

**ARMANDO COSTA FERNANDES**

**CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO**

**NR 13**

**São Paulo  
2008**

**ARMANDO COSTA FERNANDES**

**CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO**

**NR 13**

Monografia apresentada à Escola

ARMANDO COSTA FERNANDES

Politécnica da Universidade de São

Paulo(USP) para obtenção do título de

Engenheiro de Segurança do Trabalho.

062 - Departamento de Aeronáutica e Espaço - MCTI

2008.07.04

04.08

Armando Costa Fernandes - MCTI - São Paulo - SP

Armando Costa Fernandes - MCTI - São Paulo - SP

**São Paulo**

**2008**

## **AGRADECIMENTOS**

**À MINHA FILHA**

**MARIANA FABRICANTI FERNANDES**

**A qual me incentivou a me dedicar mais a essa profissão que eu tanto gosto, engenharia. Resolvi, então, que iria me especializar em engenharia de segurança do trabalho. Curso que agora estou concluindo através deste trabalho que entrego a esta banca e, assim, poderei dizer, com muito orgulho, que sou Pós Graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho!!!**

## **RESUMO**

**Programa de Segurança em Caldeiras e Vasos de Pressão.** 2008. 65f.

Monografia (Especialização) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Caldeiras e Vasos de Pressão tiveram sua Norma Regulamentadora NR13 promulgada em 08 de Junho de 1978, tendo sido alterada várias vezes, sendo a última em 19 de Junho de 2008, a qual é de suma importância devido ao crescente numero de acidentes, alguns com vítimas fatais, pois a capacidade de dano é superior à capacidade da resistência humana, Caldeiras e Vasos de Pressão são equipamentos que trabalham com pressões internas e se destinam exclusivamente a produzir, armazenar e distribuir fluídos Newtonianos, ou, seja, Vapor nas Caldeiras e Ar Comprimido nos Vasos. Desde que esses equipamentos trabalhem com pressão abaixo ou acima da pressão atmosférica, deve possuir normas próprias de controle e manuseio em termos de segurança operacional com trabalhadores habilitados e acessórios de segurança devidamente qualificados. O conteúdo desta monografia apresenta conceitos básicos para o programa de segurança (NR 13).

## **ABSTRACT**

**SECURITY PROGRAM ON HOT AND PRESSURE VESSELS.** 2008. 65F.

Monograph (Specification) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Boilers and Pressure vessels had their Norma Regulamentadora NR 13, promulgated on June 08<sup>th</sup>, 1978, and was amended several times, most recently on June 19<sup>th</sup>, 2008 which is paramount importance of because the increasing number of Accidents, some with fatal victims, because the capacity of damage is greater than the capacity of human resistance. Boilers and Pressure Vessels are equipments which work with internal pressures and are intended solely to produce, store and distribute Newtonian fluids, it means, steam in boilers and compressed air in vessels. Since the equipment works with pressure below or above the atmospheric pressure, Must have their own standards of control and handling in terms of operational safety with cleared works and accessories security suitable qualified. The content of this monograph presents basic concepts for the security program (NR 13).

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**CREA** - Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia

**CLT** - Consolidação das Leis do Trabalho

**DIN** - Norma Alemã

**EPI** - Equipamento de Proteção Individual

**ISO** - Organização Internacional para Normalização

**NR 13-** Norma Regulamentadora 13

**PH** - Potencial Hidrogênico

**PMTA**- Pressão Máxima de Trabalho Admissível

**PMTP**- Pressão Máxima de Trabalho Permitida

## SUMÁRIO

<b>1 CALDEIRAS .....</b>	7
<b>1.1 DEFINIÇÃO .....</b>	7
<b>2 VAPOR .....</b>	8
<b>3 CALDEIRAS FOGO TUBULARES OU TUBOS DE FOGO .....</b>	9
<b>4 CALDEIRAS AQUA TUBULARES OU TUBOS DE ÁGUA .....</b>	10
<b>4.1 CALDEIRAS MANUAIS E AUTOMÁTICAS.....</b>	10
<b>4.2 FUNCIONAMENTO.....</b>	11
<b>5 RISCO DE EXPLOSÕES.....</b>	13
<b>5.1 SUPERAQUECIMENTO COMO CAUSA DE EXPLOSÕES.....</b>	15
<b>5.2 CHOQUES TÉRMICOS.....</b>	18
<b>5.3 DEFEITOS DE MANDRILAGEM.....</b>	19
<b>5.4 FALHAS EM JUNTAS SOLDADAS.....</b>	20
<b>5.5 ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA METALOGRÁFICA DO AÇO.....</b>	21
<b>5.6 CORROSÃO.....</b>	21
<b>5.7 EXPLOSÕES CAUSADAS PELO AUMENTO DE PRESSÃO.....</b>	26
<b>5.8 EXPLOSÃO LADO DOS GASES.....</b>	29
<b>5.9 OUTROS RISCOS DE ACIDENTES.....</b>	30
<b>6 TRATAMENTO DE ÁGUA DAS CALDEIRAS.....</b>	33
<b>6.1 MÉTODO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....</b>	33
<b>6.1.1 MÉTODOS EXTERNOS .....</b>	34
<b>6.1.2 MÉTODOS INTERNOS.....</b>	35
<b>6.2 MANUTENÇÃO DE CALDEIRAS.....</b>	36

6.2.1 CONTROLE QUIMICO.....	36
6.2.2 LIMPEZA QUIMICA DE CALDEIRAS.....	38
6.2.3 PROTEÇÃO DAS CALDEIRAS CONTRA CORROSÃO.....	38
<b>7 NORMA REGULAMENTADORA NR 13.....</b>	<b>40</b>
<b>8 VASOS DE PRESSÃO.....</b>	<b>46</b>
8.1 DEFINIÇÃO.....	46
<b>9 TIPOS DE VASOS.....</b>	<b>47</b>
9.1 ABERTURAS EM VASOS DE PRESSÃO.....	48
9.2 REFORÇOS NAS ABERTURAS.....	49
9.3 CLASSIFICAÇÃO DOS VASOS DE PRESSÃO.....	49
9.4 CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO.....	50
<b>10 INSPEÇÕES.....</b>	<b>51</b>
<b>ILUSTRAÇÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 – Caldeira em Limpeza.....	52
Figura 2 – Caldeira Vertical Importada.....	53
Figura 3 – Caldeira com Queimador a Gás.....	54
Figura 4 – Caldeira Vertical.....	55
Figura 5 – Vista do Exaustor.....	56
Figura 6 – Lateral de uma Caldeira de Grande Porte.....	57
Figura 7 - Lavador de Gases.....	58
Figura 8 - Frente de uma Caldeira de Grande Porte.....	59
Figura 9 – Conjunto Compressor, Pulmão e Secador.....	60
Figura 10 – Pulmão de Ar Médio.....	61
Figura 11 - Pulmão de Ar Grande.....	62
Figura 12 - Auto Clave Amassada, Bateu em Parede Devido a Explosão.....	63
Figura 13 – Tampa da Auto Clave, Amassada em Explosão.....	64

## **INTRODUÇÃO**

Esta Monografia tem como objetivo, fazer com que seja criado um Programa de Segurança em Caldeiras e Vasos de Pressão, pois a maioria das empresas trabalham em regime contínuo, dia e noite, portanto estes equipamentos ficam submetidos a regime severo de operação, porque não há paradas para manutenção ou inspeção. Toda parada não programada resulta sempre em grandes prejuízos, daí a necessidade de máxima segurança,

Estes equipamentos são muito perigosos, pois em uma Caldeira de mesmo tamanho e capacidade de um Vaso de Pressão, porque em caso de explosão os danos causados pela Caldeira são muito maiores,todos os procedimentos descritos e realizados deverão contribuir para um menor número de acidentes.

## 1 CALDEIRAS

### 1.1 DEFINIÇÃO

Caldeira é a denominação popular, a toda e qualquer instalação destinada a produzir vapor de água sob pressão superior à atmosférica, a sua aplicação tem sido ampla no meio industrial e também na geração de energia elétrica nas chamadas centrais termoelétricas. (SENAI – SP - 1999 - Treinamento de Segurança )

## 2 VAPOR

É empregado geralmente para aquecimento e para a produção de trabalho mecânico. Para aquecimento o vapor poderá ser utilizado direta ou indiretamente. Em casos de aquecimento direto com o material a ser aquecido. Um dos casos é o Aquecimento de água ou outros líquidos com Injeção direta de vapor. Pode ser utilizada em lavagem de garrafas, curtimento de couro, esterilização, engomagem de tecidos e outros indiretamente, o vapor não entra em contato com os materiais a serem aquecidos e, portanto, é separado por uma superfície, isto é empregado quando necessitamos de uma grande quantidade de calor em processos que devem ser livres de contaminação.

Há equipamentos que operam com o uso indireto de vapor; calandras. Ao produzir-se vapor em caldeiras primeiramente todo o vapor fornecido a água (pelos gases de combustão, ou pela queima de combustível) serve para o aumento de temperatura. A esta mudança de temperatura dá-se o nome de calor sensível.

A caldeira é como uma panela de pressão residencial ou industrial, conforme o calor vai sendo fornecido à água, a pressão vai aumentando juntamente com a temperatura até que a mesma abra a válvula de segurança a qual se considera pressão de trabalho da caldeira (PMTA) ao calor associado a esta mudança de fase dá-se o nome de calor latente.

Se a qualidade do vapor for 100%, este será vapor saturado, se transferirmos calor e aumentarmos a sua temperatura, calor sensível o que provocará o seu superaquecimento, (Vapor Superaquecido).

Há vários tipos de caldeiras que podem classificar-se por diversos critérios Uma classificação genérica classificam as mesmas em Fogo Tubulares e Água Tubulares.

### **3 CALDEIRAS FOGO TUBULARES OU DE TUBOS DE FOGO**

Como o nome indica, são aquelas em que os gases quentes resultantes da combustão (fogo) passam por dentro dos tubos. As mesmas ainda podem se classificar em caldeiras de reversão seca e caldeiras de reversão úmida.

No primeiro tipo, têm-se materiais refratários na câmara de reversão traseira, separando os gases na segunda e terceira passagem. Para as unidades de reversão úmida, a câmara de reversão está imersa em água, dispensando a necessidade do trapézio e de revestimento refratário.

## 4 CALDEIRAS AQUA TUBULARES OU DE TUBOS DE ÁGUA

Neste tipo a água circula por dentro dos tubos e os gases quentes pela parte externa dos mesmos, são unidades com capacidade elevada de geração de vapor e altas pressões.

### 4.1 CALDEIRAS MANUAIS E AUTOMÁTICAS

As caldeiras manuais exigem a ação continua do operador para o seu perfeito funcionamento.

Nas automáticas, a pressão de vapor, da combustão e da alimentação de água é feita por instrumentos, cabendo ao operador apenas a supervisão de seu funcionamento.

Nas manuais o operador deverá ter cuidados especiais visto que toda a sua operação dependendo próprio foguista. Estas em caso de elevação excessiva da pressão, há grande risco de acidente grave, caso as válvulas de segurança estejam desreguladas ou inoperantes. Regulagem a cada 6 meses ou 1 ano nas inspeções.

Segundo a NR – 13 as cm caldeiras se classificam em 3 categorias :

- Caldeiras de categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19,6 bar = 19,98 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Caldeiras de categoria C são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5,88 bar = 5,99 kgf/cm<sup>2</sup>) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros.
- Caldeiras de categoria B são todas aquelas que não se enquadram nas categorias anteriores.

As caldeiras ou geradores de vapor necessitam de equipamentos para que se possa controlar a operação a seguir :

- Sistema de controle da água de alimentação
- Indicador de nível
- Válvulas de Segurança
- Sopradores de Fuligem
- Injetores
- Outros (lavadores de gases)

#### 4.2 FUNCIONAMENTO

O controle de água de alimentação deve regular o abastecimento da água do tubulão de evaporação e manter o nível em limites desejáveis, isto deverá ser observado pelo indicador de nível. Uma boa parte das caldeiras são equipadas com sistemas automatizados, os quais dão maior segurança , maiores rendimentos e pouco gasto em sua manutenção. O sistema automático é o controle mais utilizado o mesmo é regulado pelo nível entre os eletrodos.

Este sistema é ligado na bomba de alimentação, consiste na garrafa com visor e três eletrodos, (exemplo: eletrodo 2 e o terra) tem a função de ligar a bomba de alimentação; o eletrodo 3 e o terra, desligam a bomba, e o eletrodo 1 com o terra tem como função indicar baixo nível de água,fazendo com que o alarme dispare, indicando que ela deverá ser desligada, e procurar o motivo que ocasionou o alarme.

A caldeira poderá ser deixada de ser alimentada por cavitação, (bombas centrifugas com sucção deficiente), por falta de água na caixa de retorno do condensado, por exemplo.

O visor de nível tem como função indicar o nível de água dentro do tubulão. Normalmente é utilizado vidro tubular neste indicador.

As válvulas de segurança são necessárias para abrirem quando a pressão a pressão normal de trabalho subir acima de sua aferição (PMTA).

Toda caldeira deve ter pelo menos uma válvula de Segurança, mas o recomendado é que se utilizem duas, as mesmas devem ser capazes de descarregar todo o vapor que foi gerado não podendo ser superiora 10 % da pressão de projeto da mesma.

Um outro dispositivo empregado é o injetor, isto é, acima de 20lbs. água quente puxa água fria pelo venturi, para auxiliar nas caldeiras em casos de falta de energia elétrica.

As caldeiras são providas de pressostatos, os quais em conjunto com os queimadores ou com os alimentadores, mantém a pressão dentro de uma faixa admissível de operação da mesma.

Nelas são colocados manômetros ligados diretamente ao espaço interno ocupado pelo vapor, estes têm graduações em unidades apropriadas, estes não poderão ser inferiores a 1,5 vezes a pressão de trabalho, os mesmos deverão ter 2 vezes a pressão de trabalho.

As caldeiras deveriam ter uma ligação para manômetro aferidor; não encontrei nenhuma durante as minhas inspeções. Um acessório importante que atua no queimador é o sensor de chama, no ponto mais baixo da caldeira, temos as válvulas de purga (registros de alavanca), na parte superior tem-se a válvula de bloqueio (segurança).

## 5 RISCOS DE EXPLOSÕES

O emprego de caldeiras implica na presença de riscos dos mais diversos: explosões, incêndios, choques elétricos, intoxicações, quedas, ferimentos diversos, etc. Os **riscos de explosões** são, entretanto, os mais importantes pelas seguintes razões:

- Por se encontrar presente durante todo o tempo de funcionamento, sendo imprescindível seu controle de forma contínua, ou seja, sem interrupções.
- Em razão da violência com que as explosões acontecem. Na maioria dos casos suas consequências são catastróficas, em virtude da enorme quantidade de energia liberada instantaneamente.
- Por se envolver não só os operadores, como também as pessoas que trabalham nas redondezas.
- Por que sua prevenção deve ser considerada em todas as fases: projeto, fabricação, operação, manutenção, inspeção e outras.

O risco de explosão do lado da água está presente em todas as caldeiras, pois a pressão reinante nesse lado é sempre superior à pressão atmosférica. Todo fluído compressível tem o seu volume bastante reduzido quando comprimido. Essa redução é tantas vezes menor quanto for o aumento de pressão. A massa comprimida de fluido procura então, ocupar um espaço maior através de fendas e rupturas. Isso é conseguido com a explosão, quando, por algum motivo, a resistência do recipiente que o contém é superada. Para evitar a explosão surge a necessidade de empregar-se **espessuras adequadas** em função da **resistência do material e das características de operação**.

No caso de caldeiras, outro fator importante a ser considerado quanto às explosões é a grande quantidade de calor transmitida no processo de vaporização, dada a grande quantidade de calor latente e calor sensível absorvida pelo vapor. Neste sentido, os danos provocados pela explosão de uma caldeira serão muito maiores que um reservatório contendo ar, por exemplo, de mesmo volume e de mesma pressão. Isso por que parte da energia será liberada na forma de calor, provocando o aquecimento do ambiente onde a explosão ocorre.

Com a finalidade de analisar o comportamento das curvas de cálculo de espessuras, simplifica-se a expressão aplicável a equipamentos submetidos a pressões internas, onde são eliminados os termos que exercem pequena influência e obtém-se:

$$\boxed{e = p R / \sigma_{adm}}$$

sendo  $e$  a espessura;  $p$  a pressão de projeto;  $R$  o raio interno e  $\sigma_{adm}$  a tensão admissível.

Risco de explosão pode, portanto, ser originado pela combinação de 3 causas:

- **Diminuição da resistência**, que pode ser decorrente do superaquecimento ou da modificação da estrutura do material.
- **Diminuição da espessura** que pode ser originada da corrosão ou da erosão.
- **Aumento de pressão** decorrente de falhas diversas, que podem se operacionais ou não.

## 5.1 O SUPERAQUECIMENTO COMO CAUSA DE EXPLOSÕES

Quando o aço com que é construída a caldeira é submetido, em alguma parte, à temperaturas maiores àquelas admissíveis, ocorre redução da resistência do aço e aumenta o risco de explosão. Entretanto, antes da ocorrência da explosão podem haver danos: **empenamentos, envergamentos e abaulamentos.**

Nas caldeiras aquotubulares é muito freqüente a ocorrência de abaulamento com a superfície convexa voltada para o lado dos gases, decorrentes da **deformação plástica do aço** em temperatura da ordem de 400 a 550°C e sob a ação duradoura de pressão interna de vapor.

Outra conseqüência do superaquecimento é a **oxidação das superfícies expostas**, se o meio for oxidante, ou é a carbonatação (formação de carbetos de ferro), se o meio for redutor.

**Incrustações.** Esse é um problema clássico relacionado à segurança de caldeiras. As incrustações são deposições de sólidos sobre as superfícies de aquecimento, no lado da água, devido à **presença nessa de impurezas:** sulfatos, **carbonatos de cálcio e/ou magnésio**, silicatos complexos (contendo Fe, Al, Ca e Na) e sólidos em suspensão. Aparecem ainda, devido à **presença de precipitados** que resultam de tratamentos inadequados da água da caldeira (borras de fosfato de cálcio ou magnésio) e de **óxidos de ferro não protetores**. A incrustação, se comportando como isolante térmico (a condutividade térmica é cerca de 45 vezes menor que a do aço), não permite que a água mantenha refrigerada as superfícies de aquecimento. Isso reduz a transferência de calor do aço para a água, fazendo com que o aço absorva mais calor sensível e aumentando sua temperatura de forma

proporcional à quantidade de calor recebida. Nos casos de incrustações generalizadas há um agravamento da situação para manter-se a água na temperatura de ebulação, pois é necessário o aumento do fornecimento de calor no lado dos gases. Com esse aumento de temperatura, podem ocorrer as seguintes consequências indesejáveis com relação à segurança do equipamento:

**O aço, previsto para trabalhar em temperaturas da ordem de 300°C, fica exposto a temperaturas da ordem de 500°C, fora dos limites de resistência (maleável).** Portanto, o risco de explosão acentua-se.

**A camada incrustante pode romper-se e soltar-se, fazendo a água entrar em contato direto com as paredes do tubo em alta temperatura, o que pode provocar a expansão repentina da água e, de consequência, a explosão.**

**Formação de zonas propícias à corrosão,** em virtude da porosidade da camada incrustante e a possibilidade da migração de agentes corrosivos para sua interface com o aço.

**Operação em marcha forçada.** Isso ocorre quando a caldeira possui potência insuficiente para atender as necessidades de vapor do usuário, que na expectativa de ver sua demanda atendida, intensifica o fornecimento de energia à fornalha. Nessas circunstâncias, dadas as limitações da caldeira, em vez de alcançar a produção desejada, o que se consegue através do superaquecimento determinando a deformação ou até a ruptura.

**Falha operacional.** As caldeiras industriais de última geração operantes com combustível líquido ou gasoso são totalmente automatizadas, cujos parâmetros de funcionamento são controlados por meio de malhas de instrumentação. Isso tem exigido dos operadores poucas intervenções, exigindo, porém, maior qualificação do

pessoal e maior precisão nas decisões. A lógica do automatismo das caldeiras, obtido através de pressostatos e do sistema regulador de nível da água, que comandam, respectivamente, o funcionamento dos queimadores e das bombas de alimentação de água. A atuação desses dispositivos, indispensáveis à segurança das caldeiras, podem interromper subitamente o funcionamento das mesmas, através de válvulas solenóides que bloqueiam o suprimento de combustível, desligando totalmente os queimadores.

Não obstante o automatismo das caldeiras modernas, os períodos de acendimento e de desligamento das mesmas acontecem, em geral, de forma manual. Se o acendimento se realizasse em posição automática, os controles admitiriam o máximo fornecimento de energia, pois são comandados pela pressão de vapor e isso pode ser desastroso para a caldeira. Na posição de manual, o risco de falta de água está relacionado à procedimentos inadequados do operador, que, por exemplo, não aumenta a vazão de água quando o nível tende a baixar. Falhas desse tipo em geral acontecem por falsas indicações de nível ou por imperícia na operação da caldeira.

**Riscos de obstruções ou acúmulo de lama na coluna de nível,** geralmente acontecem, quando a limpeza ou a manutenção preventiva ou o tratamento da água são realizados de forma deficiente. Isso poderá fornecer indicações de nível incorretas para o operador ou para os instrumentos responsáveis pelo suprimento de água. De forma similar, obstruções em tubulações de água de alimentação da caldeira podem conduzir a riscos de acidentes, pois a vazão de ingresso da água será inferior à vazão de saída do vapor.

**Em casos de variações no consumo** ocorrer um aumento brusco na vazão de vapor, a instrumentação pode ser responsável por falta de água, pois em virtude

da queda brusca de pressão, bolhas de vapor que se formam sob a superfície da água se expandem, dando origem a uma falsa indicação de nível alto, o que reduz a vazão de entrada de água. Além disso, como pressostato sente a baixa pressão, o sinal que ele envia para os dispositivos de combustão é no sentido de fazer aumentar o fornecimento de combustível, isso tenderá a agravar a condição de risco de acidente.

## 5.2 CHOQUES TÉRMICOS

Os choques térmicos acontecem em virtude de freqüentes paradas e recolocação em marcha de queimadores. As caldeiras suscetíveis a essas condições são aquelas que possuem queimadores com potência excessiva ou queimadores que operam em *on-off*, ou seja, que não modulam a chama. As incrustações das superfícies também favorecem os efeitos dos choques térmicos.

Outras situações de ocorrência de choques térmicos são quando a caldeira é alimentada com água fria (<80°C) ou com entrada de água quente nas regiões frias. Os problemas com choques térmicos acontece com mais freqüência com as caldeiras fumotubulares, especialmente com aquelas com câmara de reversão traseira seca.

**Falha operacional** pode também contribuir para a ocorrência de choques térmicos. Isso pode acontecer quando após uma redução excessiva do nível de água, por um motivo qualquer e com parte da superfície de aquecimento sem refrigeração, o operador faz injetar água na tentativa de restabelecer o nível normal.

Em situações como esta, deve-se adotar como medida correta a **cessação imediata do abastecimento de combustível aos queimadores.**

### 5.3 DEFEITO DE MANDRILAGEM

A mandrilagem é a operação de expansão do tubos junto aos furos dos espelhos da caldeira. A expansão é feita, portanto, nas extremidades dos tubos por meio de um dispositivo cônico chamado mandril e que gira em torno de seu eixo axial. Através da mandrilagem os tubos ficam ancorados, com a estanqueidade devida, nos espelhos das caldeiras fumotubulares ou nas paredes do tubulão das caldeiras aquotubulares. A estanqueidade pode ficar comprometida, se no momento da mandrilagem houverem corpos estranhos na superfície externa da extremidade dos tubos ou nas paredes dos furos. Problemas podem também ocorrer se o processo de mandrilagem não for bem controlado, promovendo o aparecimento de trincas nos espelhos (entre furos) e/ou nos tubos.

Para melhorar a estanqueidade no processo de mandrilagem é necessário empregar chapas com espessura mínima de  $\frac{3}{4}$  de polegada e a execução de *grooves*, que são sulcos circulares nos furos. Esses sulcos são inteiramente ocupados pelo tubo após a mandrilagem. Em espessuras superiores a 2 polegadas são geralmente executados 2 *grooves*. Os sulcos devem ser executados de modo que não apresentem arestas cortantes, pois podem cisalhar as paredes do tubo, trazendo riscos adicionais.

## 5.4 FALHAS EM JUNTAS SOLDADAS

O processo de soldagem é muito aplicado na fabricação de caldeiras: solda de tubos, solda de espelhos(chapas onde são mandrilados os tubos fontral e fundo), solda de tubulões, de reforços, de estais, etc. Portanto, falhas em juntas soldadas aumentam os riscos de acidentes nas caldeiras, pois representam regiões de menor resistência do metal.

De modo geral, o Instituto Internacional de Solda classifica os defeitos em grupos:

- **Grupo 1 – Fissuras ou trincas.**
- **Grupo 2 – Cavidades**
- **Grupo 3 – Inclusão de escória**
- **Grupo 4 – Falta de fusão e de penetração**
- **Grupo 5 – Defeitos de forma**

Hoje, a maior parte dos fabricantes de caldeiras empregam processos automatizados de soldagem, sendo o **processo a arco submerso** o que tem apresentado melhores resultados, especialmente na soldagem de chapas de grande espessura. Nesse processo é eliminada a necessidade de execução de vários passes, como também as descontinuidades de soldagem manual. Proporciona cordões de solda limpos, alta eficiência, menor incidência de falhas e, do ponto de vista de segurança do trabalho, é pouco nocivo ao trabalhador, pois não emite radiações e o arco elétrico fica submerso em um pó, chamado fluxo de soldagem, durante todo o tempo de execução da solda.

Sem dúvidas, qualquer que seja o processo de soldagem, esse deve ser executado por **soldadores qualificados** e segundo processos reconhecidos por normas técnicas específicas. Após as operações de soldagem, as caldeiras devem passar por **tratamentos térmicos de alívio de tensões** ou de normalização, para minimizar as tensões resultantes do processo de solda.

Para garantir segurança à caldeira desde sua construção, é fundamental que suas juntas soldadas sejam controladas por ensaios não destrutivos, tal como **exame radiográfico**.

## 5.5 ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA METALOGRÁFICA DO AÇO

Devido à alta capacidade de produção de vapor, ocorre nas caldeiras que operam a pressões elevadas, a **decomposição de água**, com o consequente **desprendimento de oxigênio e de hidrogênio**. O H<sub>2</sub>, difundindo-se na estrutura do aço, atua sobre a cementita (FE<sub>3</sub>C – confere dureza e resistência ao aço carbono), decompondo-a em ferrita e carbono, o que reduz a resistência do aço. O H<sub>2</sub> pode ainda reagir com o carbono, produzindo CH<sub>4</sub> (gás metano), que provoca o **empolamento** do aço, ou seja, a formação de protuberâncias superficiais.

## 5.6 CORROSÃO

Um dos principais responsáveis pela degradação das caldeiras é a corrosão, que age como fator de redução da espessura das superfícies submetidas a pressão.

A corrosão não é sentida pelos instrumentos de operação da caldeira, ou seja, os pressostatos e as válvulas de segurança não detectam sua evolução por que não é acompanhada por elevação de pressão de trabalho. A corrosão avançada das partes da caldeira, pode ser causa de explosões até mesmo em pressões inferiores à **PMTA – Pressão Máxima de Trabalho Admissível**. Portanto, o avanço da corrosão em caldeiras só pode ser detectado por meio de **inspeções minuciosas do equipamento** (obrigatórias por lei).

A corrosão nas caldeiras podem ocorrer tanto nas partes em contato com a água (corrosão interna), como nas partes em contato com os gases (corrosão externa):

**Corrosão interna.** Esse tipo de corrosão se processa sob várias maneiras, segundo vários mecanismos, entretanto, é sempre consequência direta da presença de água (características, impurezas presentes), quando em contato com o ferro, nas diversas faixas de temperatura.

**Oxidação generalizada do ferro.** O aço dos tubos e chapas antes da colocação em marcha das caldeiras apresenta uma fina camada (da ordem de 50 microns) protetora contra a corrosão, chamada **magnetita** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), que apresenta uma coloração escura, densa e aderente. No funcionamento da caldeira, essa camada protetora está constantemente sendo quebrada e reconstruída e é muito resistente à alguns agentes químicos (ácido nítrico). Entretanto, quando sofre a ação de agentes físicos, tais como choques térmicos e dilatações e/ou a ação de agentes químicos, tal como soda cáustica, oxigênio, quelantes de tratamentos de água, etc., a magnetita deixa de existir e inicia-se o oxidação do ferro, resultando na formação de outros óxidos não protetores do aço.

**Corrosão galvânica.** Ocorre quando dois metais diferentes estão em presença de um eletrólito, gerando uma diferença de potencial e, de conseqüência, um fluxo de elétrons. Nas caldeiras, o par galvânico pode ser originado quando partes metálicas de cobre ou de níquel ou outro metal, se desprendem pela erosão, cavitação de tubulações ou de rotores de bombas e se alojam em ranhuras ou pequenas folgas entre as partes da caldeira. O aço, atuando como anodo, é o elemento mais prejudicado quanto à corrosão.

**Corrosão por aeração diferencial.** Isso ocorre em geral, nas caldeiras fumotubulares em que o oxigênio dissolvido na água provoca corrosão dos tubos superiores. Os tubos submersos estão submetidos a menores concentrações de O<sub>2</sub>, comparados à região acima da superfície da água (daí o nome aeração diferencial). Essa diferença de concentração de O<sub>2</sub> forma uma pilha em que o anodo é formado pela parte menos aerada. Como na pilha galvânica, o anodo, nesse caso, é também a região que apresenta corrosão mais severa, e, sendo localizada, viabilizará o aparecimento de pites (cavidade na superfície metálica com fundo angular e profundidade maior que o seu diâmetro) ou alvéolos (cavidade na superfície metálica com fundo arredondado e profundidade menor que seu diâmetro). Nas caldeiras aquotubulares a aeração diferencial ocorre no tubulão superior e nos purificadores de vapor.

**Corrosão salina.** Acontece quando existem concentrações elevadas de cloretos que migram para ranhuras ou regiões sem proteção da magnetita. Os cloretos podem também se alojar sob camadas porosas que se formam sobre os tubos. Em particular, o cloreto de magnésio se hidrolisa formando ácido clorídrico, atacando quimicamente o ferro da caldeira. Em geral, os cloretos na presença de O<sub>2</sub>

catalizam a reação da magnetita com o O<sub>2</sub> resultando o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, que é um óxido não protetor.

**Fragilidade cáustica.** Esse é um modo de corrosão em que o hidróxido de sódio (soda cáustica), em concentrações acima de 5%, migra para fendas ou outras partes em que não existe a camada protetora de magnetita e reage diretamente com o ferro.

**Corrosão por gases dissolvidos.** A água da caldeira pode se contaminar com gases, especialmente com o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), decorrentes da poluição atmosférica ou pelo seu tratamento com sulfito de sódio. O H<sub>2</sub>S reage com o ferro dando origem a sulfeto de ferro (FeS), que se apresenta sob a forma de manchas pretas. O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) torna a água ligeiramente acidificada, viabilizando a formação de pites.

Outro fator que também age na redução da espessura é a **erosão**. Esse fenômeno pode acontecer de diversas maneiras nas caldeiras. Nas caldeiras fumotubulares pode ocorrer, por exemplo, na alimentação da água pela bomba em que o jato de entrada, podendo conter partículas pesadas (areia, partes metálicas, etc.), incide sobre a parede externa da fornalha, causando seu desgaste. A erosão pelo vapor pode acontecer em sedes de vedação de válvulas de segurança. Essas válvulas são normalmente fabricadas para resistir à ação abrasiva da passagem do vapor em regime de solicitações normais, ou seja, quando a válvula é aberta apenas em situações de emergência e de testes. Entretanto, quando outros controles de pressão não estão presentes ou não funcionam, a válvula de segurança deixa de ser um acessório de emergência e passa a funcionar com maior freqüência, desgastando de modo excessivo e reduzindo muito a vida útil do disco de assentamento. Nas caldeiras aquatubulares a erosão é freqüentemente ocasionada

por sopradores de fuligem desalinhados, que direcionam o jato de vapor sobre os tubos, em vez de entre eles.

A cavitação é também uma forma de degeneração dos materiais, podendo ser responsável pela redução de espessuras. Seu mecanismo é caracterizado pela ação dinâmica resultante da contínua formação e colapso de bolhas de gases ou vapores do meio líquido sobre uma superfície. Sua ocorrência é muito comum em bombas centrífugas (com pressão de sucção deficiente), dobras, cotovelos e derivações de tubulações, válvulas, etc.

Logicamente, a ação combinada dos dois últimos fenômenos com a corrosão, é muito mais maléfica para as caldeiras, que o efeito isolado de cada um deles.

**Corrosão externa.** Esse tipo de corrosão acontece nas superfícies expostas aos gases de combustão e é função do combustível utilizado e das temperaturas. Nas caldeiras aquatubulares, as superfícies de aquecimento mais quente são aquelas do superaquecedor e do reaquecedor, podendo ocorrer corrosão tanto nas caldeiras que queimam óleo como carvão. Outro problema de corrosão ocorre nas caldeiras que operam com cinzas fundidas, que permitem o ataque do O<sub>2</sub>, destruindo a camada protetora de magnetita. A corrosão nas regiões de baixa temperatura é consequência direta da presença de enxofre nos combustíveis, na forma de sulfatos, de compostos orgânicos ou na forma elementar. A decomposição dos sulfatos produz SO<sub>3</sub>, já o enxofre elementar e os compostos orgânicos produzem no processo de combustão o SO<sub>2</sub> e o SO<sub>3</sub> (em menor quantidade). O SO<sub>2</sub> por sua vez pode oxidar-se em SO<sub>3</sub> por ação direta do O<sub>2</sub> ou por oxidação direta catalítica ao contato dos depósitos existentes sobre as superfícies de aquecimento. Para os combustíveis contendo enxofre na ordem de 3%, o teor de SO<sub>3</sub> nos gases de combustão varia entre 20 a 80 ppm (partes por milhão) em massa.

Os gases de combustão contendo vapor d'água, pode haver a condensação de gotas de ácido sulfúrico quando a temperatura reduz muito e atinge o ponto de orvalho. Esse depende das pressões parciais do H<sub>2</sub>O e do SO<sub>3</sub> nos gases de combustão, porém pode variar de 90 a 160°C. A condensação das gotas de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pode, desta forma, acontecer nas partes finais das caldeiras aquatubulares, ou seja, no economizador, no pré-aquecedor de ar e na chaminé.

Outro fator que contribui para a corrosão externa é o ar atmosférico. Caldeiras instaladas em regiões muito úmidas, locais próximos ao mar e em atmosferas fortemente poluídas, apresentam corrosão externa, de modo generalizado, em todas as suas partes (chaparias, colunas, escadas, plataformas, etc.).

## 5.7 EXPLOSÕES CAUSADAS POR AUMENTO DA PRESSÃO

A pressão do vapor em uma caldeira é função direta da quantidade de energia disponível na fornalha pela queima do combustível e que é transmitida à água. Sendo assim, a pressão interna na caldeira depende fundamentalmente da atuação do queimador. Entretanto, o queimador não é o único responsável pelo aumento de pressão na caldeira, pois a bomba de alimentação injeta água com pressão superior àquela de trabalho. Se a vazão com que a bomba alimenta a caldeira for maior que aquela de saída do vapor, o nível de água sobe e a pressão de trabalho aumenta. Durante a operação normal da caldeira, a pressão é mantida dentro de seus limites pelos seguintes sistemas:

**Sistema de modulação de chama.** Sistema constituído por um pressostato modulador de chama, um servo-motor e um conjunto de registros (*dampers*). O pressostato possui um diafragma ou fole que se estende com o aumento da pressão e que aciona os contatos que emitem o sinal elétrico para o acionamento do servo-motor. Esse transmite movimento à alavancas, que acionam os *dampers*, alterando a vazão de combustível e a vazão de ar. Com isso, a alimentação do queimador fica modificada e obtém-se a modulação de chama, ou seja, sua redução nos momentos de pressões elevadas e sua intensificação nos momentos de pressões baixas.

**Sistema de pressão máxima.** Esse é composto por um pressostato e uma válvula solenóide. Quando a pressão se eleva além de um certo limite, o pressostato é acionado e corta a alimentação elétrica da válvula solenóide. Conseqüência direta disso, é o corte completo de combustível ao queimador. Quando a pressão normal de trabalho se restabelece, o pressostato faz abrir totalmente a passagem do combustível ao queimador.

**Válvula de segurança.** Como já comentado anteriormente, essas válvulas têm a função de deixar sair o vapor quando a pressão ultrapassa a PMTA, fazendo diminuir a pressão interna.

**Sistema manual.** Conforme for a indicação de pressão no manômetro da caldeira, o operador tem condições de acionar os vários dispositivos para intervir, onde for necessário, para manter a pressão interna da caldeira: queimador, bomba de alimentação ou mesmo na válvula de segurança. Por meio dessa última, o vapor pode ser liberado à atmosfera manualmente (acionamento da alavanca da válvula, por exemplo).

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 colagem dos contatos. Falhas nas válvulas solenóides oferecem riscos quando impedem o bloqueio do combustível, ou seja, quando operam 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 necessita sua abertura. É importante observar que, normalmente, a válvula de segurança opera após o sistema de pressão máxima não ter funcionado. Ou seja, se a válvula de segurança não funcionar, a segurança do sistema estará bastante comprometida, restando apenas o sistema manual como possível controle da situação.

Falhas no sistema manual são decorrentes de defeitos em instrumentos de indicação de pressão (manômetros) e de nível, ou nos dispositivos de controle, ou, ainda, de procedimentos inadequados por parte do operador.

## 5.8 EXPLOSÕES NO LADO DOS GASES

As explosões no lado dos gases são originadas por uma reação química, ou seja, pelo processo de combustão. Esse processo além de ocorrer exotermicamente, acontece em um tempo muito pequeno, cuja consequência é o aumento rápido e violento da pressão em um espaço restrito. As explosões dessa natureza acontecem com freqüência nas caldeiras que operam com combustíveis líquidos e gasosos. As névoas de líquidos inflamáveis ou de óleos combustíveis aquecidos apresentam comportamento similar às dispersões gasosas inflamáveis. Quando entram em contato com o ar, formam uma mistura que entra em combustão instantânea, se a relação ar/combustível estiver dentro do limite de inflamabilidade do combustível e 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 pode ocorrer acúmulo de gases não queimados.

As explosões no lado dos gases acontecem com freqüência na recolocação manual em marcha da caldeira, quando é promovida a ignição com retardo, ou sem purga prévia, condição em que a fornalha se encontra inundada com a mistura combustível-comburente. Ocorre casos também de explosões durante o funcionamento 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 do combustível. Essa falha, associada ou não a falhas no sistema de alimentação de ar, pode causar perda momentânea da chama. Com isso, o interior da fornalha ficará 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.

Algumas caldeiras fumotubulares possuem válvulas de alívio instaladas nos espelhos dianteiros. Essas válvulas são mantidas fechadas por ação de molas durante o funcionamento normal da caldeira e, se abrem para fora, quando a pressão da fornalha supera a pressão exercida pelas molas, ou seja, no momento de uma explosão. Porém o alívio da pressão nem sempre é obtida, dada a violência com que as explosões acontecem, fazendo voar até os espelhos, nos casos mais extremos. Pode haver também casos de pequenas explosões em que essas válvulas são lançadas fora, e, como se localizam próximas à altura da cabeça do operador, podem criar riscos adicionais.

## 5.9 OUTROS RISCOS DE ACIDENTES

Outras condições determinam situações de risco de acidentes no ambiente das caldeiras, em particular, para o operador. Uma das situações é o **risco de queimaduras** na sala de caldeiras por água quente, vapor, óleo aquecido, tubulações e depósitos desprotegidos, etc. Deve-se considerar ainda, o risco de queimaduras por contato com produtos cáusticos, normalmente empregados para a neutralizar o pH da água da caldeira, como o hidróxido de sódio e outros produtos químicos.

Na casa de caldeira ou nas caldeiras instaladas ao tempo, há riscos consideráveis de **quedas** de mesmo nível, em virtude de óleo impregnado no piso ou de poças de óleo, se o local de trabalho não for convenientemente limpo. As

quedas de níveis diferentes representam maiores perigos, pois existem caldeiras de diversos tamanhos, podendo atingir alturas de até dezenas de metros. Nessas caldeiras há necessidade de acesso do operador a diversos níveis, seja para observação de visores de fornalha, de sistemas de alimentação, de válvulas, etc.

Do ponto de vista ergonômico, as caldeiras têm evoluído muito nos últimos anos, existindo hoje, caldeiras que possuem câmaras de vídeo para que o operador possa observar e exercer à distância, e confortavelmente sentado à frente de um painel, o controle das fornalhas, do nível, dos sistemas de alimentação, etc. Entretanto, essas não são em geral, as condições freqüentemente encontradas. Em termos ergonômicos, o corpo de um operador de caldeira é solicitado muitas vezes por movimentos desordenados e excessivos, localizados ou generalizados: visores mal posicionados, manômetros instalados em ângulos inadequados, válvulas emperradas e que possuem volantes exageradamente pequenos, regulagem de chamas que exigem operações iterativas, etc.

A presença de ruído de baixa freqüência dos queimadores e de alta freqüência proporcionada por vazamentos de vapor (acidentais ou intencionalmente provocados pelas válvulas de segurança) constitui um espectro sonoro peculiar e variável ao longo da jornada de trabalho de seis a oito horas dependendo da empresa.

**Desconforto térmico** nas operações de caldeiras é muito freqüente e de fácil constatação, porém a sobrecarga térmica para ser identificada, exige a análise 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 acompanhamento individual.

Há também riscos de os operadores terem os **olhos expostos à radiação infravermelha** em operações de regulagem de chama e em observações prolongadas de superfícies incandescentes sendo necessário o uso de óculos com lentes escuras.

Fumaças, gases e vapores expelidos pela chaminé representam, em certas condições, riscos não somente aos operadores, como também à comunidade, ou seja, pelo risco de intoxicação por monóxido de carbono, por exemplo.

Caldeiras operantes com carvão, lenha, bagaço de cana, biomassa e outras oferecem ainda, riscos inerentes ao manuseio, armazenagem e processamento do combustível.

## 6 TRATAMENTO DE ÁGUA DE CALDEIRAS

As principais grandezas de qualidade da água são:

**Dureza Total.** Representa a soma das concentrações de cálcio e magnésio na água. Esses sais possuem a tendência de formar incrustações sobre as superfícies de aquecimento. A água em relação à dureza pode ser classificada como:

- Até 50 ppm de CaCO<sub>3</sub> ..... mole
  - 50 a 100 ppm de CaCO<sub>3</sub> ..... meio dura
  - acima de 100 ppm de CaCO<sub>3</sub> ..... dura
- **pH.** É um meio de se medir a concentração de ácido ou soda caústica em uma água. Em outras palavras é a maneira de se medir a acidez ou a alcalinidade de uma amostra. Para a determinação do pH usa-se uma escala que varia de 1 a 14, sendo que de 1 a 6 a água é ácida e de 8 a 14, a água é alcalina. Com pH igual a 7 a água é neutra. Quanto mais ácida é uma água, mais corrosiva ela é.

### 6.1 MÉTODO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Os métodos de tratamento podem ser divididos em dois grandes grupos:

- **Externos:**
- **Clarificação**
- **Abrandamento**
- **Desmineralização**
- **Desgaseificação**

- **Remoção de sílica**
- **Internos:**
- **A base de fosfato**
- **A base de quelatos**
- **Sulfito de sódio**
- **Hidrazina**
- **Sódio**

#### 6.1.1 Métodos externos

**Clarificação.** O processo consiste na prévia flocação, decantação e filtração da água com vistas a reduzir a presença de sólidos em suspensão.

**Abrandamento.** Consiste na remoção total ou parcial dos sais de cálcio e magnésio presentes na água, ou seja, consiste na redução de sua dureza.

**Desmineralização** ou troca iônica. Nesse processo são utilizadas certas substâncias sólidas e insolúveis, das mais variadas origens e natureza química, que possuem a propriedade de, quando em contato com soluções de íons, trocar esses íons por outros de sua própria estrutura sem que haja alterações de suas características estruturais. Existem dois tipos de **trocadores: de cátions e de ânions.**

**Desgaseificação.** São empregados equipamento especiais que aquecem a água e desta forma, são eliminados os gases dissolvidos. Pode ser utilizados vapor direto para o aquecimento da água a ser desgaseificada.

**Remoção de sílica.** Como já foi abordado, a sílica produz uma incrustação muito dura e muito perigosa. Os tratamentos normalmente empregados no interior da caldeira não eliminam a sílica. Os métodos mais usados para a remoção da sílica são a **troca iônica** e o tratamento com **óxidos de magnésio calcinado**.

### 6.1.2 Métodos internos

Os tratamentos internos se baseiam na eliminação da dureza, ao controle do pH e da sua alcalinidade, na eliminação do oxigênio dissolvido e no controle dos cloreto e do teor total de sólidos.

**Eliminação da dureza.** Os sais de cálcio e de magnésio precipitam como carbonatos e sulfatos, formando os depósitos duros e isolantes do calor que são as incrustações. Existem dois métodos diferentes de eliminar a dureza:

**Precipitação com fosfatos.** Esses reagem com os sais de cálcio e de magnésio formando um produto insolúvel que não adere as partes metálicas da caldeira. O precipitado forma um lodo que se acumula no fundo da caldeira, sendo eliminado regularmente por meio de purgas.

**Tratamento com quelatos.** Nesse tratamento não há precipitação do cálcio, nem do magnésio. Forma, porém, produtos solúveis não em forma de lama. Os quelantes mais utilizados são o EDTA e o NTA.

**Controle do pH e da alcalinidade.** Os produtos empregados no controle do pH e da alcalinidade são a soda a 50% e a soda (hidróxido de sódio) em lentalhas. Via de regra não é necessário a adição de ácidos para o controle do pH e da alcalinidade por que as águas de alimentação são geralmente bastante ácidas.

**Eliminação do oxigênio dissolvido.** Isso é de vital importância para o controle da corrosão. A eliminação é feita pela reação entre certos agentes redutores e o O<sub>2</sub>. Os dois produtos mais usados são o sulfito de sódio e a hidrazina.

**Controle do teor de cloretos e sólidos totais.** Quando a concentração de cloretos se torna muito alta, podem aparecer problemas de corrosão. Quando o teor de sólidos é alto, podem aparecer problemas de arraste. A forma de controlar esses teores é através de purgas sempre que se fizer necessário.

## 6.2 MANUTENÇÃO DAS CALDEIRAS

Todo tratamento para ter bons resultados depende de um controle eficiente e sistemático, quer dos parâmetros químicos e físicos, como de certas operações e procedimentos.

### 6.2.1 Controle químico

Deve ser estabelecido um programa de coleta e execução de análises que leve em conta principalmente a pressão de trabalho da caldeira, a produção de vapor e as exigências de qualidade do vapor. Em geral, para caldeiras de baixa pressão, é

recomendado uma análise química pelo menos semanal e que inclua os seguintes itens:

- pH 10 mg/l até 30 mg/l
- alcalinidade 80 mg/l até 300 mg/l
- dureza 0 mg/l
- fosfatos 15 mg/l até 80 mg/l
- sulfitos ou hidrazina 20 mg/l até 60 mg/l
- cloretos < 200 mg/l
- sólidos totais 2000 mg/l até 3000 mg/l

É comum a realização de análises mais regulares para itens como o pH, dureza e cloretos, pela facilidade de execução. Para caldeiras de alta pressão, utiliza-se pelo menos uma análise diária da água da caldeira, sendo analisados todos os itens acima mencionados.

Cuidado especial deve ser tomado com a coleta da amostra para análise. Antes da coleta deve ser feita uma purga para que seja eliminado qualquer depósito nos tubos e no fundo da caldeira. Deve ser previsto também o resfriamento da amostra de água coletada para melhorar sua concentração para obter resultados mais precisos. Caso a análise não seja feita imediatamente, é necessário evitar o contato com o ar.

De fundamental importância é a correta utilização das purgas. Em caldeiras que são regularmente apagadas deve-se fazer uma purga maior imediatamente antes de se iniciar o fogo ou durante o período de aquecimento da caldeira.

Existem diversas maneiras de adicionar-se os produtos químicos em uma caldeira. Pode-se adicionar todos os produtos de uma só vez ou pode-se adicionar um cada vez. Mas o mais correto é misturar-se todos os produtos e adicionar-se à medida que a bomba de alimentação alimenta a caldeira. Isso pode ser conseguido colocando-se uma bomba dosadora ligada junto com a bomba de alimentação.

### **6.2.2 Limpeza química de caldeiras**

As superfícies internas da caldeira, ainda que a água seja bem tratada, acumulam certa quantidade de depósitos de várias natureza através do tempo. A experiência tem mostrado que uma limpeza química regular (**a cada 5 ou 6 anos**) apresenta bons resultados. Observa-se assim, o desaparecimento de certos problemas de corrosão que são notados quando não é feita a limpeza regularmente. O rendimento da caldeira também melhora, podendo chegar a uma redução do consumo de até 20%.

Existem vários agentes de limpeza, mas o mais usado é o ácido clorídrico misturado a um inibidor, para evitar a corrosão acentuada das partes internas da caldeira.

### **6.2.3 Proteção de caldeiras contra corrosão**

Esta proteção baseia-se fundamentalmente em evitar a entrada de ar na caldeira. O método mais fácil de conseguir impedir esta entrada é pelo enchimento da caldeira com água (a própria água de alimentação).

Também pode ser feito um selo com nitrogênio, que é um gás inerte. Nesse caso, injeta-se N<sub>2</sub> no espaço vazio da caldeira até uma pressão de 3 a 5 kgf/cm<sup>2</sup>.

Caso a caldeira tenha de ser drenada, a proteção contra corrosão se baseia em evitar que a umidade se deposte sobre os metais. Isso pode ser conseguido aquecendo-se a caldeira com lâmpadas ou resistências elétricas ou usando agentes dessecantes (sílica gel ou alumina ativada).

## 7 NORMA REGULAMENTADORA Nº 13

No Brasil, desde 1943 a CLT, de forma incipiente, contempla a preocupação com a segurança em caldeiras. Porém, somente a partir de 1978 foi criada a norma sobre caldeiras e Recipientes de pressão, a NR-13, que estabeleceu as medidas de segurança para os usuários destes sistemas. No final de 1994, a Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho publicou, no Diário Oficial da União, o novo texto da NR-13 (vide site: [www.mte.gov.br](http://www.mte.gov.br)), elaborado por uma comissão composta por representantes das empresas, Governo e trabalhadores.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR-12177 – antiga NB-55 – trata dos procedimentos de como fazer as inspeções, e a NB-227, dos códigos para projeto e construção de caldeiras estacionárias. Outras entidades (INMETRO, IBP e a Abiquim), têm procurado contribuir elaborando estudos, pesquisas e discussões sobre os aspectos de segurança em caldeiras.

Caldeira não é apenas uma máquina que a qualquer problema signifique somente uma parada para manutenção. Em muitas situações esta parada representa, também, a paralisação da produção. Como já tratado, dependendo do estado de conservação do equipamento, devido à má condição de operação ou também falhas na verificação de seus sistemas de segurança, e de procedimento incorreto no funcionamento, a caldeira ou os vasos de pressão podem explodir e destruir parcial ou totalmente uma fábrica. As consequências são inúmeras e se for constatada a não observância das normas de segurança, o proprietário ou o seu preposto, no caso o inspetor de caldeira, está sujeito a ser responsabilizado civil e criminalmente.

Dentre os vários pontos importantes da NR-13, a qual é centrada, portanto, na **inspeção de segurança de caldeiras estacionárias a vapor**, são apresentadas a seguir um resumo das principais regulamentações:

É considerado "Profissional Habilitado" 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.

As caldeiras serão obrigatoriamente, submetidas à inspeção de segurança, interna e externamente, nas seguintes oportunidades:

Antes de entrarem em funcionamento, quando novas, no local de operação.

Após reforma, modificação, ou após terem sofrido qualquer acidente.

Periodicamente, pelo menos uma vez ao ano, para as caldeiras das categorias A, B e C. Estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos" podem estender os períodos entre inspeções de segurança, respeitando alguns prazos (vide norma).

Ao ser recolocada em funcionamento após intervalo de inatividade igual ou superior a seis meses consecutivos.

Quando houver mudança de local de instalação.

Ao completar 25 anos de uso, na sua inspeção subsequente, as caldeiras devem ser submetidas a rigorosa avaliação de integridade estrutural.

Toda caldeira deve possuir no estabelecimento, onde estiver instalada, a seguinte documentação:

"Prontuário da Caldeira", contendo diversas informações sobre o projeto e fabricação da caldeira (vide norma).

"Registro de Segurança" (livro próprio com páginas devidamente enumeradas), contendo todas as ocorrências importantes (condições de segurança da caldeira e inspeções anteriores).

"Projeto de Instalação".

"Projetos de Alteração ou Reparo".

"Relatórios de Inspeção", contendo algumas informações do "Prontuário da Caldeira", tipo de inspeção executada, descrevendo as inspeções e teste realizados, resultados e providências, nome legível, assinatura e CREA do "Profissional Habilitado", etc.

Todos documentos acima referidos devem estar sempre à disposição para consulta dos operadores, do pessoal de manutenção e de inspeção e do pessoal de CIPA, devendo o proprietário da empresa assegurar pleno acesso a esses documentos.

Inspecionada a caldeira e uma vez emitido o "Relatório de Inspeção", uma cópia do mesmo deve ser encaminhado pelo "Profissional Habilitado", num prazo de 30 dias, a contar do término da inspeção, à representação da categoria profissional predominante no estabelecimento.

A NR-13 regulamenta também a inspeção de **vasos de pressão**, cujas disposições são similares àquelas previstas para as caldeiras. A NR-13 prevê ainda, no seu Anexo I-A, o currículo mínimo para os cursos de "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" e no Anexo I-B, o currículo mínimo para os cursos de "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Pressão". Ainda, no

Anexo II, prevê os “Requisitos para Certificação de Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos”.

Existem muitos pontos comuns entre a norma NBR-12177 e a NR-13, entretanto, no que diz respeito às inspeções em si, encontra-se detalhado na primeira. Algumas partes importantes da NBR-12177 são vistas a seguir. As inspeções incluem:

- Exame do “Prontuário da Caldeira” e dos “Relatórios de Inspeção”
- Exame externo.
- Exame interno.
- Atualização da PMTA.
- Ensaio hidrostático.
- Ensaios complementares:
  - De acumulação.
  - Dos dispositivos de alimentação de água.
  - Outros.

O exame do prontuário visa verificar se o mesmo está devidamente organizado, completo e mantido em dia, colher dados e elementos necessários para a realização da inspeção. O exame do “Relatório de Inspeção” (último) visa verificar se não foi ultrapassada a data até a qual devia ser realizada a inspeção e verificar se foram devidamente atendidas as recomendações eventualmente consignadas nos relatórios das inspeções anteriores.

O exame externo visa sempre verificar se a caldeira funciona normalmente, verificar se a caldeira satisfaz todas as condições de segurança, detectar qualquer anomalia capaz de prejudicar a segurança e colher outros dados ou elementos eventualmente necessários. O exame externo deve ser realizado com a caldeira em funcionamento.

O exame interno visa sempre verificar se a caldeira, antes de ser limpa, apresentava alguma anomalia; verificar se a caldeira, depois de limpa, está em ordem e satisfaz todas as condições de segurança; detectar qualquer anomalia capaz de prejudicar a segurança; colher outros dados ou elementos, eventualmente necessários para os cálculos, exames, análises, ensaios, etc., tais como: espessura de paredes, amostras de resíduos, corpos de prova de materiais, etc. O exame interno deve ser realizado com a caldeira não em funcionamento, devendo estar fria e devidamente preparada, permitindo o acesso do inspetor nos espaços a serem examinados.

A atualização da PMTA deve ser efetuada quando, na caldeira, ocorrer alteração da resistência de uma ou mais partes vitais, de modo que, em nenhum ponto, a tensão máxima causada pela pressão do vapor ultrapasse a correspondente tensão admissível. A atualização é obrigatória quando os cálculos indicam a necessidade de uma redução de mais de 5% da PMTA anterior, em virtude de anomalia insanável. Quando a resistência das partes afetadas é evidentemente inferior a 5%, o inspetor pode dispensar até mesmo os cálculos justificados.

O ensaio hidrostático visa detectar a frio e em curto prazo, vazamentos e alguns pontos de resistência fraca. O fato de suportar satisfatoriamente o ensaio hidrostático, não constitui prova suficiente de que a caldeira apresenta segurança

adequada, quanto à sua resistência. A pressão de prova a ser aplicada durante o ensaio hidrostático é de 1,5 vezes maior que a PMTA, para as caldeiras de todas as categorias. O ensaio deve ser realizado com a caldeira fria, completamente cheia de água, evitando a retenção de bolsas de ar. Todas as aberturas devem estar fechadas, exceto as necessárias ao ensaio e a pressão de ser elevada de maneira progressiva e contínua, preferencialmente com uma bomba manual.

**Os ensaios complementares** são os seguintes:

**Ensaio de acumulação.** Visa comprovar a suficiência das válvulas de segurança. É obrigatório quando em toda caldeira nova, depois de instalada, nas provas de recebimento ou na inspeção inicial; em qualquer caldeira não nova; antes da caldeira entrar em uso normal, após a redução da PMTA, e/ou após aumento de capacidade de produção de vapor, e/ou após a substituição, modificação, reforma ou conserto de válvulas de segurança.

**Ensaio dos dispositivos de alimentação de água.** Visa comprovar experimentalmente a suficiência dos dispositivos de alimentação de água das caldeiras. O dispositivo de alimentação deve ser capaz de fornecer à caldeira, estando essa sob pressão de trabalho, uma descarga de água igual ou maior que aproximadamente 1,25 vezes a capacidade de produção de vapor da mesma.

**Outros ensaios.** Em casos especiais, a verificação das condições de segurança de determinada caldeira, poderá tornar necessária a realização de outros ensaios, além dos citados anteriormente. A realização dos mesmos deverá obedecer, sempre que possível, aos códigos e/ou normas da ABNT, ASME, ISO, DIN e outros.

## 8 VASOS DE PRESSÃO

### 8.1 DEFINIÇÃO

Genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado. Dentro de uma definição tão abrangente inclui-se uma enorme variedade de equipamentos, desde uma simples panela de pressão de cozinha até os mais sofisticados reatores nucleares. (Livro: Vasos de Pressão – Autor: Pedro C.Silva Telles)

## 9. TIPOS DE VASOS

Existem vasos sujeitos a chama e não sujeitos a chama. Os não sujeitos são torres de destilação, reatores, trocadores de calor e os sujeitos são caldeiras fornos

A quase totalidade de vasos de pressão é fabricada a partir de chapas de aço ligadas entre elas por soldagem.

Os vasos feitos em chapa com costuras rebitadas, foram muito empregados no passado, estando há muito tempo em completo desuso, tendo sido inteiramente substituídos pela sua construção atualmente soldada. Para pressões muito altas raramente são fabricados em chapas ou tubos devido a grandes paredes que são necessárias. Temos vasos feitos a partir de tarugo maciço de aço sendo formado em uma só peça o corpo cilíndrico e um dos tampos do vaso.

Há vasos que não podem ser transportados inteiros, os quais são feitos em seções pré-fabricadas as quais serão montadas no local da obra, os tanques deverão ser submetidos a testes não destrutivos (radiografia das soldas), inclusive depois de prontos terá de ser efetuado teste hidrostático.

O aço carbono é o mais empregado na maioria dos vasos de pressão, ele é que não tem caso específico de emprego, sendo utilizado em todos os casos, exceto em alguma circunstância que não permita sua utilização, ele é de boa conformabilidade, boa soldabilidade, e se encontra em todas as formas sendo o mais especificado.

Aço Inox é muito mais caro que o aço carbono, chegando até a custar oito vezes mais, sendo o custo tanto mais alto quanto maior for a quantidade de elementos de liga, além de a montagem e a soldagem desses aços são mais difíceis

e mais caras. Como algumas instalações podem se tornar obsoletas não é recomendável o uso de aço-liga apenas para tornar mais longa a vida do vaso.

**Aços especiais** são recomendados quando se tem ,altas temperaturas, baixas temperaturas, alto índice de corrosão, não deve ter contaminações, em casos especiais (inflamáveis,tóxicos explosivos, etc), nos vasos de pressão são empregados aço liga molibdênio e cromo molibdênio, os aços liga níquel, e os aço

**Alumínio e suas ligas** são também utilizados em vasos de pressão para alguns serviços com exigência de não contaminação e para vasos de baixas temperaturas ou criogênicos.

**Níquel e suas ligas**, só são utilizados para revestimentos anticorrosivos, e para peças internas em alguns serviços corrosivos quando há exigência de não contaminação.

**Titânio** resistente á corrosão, e bem mais resistente em meios fortemente oxidantes do que os aços inoxidáveis ou o alumínio inclusive a água salgada.

**Plásticos reforçados** ou termoestáveis são laminados compostos, constituídos por resinas plásticas e fibras para armação, em geral fibras de vidro.

## 9.1 ABERTURAS EM VASOS DE PRESSÃO

Para diversas finalidades são sempre feitas várias aberturas sem as quais os vasos seriam completamente inúteis:

- Ligação com tubulações de entrada e de saída das diversas correntes fluidas.
- Instalação de instrumentos.
- Drenagem e respiro.
- Bocas de visita ou de inspeção, para acesso ao interior do vaso.

- Ligaçāo com outros corpos do próprio vaso de pressāo.
- Desmontagem ou remoçāo de peças internas, ou de recheios, catalisadores etc.
- Ligaçāo direta com outros vasos.

## 9.2 REFORÇOS NAS ABERTURAS

Abertura é um ponto fraco na parede de pressāo de um vaso. A pressāo interna tende a provocar uma deformação local na parede do vaso e também há uma concentração de tensões nas bordas da abertura, em conseqüência da descontinuidade geométrica representada e pela própria abertura. Ela é agravada devido as seguintes circunstâncias:

- Existência de trechos retos e principalmente ângulos vivos na abertura;
- Dimensões da abertura;
- Proximidade de outras aberturas;
- Assimetria da abertura;
- Cargas externas exercidas sobre a abertura, tais como empuxo e peso de tubulações ligadas a bocais do vaso.

Por isso as normas recomendam que estas não tenham arestas vivas ou ângulos com formatos circulares elíptico, ovalado, etc. tendo exigências para aberturas acima de certas dimensões.

## 9.3 CLASSIFICAÇÕES DOS VASOS DE PRESSÃO

**Classe A** - Para fluidos inflamáveis, combustíveis com temperaturas superiores ou iguais a 200°C, fluidos tóxicos com LT ≤ 20 ppm, hidrogênio e acetileno.

**Classe B** – Para fluidos combustíveis com temperaturas inferiores a 200°C, fluidos tóxicos com LT superior a 20 ppm,

**Classe C** – Vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido.

**Classe D** – Água ou outros fluidos não enquadrados nas classes A / B / C com temperatura superior a 50°C. Quando houver mistura deverá ser considerado aquele que apresentar maior risco aos trabalhadores e instalações levando-se em conta a toxicidade, inflamabilidade e sua concentração.

#### 9.4 CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO

Grupo 1 : PV  $\geq$  100

Grupo 2 : PV < 100 e PV  $\geq$  30

Grupo 3 : PV < 30 e PV  $\geq$  2,5

Grupo 4 : PV < 2,5 e PV  $\geq$  1

Grupo 5 : PV < 1

Todos os vasos de pressão devem ter livro de Registro de Segurança onde deverão ser anotadas todas as ocorrências importantes, como se fosse seu diário de ocorrências, onde constarão manutenções, troca de óleo, e as inspeções de segurança feitas por um profissional habilitado.

Os vasos de pressão deverão em local com 2 saídas seguindo a norma do CONTRU, com acesso fácil e seguro para utilização e manutenção, deverão ter ventilação permanente, com sistema de iluminação e também com sistema de luz de emergência, caso não seja obedecida nenhuma destas recomendações poderá ser autuado pela fiscalização como risco grave.

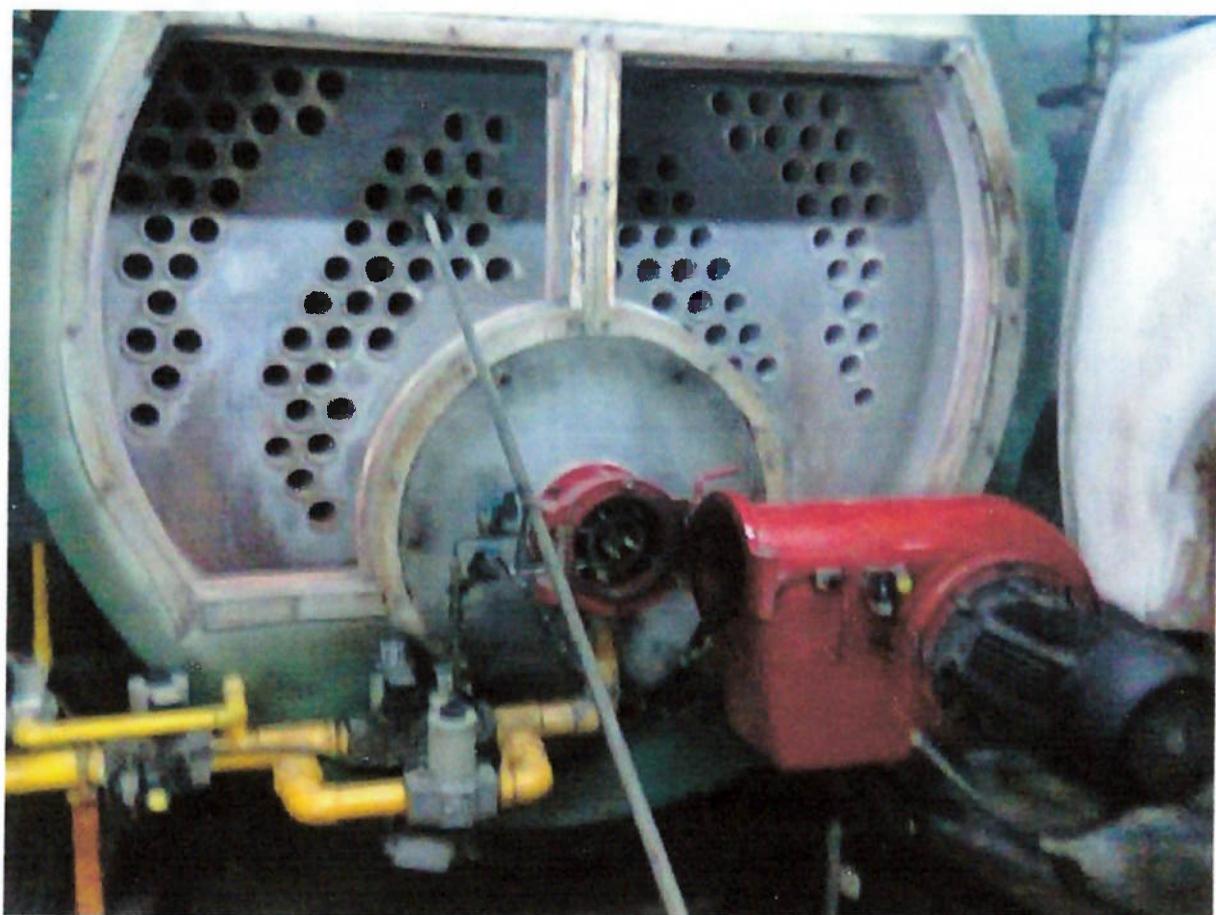
## 10 INSPEÇÕES

Todos os vasos de pressão devem sofrer inspeções periódicas pela sua categoria, onde serão feitos exames externos, internos e teste hidrostático.

Para cada uma das categorias é dada uma validade para os exames dos testes mencionados acima.

Também poderá ser feito exame pelo lado externo com ultra-som onde este mede a espessura da chapa utilizada podendo saber-se se há corrosão do lado interno, pela diferença de valores, da medição.

Os testes deverão ser feitos por profissional habilitado anualmente ou empresas que tenham profissional responsável.



Caldeira em Limpeza



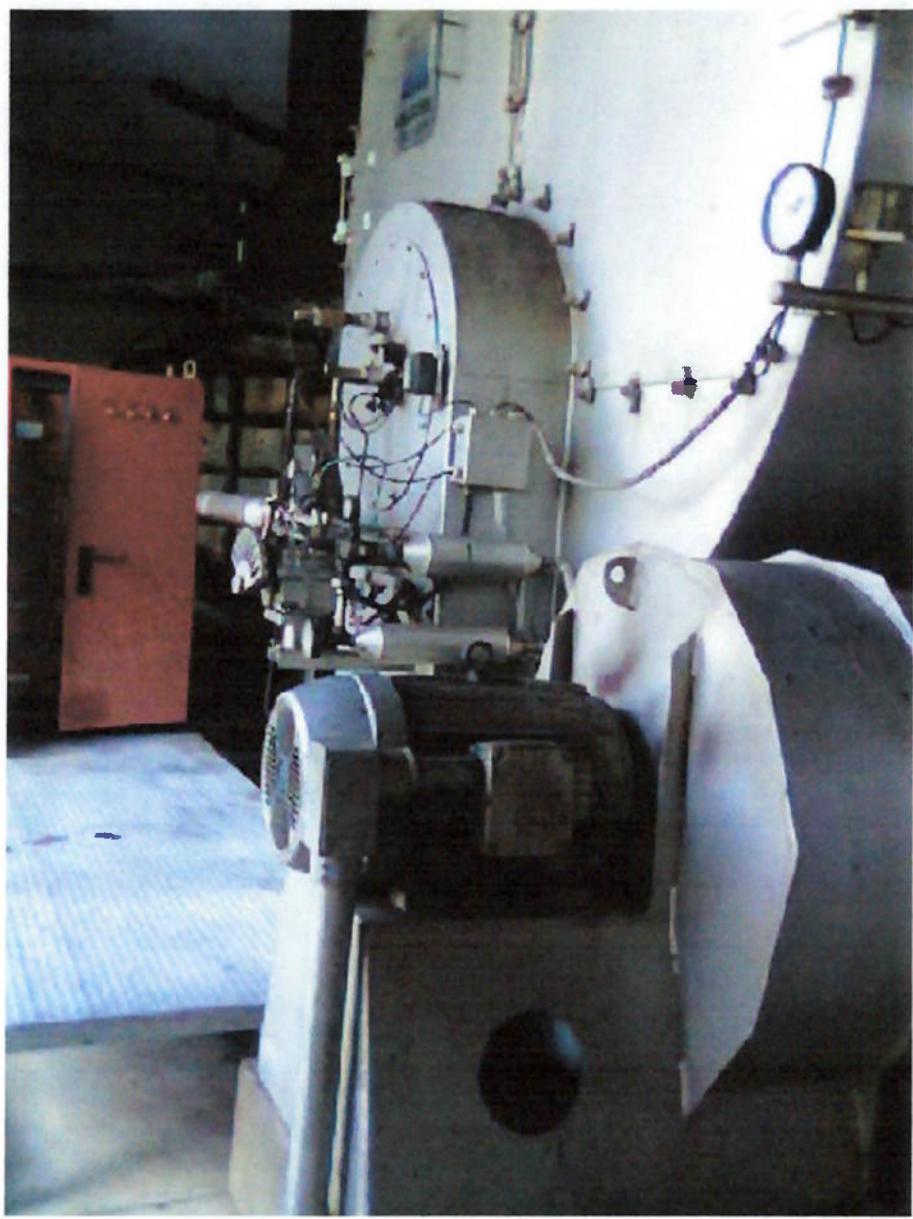
Caldeira Vertical Importada



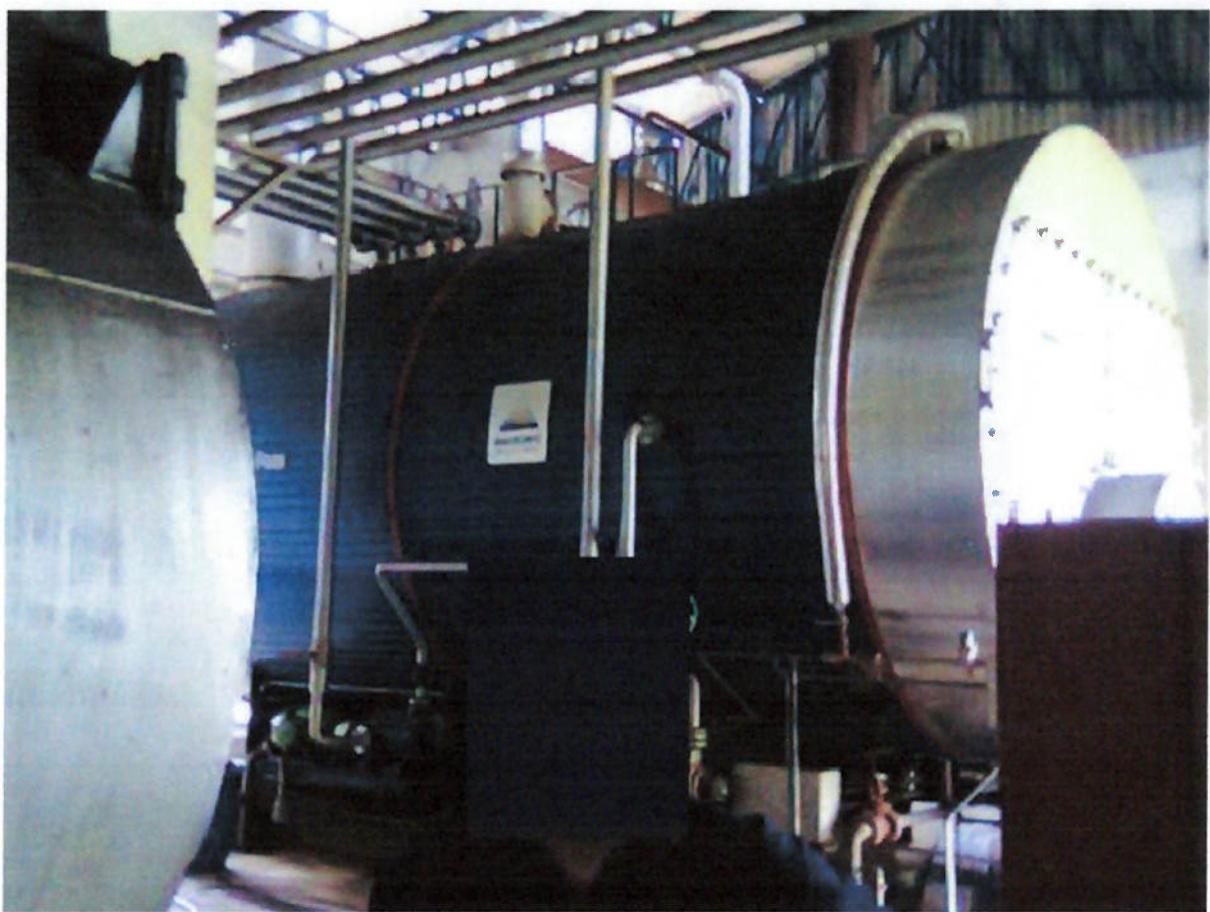
Caldeira com Queimador a Gás



Caldeira Vertical



Vista do Exaustor



Lateral de uma Caldeira de Grande Porte



Lavador de Gases



Frente de Caldeira de Grande Porte



Conjunto Compressor, Pulmão e Secador



Pulmão de Ar Médio



Pulmão de Ar Grande



Auto Clave Amassada , Bateu em Parede Devido a Explosão



Tampa da Auto Clave Amassada em Explosão

## **CONCLUSÃO**

Além dos aspectos Segurança em Caldeiras e Vasos de Pressão, deverão ser levados em conta os fatores éticos e sociais da pessoa ou empresa habilitada para efetuar inspeções, nem sempre o menor preço é confiável, pois uma inspeção bem feita e com assessoria após sua realização tem um custo maior, muitas vezes é realizada a inspeção apresenta-se o laudo, livros preenchidos e não se retorna, a parte escritório e trabalhista está em ordem.

Uma boa assessoria é aquela em que o que foi relatado na inspeção foi realizado, o que não acontece, com isto não há segurança nem para a empresa nem para os funcionários da mesma , podendo ocorrer problemas graves, Por isto, não se deve abandonar a Segurança em Caldeiras e Vasos de Pressão, a sua vida depende da obediência as normas regulamentadoras neste caso NR 13.

## REFERÊNCIAS

Apostilas do Senai - SP – Legislação e Normalização/Treinamento de Segurança na operação de Unidades de Processo – 1999.

Apostilas da USP – PECE – Molinari, R. Dr. ; 2<sup>a</sup>. Ed. -2007.

Bonilha Caldeiras – Bragança Paulista – SP – Catálogos.

Incal Caldeiras- Amparo – SP - Catálogos.

Manual do Engenheiro Globo – San Martim, F. J; Bernardi D.;Villas Boas, J. M.; Nuber, F.- 6<sup>a</sup>. Ed. – Editora Globo- Porto Alegre – 1977- 825 p..

Nalco Produtos Químicos Ltda. –SP – Tratamento de Águas – 1984

Sathel Serviços Eletromecânicos Ltda- SP – Catálogos e Prontuários Caldeiras

The Efficient Use of Steam – Lyle, Oliver – 11a. Ed. – Her Majesty's Stationery Office- London – 1974 – 887 p.

Vasos de Pressão – Telles, P. C, S. – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A - 2<sup>a</sup>. Ed – Rio de Janeiro – 2003 – 302 p.

Wortec Comércio de Compressores- V. Anatácio- SP – Catálogos.

Worthington Indústria e Comércio Ltda. – Rio de Janeiro – Catálogos

WWW.sullair.com.br – Jurubatuba - Sto Amaro – SP - Catálogos