) Possuir comprovação de pelo menos 3 (três) anos de experiência nessa atividade, até 08 de maio de 1984.

13.3.6 O pré-requisito mínimo para participação como aluno, no "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" **é o atestado de conclusão do 1º grau.**

13.3.7 O "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" deve, obrigatoriamente:

- a) Ser supervisionado tecnicamente por "Profissional Habilitado" citado no subitem 13.1.2;**
- b) Ser ministrado por profissionais capacitados para esse fim;**
- c) Obedecer, no mínimo, ao currículo proposto no Anexo I-A desta NR.**

13.3.8 Os responsáveis pela promoção do "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" estarão sujeitos ao impedimento de ministrar novos cursos, bem como a outras sanções legais cabíveis, no caso de inobservância do disposto no subitem 13.3.7.

13.3.9 Todo operador de caldeira deve cumprir um estágio prático, na operação da própria caldeira que irá operar, o qual deverá ser supervisionado, documentado e ter duração mínima::

- a) Caldeiras da categoria A: 80 (oitenta) horas;**
- b) Caldeiras da categoria B: 60 (sessenta) horas;**
- c) Caldeiras da categoria C: 40 (quarenta) horas.**

Caldeiras da **categoria "B" são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.**

13.3.7 O "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" deve, obrigatoriamente:

- a) Ser supervisionado tecnicamente por "Profissional Habilitado" citado no subitem 13.1.2;**
- b) Ser ministrado por profissionais capacitados para esse fim;**
- c) Obedecer, no mínimo, ao currículo proposto no Anexo I-A desta NR.**

13.3.8 Os responsáveis pela promoção do "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" estarão sujeitos ao impedimento de ministrar novos cursos, bem como a outras sanções legais cabíveis, no caso de inobservância do disposto no subitem 13.3.7.

13.3.9 Todo operador de caldeira deve cumprir um estágio prático, na operação da própria caldeira que irá operar, o qual deverá ser supervisionado, documentado e ter duração mínima::

- a) Caldeiras da categoria A: 80 (oitenta) horas;**
- b) Caldeiras da categoria B: 60 (sessenta) horas;**

Caldeiras da categoria A Pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 Kgf/cm² ou 284,27 psi);
Caldeiras da categoria "B" são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

13.3.8 Os responsáveis pela promoção do "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" estarão sujeitos ao impedimento de ministrar novos cursos, bem como a outras sanções legais cabíveis, no caso de inobservância do disposto no subitem 13.3.7.

13.3.9 Todo operador de caldeira deve cumprir um estágio prático, na operação da própria caldeira que irá operar, o qual deverá ser supervisionado, documentado e ter duração mínima de:

- a) Caldeiras da categoria A: 80 (oitenta) horas;**
- b) Caldeiras da categoria B: 60 (sessenta) horas;**

Caldeiras da **categoria A** **Pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 Kgf/cm² ou 284,27 psi);**

Caldeiras da **categoria "C"** - **Pressão de operação é igual ou inferior a 588 KPa (5.99 Kgf/cm² ou 85,28 psi) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros;**

Caldeiras da **categoria "B"** **são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.**

13.3.10 O estabelecimento onde for realizado o estágio prático supervisionado, deve informar previamente à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento:

- a) período de realização do estágio;
- b) entidade, empresa ou profissional responsável pelo "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras";
- c) relação dos participantes do estágio.

13.3.11 A reciclagem de operadores deve ser permanente, por meio de constantes informações das condições físicas e operacionais dos equipamentos, atualização técnica, informações de segurança, participação em cursos, palestras e eventos pertinentes.

13.3.12 Constitui condição de risco grave e iminente a operação de qualquer caldeira em condições diferentes das previstas no projeto original, sem que:

- a) seja reprojetaada levando em consideração todas as variáveis envolvidas na nova condição de operação;
- b) sejam adotados todos os procedimentos de segurança decorrentes de sua nova classificação no que se refere a instalação, operação, manutenção e inspeção.
- c) relação dos participantes do estágio.

13.4 Segurança na Manutenção de Caldeiras

13.4.1 Todos os reparos ou alterações em caldeiras devem respeitar o respectivo código do projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a:

- a) materiais;
- b) procedimentos de execução;
- c) procedimentos de controle de qualidade;
- d) qualificação e certificação de pessoal.

13.4.1.1 Quando não for conhecido o código do projeto de construção, deve ser respeitada a concepção original da caldeira, com procedimento de controle do maior rigor prescrito nos códigos pertinentes.

13.4.1.2 Nas caldeiras de categorias "A" e "B", a critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, podem ser utilizadas tecnologia de cálculo ou procedimentos mais avançados, em substituição aos previstos pelos códigos de projeto.

13.4.2 "Projetos de Alteração ou Reparo" devem ser concebidos previamente nas seguintes situações:

- a) sempre que as condições de projeto forem modificadas;
- b) sempre que forem realizados reparos que possam comprometer a segurança.

13.4.3 O "Projeto de Alteração ou Reparo" deve:

- a) ser concebido ou aprovado por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2;
- b) determinar materiais, procedimentos de execução, controle de qualidade e qualificação de pessoal.

13.4.4 Todas as intervenções que exijam mandrilamento ou soldagem em partes que operem sob pressão devem ser seguidas de teste hidrostático, com características definidas pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2.

13.4.5 Os sistemas de controle e segurança da caldeira devem ser submetidos à manutenção preventiva ou preditiva.

13.5 Inspeção de Segurança de Caldeiras

13.5.1 As caldeiras devem ser submetidas a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária, sendo considerado condição de risco grave e iminente o não atendimento aos prazos estabelecidos nesta NR.

13.5.2 A inspeção de segurança inicial deve ser feita em caldeiras novas, antes da entrada em funcionamento, no local de operação, devendo compreender exames interno e externo, teste hidrostático e de acumulação.

13.5.3 A inspeção de segurança periódica, constituída por exames interno e externo, deve ser executada nos seguintes prazos máximos:

- a) 12 (doze) meses para caldeiras das categorias “A”, “B” ;
- b) 12 (doze) meses para caldeiras de recuperação de álcalis de qualquer categoria;
- c) 24 (vinte e quatro) meses para caldeiras da categoria “A”, desde que aos 12 (doze) meses sejam testadas as pressões de abertura das válvulas de segurança;
- d) 40 (quarenta) meses para caldeiras especiais conforme definido no item 13.5.5.

13.5.4 Estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme estabelecido no Anexo II, podem estender os períodos entre inspeções de segurança, respeitando os seguintes prazos máximos:

- a) 18 meses para caldeiras de recuperação de álcalis e as das categorias “B” e “C
- b) 30 (trinta) meses para caldeiras da categoria “A”.

13.5.5 As caldeiras que **operam de forma contínua e que utilizam gases ou resíduos das unidades de processo, como combustível principal** para aproveitamento de calor ou para fins de controle ambiental podem ser consideradas especiais quando todas as condições seguintes forem satisfeitas:

- a) estiverem instaladas em estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos" citado no Anexo II;
- b) tenham testados a cada 12 (doze) meses o sistema de intertravamento e a pressão de abertura de cada válvula de segurança;
- c) não apresentem variações inesperadas na temperatura de saída dos gases e do vapor durante a operação;
- d) exista análise e controle periódico da qualidade da água;
- e) exista controle de deterioração dos materiais que compõem as principais partes da caldeira;

f) seja homologada como classe especial mediante:

- acordo entre a representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento e o empregador;
- intermediação do órgão regional do MTb, solicitada por qualquer uma das partes quando não houver acordo;
- decisão do órgão regional do MTb quando persistir o impasse.

13.5.6 Ao completar 25 (vinte e cinco) anos de uso, na sua inspeção subsequente, as caldeiras devem ser submetidas a rigorosa avaliação de integridade para determinar a sua vida remanescente e novos prazos máximos para inspeção, caso ainda estejam em condições de uso.

13.5.6.1 Nos estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", citado no Anexo II, o limite de 25 (vinte e cinco) anos pode ser alterado em função do acompanhamento das condições da caldeira, efetuado pelo referido órgão.

13.5.7 As válvulas de segurança instaladas em caldeiras devem ser inspecionadas periodicamente conforme segue:

- a) pelo menos uma vez por mês, mediante acionamento manual da alavanca, em operação para caldeiras das categorias.
- b) desmontando, inspecionando e testando em bancada as válvulas flangeadas e, no campo, as válvulas soldadas, recalibrando-as numa frequência compatível com a experiência operacional da mesma, porém respeitando-se como limite máximo o período de inspeção estabelecido no subitem 13.5.3 ou 13.5.4, se aplicável para caldeiras de categorias "A" e "B".

13.5.8 Adicionalmente aos testes prescritos no subitem 13.5.7, **as válvulas de segurança instaladas em caldeiras deverão ser submetidas a testes de acumulação**, nas seguintes oportunidades:

- a) na inspeção inicial da caldeira;
- b) quando forem modificadas ou tiverem sofrido reformas significativas;
- c) quando houver modificação nos parâmetros operacionais da caldeira ou variação na PMTA;
- d) quando houver modificação na sua tubulação de admissão ou descarga.

13.5.9 A inspeção de segurança extraordinária deve ser feita nas seguintes oportunidades:

- a) sempre que a caldeira for danificada por acidente ou outra ocorrência capaz de comprometer sua segurança;
- b) quando a caldeira for submetida à alteração ou reparo importante capaz de alterar suas condições de segurança;
- c) antes de a caldeira ser recolocada em funcionamento, quando permanecer inativa por mais de 6 (seis) meses;
- d) quando houver mudança de local de instalação da caldeira.

13.5.10 A inspeção de segurança deve ser realizada por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, ou por "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", citado no Anexo II.

13.5.11 Inspeccionada a caldeira, deve ser emitido "Relatório de Inspeção", que passa a fazer parte da sua documentação.

13.5.12 Uma cópia do "Relatório de Inspeção" deve ser encaminhada pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, num prazo máximo de 30 (trinta) dias, a contar do término da inspeção, à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento.

13.5.13 O "Relatório de Inspeção", mencionado no subitem 13.5.11, deve conter no mínimo:

- a) dados constantes na placa de identificação da caldeira;
- b) categoria da caldeira;
- c) tipo da caldeira;
- d) tipo de inspeção executada;
- e) data de início e término da inspeção;
- f) descrição das inspeções e testes executados;
- g) resultado das inspeções e providências;
- h) relação dos itens desta NR ou de outras exigências legais que não estão sendo atendidas;
- i) conclusões;
- j) recomendações e providências necessárias;
- k) data prevista para a nova inspeção da caldeira;
- l) nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2 e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção.

13.5.14 Sempre que os resultados da inspeção determinarem alterações dos dados da placa de identificação, a mesma deve ser atualizada.

13.6 Vasos de Pressão - Disposições Gerais

13.6.1 Vasos de pressão são **equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa.**

13.6.1.1 O campo de aplicação desta NR, no que se refere a vasos de pressão, está definido no Anexo III.

13.6.1.2 Os vasos de pressão abrangidos por esta NR estão classificados em categorias de acordo com o Anexo IV.

13.6.2 Constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens:

- a) Válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à PMTA, instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui;**
- b) Dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso;**
- c) instrumento que indique a pressão de operação.**

13.6.3 Todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Fabricante;**
- b) Número de identificação;**
- c) Ano de fabricação;**
- d) Pressão máxima de trabalho admissível;**
- e) Pressão de teste hidrostático;**
- f) Código de projeto e ano de edição.**

13.6.3 Todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- a) Fabricante;
- b) Número de identificação;
- c) Ano de fabricação;
- d) Pressão máxima de trabalho admissível;
- e) Pressão de teste hidrostático;
- f) Código de projeto e ano de edição.

13.6.3.1 Além da placa de identificação, deverão constar, em local visível, a categoria do vaso, conforme Anexo IV, e seu número ou código de identificação.

13.6.4 Todo vaso de pressão deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalado, a seguinte documentação devidamente atualizada:

a) "Prontuário do Vaso de Pressão" a ser fornecido pelo fabricante, contendo as seguintes informações:

- código de projeto e ano de edição;
- especificação dos materiais;
- procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final e determinação da PMTA;
- conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil;
- características funcionais;
- dados dos dispositivos de segurança;
- ano de fabricação;
- categoria do vaso;

b) "Registro de Segurança" em conformidade com o subitem 13.6.5;

c) "Projeto de Instalação" em conformidade com o item 13.7;

d) "Projeto de Alteração ou Reparo" em conformidade com os subitens 13.9.2 e 13.9.3;

e) "Relatórios de Inspeção" em conformidade com o subitem 13.10.8.

13.6.4.1 Quando inexistente ou extraviado, o "Prontuário do Vaso de Pressão" deve ser reconstituído pelo proprietário com responsabilidade técnica do fabricante ou de "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, sendo imprescindível a reconstituição das características funcionais, dos dados dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para determinação da PMTA.

13.6.4.2 O proprietário de vaso de pressão deverá apresentar, quando exigida pela autoridade competente do órgão regional do Ministério do Trabalho, a documentação mencionada no subitem 13.6.4.

13.6.5 O "Registro de Segurança" deve ser constituído por livro de páginas numeradas, pastas ou sistema informatizado ou não com confiabilidade equivalente onde serão registradas:

- a) todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança dos vasos;**
- b) as ocorrências de inspeção de segurança.**

13.6.6 A documentação referida no subitem 13.6.4 deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores do pessoal de manutenção, de inspeção e das representações dos trabalhadores e do empregador na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA, devendo o proprietário assegurar pleno acesso a essa documentação inclusive à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento, quando formalmente solicitado.

13.7 Instalação de Vasos de Pressão

13.7.1 Todo vaso de pressão deve ser instalado de modo **que todos os drenos, respiros, bocas de visita e indicadores de nível, pressão e temperatura, quando existentes, sejam facilmente acessíveis.**

13.7.2 Quando os vasos de pressão forem instalados em ambientes fechados, a instalação deve satisfazer os seguintes requisitos:

- a) **dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;**
- b) **dispor de acesso fácil e seguro para as atividades de manutenção, operação e inspeção, sendo que, para guarda corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;**
- c) **dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;**
- d) **dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes (200 LUX);**
- e) **possuir sistema de iluminação de emergência.**

13.7.3 Quando o vaso de pressão for instalado em ambiente aberto, a instalação deve satisfazer as alíneas "a", "b", "d" e "e" do subitem 13.7.2.

13.7.4 Constitui risco grave e iminente o não atendimento às seguintes alíneas do subitem 13.7.2:

- "a", "c" "d" e "e" para vasos instalados em ambientes fechados; - "a" para vasos instalados em ambientes abertos;

- "e" para vasos instalados em ambientes abertos e que operem à noite.

- 13.7.2 Quando os vasos de pressão forem instalados em ambientes fechados, a instalação deve satisfazer os seguintes requisitos:

- a) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;**
- b) dispor de acesso fácil e seguro para as atividades de manutenção, operação e inspeção, sendo que, para guarda corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;**
- c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;**
- d) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes (200 LUX);**
- e) possuir sistema de iluminação de emergência.**

13.7.4 Constitui risco grave e iminente o não atendimento às seguintes alíneas do subitem 13.7.2:

- "a", "c" "d" e "e" para vasos instalados em ambientes fechados; - "a" para vasos instalados em ambientes abertos;

- "e" para vasos instalados em ambientes abertos e que operem à noite.

- **13.7.2 Quando os vasos de pressão forem instalados em ambientes fechados, a instalação deve satisfazer os seguintes requisitos:**

- a) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;
- b) dispor de acesso fácil e seguro para as atividades de manutenção, operação e inspeção, sendo que, para guarda corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;
- c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;
- d) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes (200 LUX);
- e) possuir sistema de iluminação de emergência.

13.7.5 Quando o estabelecimento não puder atender ao disposto no subitem 13.7.2 deve ser elaborado "Projeto Alternativo de Instalação" com medidas complementares de segurança que permitam a atenuação dos riscos.

13.7.5.1 O "Projeto Alternativo de Instalação" deve ser apresentado pelo proprietário do vaso de pressão para obtenção de acordo com a representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento.

13.7.5.2 Quando não houver acordo, conforme previsto no subitem 13.7.5.1, a intermediação do órgão regional do MTb poderá ser solicitada por qualquer uma das partes e, persistindo o impasse, a decisão caberá a esse órgão.

13.7.6 A autoria do "Projeto de Instalação" de vasos de pressão enquadrados nas categorias "I", "II" e "III", conforme Anexo IV, no que concerne ao atendimento desta NR, é de responsabilidade de "Profissional Habilitado", conforme citado no subitem 13.1.2, e deve obedecer aos aspectos de segurança, saúde e meio ambiente previstos nas Normas Regulamentadoras, convenções e disposições legais aplicáveis.

13.7.7 O "Projeto de Instalação" deve conter pelo menos a planta baixa do estabelecimento, com o posicionamento e a categoria de cada vaso e das instalações de segurança.

CATEGORIAS DE VASOS DE PRESSÃO

CLASSE DE FLUIDO	GRUPO DE POTENCIAL DE RISCO				
	1 P.V ≥ 100	2 P.V < 100 P.V ≥ 30	3 P.V < 30 P.V ≥ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V ≥ 1	5 P.V < 1
	CATEGORIAS				
"A" - Fluido inflamável, combustível com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno <i>(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)</i>	I	I	II	III	III
"B" - Combustível com temperatura menor que 200 °C - Tóxico com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
"C" - Vapor de água - Gases asfixiantes simples - Ar comprimido	I	II	III	IV	V
"D" - Outro Fluido <i>(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)</i>	II	III	IV	V	V

Notas:

- a) Considerar volume em m³ e pressão em MPa;
- b) Considerar 1 MPa correspondente à 10,197 Kgf/cm².

13.8 Segurança na Operação de Vasos de Pressão

13.8.1 Todo vaso de pressão enquadrado nas categorias “I” ou “II” deve possuir manual de operação próprio ou instruções de operação contidas no manual de operação de unidade onde estiver instalado, em língua portuguesa e de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo:

- a) procedimentos de partidas e paradas;
- b) procedimentos e parâmetros operacionais de rotina;
- c) procedimentos para situações de emergência;
- d) procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente.

13.8.2 Os instrumentos e controles de vasos de pressão devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais.

13.8.2.1 Constitui condição de risco grave e iminente o emprego de artifícios que neutralizem seus sistemas de controle e segurança.

13.8.3 A operação de unidades que possuam vasos de pressão de categorias "I" ou "II" deve ser efetuada por profissional com "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processos", sendo que o não atendimento a esta exigência caracteriza condição de risco grave e iminente.

13.8.4 Para efeito desta NR será considerado profissional com "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" aquele que satisfizer uma das seguintes condições:

- a) possuir certificado de "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" expedido por instituição competente para o treinamento;
- b) possuir experiência comprovada na operação de vasos de pressão das categorias "I" ou "II" de pelo menos 2 (dois) anos antes da vigência desta NR.

13.8.5 O pré-requisito mínimo para participação, como aluno, no "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" é o atestado de conclusão do 1º grau.

13.8.6 O "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" deve obrigatoriamente:

- a) ser supervisionado tecnicamente por "Profissional Habilitado" citado no subitem 13.1.2;
- b) ser ministrado por profissionais capacitados para esse fim;
- c) obedecer, no mínimo, ao currículo proposto no Anexo I-B desta NR.

13.8.7 Os responsáveis pela promoção do "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" estarão sujeitos ao impedimento de ministrar novos cursos, bem como a outras sanções legais cabíveis, no caso de inobservância do disposto no subitem 13.8.6.

13.8.8 Todo profissional com "Treinamento de Segurança na Operação de Unidade de Processo" deve cumprir estágio prático, supervisionado, na operação de vasos de pressão com as seguintes durações mínimas:

- a) 300 (trezentas) horas para vasos de categorias "I" ou "II";
- b) 100 (cem) horas para vasos de categorias "III", "IV" ou "V".

13.8.9 O estabelecimento onde for realizado o estágio prático supervisionado deve informar previamente à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento:

- a) período de realização do estágio;
- b) entidade, empresa ou profissional responsável pelo "Treinamento de Segurança na Operação de Unidade de Processo";
- c) relação dos participantes do estágio.

13.8.10 A reciclagem de operadores deve ser permanente por meio de constantes informações das condições físicas e operacionais dos equipamentos, atualização técnica, informações de segurança, participação em cursos, palestras e eventos pertinentes.

13.8.11 Constitui condição de risco grave e iminente a operação de qualquer vaso de pressão em condições diferentes das previstas no projeto original, sem que:

- a) seja reprojeto levando em consideração todas as variáveis envolvidas na nova condição de operação;
- b) sejam adotados todos os procedimentos de segurança decorrentes de sua nova classificação no que se refere à instalação, operação, manutenção e inspeção.

13.9 Segurança na Manutenção de Vasos de Pressão

13.9.1 Todos os reparos ou alterações em vasos de pressão devem respeitar o respectivo código de projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a:

- a) materiais;
- b) procedimentos de execução;
- c) procedimentos de controle de qualidade;
- d) qualificação e certificação de pessoal.

13.9.1.1 Quando não for conhecido o código do projeto de construção, deverá ser respeitada a concepção original do vaso, empregando-se procedimentos de controle do maior rigor, prescritos pelos códigos pertinentes.

13.9.1.2 A critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, podem ser utilizadas tecnologias de cálculo ou procedimentos mais avançados, em substituição aos previstos pelos códigos de projeto.

13.9.2 "Projetos de Alteração ou Reparo" devem ser concebidos previamente nas seguintes situações:

- a) sempre que as condições de projeto forem modificadas;
- b) sempre que forem realizados reparos que possam comprometer a segurança.

13.9.3 O "Projeto de Alteração ou Reparo" deve:

- a) ser concebido ou aprovado por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2;
- b) determinar materiais, procedimentos de execução, controle de qualidade e qualificação de pessoal;
- c) ser divulgado para funcionários do estabelecimento que possam estar envolvidos com o equipamento.

13.9.4 Todas as intervenções que exijam soldagem em partes que operem sob pressão devem ser seguidas de teste hidrostático, com características definidas pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, levando em conta o disposto no item 13.10.

13.9.4.1 Pequenas intervenções superficiais podem ter o teste hidrostático dispensado, a critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2.

13.9.5 Os sistemas de controle e segurança dos vasos de pressão devem ser submetidos à manutenção preventiva ou preditiva.

13.10 Inspeção de Segurança de Vasos de Pressão

13.10.1 Os vasos de pressão devem ser submetidos a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária.

13.10.2 A inspeção de segurança inicial deve ser feita em vasos novos, antes de sua entrada em funcionamento, no local definitivo de instalação, devendo compreender exame externo, interno e teste hidrostático, considerando as limitações mencionadas no subitem 13.10.3.5.

13.10.3 A inspeção de segurança periódica, constituída por exame externo, interno e teste hidrostático, deve obedecer aos seguintes prazos máximos estabelecidos a seguir:

a) para estabelecimentos que não possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme citado no Anexo II:

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I	1 ANO	3 ANOS	6 ANOS
II	2 ANOS	4 ANOS	8 ANOS
III	3 ANOS	6 ANOS	12 ANOS
IV	4 ANOS	8 ANOS	16 ANOS
V	5 ANOS	10 ANOS	20 ANOS

b) para estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme citado no Anexo II:

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I	3 ANOS	6 ANOS	12 ANOS
II	4 ANOS	8 ANOS	16 ANOS
III	5 ANOS	10 ANOS	a critério
IV	6 ANOS	12 ANOS	a critério
V	7 ANOS	a critério	a critério

ANEXO II

REQUISITOS PARA CERTIFICAÇÃO DE "SERVIÇO PRÓPRIO DE INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS"

Antes de colocar em prática os períodos especiais entre inspeções, estabelecidos nos subitens 13.5.4 e 13.10.3 desta NR,

os "Serviços Próprios de Inspeção de Equipamentos" da empresa, organizados na forma de setor, seção, departamento, divisão, ou equivalente, devem ser certificados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) diretamente ou mediante "Organismos de Certificação" por ele credenciados, que verificarão o atendimento aos seguintes requisitos mínimos expressos nas alíneas "a" a "g". Esta certificação pode ser cancelada sempre que for constatado o não atendimento a qualquer destes requisitos:

- a) existência de pessoal próprio da empresa onde estão instalados caldeira ou vaso de pressão, com dedicação exclusiva a atividades de inspeção, avaliação de integridade e vida residual, com formação, qualificação e treinamento compatíveis com a atividade proposta de preservação da segurança;
- b) mão-de-obra contratada para ensaios não-destrutivos certificada segundo regulamentação vigente e para outros serviços de caráter eventual, selecionada e avaliada segundo critérios semelhantes ao utilizado para a mão-de-obra própria;

- c) serviço de inspeção de equipamentos proposto possuir um responsável pelo seu gerenciamento formalmente designado para esta função;
- d) existência de pelo menos 1 "Profissional Habilitado", conforme definido no subitem 13.1.2;
- e) existência de condições para manutenção de arquivo técnico atualizado, necessário ao atendimento desta NR, assim como mecanismos para distribuição de informações quando requeridas;
- f) existência de procedimentos escritos para as principais atividades executadas; existência de aparelhagem condizente com a execução das atividades propostas.

13.10.3.1 Vasos de pressão que não permitam o exame interno ou externo por impossibilidade física devem ser alternativamente submetidos a teste hidrostático, considerando-se as limitações previstas no subitem 13.10.3.5.

13.10.3.2 Vasos com enchimento interno ou com catalisador podem ter a periodicidade de exame interno ou de teste hidrostático ampliada, de forma a coincidir com a época da substituição de enchimentos ou de catalisador, desde que esta ampliação não ultrapasse 20% do prazo estabelecido no subitem 13.10.3 desta NR.

13.10.3.3 Vasos com revestimento interno higroscópico devem ser testados hidrostaticamente antes da aplicação do mesmo, sendo os testes subseqüentes substituídos por técnicas alternativas.

13.10.3.4 Quando for tecnicamente inviável e mediante anotação no "Registro de Segurança" pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, o teste hidrostático pode ser substituído por outra técnica de ensaio não-destrutivo ou inspeção que permita obter segurança equivalente.

13.10.3.5 Considera-se como razões técnicas que inviabilizam o teste hidrostático:

- a) resistência estrutural da fundação ou da sustentação do vaso incompatível com o peso da água que seria usada no teste;
- b) efeito prejudicial do fluido de teste a elementos internos do vaso;
- c) impossibilidade técnica de purga e secagem do sistema;
- d) existência de revestimento interno;
- e) influência prejudicial do teste sobre defeitos sub-críticos

13.10.3.6 Vasos com temperatura de operação inferior a 0°C e que operem em condições nas quais a experiência mostre que não ocorre deterioração, ficam dispensados do teste hidrostático periódico, sendo obrigatório exame interno a cada 20 (vinte) anos e exame externo a cada 2 (dois) anos.

13.10.3.7 Quando não houver outra alternativa, o teste pneumático pode ser executado, desde que supervisionado pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, e cercado de cuidados especiais por tratar-se de atividade de alto risco.

13.10.4 As válvulas de segurança dos vasos de pressão devem ser desmontadas, inspecionadas e recalibradas por ocasião do exame interno periódico.

13.10.5 A inspeção de segurança extraordinária deve ser feita nas seguintes oportunidades:

- a) sempre que o vaso for danificado por acidente ou outra ocorrência que comprometa sua segurança;
- b) quando o vaso for submetido a reparo ou alterações importantes, capazes de alterar sua condição de segurança;
- c) antes de o vaso ser recolocado em funcionamento, quando permanecer inativo por mais de 12 (doze) meses;
- d) quando houver alteração do local de instalação do vaso.

13.10.6 A inspeção de segurança deve ser realizada por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2 ou por "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme citado no Anexo II.

13.10.7 Após a inspeção do vaso deve ser emitido "Relatório de Inspeção", que passa a fazer parte da sua documentação

13.10.8 O "Relatório de Inspeção" deve conter no mínimo:

- a) identificação do vaso de pressão;
- b) fluidos de serviço e categoria do vaso de pressão;
- c) tipo do vaso de pressão;
- d) data de início e término da inspeção;
- e) tipo de inspeção executada;
- f) descrição dos exames e testes executados;
- g) resultado das inspeções e intervenções executadas;
- h) conclusões;
- i) recomendações e providências necessárias;
- j) data prevista para a próxima inspeção;
- k) nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção.

13.10.9 Sempre que os resultados da inspeção determinarem alterações dos dados da placa de identificação, a mesma deve ser atualizada.

ANEXO I-A

CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS"

1 - NOÇÕES DE GRANDEZAS FÍSICAS E UNIDADES

Carga Horária: **4 horas**

1.1 - Pressão

1.1.1 - Pressão atmosférica

1.1.2 - Pressão interna de um vaso

1.1.3 - Pressão manométrica, pressão relativa e pressão absoluta

1.1.4 - Unidades de pressão

1.2 - Calor e Temperatura

1.2.1 - Noções gerais: o que é calor, o que é temperatura

1.2.2 - Modos de transferência de calor

1.2.3 - Calor específico e calor sensível

1.2.4 - Transferência de calor a temperatura constante

1.2.5 - Vapor saturado e vapor superaquecido

1.2.6 - Tabela de vapor saturado

ANEXO I-A

CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS"

2 - CALDEIRAS - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Carga horária: 08 horas

2.1 - Tipos de caldeiras e suas utilizações

2.2 - Partes de uma caldeira

2.2.1 - Caldeiras flamotubulares

2.2.2 - Caldeiras aquotubulares

2.2.3 - Caldeiras elétricas

2.2.4 - Caldeiras a combustíveis sólidos

2.2.5 - Caldeiras a combustíveis líquidos

2.2.6 - Caldeiras a gás

2.2.7 – Queimadores

2.3 - Instrumentos e dispositivos de controle de caldeiras

2.3.1 - Dispositivo de alimentação

2.3.2 - Visor de nível

2.3.3 - Sistema de controle de nível

2.3.4 - Indicadores de pressão

2.3.5 - Dispositivos de segurança

2.3.6 - Dispositivos auxiliares

2.3.7 - Válvulas e tubulações

2.3.8 - Tiragem de fumaça

ANEXO I-A

CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS"

3 - OPERAÇÃO DE CALDEIRAS

Carga horária: 12 horas

- 3.1 - Partida e parada
- 3.2 - Regulagem e controle
 - 3.2.1 - de temperatura
 - 3.2.2 - de pressão
 - 3.2.3 - de fornecimento de energia
 - 3.2.4 - do nível de água
 - 3.2.5 - de poluentes
- 3.3 - Falhas de operação, causas e providências
- 3.4 - Roteiro de vistoria diária
- 3.5 - Operação de um sistema de várias caldeiras
- 3.6 - Procedimentos em situações de emergência

ANEXO I-A

CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS"

4 - TRATAMENTO DE ÁGUA E MANUTENÇÃO DE CALDEIRAS

Carga horária: 8 horas

4.1 - Impurezas da água e suas conseqüências

4.2 - Tratamento de água

4.3 - Manutenção de caldeiras

5 - PREVENÇÃO CONTRA EXPLOSÕES E OUTROS RISCOS

Carga horária: 4 horas

5.1 - Riscos gerais de acidentes e riscos à saúde

5.2 - Riscos de explosão

6. LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Carga horária: 4 horas

6.1 - Normas Regulamentadoras

6.2 - Norma Regulamentadora 13 - NR 13

ANEXO I-B

CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE UNIDADES DE PROCESSO"

1 - Noções de grandezas físicas e unidades Carga horária:

4 (quatro) horas

1.1 - Pressão

1.1.1 - Pressão atmosférica

1.1.2 - Pressão interna de um vaso

1.1.3 - Pressão manométrica, pressão relativa e pressão absoluta

1.1.4 - Unidades de pressão

1.2 - Calor e temperatura

1.2.1 - Noções gerais: o que é calor, o que é temperatura

1.2.2 - Modos de transferência de calor

1.2.3 - Calor específico e calor sensível

1.2.4 - Transferência de calor a temperatura constante

1.2.5 - Vapor saturado e vapor superaquecido

2 - EQUIPAMENTOS DE PROCESSO

Carga horária estabelecida de acordo com a complexidade da unidade, mantendo um **mínimo de 4 horas por item, onde aplicável.**

2.1 - Trocadores de calor

2.2 - Tubulação, válvulas e acessórios

2.3 - Bombas

2.4 - Turbinas e ejetores

2.5 - Compressores

2.6 - Torres, vasos, tanques e reatores

2.7 - Fornos

2.8 - Caldeiras

3 – ELETRICIDADE

Carga horária: **4 horas**

4 – INSTRUMENTAÇÃO

Carga horária: 8 horas

5 - OPERAÇÃO DA UNIDADE

Carga horária: estabelecida de acordo com a complexidade da unidade

5.1 - Descrição do processo

5.2 - Partida e parada

5.3 - Procedimentos de emergência

5.4 - Descarte de produtos químicos e preservação do meio ambiente

5.5 - Avaliação e controle de riscos inerentes ao processo

5.6 - Prevenção contra deterioração, explosão e outros riscos

6 - PRIMEIROS SOCORROS

Carga horária: 8 horas

7 - LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Carga horária: **4 horas**

UNIDADE 1 – INTRODUÇÃO

Aumentar a competitividade é hoje uma das condições para que as empresas continuem sobrevivendo no mercado.

Elas geralmente **buscam um máximo retorno financeiro sobre os ativos das instalações industriais.**

Isto só é possível aumentando a *DISPONIBILIDADE para a produção e cuidando adequadamente dos CUSTOS DA MANUTENÇÃO.

Essas condições nos fazem pensar em riscos, e estes, num primeiro momento, se passam quase que exclusivamente **por retorno financeiro.**

Entretanto, o caminho é longo entre a eminência de um risco e o retorno financeiro.

***DISPONIBILIDADE** - Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.

Um **risco** é qualquer **ameaça** que podemos perceber, é qualquer **situação que poderia causar um dano para as pessoas.**

Portanto, **prevenir riscos é prevenir acidentes e até mesmo algumas doenças.**

A gestão de riscos, por sua vez, nada mais é que **planejar, organizar, dirigir e controlar os recursos humanos e materiais** de uma organização, no sentido de **minimizar os efeitos dos riscos** sobre essa organização ao mínimo possível.

Podemos ainda definir como um **“conjunto de técnicas que visa reduzir ao mínimo os efeitos das perdas acidentais”**, enfocando o tratamento aos riscos que **possam causar danos pessoais, ao meio ambiente e à imagem da empresa.**

Mas quais são as maneiras de evitarmos os riscos e acidentes no ambiente de trabalho, quando relacionado a máquinas, equipamentos e instalações?

Uma das maneiras de evitarmos os riscos e acidentes no ambiente de trabalho, quando relacionado a máquinas, equipamentos e instalações seria **fazermos uso de uma boa manutenção nestes.**

Segundo Branco Filho (2008), **manutenção é um conjunto de medidas ou ações que permitem conservar ou restabelecer um sistema em seu estado de funcionamento.**

Segundo a Norma inglesa BS 3811, seria uma combinação de técnicas e medidas administrativas com a finalidade de conservar um item em seu estado, ou restabelecer este estado, no qual ele possa realizar uma determinada função.

Uma função empresarial, da qual se espera **o controle constante das instalações assim como conjunto de trabalhos de reparo e revisão necessários para garantir o funcionamento regular e o bom estado de conservação das instalações produtivas,** serviços e instrumentações dos estabelecimentos (OCDE1, 1963).

Dessa maneira, ao longo desta apostila, **veremos algumas estratégias de gerenciamento de manutenção, bem como sua organização, planejamento e controle.** Evidentemente que o primeiro passo é definir manutenção e elaborar um manual de organização da mesma.

Em detalhes, veremos os **riscos em máquinas, equipamentos e instalações**, que por divisão didática ficou assim composto:

- **Mecânicos:** Motores, bombas, Veículos industriais, Equipamentos de guindar e transportar, Ferramentas manuais, Motorizadas, Pneumáticas .
- **Compressores**
- **Soldagem e corte a quente**
- **Equipamentos de processos industriais, Área de Utilidades, Sistemas e equipamentos de proteção coletiva e individual**
- **Projeto de proteção de máquinas**
- **Cor, sinalização rotulagem**
- **Em Caldeiras e**
- **Vasos de pressão.**

Não podemos esquecer a importância das **Normas Regulamentadoras**, com atenção para:

- NR 11 (Transporte, movimentação, armazenagem e manuseio de materiais);
- NR 12 (Máquinas e equipamentos);
- NR 13 (Caldeiras e vasos de pressão);
- NR 14 (Fornos) e
- NR26 - Sinalização de Segurança:
-

******Esperamos que apreciem o material e busquem nas referências anotadas ao final da apostila subsídios para sanar possíveis lacunas que venham surgir ao longo dos estudos.***

UNIDADE 2 – A IMPORTÂNCIA DA MANUTENÇÃO

Historicamente, a manutenção, como regra geral, tem apresentado uma característica marcante: **utiliza de forma bastante ineficiente os seus recursos, principalmente humanos e materiais, acarretando custos elevados e crescentes.**

Mão de obra e materiais representam as áreas com grande potencial para a redução dos custos de manutenção, caracterizando uma **excelente oportunidade de ganhos imediatos.**

Esta necessidade se faz cada vez mais importante, principalmente numa **época de crise** e de alta competitividade como a atual devido à **globalização.**

Mais do que isso, se houver **manutenção correta, evitam-se acidentes de trabalho que são onerosos para a organização e para o Estado**, uma vez que acarretam **afastamento do trabalhador e custos para sua recuperação, imagem da empresa, clima organizacional, etc.**

Hoje em dia, **fica difícil ter uma boa manutenção, sem dispor de informações acuradas e atualizadas sobre:**

- ✓ **Cadastro de equipamentos,**
- ✓ **Histórico de ocorrências,**
- ✓ **Programação e planejamento de atividades,**
- ✓ **Utilização de mão de obra,**
- ✓ **Cronograma de Paradas,**
- ✓ **Emissão de ordens de serviço e**
- ✓ **Controle de estoque,**

que auxiliam em muito a programação, a execução e o controle da “função manutenção” (CAMPOS; BELHOT, 1994; BRANCO FILHO, 2008).

A aplicação de recursos informatizados, ou sistemas informatizados, dia após dia vem fazendo surgir a necessidade de se reciclar e treinar a mão de obra envolvida com manutenção, chegando-se a propor até a aplicação de testes individuais para levantar e identificar as possíveis deficiências existentes em termos dessa mão de obra atuante.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas **ABNT** define **manutenção** como sendo:

Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida . Fonte: " ABNT NBR 5462 (Confiabilidade e Manutenibilidade).

Essa associação também define **defeito** como sendo uma ocorrência no equipamento **que não impede seu funcionamento, todavia, podem, a curto ou longo prazo, acarretar sua indisponibilidade.**

E as **falhas** são definidas como ocorrências **que impedem o funcionamento de equipamentos.**

A manutenção em um equipamento é uma decisão humana, pois trata-se de uma intervenção para sanar uma falha.

A falha, por sua vez, pode significar a perda de uma função específica do equipamento, e se constitui numa perda física.

Para se obter a **otimização de todos os recursos humanos e materiais envolvidos** no ambiente de manufatura, **necessita-se** que sejam aplicadas **técnicas e metodologias capazes de auxiliarem no sistema de gestão de manutenção de equipamentos.**

Enfim, todo **gerenciamento de atividade de manutenção** de equipamentos requer que **as ações sejam objetivas, desde o nível técnico até o NÍVEL GERENCIAL.**

VÍDEO: INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

MANUTENÇÃO PREVENTIVA E ENGENHARIA DE SEGURANÇA

A manutenção de equipamentos **pode ser classificada em diversos tipos.**

Isso tem provocado confusão em sua caracterização, por isso, **é importante entender claramente cada tipo existente e como surgiram.**

As equipes de manutenção passaram a existir no início do século XX, quando, por ocasião da proximidade da Primeira Guerra Mundial, as fábricas tiveram a necessidade de se empenharem em um programa de produção.

Após a guerra de 1914, acompanhando a evolução da indústria, a manutenção passou a existir em quase todas as unidades fabris, em atividades desenvolvidas após a quebra das peças ou parada das máquinas em falha.

Era o que hoje conhecemos por manutenção corretiva.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Esta situação perdurou até finais da década de 1930, quando a **Segunda Guerra trouxe a necessidade do aumento de produção** e do cumprimento de metas, trazendo ao pessoal à realidade de que **alguns equipamentos não podiam parar durante certas tarefas.**

A Administração Industrial forçava as equipes de manutenção a se preocuparem em **sanar rapidamente as falhas e a efetuarem serviços que evitassem e prevenissem a ocorrência das falhas nos equipamentos mais importantes.**

O avanço das indústrias aeronáuticas, com métodos desenvolvidos para garantir que um avião voaria um tempo mínimo em bom estado de funcionamento, **reforçou o desenvolvimento de técnicas e métodos de trabalho que atualmente chamamos de Manutenção Preventiva porque não é possível efetuar reparos na maior parte dos equipamentos de uma aeronave em vôo.**

Por volta dos anos de 1950 até 1960, em resposta à necessidade de garantir o funcionamento de uma máquina, **foi criado um órgão, uma equipe especializada, que efetuava estudos sobre o quão confiável era o equipamento e o que fazer para que fosse mais confiável.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Passaram a ser desenvolvidos e encontram-se agrupados em torno do título **“Engenharia de Manutenção”**. Estudos de:

- ✓ Como efetuar reparos mais rápidos,
- ✓ Como tornar as equipes mais eficientes,
- ✓ Melhores métodos de trabalho em manutenção,
- ✓ Quantidade adequada de sobressalentes,
- ✓ Melhoria de locais de trabalho, e
- ✓ Características das falhas e sua repetição,

Devido ao desenvolvimento dos computadores, a Engenharia de Manutenção passou a desenvolver processos mais sofisticados de controle e análise, utilizando-se de fórmulas complexas visando predeterminar os períodos mais econômicos de execução da Manutenção Preventiva.

A Manutenção Preventiva, aliada ao uso de medições e acompanhamento periódico nos equipamentos, com o uso de instrumentos sofisticados e até monitoração remota, introduziu já na década de 1960/1970 o conceito de Manutenção Preditiva ou “Controle Preditivo de Manutenção”, que é a manutenção **efetuada apenas quando se detecta a aproximação de uma condição instável ou de uma falha.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Se não existe a condição instável, o equipamento fica em funcionamento até que a proximidade de falha seja detectada.

Por outro lado, **o controle estatístico de falhas ocorridas, poderá indicar quando, provavelmente, o equipamento falhará.**

O método estatístico é uma valiosa ferramenta para a determinação da aproximação de uma condição de falha.

Em 1970, o Ministério de Tecnologia da Grã-Bretanha criou o conceito de **Terotecnologia**, relacionado com a facilidade de manutenção das máquinas, equipamentos e sistemas.

A Terotecnologia consistia na participação dos operadores finais na fase de concepção dos projetos de sistemas, serviços ou equipamentos, para que se pensasse na facilidade de sua manutenção.

Ao longo de sua evolução, **a manutenção tem perdido o seu caráter corretivo e assumido cada vez mais uma postura preventiva e preditiva.**

Esta evolução vem ao encontro da atual tendência econômica de globalização que não deixa muito espaço para um sistema produtivo estigmatizado por falhas frequentes.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Hoje, a tendência é levar em conta a confiabilidade e a facilidade de manutenção do sistema, serviço ou equipamento **ao projetá-lo, visto que os sistemas de produção estão cada vez mais complexos** e interdependentes.

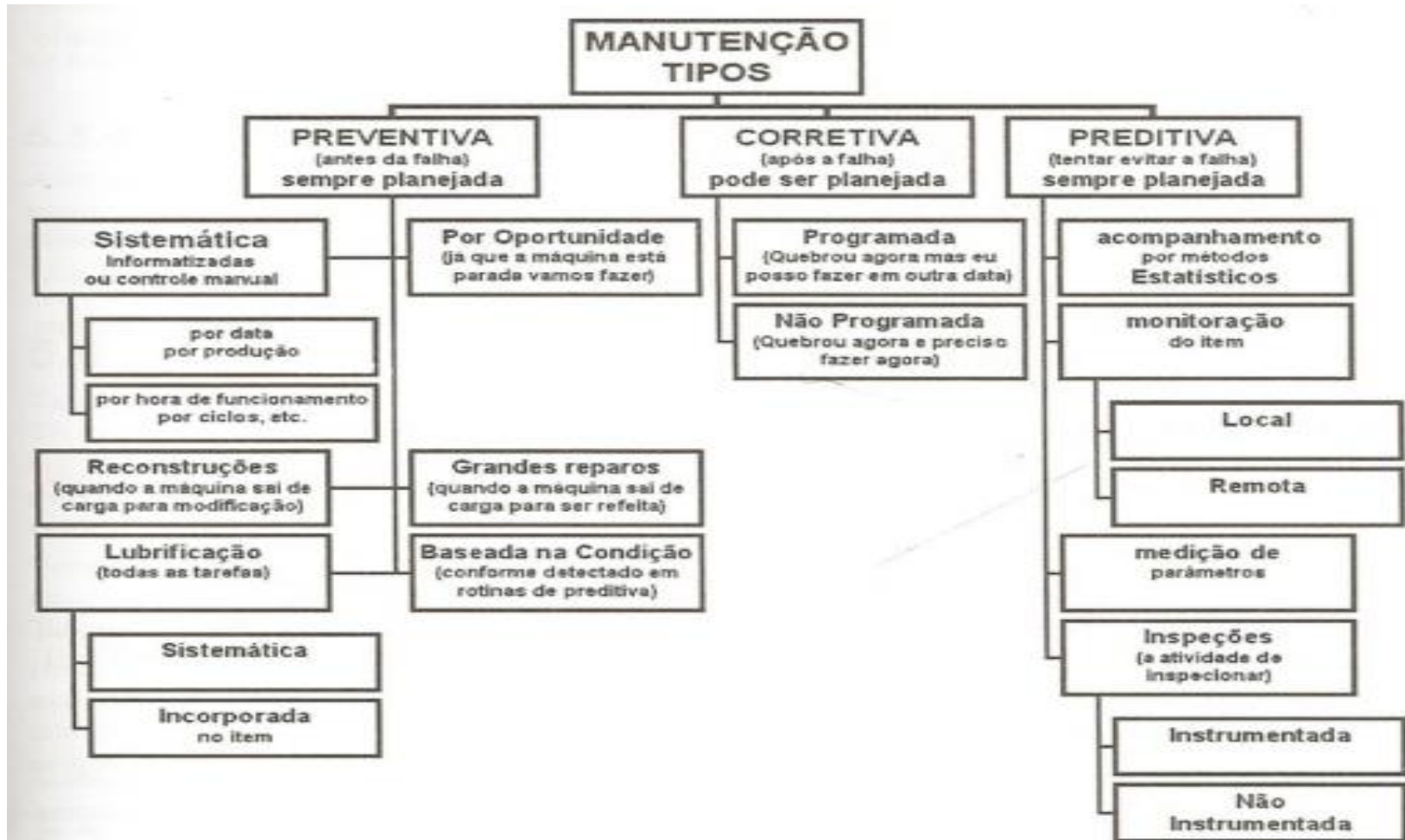
A área de manutenção nas empresas na atualidade deve ser encarada como **estratégica**.

A definição de terotecnologia diz respeito a uma combinação de **gerenciamento, economia, engenharia, habilidades e outras práticas** voltadas para aumentar a eficiência durante o ciclo de vida dos equipamentos e máquinas.

Com estas mudanças, o desenvolvimento da engenharia nos últimos tempos tem sido surpreendente e **a necessidade de formação complementar abrangente de atualização em suas especialidades passou a ser essencial para aprimoramento do conhecimento e das habilidades dos profissionais que atuam em manutenção**.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Observe o esquema abaixo e na sequência leia com atenção sobre os diferentes tipos de manutenção:



2.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva caracteriza-se pela **atuação no fato já ocorrido, onde não existe tempo para a preparação do serviço, o que implica elevados custos desta manutenção.**

Além disso, quebras inesperadas podem desencadear novas quebras.

A opção pela manutenção corretiva em partes menos críticas pode ser adotada, porém considerando alguns recursos indispensáveis:

➤ **Peças de reposição, mão de obra e ferramental deve-se agir rápido.**

Em certos casos pode ser vantajoso ter peças de reposição disponíveis, mas ainda assim existe a parada de produção.

Outro ponto a ser frisado é que a manutenção corretiva, mesmo sendo a escolha mais vantajosa, não deve causar uma acomodação na empresa, pois a causa deve ser identificada e bloqueada para que não aconteçam novas falhas.

VÍDEO 21: MANUTENÇÃO CORRETIVA

2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é um conjunto de **ações planejadas para prevenir a quebra ou falha de um equipamento.**

A meta principal da manutenção preventiva é **evitar a falha de um equipamento antes dela ocorrer.**

Isso é feito para prevenir e **melhorar a confiabilidade** do equipamento **através da troca dos componentes desgastados antes de uma falha real.**

A manutenção preventiva **inclui checagens no equipamento, revisões parciais ou gerais em prazos determinados, trocas de óleo, lubrificação, etc.**

Além disso, os colaboradores podem acompanhar o desgaste do equipamentos e assim determinar quando uma peça desgastada deve ser trocada antes que ela cause um dano maior no equipamento.

Se for feita uma comparação na relação custo/benefício, a manutenção preventiva é mais cara do que a corretiva, em processos não contínuos, pois há necessidade de novas peças para a substituição.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Considerando processos contínuos a manutenção preventiva se torna mais lucrativa por evitar as paradas de produção minimizando a ocorrência de uma possível falha.

Várias empresas acreditam ter uma manutenção preventiva bem estruturada, **mas o que se tem visto é que o tempo de equipamento com parada programada muitas vezes é negligenciado** em relação às falhas que ocorrem no dia-a-dia.

O que acaba acontecendo é que **a manutenção preventiva fica em segundo plano em relação à manutenção corretiva.**

Este fato ocorre porque a manutenção preventiva necessita de procedimentos que envolvem a elaboração de relatórios e levantamento de dados necessários a execução da mesma.

VÍDEO 22: MANUTENÇÃO PREVENTIVA

2.3 Manutenção preditiva

Este tipo de manutenção consiste em se ter um conhecimento do equipamento ou instalação através de uma **análise sistemática de vários itens do mesmo**.

É considerada uma das manutenções de maior custo devido aos equipamentos necessários para fazer esta análise.

Em contrapartida, esta análise quando efetuada de maneira correta pode ser realizada com a linha de produção em funcionamento, gerando parâmetros seguros sobre possíveis falhas ou quebras de equipamento.

A manutenção preditiva é muitas vezes confundida com a manutenção preventiva, visto que a manutenção preventiva também é programada, mas consiste na parada total do equipamento de tempos em tempos previamente determinado.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

As empresas costumam criar **equipes específicas** para realizar este tipo de manutenção.

Essas equipes são **treinadas especificamente para as suas próprias instalações, em que se tem um grau de experiência e conhecimento mais elevado.**

Muitas dessas equipes acabam por criar métodos e ferramentas específicas e dedicados a uma determinada linha de equipamentos (KARDEC; NASCIF, 1998).

Do sistema de monitoração até sua implantação tem-se um **custo estimado em torno de 1% do valor agregado do equipamento.**

Quando associado ao custo de operação do equipamento seu custo final é considerado baixo.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Como exemplo de **Manutenção Preditiva** por acompanhamento, cita-se:

- ✓ **A Análise físico-química e cromatográfica de óleos lubrificantes;**
- ✓ **Detecção de ruído em rolamentos;**
- ✓ **Análise de Vibração** em máquinas rotativas;
- ✓ **A Termografia** - detecção do aumento de temperatura em alguns pontos (instalações elétricas, mancais, trocadores de calor, etc.);
- ✓ **Técnicas de ultrassom;**
- ✓ Queda lenta e progressiva de pressão de lubrificantes em máquinas devido a maiores folgas;
- ✓ Medições de folgas e tolerâncias, etc.

VÍDEO 23: MANUTENÇÃO PREDITIVA

3.5 Projeto de proteção de máquinas

Todas as máquinas e equipamentos cujas **partes móveis apresentam riscos de lesão** deverão possuir algum tipo de **proteção que impeça o contato do operador.**

Estas proteções podem ser:

- ❖ **Proteção fixa** – que é mantida em sua posição permanentemente, por meio de solda ou fixadores, **tornando sua remoção ou abertura impossível, sem o uso de ferramentas;**
- ❖ **Proteção distante** – que não cobre completamente a zona de perigo, mas que **impede ou reduz o acesso, em razão de suas dimensões e sua distância à zona de perigo, como grades de proteção;**
- ❖ **Proteção móvel** – que é geralmente vinculada à estrutura da máquina ou elemento de fixação adjacente, **por meios mecânicos (basculante ou deslizante) e pode ser aberta sem o auxílio de ferramentas.**
- ❖ **Neste caso deverá haver intertravamentos que desliguem as máquinas quando abertas em funcionamento**

- ❖ **Proteção acionada por energia** – uma proteção móvel, acionada por uma fonte de energia, como a elétrica;
- ❖ **Proteção com autofechamento** – uma proteção móvel, que retorna à sua posição fechada por meio de gravidade, mola, etc.;
- ❖ **Proteção de comando** – que é associada a um dispositivo de intertravamento, com ou sem bloqueio, de tal forma que as funções perigosas da máquina, cobertas por essa proteção, não podem operar, até que a proteção seja fechada;
- ❖ **Proteção ajustável** – que pode ser fixa ou móvel, mas totalmente ajustável ou que incorpora parte ajustável.

3.6 Cor, sinalização rotulagem

Segundo a NR – 26 - Sinalização de Segurança, as cores na segurança tem como função:

- ✓ A prevenção de Acidentes;
- ✓ Identificar os equipamentos de segurança;
- ✓ Delimitação de áreas;
- ✓ Identificação de tubulações de líquidos e gases advertindo contra riscos;
- ✓ Identificar e advertir acerca dos riscos existentes.

As cores devem ser em número reduzido e cada uma tem uma função (vide NR 26).

Elas são:

vermelho;
amarelo;
branco;
preto;
azul;
verde;

laranja;
púrpura;
lilás;
cinza;
alumínio;
marrom.

3.6 Cor, sinalização rotulagem

Segundo a NR – 26 - Sinalização de Segurança, as cores na segurança tem como função:

- ✓ A prevenção de Acidentes;
- ✓ Identificar os equipamentos de segurança;
- ✓ Delimitação de áreas;
- ✓ Identificação de tubulações de líquidos e gases advertindo contra riscos;
- ✓ Identificar e advertir acerca dos riscos existentes.

As cores devem ser em número reduzido e cada uma tem uma função (vide NR 26).

Elas são:

vermelho;
amarelo;
branco;
preto;
azul;
verde;

laranja;
púrpura;
lilás;
cinza;
alumínio;
marrom.

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM MÁQUINAS, EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES

•NR26 - Sinalização de Segurança:

A redação da nova NR-26 recomenda que:

*As cores utilizadas nos locais de trabalho para **identificar os equipamentos de segurança, delimitar áreas, identificar tubulações empregadas para a condução de líquidos e gases e advertir contra riscos, devem atender ao disposto nas normas técnicas oficiais.***










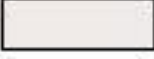




CORES DE SEGURANÇA (ABNT-NBR-7195)

	VERMELHO (aparelhos de proteção e combate a incêndio)
	LARANJA (alerta, partes móveis e perigosas de máquinas e equipamentos)
	AMARELO (atenção, acidentes de piso, avisos e letreiros de advertência)
	VERDE FOLHA (segurança, avisos de segurança e de socorros de urgência)
	AZUL MAR (cuidado, equipamentos fora de serviço, sinais de advertência)
	PRETO (coletores de resíduos)
	BRANCO (áreas de armazenagem e em torno de equipamentos de emergência)

•NR26 - Sinalização de Segurança:



CORES PARA CANALIZAÇÕES (ABNT-NBR-6493)

CORES PARA CANALIZAÇÕES (ABNT-NBR-6493)	
	VERMELHO (água e materiais para combate à incêndios)
	VERDE FOLHA (água)
	VERDE NILO (diferenciamento de água potável)
	AZUL MAR (ar comprimido)
	AMARELO (ácidos não liquefeitos)
	LARANJA (ácidos)
	MARROM (fluidos não identificados)
	PLATINA (vácuo)
	PRETO (inflamáveis e combustíveis de alta viscosidade)
	CINZA ESCURO (eletrodos)
	ALUMÍNIO (gases liquefeitos, inflamáveis e combustíveis de baixa viscosidade)
	BRANCO (vapor)

O armazenamento de substâncias perigosas deverá seguir a sinalização de padrões internacionais.

A rotulagem tem caráter preventivo, geralmente para produtos perigosos ou nocivos à saúde e devem ser breves, precisas, redigidas em termos simples, de fácil compreensão, prática, não se baseando somente nas propriedades inerentes a um produto, mas dirigida de modo a evitar os riscos resultantes do uso, manipulação e armazenagem do produto.

VÍDEO 11: SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

PREVENÇÃO E CONTROLE DE RISCOS EM CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, FORNOS

CALDEIRAS

Caldeiras a vapor e vasos sob pressão são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia.

O vapor pode ser usado em diversas condições, tais como:

- ✓ baixa pressão (até 10 kgf / cm²),
- ✓ alta pressão,(acima de 40 kgf/cm²)
- ✓ saturado,
- ✓ superaquecido, etc.

Ele pode ser produzido também por diferente tipos de equipamentos nos quais estão incluídas as caldeiras com **diversas fontes de energia.**

Para efeito da NR-13, serão considerados, como “caldeiras” todos os equipamentos que simultaneamente geram e acumulam vapor de água ou outro fluido.

*1 KGF / CM² = 1 atm = 14,22 psi

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Não deverão ser entendidos como caldeiras os seguintes equipamentos:

- 1. * Trocadores de calor** do tipo Reboiler, Kettle, **Refervedores**, TLE, etc., cujo projeto de construção é governado por critérios referentes a vasos de pressão;
- 2. Equipamentos com serpentina** sujeita a chama direta ou gases aquecidos e que **geram, porém não acumulam vapor**, tais como:
Fornos, geradores de circulação forçada e outros;
- 3. Serpentinhas de fornos** ou de vasos de pressão que aproveitam o calor residual para gerar ou superaquecer vapor;
- 4. Caldeiras que utilizam fluido térmico, e não o vaporizam.**

•Um **refervedor** é um trocador de calor normalmente utilizado para fornecer calor para a parte inferior de **colunas de destilação industrial**.

Eles fervem o líquido da parte inferior de uma coluna de destilação para produzir os vapores que são retornados para a coluna para a unidade de separação por destilação. O calor necessário para a vaporização é normalmente fornecido por vapor.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

VASOS DE PRESSÃO

São equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa e estão sempre submetidos simultaneamente à pressão interna e à pressão externa.

Mesmo vasos que operam com vácuo estão submetidos a essas pressões, pois não existe vácuo absoluto.

O que usualmente denomina-se vácuo é qualquer pressão inferior à atmosférica.

O vaso é dimensionado, considerando-se a pressão diferencial resultante que atua sobre as paredes, que poderá ser maior interna ou externamente.

Há casos em que o vaso de pressão deve ser dimensionado pela condição de pressão mais severa, a exemplo de quando não exista atuação simultânea das pressões interna e externa.

Vasos de pressão podem ser construídos de materiais e formatos geométricos variados em função do tipo de utilização a que se destinam.

Dessa forma, existem vasos de pressão **esféricos, cilíndricos, cônicos, etc., construídos em aço carbono, alumínio, aço inoxidável, fibra de vidro e outros materiais.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Os vasos de pressão podem conter líquidos, gases ou misturas destes.

Algumas aplicações são:

- ✓ **armazenamento final ou intermediário,**
- ✓ amortecimento de pulsação,
- ✓ **troca de calor,**
- ✓ contenção de reações,
- ✓ filtração, destilação,
- ✓ separação de fluidos,
- ✓ criogenia, etc.

A NR-13 aplica-se a vasos de pressão instalados em unidades industriais, e outros estabelecimentos públicos ou privados, tais como: hotéis, hospitais, restaurantes, etc.

Esta norma **também é aplicável a equipamentos instalados em navios, plataformas de exploração e produção de petróleo, desde que não exista legislação em contrário.**

A **criogenia** é um ramo da físico-química que estuda tecnologias para a produção de temperaturas muito baixas (abaixo de -150°C , de -238°E ou de 123 K), principalmente até à temperatura de ebulição do nitrogénio líquido ou ainda mais baixas, e o comportamento dos elementos e materiais nessas temperaturas .

VÍDEO 18: VASOS DE PRESSÃO

Pressão Máxima de Trabalho Permitida (PMTP) ou pressão Máxima de Trabalho Admissível – PMTA

É o maior valor de pressão compatível com o código de projeto, a resistência dos materiais utilizados, as dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais.

No caso de caldeiras a PMTA é calculada no projeto da caldeira. Essas fontes levam em consideração:

1. **As dimensões e geometria de cada parte específica da caldeira (por exemplo: diâmetro, espessura, etc.);**
2. **Resistência dos materiais** (valores de tensão máxima admissível dependentes da temperatura);
3. Outros fatores específicos para cada situação.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

É importante destacar que **o valor da PMTA pode alterar-se ao longo da vida da caldeira em função:**

- ✓ Da **redução da resistência** mecânica dos materiais,
- ✓ Da **redução de espessuras** dos diferentes componentes, etc.

A atualização dos valores da PMTA deve ser feita, em conformidade com procedimentos escritos existentes no PRONTUÁRIO DA CALDEIRA.

O que é um prontuário?

É um conjunto de documentos composto, no mínimo, por desenhos com especificações técnicas, código de projeto e ano de edição, especificações de materiais, memorial de cálculo com a PMTA, procedimentos de fabricação e montagem, ano de fabricação, categoria do vaso, relatório de inspeção e testes, realizados durante a fabricação, montagem e operação, e laudos de ocorrências diversas.

Quando ocorrer alteração no valor da PMTA da caldeira deverão ser executados os ajustes necessários nas pressões de abertura das válvulas de segurança, na placa de identificação e outros elementos de controle dependentes deste valor.

6.3 Riscos decorrentes de deterioração, avarias e explosão

Constitui risco grave e iminente a “falta” de qualquer um dos seguintes itens:

- a) Válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à PMTA;**
- b) Instrumento que indique a pressão do vapor acumulado;**
- c) Injetor ou outro meio de alimentação de água, independentemente do sistema principal, em caldeiras a combustível sólido;**
- d) Sistema de drenagem rápida de água, em caldeiras de recuperação;**
- e) Sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

As válvulas de segurança, mesmo que ajustadas para abertura na PMTA, deverão:

1. Ser adequadamente **projetada**;
2. Ser adequadamente **instaladas**;
3. Ser adequadamente **mantidas**.

Para casos *onde estas premissas não forem atendidas, a válvula de segurança será considerada como inexistente.*

A quantidade e o local de Instalação das válvulas de segurança deverão atender aos códigos ou normas técnicas aplicáveis.

O acréscimo de pressão, permitido durante a descarga da válvula de segurança, deve ser no máximo o recomendado no código de projeto do equipamento.

Caldeiras com superfície de aquecimento superior a 47m² devem possuir duas válvulas de segurança.

Nesse caso, é permitido acréscimo de pressão durante a descarga, com as duas válvulas abertas de no máximo 6% da PMTA.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Deverá existir **pelo menos um instrumento que indique a pressão do vapor** acumulado pressupõe que este esteja **corretamente especificado, instalado e mantido.**

O mostrador do instrumento indicador de pressão pode ser analógico ou digital e poderá ser instalado na própria caldeira ou na sala de controle.

Entende-se por sistema de indicação de nível de água **“qualquer dispositivo”** com função **equivalente aos visores de coluna de água.**

Caso a coluna de água não consiga ser lida corretamente por problemas de vazamento ou bloqueio, deverá ser imediatamente acionado o procedimento de **paralisação da caldeira.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Constitui risco grave e iminente a “FALTA” de qualquer um dos seguintes itens:

- a) **Válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a PMTA, instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui;**
- b) **Dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso;**
- c) **Instrumento que indique a pressão de operação.**

Entende-se por “outro dispositivo” de segurança **dispositivos que têm por objetivo impedir que a pressão interna do vaso atinja valores que comprometam sua integridade estrutural.**

São exemplos de “outros dispositivos”: **discos de ruptura, válvulas quebra-vácuo, plugues fusíveis, etc.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

O dispositivo de segurança é um componente que visa aliviar automaticamente e sem a intervenção do operador a pressão do vaso, independentemente das causas que provocaram a sobrepressão.

Dessa forma, pressostatos, reguladores de pressão, malhas de controle de instrumentação, etc., não devem ser considerados como dispositivos de segurança.

Vasos com temperatura de operação inferior a 0°C e que operem em condições nas quais a experiência mostra que não ocorre deterioração, ficam dispensados do Teste Hidrostático periódico, sendo obrigatório exame interno a cada 20 anos e exame externo a cada dois anos.

Os vasos de pressão que operam abaixo de 0°C, vasos criogênicos, raramente estão sujeitos a deterioração severa.

A inspeção interna frequente e o Teste Hidrostático poderão provocar fenômenos que comprometam sua vida útil.

6.4 Inspeção de segurança em caldeiras e vasos de pressão

As caldeiras devem ser submetidas a Inspeções de Segurança Inicial, periódica e extraordinária, sendo considerado, condição de risco grave e iminente o não-atendimento dos prazos estabelecidos na NR 13.

A Inspeção de Segurança Inicial deve ser feita em caldeiras novas, antes da entrada em funcionamento, no local de operação, devendo conter exame interno e externo, teste hidrostático e de acumulação.

Exames internos, externos e teste hidrostático, efetuados nas dependências do fabricante da caldeira são importantes e necessários, porém não constituem a Inspeção de Segurança Inicial, uma vez que os componentes da caldeira podem sofrer avarias durante seu transporte, armazenamento e montagem no local definitivo.

O ***Teste de Acumulação** deve ser executado em conformidade com normas técnicas vigentes, recomendações dos fabricantes da caldeira e dos fabricantes de válvulas de segurança ou ainda em conformidade com procedimentos estabelecidos por PH.

TESTE DE ACUMULAÇÃO, é um teste, que tem por objetivo, CHECAR se as VÁLVULAS DE SEGURANÇA de uma caldeira, são SUFICIENTES, uma vez ABERTAS, para dar VAZÃO à QUANTIDADE MÁXIMA de vapor produzido na caldeira, SEM aumento excessivo da pressão interna, que não pode ultrapassar 6% da PMTA.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

A Inspeção de Segurança Periódica, constituída por exame interno e externo, deve ser executada nos seguintes prazos máximos:

a) Doze meses para caldeiras das categorias “A”, “B” e “C”;

As caldeiras são classificadas em três categorias conforme segue:

- caldeiras da categoria “A” são aquelas cuja **pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,98 Kgf/cm²);**
- caldeiras categoria “C” são aquelas cuja **pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,99 Kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros;**
- caldeiras categoria “B” são todas as caldeiras que **não se enquadram nas categorias anteriores.**

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

- b) Doze meses para caldeiras de recuperação de álcalis de qualquer categoria;**
- c) Vinte e quatro meses para caldeiras da categoria “A”, desde que, aos 12 meses, sejam testadas as pressões de abertura das válvulas de segurança;**
- d) Quarenta meses para caldeiras especiais.**

A abrangência da Inspeção de Segurança Periódica, bem como as técnicas a serem utilizadas deverão ser definidas pelo PH em função do histórico da caldeira e das normas técnicas vigentes.

Os prazos definidos nesse item devem ser considerados como máximos.

O prazo real deverá ser estabelecido pelo PH em função da experiência anterior disponível, devendo ser contados a partir da última inspeção completa executada na caldeira.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Inspeção de Segurança Periódica, constituída por exame externo, interno e teste hidrostático, deve obedecer aos seguintes prazos máximos estabelecidos a seguir:

Para estabelecimentos que não possuam Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos, conforme citado no Anexo II:

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I	1 ano	3 anos	6 anos
II	2 anos	4 anos	8 anos
III	3 anos	6 anos	12 anos
IV	4 anos	8 anos	16 anos
V	5 anos	10 anos	20 anos

Para estabelecimentos que possuam Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos, conforme citado no Anexo II:

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I	3 anos	6 anos	12 anos
II	4 anos	8 anos	16 anos
III	5 anos	10 anos	a critério
IV	6 anos	12 anos	a critério
V	7 anos	a critério	a critério

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

6.5 Normas aplicadas a Caldeiras

Item	NR nº	Título	Comentário
1	6	Equipamento de Proteção Individual (EPI)	O empregador deve selecionar o EPI adequado ao risco e treinar o operador de caldeira, que por sua vez deve responsabilizar-se por sua guarda e conservação, além de usá-lo.
2	7	Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO)	O operador de caldeira deve ter uma vigilância médica periódica, seja para liberação para o serviço seja para o acompanhamento dos principais indicadores biológicos dos agentes a que está exposto.
3	8	Edificações	A casa de caldeira precisa atender aos requisitos desta norma, para segurança e conforto dos que nela trabalham.
4	9	Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA)	Todos os agentes físicos (ruído, calor, radiação não ionizante, iluminação, etc.) devem estar identificados e seu controle, implantado.
5	12	Máquinas e equipamentos	As transmissões dos ventiladores e outras partes que podem se desprender de bombas devem estar protegidas.
6	13	Caldeiras e vasos de pressão	Requisitos para operação, capacitação, manutenção e inspeção de caldeiras.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

6.5 Normas aplicadas a Caldeiras

Item	NR nº	Título	Comentário
7	15	Atividades e operações insalubres	Contém limites de tolerância para agentes físicos (ruído, calor, etc.) e químicos (gases, vapores, etc.).
8	16	Atividades e operações perigosas	Contém atividades e áreas de risco para líquidos e gases inflamáveis.
9	17	Ergonomia	Trata da questão de levantamento de peso (Exemplo: válvulas) e organização do trabalho (métodos, pausas, etc.).
10	23	Proteção contra incêndio	Toda a proteção ativa (extintores, hidrantes, sistemas de detecção) deve estar instalada e fazer parte do projeto de instalação.
11	26	Sinalização de segurança	Na casa de caldeira deve haver sinalização no ambiente indicando os riscos e os controles existentes. A tubulação deve estar identificada (cor e sentido do fluido).

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

6.5 Normas aplicadas a Caldeiras

Ordem	Norma	Descrição	Objetivo
1	5.410	Instalações elétricas de baixa tensão	Fixa condições que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão.
2	5.413	Iluminância de interiores	Estabelece os valores de iluminância média mínima em serviço para iluminação artificial em interiores.
3	5.419	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas	Fixa as condições exigíveis ao projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas, de estrutura, de pessoas e de instalações.
4	8.050	Ensaio por ultrassom	Define os termos empregados nos ensaios por ultrassom.
5	8.862	Tubos metálicos – Inspeção ultrassônica de soldas longitudinais e em espiral	Método para a detecção de descontinuidades de soldas longitudinais e em espiral em tubos metálicos.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

6.5 Normas aplicadas a Caldeiras

6	10.898	Sistema de iluminação de emergência	Fixa as características mínimas exigíveis para as funções a que se destina o sistema de iluminação de emergência a ser instalado em edificações.
7	11.096	Caldeira estacionária aquatubular e flamotubular a vapor – Terminologia	Apresenta as definições sobre caldeiras.
8	12.177-1	Inspeção de segurança de caldeiras flamotubulares	Fixa as condições exigíveis para a realização de inspeções de segurança das caldeiras estacionárias flamotubulares a vapor, sujeitas ou não a chama.
9	12.177-2	Inspeção de segurança de caldeiras aquatubulares	Fixa as condições exigíveis para a realização de inspeções de segurança das caldeiras estacionárias aquatubulares a vapor, sujeitas ou não a chama.
10	13.203	Inspeção de segurança de caldeiras elétricas	Fixa as condições exigíveis para a realização de inspeções de segurança em caldeiras estacionárias elétricas a vapor.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

6.5 Normas aplicadas a Caldeiras

Item	NFPA nº	Título
1	8.501	Standard for Single Burner Boiler Operation, ed. 1997.
2	8.502	Standard for the Prevention of Furnace Explosions/Implosions in Multiple Burner Boilers, ed. 1995.
3	8.503	Standard for Pulverized Fuel Systems, ed. 1997.
4	8.504	Standard on Atmospheric Fluidized – Bed Boiler Operation, ed. 1998.
5	8.505	Recommended Practice for Stoker Operation, ed. 1998.
6	8.506	Standard on Heat Recovery Steam Generator Systems, ed. 1998.

Obs.: A National Fire Protection Association (NFPA), apesar de ser uma associação de proteção ao fogo, mantém normas para outros segmentos em que há possibilidade de incêndio e explosão, entre eles o de caldeira.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

A segurança de caldeiras compreende a segurança na origem e na operação observando:

- a) Manter instrumentos calibrados e instalados de forma que não haja improvisações.
- b) Testar os controles regularmente para assegurar que a operação está a contento;
- c) Estabelecer um plano de manutenção preditiva e preventiva e prover o equipamento de manutenção corretiva de emergência, se necessário.



NR 13 – CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO

A Norma Regulamentadora 13, cujo título é Caldeiras e Vasos de Pressão, estabelece todos os requisitos técnicos e legais relativos à instalação, operação e manutenção de caldeiras e vasos de pressão, de modo a se prevenir a ocorrência de acidentes do trabalho.

A NR 13 tem a sua existência jurídica assegurada, em nível de legislação ordinária, nos artigos 187 e 188 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT).

O profissional habilitado para aplicar a NR-13 é aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento de operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de pressão, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no país.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Devem ser observados os seguintes aspectos:

- Conselhos federais, tais como o Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA) e o Conselho Federal de Química (CFQ), são responsáveis, nas suas respectivas áreas, pelos esclarecimentos de dúvidas referentes à regulamentação profissional;
- **A Resolução nº 218/73, as Decisões Normativas nº 029/88 e 045/92 do CONFEA estabelecem como habilitados os engenheiros mecânicos e navais, bem como engenheiros civis com atribuições do Art. 28, do Decreto Federal nº 23.569/33, que tenham cursado as disciplinas de Termodinâmica e Suas Aplicações e Transferências de Calor, ou equivalentes com denominações distintas, independentemente dos anos transcorridos desde sua formatura;**
- O registro nos conselhos regionais de profissionais é a única comprovação necessária a ser exigida do profissional habilitado;
- Os comprovantes de inscrição emitidos, anteriormente, para este fim pelas Delegacias Regionais do Trabalho (DRTs) / MTE não possuem mais validade;

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

- Engenheiros de outras modalidades, que não citadas anteriormente, devem requerer ao respectivo conselho regional, caso haja interesse pessoal, que estude suas habilidades para inspeção de caldeiras e vasos de pressão, em função de seu currículo escolar;
- **Laudos, relatórios e pareceres terão valor legal quando assinados por profissional habilitado;**
- **Conforme estabelecido pelo CONFEA e o Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CREA), as empresas prestadoras de serviço que se propõem a executar as atividades prescritas neste subitem são obrigadas a se registrarem nos respectivos conselhos, indicando o responsável técnico legalmente habilitado;**
- **O profissional habilitado pode ser um consultor autônomo, empregado de empresa prestadora de serviço ou empregado da empresa proprietária do equipamento;**
- O Art. 188 da CLT foi escrito quando os conselhos profissionais faziam parte da estrutura do Ministério do Trabalho. Atualmente são independentes.

PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

São documentos complementares:

- ✓ **ABNT NBR ISOCIE 8995-12013**_Iluminação de Interiores;
- ✓ **ABNT NBR 12177** – Inspeção de segurança de caldeiras estacionárias aquotubular e flamotubular a vapor;
- ✓ **ABNT NBR 12228** – Tanque estacionário destinado à estocagem de gases altamente refrigerados: inspeção periódica;
- ✓ **Capítulo V do Título II da CLT** – Refere-se à Segurança e Medicina do Trabalho;
- ✓ **NR 13 – Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão**. Editado pelo Ministério do Trabalho e Emprego;
- ✓ **Portaria MTb/SSST nº 23, de 27/12/94** – Determina os prazos para adaptação dos empregadores e penalidades (SESI, 2008).

VÍDEO 19: SEGURANÇA EM CALDEIRAS

VÍDEO 20: EXPLOSÃO DE CALDEIRA

-
A companheira e o filho de um empregado da Indústria e Comércio de Conservas Concórdia Ltda., que faleceu em serviço, após a explosão de uma caldeira a vapor, vão receber indenização por dano moral, no valor de R\$ 200 mil.

A empresa tentou se livrar da condenação, mas a Terceira Turma do Tribunal Superior do Trabalho não conheceu do recurso, ficando mantida a decisão do Tribunal Regional da 8ª Região (PA/AP). **Publicado em 11/10/2012**