

# CALDEIRAS FLAMOTUBULARES - RECONSTITUIÇÃO DE PRONTUÁRIOS

TREVELIM, Wagner José<sup>1</sup>  
<w.trevelim@gmail.com>

## RESUMO

Este estudo tem por finalidade demonstrar as etapas para a requalificação de Caldeiras. Preliminarmente, serão expostos tópicos referentes a uma visão geral das Caldeiras, assim como serão abordados os aspectos construtivos e legais. Assuntos correlatos serão abordados, quais sejam: revisão sobre segurança do trabalho e sua legislação pertinente, as Normas Técnicas Brasileiras, os Códigos de Construção Internacionalmente aceitos. Por fim, serão apresentadas propostas para a Reconstituição do Prontuário das Caldeiras. Para a elaboração deste trabalho, o método de pesquisa utilizado foi o de Levantamento Bibliográfico.

**Palavras-chave:** Caldeiras. Vasos de pressão. Segurança do trabalho. Códigos de construção. Normas regulamentadoras.

## 1 INTRODUÇÃO

As Caldeiras a Vapor constituem ponto crítico da infraestrutura do processo de produção nas indústrias em geral. Por esse motivo, necessitam de atenção especial quanto à especificação de material, inspeções e procedimentos de segurança, para que não haja risco de acidentes e perdas para a organização e todos os envolvidos.

O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), por meio da Norma Regulamentadora NR 13, e a Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT), através da norma NBR 12177 (Caldeiras Estacionárias a Vapor – Inspeção de Segurança), estabelecem que toda a Caldeira a Vapor em funcionamento deve possuir um prontuário devidamente atualizado e organizado, sob responsabilidade da empresa proprietária. Deve fazer parte do prontuário a caracterização do equipamento, documentação original do fabricante e projeto de instalação. Essa mesma Legislação estabelece que, caso o proprietário não possua tal documentação, no todo ou em parte, a mesma deverá ser reconstituída. Quando não for possível reconstituir alguns itens, deverão ser reconstituídas, pelo menos, as características funcionais, os dados de seus dispositivos de segurança e o procedimento para determinação da Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA). A reconstituição desses documentos será sempre de

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, docente na Faculdade de Alta Floresta (FAF) e na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT).

responsabilidade do proprietário da Caldeira e/ou Vaso de Pressão. Para tanto, este poderá utilizar-se dos serviços do fabricante e caso este seja indeterminado ou já não exista, de um Profissional Habilitado ou empresa especializada.

A reconstituição de toda a documentação da Caldeira ou Vaso de Pressão é importante não só para determinação de seus parâmetros operacionais como também é de fundamental importância na preparação e execução das atividades de inspeção e manutenção destes equipamentos. Portanto, no caso da inexistência da documentação citada, prontuário da Caldeira, ou parte deste, todos os esforços deverão ser feitos para a sua reconstituição.

Assim este estudo tem como objetivo demonstrar, de modo simples, as etapas e os cálculos que compõem o Prontuário, bem como selecionar os códigos de construção para recálculo mecânico de Caldeiras Flamotubulares.

Empresa que possua Caldeiras em suas instalações deve possuir as seguintes documentações atualizadas: Prontuário; Livro Registro de Segurança; Projeto de Instalação; Projetos de Alteração ou Reparo e; Relatório de Inspeção. Contudo, em observações efetuadas, nos últimos quinze anos, em empresas localizadas no estado de Mato Grosso e proprietárias de Caldeiras, constata-se que mais de uma dezena delas, quando de posse dos prontuários de seus equipamentos, os mesmos estavam incompletos, faltando, em especial, os Códigos de Construção e seus respectivos memoriais de cálculos. Sendo que a grande maioria dos prontuários observados traz um suposto Código de Construção da ABNT, o qual não existe para tais equipamentos, pois o Código de Construção Internacionalmente aceito e mais utilizado é o *Boiler & Pressure Vessel Code* publicado periodicamente pela *American Society of Mechanical Engineers* (ASME<sup>2</sup>).

Buscas efetuadas na base de dados do Banco de Dados Bibliográficos da Universidade de São Paulo (DEDALUS) constataram a existência de poucas publicações sobre o assunto e, as existentes, estão voltadas para o dimensionamento térmico, contendo apenas pequenas citações sobre o dimensionamento mecânico de tais equipamentos. Assim, a importância desse trabalho está em tratar de um tema pouco explorado pelos autores nacionais e que

---

<sup>2</sup>A *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) é uma associação profissional de engenheiros mecânicos dos Estados Unidos, fundada em 1880. As principais atividades da ASME estão centradas em: Promoção da ciência e engenharia mediante a organização de congressos e simpósios; Especialização dos engenheiros mediante cursos e palestras e Elaboração de normas e regulamentos técnicos. O quadro técnico da ASME é subdividido em 37 ramos específicos, dentre os quais: indústria aeroespacial, ciência dos materiais, nanotecnologia, energia nuclear, transporte ferroviário, mecânica dos fluidos, vasos de pressão, gasodutos, etc. As normas e regulamentos técnicos da ASME são utilizados em diversos países. O conhecimento e aplicação das mesmas são fundamentais para quem tenciona participar do comércio internacional.

contribui como mais uma fonte de pesquisas para Engenheiros de Inspeção de Caldeiras.

Este trabalho é composto de cinco capítulos, cada um tratando de tema específico, apresentando os tópicos principais para o entendimento e a compreensão do equipamento em análise; a introdução trata do tema; o segundo capítulo apresenta as principais características de uma caldeira, o aspecto construtivo e seus componentes de segurança; o terceiro capítulo aborda os requisitos relevantes e usuais para projeto e os códigos internacionais aceitos no dimensionamento de caldeiras; o quarto capítulo trata da reconstituição do prontuário, de suas etapas e, principalmente, do reestabelecimento dos dados operacionais do equipamento e, no quinto capítulo, constam as considerações finais.

## **2 EMBASAMENTO TEÓRICO**

Caldeiras ou Geradores de Vapor são equipamentos complexos, fechados, destinados a transformar água em vapor e acumulá-lo sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refeedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo. Este procedimento ocorre pela queima de combustível que fornece calor sensível à água até alcançar a temperatura de ebulição, mais o calor latente a fim de vaporizar a água e mais o calor de superaquecimento para transformá-la em vapor superaquecido, como nos informa Torreira (1995).

Pera (1990, p. 11) define Caldeiras (Gerador de Vapor) como:

Gerador de Vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível.

As caldeiras são equipamentos divididos, basicamente, em duas partes, o lado da água, onde se dá a formação do vapor, e o outro o lado, dos gases, onde ocorre o processo de combustão.

### **2.1 Classificações das Caldeiras**

Conforme o tipo, as caldeiras podem ser classificadas em: flamotubulares, aquotubulares e mistas.

Conhecidas como de Tubos de Fogo (ou Fumaça) ou Fogotubulares, as Caldeiras Flamotubulares são aquelas nas quais os gases quentes passam por dentro de tubos, ao redor dos quais está a água a ser aquecida e evaporada. Os tubos são montados à maneira dos feixes

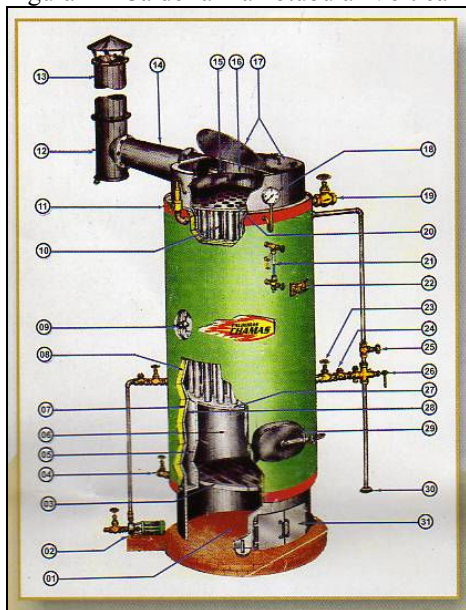
de permutadores de calor, com um ou mais passos dos gases quentes através do mesmo. As caldeiras fogotubulares são geralmente empregadas em pequenas e médias unidades geradoras de vapor, por sua pequena capacidade de produção de vapor (da ordem de até 10 t.v/h) e baixas pressões (até 10 kgf/cm<sup>2</sup>), chegando algumas vezes a 15 ou 20 kgf/cm<sup>2</sup>.

Caldeiras Flamotubulares modernas só utilizam combustíveis líquidos ou gasosos devido à dificuldade de se instalar grelhas para combustíveis sólidos. Algumas caldeiras de pequena capacidade possuem grelha adaptada na fornalha, porém ficam limitadas ao tamanho necessário da grelha.

Quanto a sua classificação, existem vários métodos (segundo o uso, a capacidade, a pressão, a posição da fornalha, a posição dos tubos, os tamanhos, etc.). De modo simplificado, são divididas em Caldeira Vertical e Caldeira Horizontal.

- a) caldeira vertical (figura 1): do tipo monobloco, constituída por um corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas planas chamadas espelhos. Quanto à fornalha, esta pode ser interna ou externa. São várias as suas aplicações por ser de pequeno porte, facilitando seu transporte e pelo pequeno espaço que ocupa, de 2 a 30 m<sup>2</sup>, exigindo pequenas fundações. Apresenta, porém, baixa capacidade de geração de vapor e baixo rendimento térmico. Com pressão máxima de 10 kgf/cm<sup>2</sup>, sua capacidade específica é de 15 a 16 kg de vapor por m<sup>2</sup> de superfície de aquecimento. Apresenta a vantagem de possuir seu interior bastante acessível para a limpeza, fornecendo mais rendimento no tipo de fornalha interna. São mais utilizadas para combustíveis de baixo poder calorífico.

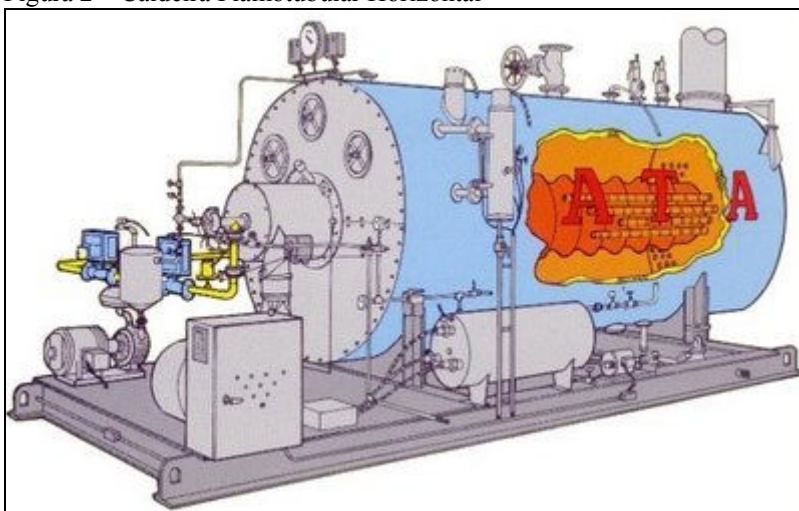
Figura 1 – Caldeira Flamotubular Vertical



Fonte: FEM/UNICAMP (2003)

- b) caldeira horizontal (figura 2): constituída por um vaso de pressão cilíndrico horizontal, com dois tampos planos (espelhos) onde estão afixados os tubos e a fornalha. As mais modernas possuem diversos passes de gases, sendo mais comum fornalha com dois passes. Sua fornalha (onde ocorre a queima do combustível) deve ser dimensionada de modo a ocorrer a combustão completa, no seu interior, e não haver reversão de chama que atinja diretamente os espelhos, diminuindo sua vida útil.

Figura 2 – Caldeira Flamotubular Horizontal

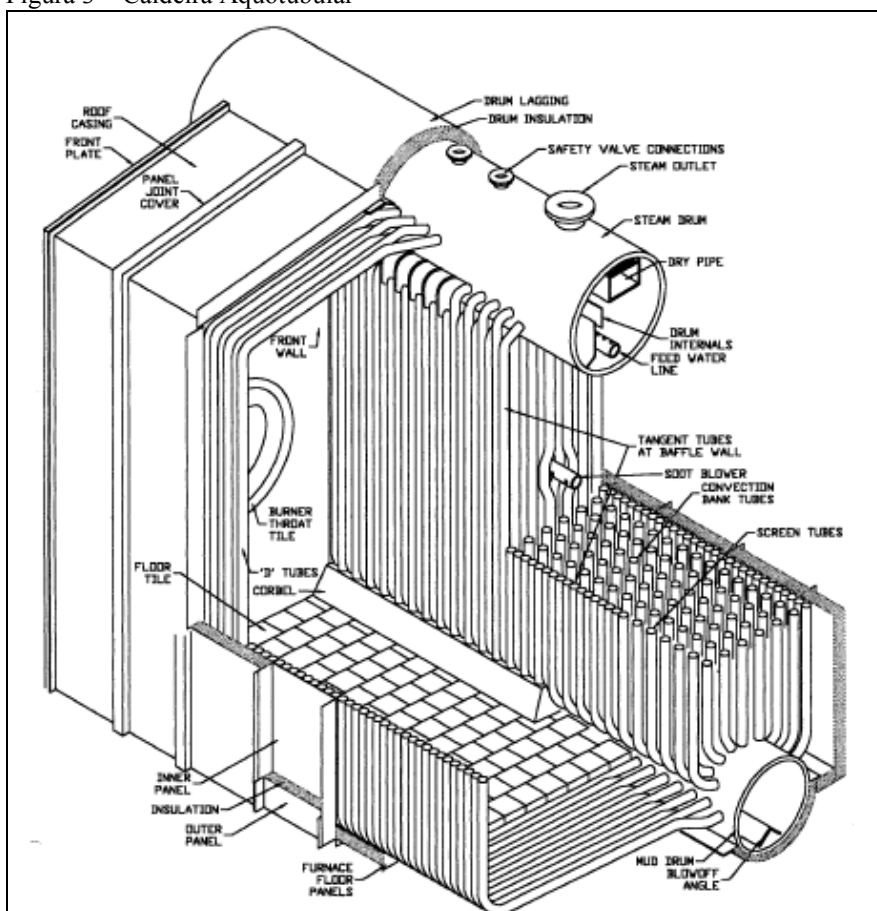


Fonte: Aalborg

Por serem de pequeno porte, as Caldeiras Flamotubulares têm a desvantagem de possuir uma superfície de aquecimento muito pequena, mesmo se o número de tubos for aumentado. A necessidade de caldeiras de maior rendimento, rapidez de geração de grandes quantidades de vapor com níveis de pressão mais elevados levou ao surgimento das Caldeiras Aquotubulares, também conhecidas como Caldeiras Tubos de Água. Estas caldeiras se diferenciam das Flamotubulares pelo fato de que, nas Aquotubulares, é a água que ocupa o interior do tubo e os gases quentes estão em contato com sua superfície externa. Desta forma, aumenta-se muito a superfície de aquecimento, aumentando a capacidade de produção.

As Caldeiras Aquotubulares (figura 3) são empregadas quando há a necessidade de se obter pressões e rendimentos elevados, pois os esforços desenvolvidos nos tubos pelas altas pressões são de tração, ao invés de compressão, como ocorre nas Flamotubulares. Também tem o fato de os tubos estarem fora do corpo da caldeira, o que permite obter superfícies de aquecimento bem maiores, praticamente ilimitadas.

Figura 3 – Caldeira Aquotubular



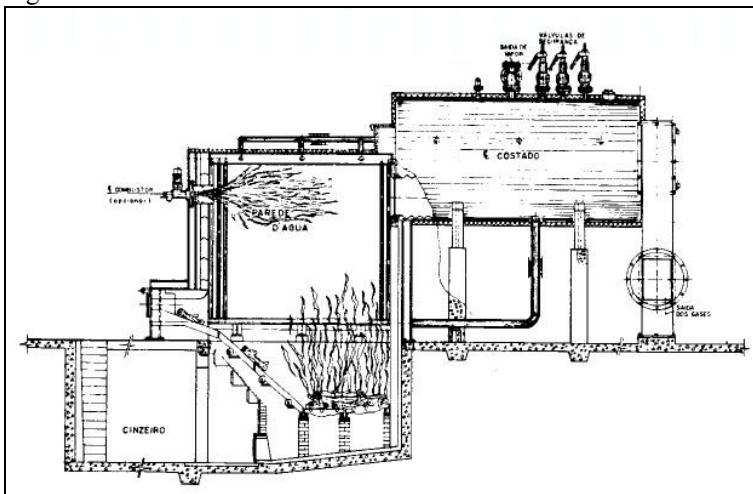
Fonte: Boiler Operator's Handbook (2005)

A necessidade de utilização de combustíveis sólidos para caldeiras de pequena capacidade fez surgir uma solução híbrida, que são as caldeiras mistas. Basicamente, são Caldeiras Flamotubulares com uma antecâmara de combustão com paredes revestidas de tubos de água. Na antecâmara, dá-se a combustão de sólidos, através de grelhas de diversos tipos, possibilitando assim o espaço necessário para os maiores volumes da câmara de combustão, necessário à queima de combustíveis sólidos, tais como lenha em toras, cavaco, etc., além da retirada de cinzas por baixo das grelhas (o cinzeiro).

As Caldeiras Mistas (figura 4) não reúnem todas as vantagens da Aquotubular, tais como segurança, maior eficiência térmica, etc., porém são uma solução prática e eficiente quando se tem disponibilidade de combustíveis sólidos a baixo custo. Apresentam ainda, a possibilidade de queimar combustível líquido ou gasoso, com a instalação de queimadores apropriados.

O rendimento térmico destas caldeiras é menor que as Flamotubulares, devido à perda de calor na antecâmara. Dificilmente as paredes frontais e traseiras são revestidas de tubos, devido à dificuldade construtiva pelo pequeno tamanho da caldeira.

Figura 4 – Caldeira Mista



Fonte: FEM/UNICAMP – Gerador de Vapor (2003)

## 2.2 Exigências Legais para as Caldeiras

De acordo com o parágrafo 13.1.9 da Norma Regulamentadora NR-13, as caldeiras são classificadas em três categorias:

- a) categoria A: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa;
- b) categoria C: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa e o volume interno é igual ou inferior a 100 (cem) litros;
- c) categoria B: são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

A Norma Regulamentadora NR 13 prevê que toda caldeira deverá possuir a seguinte documentação:

- a) Prontuário da Caldeira contendo as especificações técnicas;
- b) Registro de Segurança onde serão registradas todas as ocorrências, assim como as inspeções de segurança;
- c) Projeto de Instalação;
- d) Relatórios de Inspeção, contendo: a identificação da caldeira, categoria da caldeira, tipo da caldeira, data de início e término da inspeção, tipo da inspeção executada, descrição dos exames e testes executados, resultados das inspeções e intervenções executadas, conclusões, recomendações e providências necessárias, data prevista para a próxima inspeção e, finalmente, a identificação do profissional habilitado responsável.

Saliente-se, ainda que toda caldeira somente deve ser operada por trabalhador habilitado para este fim, devidamente certificado.

Por exigência da Norma Regulamentadora NR-13, o Prontuário da Caldeira deve conter

as seguintes informações:

a) Código de projeto e ano de edição; b) Materiais utilizados e sua especificação; c) Procedimento de fabricação, montagem; d) Inspeção final; e) Determinação da PMTA; f) Desenhos e dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira; g) Características funcionais; h) Dispositivos de segurança; i) Ano de fabricação; j) Categoria da caldeira.

A NBR 12177-1 (1999, p. 2) é mais abrangente e traz, em seu item 4.2, as seguintes especificações que compõem o prontuário das caldeiras:

4.2.1 Toda a caldeira deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalada, um prontuário devidamente atualizado e organizado, mantido pelo proprietário da caldeira ou por alguém por ele designado. Devem fazer parte do prontuário: a) caracterização da caldeira; b) documentação original do fabricante; c) projeto de instalação da caldeira. 4.2.1.1 Caracterização da caldeira é o conjunto de informações constantes nos moldes do anexo A e deve conter as seguintes informações, com referência à caldeira: a) identificação; b) localização; c) caracterização técnica (código de projeto e ano de edição; condições operacionais - capacidade, pressão, temperatura e outros; construtiva, inclusive especificação dos materiais); d) equipamentos e acessórios. A caracterização deve ser fornecida pelo fabricante da caldeira e complementada, no que couber, pelo proprietário da caldeira ou seu preposto. Quando inexistente, extraviada ou tendo alterações na caldeira, deve ser reconstituída ou atualizada pelo fabricante, profissional habilitado ou firma com responsabilidade técnica. 4.2.1.2 Documentação original do fabricante: a) quanto ao projeto e fabricação da caldeira (conjunto de desenhos suficientemente detalhados e todos os demais dados necessários à verificação, pelo cálculo da resistência da caldeira, e à atualização da PMTA, bem como, ainda, à verificação de suas condições operacionais; especificação dos materiais utilizados - metálicos, isolantes e refratários; relatórios das inspeções realizadas durante a fabricação da caldeira (certificação dos materiais, qualificação dos procedimentos de soldagem, registro de qualificação dos soldadores e ensaios não destrutivos); relatório dos ensaios de aceitação da caldeira pronta; b) quanto à instalação, operação e manutenção da caldeira - os correspondentes procedimentos, instruções e recomendações. 4.2.1.3 Projeto de instalação da caldeira que determina a conformidade da instalação da caldeira com as exigências de segurança prescritas na legislação em vigor e códigos, tais como: combate a incêndio, edificações, espaçamento, ventilação e outros. 4.2.2 Registro de segurança em livro próprio ou sistema equivalente deve conter a anotação sistemática de todas as ocorrências importantes, capazes de influir nas condições de segurança da caldeira, e as inspeções de segurança, devendo constar o nome legível e assinatura do profissional habilitado e do operador da caldeira. O registro de cada ocorrência deve ser documentado, sempre que aplicável, por meio de desenhos, fotografias, folhas de cálculo, registros de instrumentos, radiografias ou outras formas de registro. 4.2.3 Relatórios das inspeções de segurança devem ser arquivados todos os relatórios das inspeções de segurança.

A Norma Regulamentadora - NR 13 não inclui regras para projeto e pressupõe que os equipamentos são construídos de acordo com normas e códigos de reconhecimento internacional. A pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) é calculada ou determinada utilizando-se fórmulas e tabelas disponíveis no código de projeto da caldeira. Essas fontes levam em consideração:- as dimensões e geometria de cada parte específica da caldeira (por



exemplo: diâmetro, espessura, etc.); - resistência dos materiais (valores de tensão máxima admissível dependente da temperatura); - outros fatores específicos para cada situação.

Para Martinelli Jr (2004, p. 43), quando não existir prontuário completo da caldeira ou tenha sido extraviado, o mesmo deve ser reconstituído em sua íntegra por Profissional Habilitado (PH), de acordo com a NR 13, devendo conter os seguintes documentos:

a) Mapa de medições de espessura, realizado por meio de ultrassom ou outro meio adequado, de todos os elementos do vaso submetidos à pressão, assim como os elementos soldados nas partes pressurizadas; b) Memória de cálculo, com base no código de construção, levando-se em conta as menores espessuras encontradas, calculando a PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) de todos os elementos do vaso, com a finalidade de determinação da PMTA do vaso, também devem ser consideradas as cargas externas atuantes no vaso; c) Desenhos contendo todas as informações necessárias para o acompanhamento da vida útil do vaso, com dimensões, dados do código de construção adotado na reconstituição da memória de cálculo e demais informações necessárias para satisfazer a NR 13; d) Desenho da nova plaqueta de identificação, com base na NR 13; e) Especificações dos dispositivos de segurança; f) Abertura do registro de segurança; e g) Demais documentos exigidos pela NR 13 ou mesmo determinados pelo PH que será responsável pela reconstituição do prontuário.

## **2.3 Componentes de Segurança das Caldeiras**

Para Bizzo (2003), as caldeiras são potencialmente perigosas, pois acumulam uma grande quantidade de vapor sob pressão, cuja liberação repentina causa explosão. A energia contida numa caldeira é diretamente proporcional à sua pressão interna e ao volume de água em seu interior, significado risco potencial. O risco de explosão no lado do vapor ocorre por três principais motivos: excesso de pressão, por falta de água na caldeira, ou excesso de incrustação interna.

Altafini (2002, p. 12) comenta que o risco de explosão em caldeira pode ser originado pela combinação de três causas:

a) Diminuição da resistência, que pode ser decorrente do superaquecimento ou da modificação da estrutura do material; b) Diminuição de espessura que pode ser originada da corrosão ou da erosão; c) Aumento de pressão decorrente de falhas diversas, que podem ser operacionais ou não.

Por esses motivos, as caldeiras devem conter, pelo menos, os seguintes instrumentos para controle e operação: Manômetro; Válvulas de segurança; Sistema de alimentação de água; Indicador de nível; Outras válvulas.

O manômetro tem a finalidade de registrar a pressão que o vapor exerce no interior da caldeira. Antes do manômetro, deve haver um registro para isolá-lo da caldeira quando necessário.

Figura 5 – Manômetro



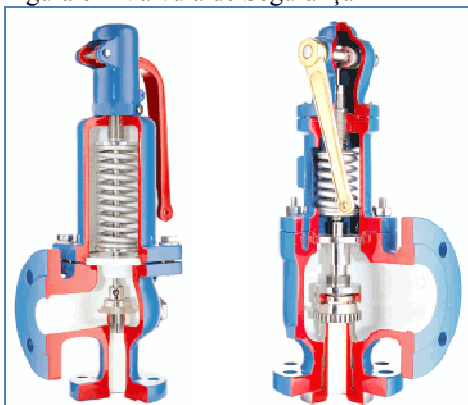
Fonte: Spirax Sarco do Brasil

A ASME – Seção I – PG 67.1 determina que caldeiras com superfície de aquecimento superior a  $47 \text{ m}^2$ , deverão ter, no mínimo, duas válvulas de segurança instaladas no tubulão superior, de tal forma que a pressão máxima de acúmulo não ultrapasse 6% da Pressão Máxima de Trabalho Permissível (PMTP) com todas as válvulas de segurança totalmente abertas. Para isso, a soma da capacidade de vazão das válvulas deverá ser igual ou superior à capacidade máxima de vaporização da caldeira.

As válvulas instaladas no tubulão devem ter uma de vazão total de no mínimo 75% da capacidade de vaporização da caldeira, para isso, a área do orifício do bocal das válvulas poderá ser igual ou diferente; quando diferentes, a área de passagem da válvula menor deverá ser superior a 50% da válvula maior. As pressões de ajuste dessas válvulas devem ter uma diferença máxima de 3% da primeira para a segunda válvula. Se houver mais que duas válvulas no tubulão, a última válvula deverá ter uma diferença máxima de 3% para a primeira válvula. Para as caldeiras de vapor saturado, a faixa de ajuste dessas válvulas não deve ultrapassar 10% do valor daquela com pressão de ajuste maior.

O Código ASME Seção I, Parágrafo PG-68.6, estabelece que, para válvulas de segurança instaladas em caldeiras, a alavanca de acionamento é um item obrigatório.

Figura 6 – Válvula de Segurança



Fonte: Spirax Sarco do Brasil

A água de alimentação da caldeira deve ser, a cada instante, igual à produção de vapor. O gerador de vapor deve estar provido de dispositivos auxiliares, tais como bombas, injetores e acionadores automáticos, de modo a garantir o pleno funcionamento do processo de geração de vapor, evitando que o nível de pressão se eleve acima de níveis normais de operação. Em instalações onde a alimentação de água é efetuada por controle manual, é importante que o operador tenha noção da quantidade de água a introduzir no interior da caldeira.

Figura 7 – Bombas para Caldeiras



Fonte: Schneider

Figura 8 – Injetor de Vapor

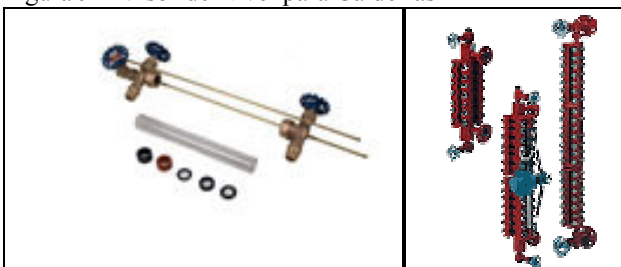


Fonte: Compec – Caldeiras e Serviços

A caldeira deve possuir pelo menos um indicador de nível de vidro para que a qualquer instante, se possa verificar o nível de água. Sendo comum, em instalações maiores, associar o nível de água a um sistema de alarme de nível alto e baixo.

O nível normal da água de uma caldeira, de forma geral, deve estar situado no centro do vidro do indicador de nível. Em caldeiras com dois indicadores de nível, ambos devem registrar a mesma posição.

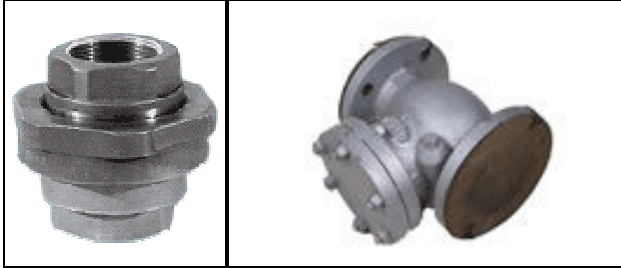
Figura 9 – Visor de Nível para Caldeiras



Fonte: Cadesul

A finalidade da válvula de retenção é permitir a passagem da água num único sentido e, normalmente, fica posicionada entre duas válvulas de bloqueio.

Figura 10 – Válvula de Retenção



Fonte: Cadesul

Tem a função de interromper alimentação e/ou isolar a caldeira permitindo a reparação e manutenção do sistema.

Figura 11 – Válvula de Bloqueio



Fonte: Spirax Sarco do Brasil

Uma de suas finalidades é permitir a descarga de fundo, etapa primordial durante a operação, pois, com a evaporação da água, há um acúmulo de sais no fundo da caldeira, tornando o meio corrosivo. A outra é, quando posicionada na parte superior da caldeira, permitir a retirada do acúmulo de ar no interior do tubulão.

Figura 12 – Válvula de Drenagem



Fonte: Spirax Sarco do Brasil

### 3 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO DAS CALDEIRAS

Todo gerador de vapor é composto de partes cilíndricas e não cilíndricas (tambores, tubos e espelhos), partes que, quando a caldeira em funcionamento, ficam submetidas a forças de tensões e trações, provocadas pela alta pressão.

#### 3.1 Dimensionamento de Casco Cilíndrico Sujeito a Pressão Interna

Tem por finalidade estabelecer a espessura mínima do casco, quando submetido a pressão interna.

A ASME estabelece que a espessura mínima de chapa para vasos de pressão na Caldeira Flamotubular, depois de conformado, deve ser as seguintes:

- Diâmetro interno até 1100 mm: espessura mínima de 10 mm.
- Diâmetro interno entre 1100 mm e 1350 mm: espessura mínima de 11 mm.
- Diâmetro interno entre 1350 mm e 1800 mm: espessura mínima de 13 mm.
- Diâmetro interno superior a 1800 mm: espessura mínima de 14 mm.

A ASME BPV - PG-27 fornece as seguintes fórmulas:

$$R = 0,5 \cdot De - (t - tol) \quad t' = \frac{P \cdot De}{2 \cdot S \cdot E + 2 \cdot y \cdot P} + to \quad P' = \frac{2 \cdot S \cdot E \cdot (t - tol)}{De - 2 \cdot y \cdot (t - tol)}$$

onde:

t = espessura mínima requerida, mm.

P = Pressão máxima de trabalho permitida, MPa.

De = Diâmetro externo do cilindro, mm.

S = Tensão máxima admissível, MPa.

E = eficiência de solda, E = 1, para cilindros sem costura. E = 0,9 para juntas soldadas.

y = Coeficiente de temperatura, conforme tabela 1, a seguir.

C = sobre espessura para estabilidade estrutural (+/-1,6 mm).

Para avaliação da espessura de vasos de pressão onde não foram obedecidas as recomendações da nota<sup>3</sup> 9 e 10 da PG 27.4, recomenda-se a fórmula:

$$t' = \frac{P \cdot R}{0,8 \cdot S \cdot E + 0,6 \cdot P}$$

Tabela para Determinação do Coeficiente de Temperatura - y

---

<sup>3</sup> Exame radiológico interno e externo, para verificação da existência de defeitos superficiais e irregularidades acentuadas no perfil do cordão de solda.

Tabela 1 – Valores de y (Coeficiente de temperatura)

<b>y = a coefficient having values as follows:</b>								
	<b>Temperature, °F (°C)</b>							
	<b>900</b>							<b>1,250</b>
	<b>(480)</b>	<b>950</b>	<b>1,000</b>	<b>1,050</b>	<b>1,100</b>	<b>1,150</b>	<b>1,200</b>	<b>(675)</b>
	<b>and</b>	<b>(510)</b>	<b>(540)</b>	<b>(565)</b>	<b>(595)</b>	<b>(620)</b>	<b>(650)</b>	<b>and</b>
	<b>below</b>							<b>above</b>
<b>Ferritic</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
<b>Austenitic</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
<b>Alloy 800, 801</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>
<b>800H, 800HT</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>
<b>825</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>
<b>230 Alloy</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>
<b>N06045</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
<b>N06600</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>...</b>
<b>N06601</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>...</b>
<b>N06690</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>...</b>
<b>Alloy 617</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>
<b>S31803</b>	<b>0.4</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>	<b>...</b>

Fonte: ASME (2007)

### 3.2 Dimensionamento do Tubo de Fumaça Sujeito a Pressão Externa

A espessura mínima exigida para o tubo de fumaça sujeito a pressão externas deve ser determinada, segundo ASME – *Boiler and Pressure Vessel Code - Section I – Power Boilers*– PFT 51, pelos procedimentos descritos abaixo:

- a) para Valores de  $Do / t \geq 10$ : etapas do dimensionamento dos tubos de fumaças quando a razão entre o diâmetro externo do tubo e a espessura mínima do tubo for maior ou igual a 10:

1º Passo: Adotar um para **t** e determinar as relações **L / Do** e **Do / t**;

2º Passo: Entrar na Figura G da Seção II – Parte D (Tabela 2), com o valor **L / Do** determinado no 1º passo, mover até encontrar a linha **Do / t**, no ponto de intersecção determina-se o valor do **Fator A** (Para valores de **L / Do** maior que 50 assumir valor de **L / Do = 50** e para valores de **L / Do** menor que 0,05 assumir valor **L / Do = 0,05**).

onde:

Pa = Valor calculado da pressão externa para um dado valor da espessura (t) presumida;

S = Tensão Máxima Admissível para a temperatura de trabalho do material;

t = Espessura mínima exigida para o tubo;

L = Comprimento total do tubo;

Do = Diâmetro externo do tubo;

E = Módulo de elasticidade do material

- 3º Passo: Com o **Fator A** determinado no 2º passo entrar no gráfico de materiais

aplicáveis – ASME – Seção II – Parte D (Tabelas 3 ou 4), mover até a intersecção com a linha do material/temperatura (se necessário efetuar interpolação) determina-se o **Fator B**.

4º Passo: Usando o valor de **Fator B**, calcular a Pressão Máxima Externa – **Pa**, usando a formula a seguir:

$$\mathbf{Pa} = \frac{\mathbf{4.B}}{\mathbf{3.\left(\frac{Ds}{t}\right)}}$$

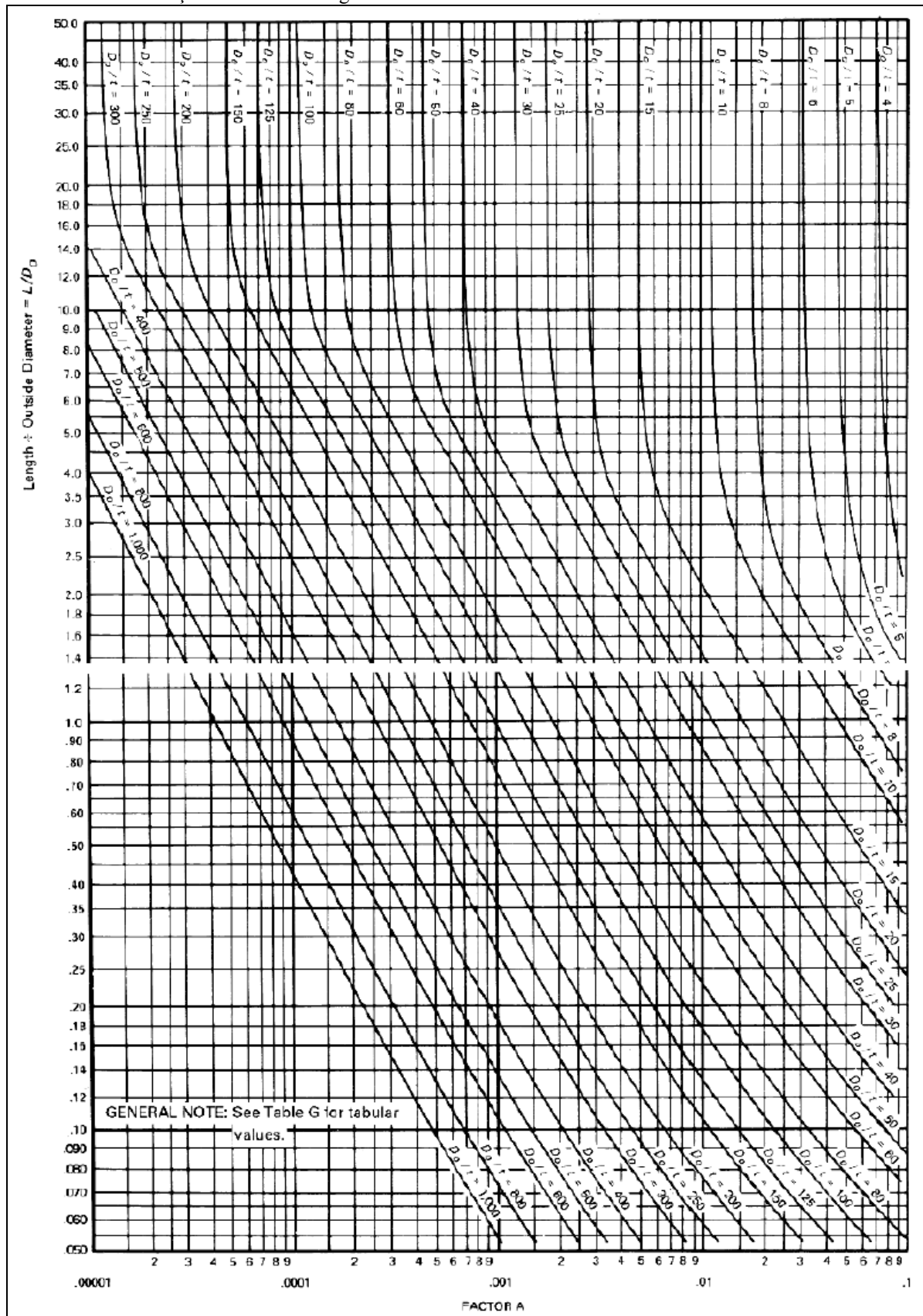
5º Passo: Caso os valores do **Fator A**, caia fora, a esquerda da linha do material / temperatura, o valor da Pressão Máxima Externa – **Pa**, deve ser calculada por meio da seguinte equação:

$$\mathbf{Pa} = \frac{\mathbf{2.A.E}}{\mathbf{3.\left(\frac{Ds}{t}\right)}}$$

6º Passo: Comparar o valor de **Pa** e, se este for menor que **P** (Pressão máxima de trabalho permitida), selecione um valor maior para a espessura (**t**) e refazer o procedimento até que o valor de **Pa** seja igual ou maior que **P**.

## Tabela Geométrica para componentes sob Pressão Externa ou Compressão

Tabela 2 - ASME Seção II - Parte D - Figura G

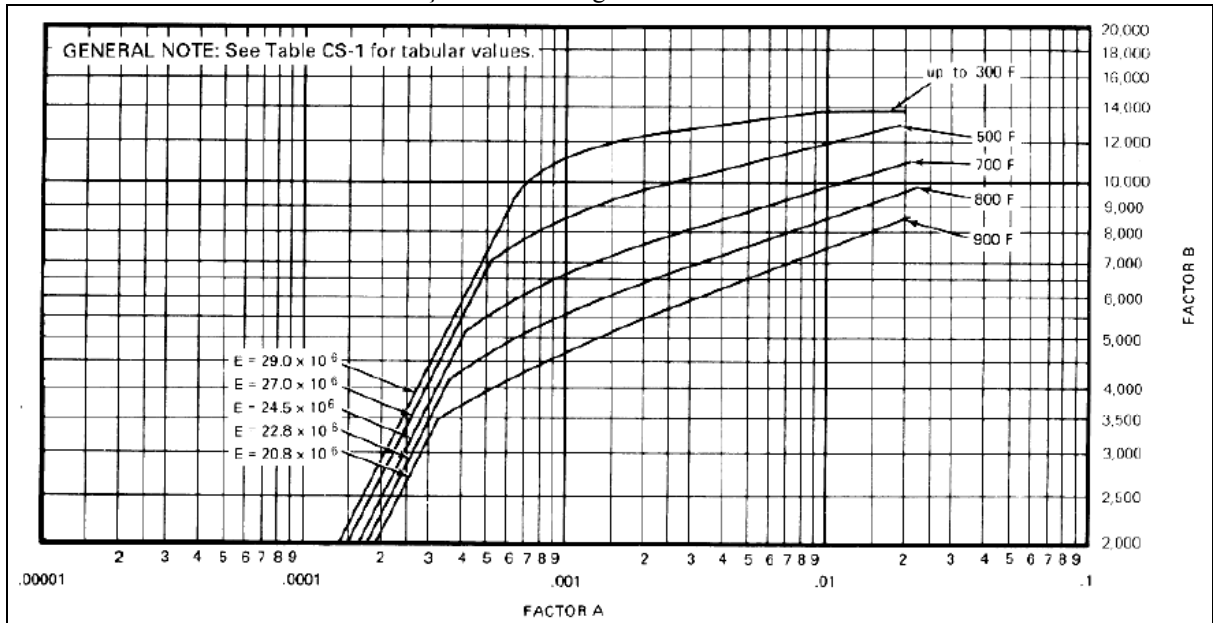


Fonte: ASME – Seção II (2007)



## Tabela para determinação da Espessura de Tubos – CS-1

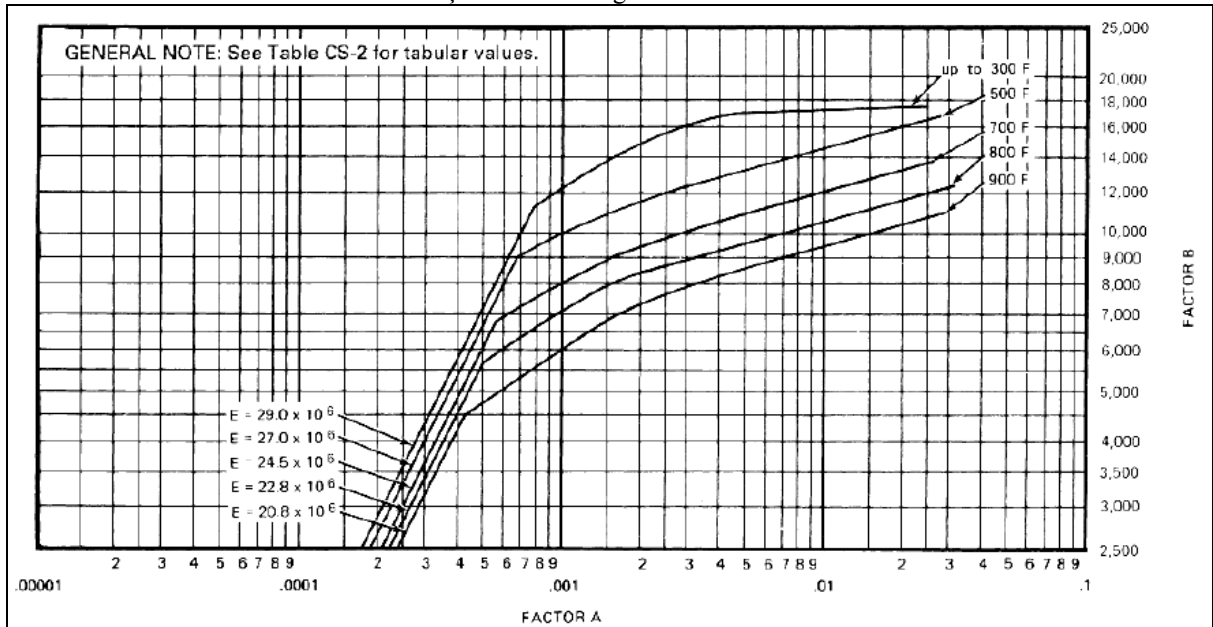
Tabela 3 - Tabela do Material - CS-1 Aços de Baixa Liga - Fator B



Fonte: ASME – Seção II (2007)

## Tabela para determinação da Espessura de Tubos – CS-2

Tabela 4 - Tabela do Material - CS-2 – Aços de Baixa Liga - Fator B



Fonte: ASME – Seção II (2007)

- b) para Valores de  $D_o / t < 10$ : etapas do dimensionamento dos tubos de fumaças quando a razão entre o diâmetro externo do tubo e a espessura mínima do tubo for inferior a 10:

1º Passo: Usar o mesmo procedimento efetuado no item 2.4.2.1 para obter o valor do

**Fator B.** Para valores de  $D_o / t$  menores que 4, o **Fator A** será calculado por meio da seguinte equação:

$$A = \frac{1,1}{\left(\frac{D_o}{t}\right)^2}$$

2º Passo: Com o valor de B obtido no 1º passo, calcular um valor de  $Pa_1$  usando a seguinte equação:

$$Pa_1 = \left[ \frac{2,167}{\frac{D_o}{t}} - 0,0833 \right] \cdot B$$

3º Passo: Calcule o valor de  $Pa_2$  usando a seguinte equação:

$$Pa_2 = \frac{2 \cdot S_B}{\frac{D_o}{t}} \left[ 1 - \frac{1}{\frac{D_o}{t}} \right]$$

Onde  $S_B$  é o menor valor entre: duas vezes a máxima tensão admissível tabelada para o material a temperatura de projeto - tabelas 1A e 1B da Seção II, Parte D, ou, 1,8 vezes a tensão de escoamento do material na temperatura de projeto, obtida na Seção II – Parte D - Tabela Y-1.

4º Passo: O menor dos valores de  $Pa_1$  (calculado no 2º passo) ou  $Pa_2$  (calculado no 3º passo) deve ser utilizado como a máxima pressão externa  $Pa$ . Caso  $Pa$  seja menor que  $P$  (Pressão máxima de trabalho permitida), selecione um valor maior para a espessura ( $t$ ) e repita o procedimento até que um valor de  $Pa$  seja igual ou maior a  $P$ .

### 3.3 Dimensionamento dos Espelhos

Os espelhos devem ser estudados com atenção porque, da distribuição dos tubos e fornalha no espelho, depende a sua espessura, o diâmetro do vaso depressão e a altura da câmara de vapor.

#### 3.3.1 Norma Francesa - AFNOR

A norma Francesa AFNOR – NF E 32-104 – PART-IV, estabelece que quando os tubos são apenas expandidos ou expandidos e soldados:

a) o espelho deve ter pelo menos:

- 10 mm se os diâmetros dos furos dos tubos são menores ou iguais a 40 mm.
  - 12 mm se os diâmetros dos furos dos tubos são maiores que 40 mm e menores ou iguais a 55 mm.
  - 14 mm se os diâmetros dos furos dos tubos são maiores que 55 mm.
- b) o espaçamento dos furos para tubos deverá ser tal que a largura de qualquer ligamento entre os furos não seja menor que:
- $L = 0,125 \cdot d_f + 12 \text{ mm}$ , para tubos expandidos.
  - $L = 0,125 \cdot d_f + 9 \text{ mm}$ , para tubos soldados.
  - $L = 0,125 \cdot d_f + 7 \text{ mm}$ , para tubos expandidos ou soldados onde a temperatura dos gases é inferior à 800 °C.

Portanto, o passo entre os centros dos furos vizinhos será:

$$p = L + d_f$$

onde:

$L$  = largura do ligamento;

$d_f$  = diâmetro do furo.

### 3.3.2 Norma Americana - ASME

É o código mais aplicado no Brasil, estabelece regras para o dimensionamento dos principais componentes da caldeira, submetidos a pressão interna e externa.

Para o dimensionamento do espelho a ASME – *Boiler and Pressure Vessel Code - Section I – Power Boilers* estabelece:

- a) PG-46 - A espessura dos espelhos planos com estais simetricamente espaçados é calculada pela fórmula:

$$e = p \cdot \sqrt{\frac{P}{S \cdot C}}$$

onde:

$p$  = passo dos estais, mm;

$P$  = Pressão máxima de trabalho em MPa;

$S$  = Tensão máxima admissível, MPa;

$C$  = 2,1 para estais soldados; 2,5 para estais parafusados;

$e$  = espessura do espelho (mm).

- b) PFT-31 - Para a caldeira multitubular em que os tubos são usados como estais, a espessura dos espelhos e o passo máximo dos tubos devem ser calculados utilizando

as seguintes equações:

$$e = \sqrt{\frac{P}{C \cdot S} \left( p^2 - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right)} \qquad p = \sqrt{\frac{C \cdot S \cdot e^2}{P} + \frac{\pi \cdot d^2}{4}}$$

onde:

C = 2,1 para espelhos com espessura de 11 mm e;  
C = 2,2 para espelhos com espessura superior a 11 mm;  
d = diâmetro externo do tubo (mm);  
P = pressão de projeto (MPa);  
S = máxima tensão admissível (MPa);  
p = passo máximo medido do centro do tubo (mm);  
e = espessura do espelho (mm).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o início da década de 60, os códigos eram baseados em critérios empíricos, ditados pela experiência. Exigia-se que a espessura do equipamento fosse capaz de suportar a tensão máxima atuante e material fosse suficientemente dúctil de forma a acomodar tensões geradas.

As normas e códigos de projeto foram desenvolvidos com a finalidade de padronizar e simplificar o dimensionamento mecânico das caldeiras e garantir as condições mínimas de segurança para a sua operação. A experiência comprovou que a observância dessas normas torna muito baixa a probabilidade de ocorrência de acidentes graves.

Para Silva (1957, p. 151) sempre ter usar o máximo cuidado e consciência no projeto e recálculo dos dados operacionais de uma caldeira, pois trata-se de um equipamento que opera a temperaturas elevadas.

### 4.1 Levantamento de dados

É a etapa mais crítica na Reconstituição do Prontuário, na qual é necessário o uso de Ensaios Não Destrutivos (END), para a determinação dos parâmetros de recálculo e restabelecimento dos dados operacionais.

Na requalificação (Reconstituição do Prontuário), devem ser utilizados os seguintes Ensaios Não Destrutivos:

- a) Réplica Metalográfica: visa a determinar as características do material construtivo do Vaso de Pressão e/ou Caldeira;
- b) Líquidos Penetrantes: visa à detecção e mapeamento de trincas;

- c) Ultra Sonografia: visa o mapeamento das espessuras, à inspeção e mapeamento de não conformidades e características das soldagens;
- d) Teste Hidrostático: realizado após o recálculo da PMTA, visando à aplicação de um ensaio volumétrico no costado, tampos e espelhos.

A Requalificação das Caldeiras deve atender os critérios estabelecidos na NR – 13, quanto à reconstituição de um Prontuário.

Além dos Ensaios Não Destrutivos, efetuar o levantamento dos Instrumentos de Segurança Obrigatórios, tais como, Manômetros e Válvulas de Seguranças, os quais deverão ser submetidos a aferições, calibrações e manutenções periódicas, sob responsabilidade do proprietário.

Ao final da etapa de levantamento e coleta de dados, o profissional habilitado tem que ter em mãos os seguintes dados:

- especificação do material do casco ou tubulão;
- espessura do casco ou tubulão (mm);
- diâmetro externo do casco ou tubulão (mm);
- comprimento do casco ou tubulão (mm);
- número de bocais;
- especificação do material dos bocais;
- diâmetro interno dos bocais (mm);
- largura dos Anéis de reforço (mm);
- número de manômetros;
- especificação dos manômetros;
- número de válvulas de segurança;
- especificação das válvulas de segurança;
- número de passes;
- especificação do material dos espelho;
- diâmetro dos espelho (mm);
- espessura dos espelho (mm);
- especificação do material dos tubos;
- número de tubos;
- comprimento dos tubos (mm);
- passo dos tubos no espelho;
- espessura dos tubos (mm);
- diâmetro externo dos tubos (mm).

#### **4.2 Levantamento do Prontuário das Caldeiras**

Após o levantamento dos dados e das características construtivas, dá-se início ao levantamento do prontuário e restabelecimento dos dados operacionais por meio do redimensionamento mecânico dos seguintes componentes: casco ou tubulão (tab. 5); espelhos (tab. 6); tubos (tab. 7).

a) Cálculo da PMTA no Casco - Código: ASME SEC. I - PG-27 - ED. 2007

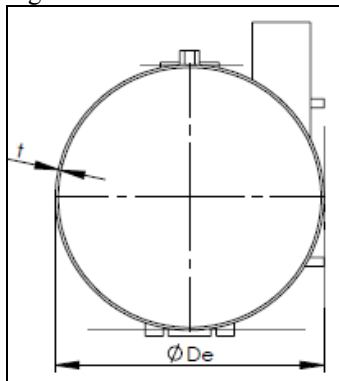
Tabela para Dimensionamento da PMTA no Casco (des. 1)

Tabela 5 – Condições de projeto – Dimensionamento

Material				
Grandeza		Símbolo	Valor	Unid. Medida
Tensão Admissível		S		MPa
Diâmetro Externo		De		mm
Espessura		t		mm
Espessura Adicional		tol		mm
Eficiência da Solda		E		
Coef. Temperatura		Y		
Pressão no Casco	$P_{CASCO} = \frac{2.S.E.(t - tol)}{De - 2.y.(t - tol)}$	P <sub>CASCO</sub>		MPa

Fonte: Autor

Figura 1 - Desenho 1



Fonte: Autor

b) Cálculo da PMTA nos Espelhos - Código: AFNOR NF E 32-104 Part. IV (des. 2)

Tabela para Dimensionamento da PMTA nos Espelhos (des. 2)

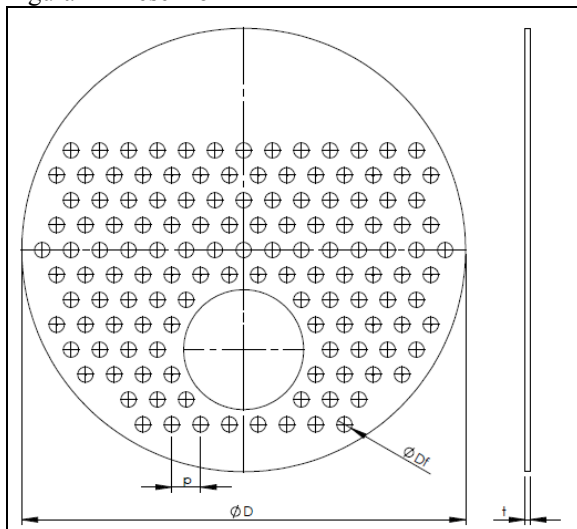
Tabela 6 – Condições de projeto – Dimensionamento do espelho

Material				
Grandeza		Símbolo	Valor	Unid. Medida
Tensão Admissível		S		MPa
Coeficiente		C		
Diâmetro do furo		Df		mm
L (0,125.Df + 12)		L		mm
Passo		P		mm

Espessura do espelho <sup>4</sup>		t		mm
Pressão no Espelho	$P_{ESP} = \frac{t^2 \cdot S \cdot C}{p}$	P <sub>ESP</sub>		MPa

Fonte: Autor

Figura 2 - Desenho 2



Fonte: Autor

### c) Cálculo da PMTA nos Tubos da Caldeira - Código: ASME SEC. I – PFT-50 e 51

Tabela para Dimensionamento da PMTA nos Tubos

Tabela 7 – Condições de projeto – Dimensionamento dos tubos

Material					
Grandeza		Símbolo	Valor		Unid. Medida
Diâmetro do Tubo		Do			mm
Comprimento do Tubo		L			mm
Espessura do Tubo		t			mm
		Fig. G da Secção II, PartD		Fig. CS-1 da Seção de II, Parte D	
Do / t		A		B	
L / Do					
ASME Sec. I - PFT-51					
P <sub>TUBO</sub>	$P_{TUBO} = \frac{4.B}{3.\left(\frac{D_o}{t}\right)}$				MPa

Fonte: Autor

<sup>4</sup>Lembrando que a espessura mínima do espelho - AFNOR – NF E 32-104 – PART-IV – é função dos diâmetros dos furos dos tubos, onde para: a) 10 mm se os diâmetros dos furos dos tubos são menores ou iguais a 40 mm; b) 12 mm se os diâmetros dos furos dos tubos são maiores que 40 mm e menores ou iguais a 55 mm e; c) 14 mm se os diâmetros dos furos dos tubos são maiores que 55 mm.

- d) estabelecimento da PMTA: Após efetuar os cálculos, comparar as pressões calculadas para o casco, espelho e tubos e, estabelecer como Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA), a que for menor.

#### 4.2 Proposta para Reconstituição do Prontuário

Na requalificação das caldeiras, a caracterização é o conjunto de informações, as quais devem contemplar: Identificação; Localização; Caracterização Técnica, Equipamentos, Acessórios, Mapa de Espessura, Teste Hidrostático, Desenhos e Projeto de Instalação.

#### Tabela Dados Operacionais da Caldeira

Tabela 8 – Caracterização da caldeira

<b>I – IDENTIFICAÇÃO</b>			
Marca:	Nº:	Ano Fab.:	
Modelo:	Categoria:		
Fabricante:	Endereço:		
<b>II – LOCALIZAÇÃO</b>			
Firma:			
Endereço:	Nr:		
Bairro:	Cidade:	UF.:	
Local:	Data de instalação:		
Primeira instalação: (        ) Sim (        ) Não			
<b>III – CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA</b>			
<b>III.1 – Condições operacionais</b>			
<b>Geração de vapor:</b>			
Capacidade de produção de vapor:	kg/h com água a	°C	
Vapor: (        ) Saturado (        ) Superaquecido a	°C	PMTA:	MPa
Combustível (fonte de calor):			
Normal:	Auxiliar:		
<b>Tiragem:</b>			
Tipo de Tiragem:			
<b>Água:</b>			
Tipo de Circulação:			
Tratamento de água: (        ) Sim (        ) Não	Processo de tratamento:		
<b>Controle:</b>			
Alimentação da água: (        ) Manual	(        ) Automática		
Ar: (        ) Manual	(        ) Automática		



Combustível: ( ) Manual ( ) Automática  
Ignição: ( ) Sim ( ) Não

**Composição da superfície de aquecimento:**

Superfície de aquecimento total: m<sup>2</sup>

Gerador de vapor: Número de passes: Superfície de aquecimento: m<sup>2</sup>

Superaquecedores: Número de passes: Superfície de aquecimento: m<sup>2</sup>

Economizadores: Número de passes: Superfície de aquecimento: m<sup>2</sup>

Pré-aquecedores de ar: Número de passes: Superfície de aquecimento: m<sup>2</sup>

Volume médio de água durante o uso normal: m<sup>3</sup>

Vaporização: Por m<sup>2</sup> de superfície de aquecimento kg/h

**III.2 – Construtiva**

Tipo de caldeira: Código adotado:

Descrição resumida (classificação):

**III.2.1 – Partes vitais**

**Tambores:**

Quantidades: Construção: ( ) Soldada ( ) Arrebitada

Comprimento: mm Diâmetro Interno: mm Espessura da Parede: mm

Especificação do Material:

Eficiência das Juntas Soldadas: Longitudinal: Circunferencial:

Extremidades Fechadas por: ( ) Espelho ( ) Tampos

**Características dos Espelhos:**

( ) Com abertura ( ) Sem abertura ( ) Estaiados ( ) Não Estaiados

Quantidades: Construção: ( ) Soldada ( ) Soldada

Espessura da Parede:

Especificação do Material:

**Fornalha Tubular:**

Quantidades de tubos:

Tipo: ( ) Liso ( ) Com anéis de reforço ( ) Corrugado

Construção: ( ) Com abertura ( ) Sem abertura

Comprimento: Diâmetro Interno: mm Espessura da Parede: mm

Especificação do Material:

Eficiência das Juntas Soldadas: Longitudinal: Circunferencial:

**Tubos de Gases:**

Quantidades de tubos: Tipo: ( ) Sem Costura ( ) Com Costura

Comprimento: Diâmetro Interno: mm Espessura da Parede: mm

Especificação do Material:

---

**IV – ITENS OBRIGATÓRIOS**

**Manômetros:**

Quantidade: Marca: Número:

Diâmetro Externo: mm

Escala: kgf/cm<sup>2</sup>

Rosca de Conexão:

Divisão: kgf/cm<sup>2</sup>

**Termômetros:**

Quantidade: Marca: número:

Localização: Escala: °C

**Indicadores de Nível:**

Quantidade: Características:

**Válvulas de Segurança:**

Quantidade: Localização: Tamanho Nominal:

Tipo: Marca:

Pressão de Abertura: kgf/cm<sup>2</sup> Pressão de Fecham: kgf/cm<sup>2</sup>

**Válvulas e Registros de Purga:**

Quantidade: Localização: Marca:

Tipo: Tamanho Nominal: Material:

**Dispositivos de Alimentação de Água:**

Quantidade:

Tipo:

Capacidade: m<sup>3</sup>/h Pressão: mca

Marca: Material:

Potência: CV Acionamento:

**Dispositivos de Circulação de Água:**

Quantidade: Características:

**Aberturas para Inspeção e Limpeza:**

a) Portas de Inspeção:

Quantidade: Dimensões: Localização:

b) Janelas de Inspeção:

Quantidade: Dimensões: Localização:

c) Portinholas:

Quantidade: Dimensões: Localização:

**Dutos para Tiragem dos Gases:**

Especificação do Material:

Seção de Passagem dos Gases (dimensões):

**Chaminé:**

Especificação do Material:

Altura: m Seção de Passagem dos Gases (dimensões):

**Placa de Identificação:**

( ) Ver Desenho Anexo ( ) Abaixo Transcrito

**V – ITENS COMPLEMENTARES**

a) Equipamentos de Combustão:

b) Movimentação de Ar e Gases:

- c) Modificação das Condições de Vapor:
- d) Sistemas Elétricos:
- e) Sistema de Segurança:
- f) Tratamento de Água:
- g) Outros:

## VI – MAPA DE ESPESSURA

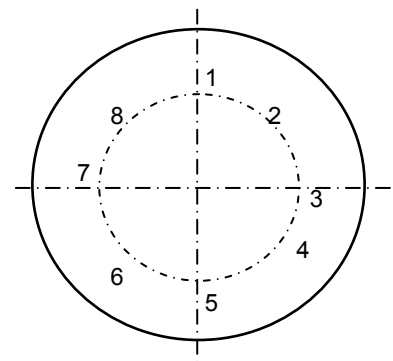
### VI.1 – Mapa de Espessura do Casco

Local	Medida (mm)	Local	Medida (mm)	Local	Medida (mm)
1		11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	

1	11	21
2	12	22
3	13	23
4	14	24
5	15	25
6	16	26
7	17	27
8	18	28
9	19	29

### VI.2 – Mapa de Espessura do Espelho

Local	Medida (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	



## VII - RELATÓRIO DE TESTE HIDROSTÁTICO

Equipamento:

Nr. Série:

Modelo:

Material:

### TESTE DE RESISTÊNCIA

Elemento	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Duração (minutos)	Resultado
Corpo - Casco			
Espelhos			

Tubos

TESTE DE VAZAMENTOS			
Elemento	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Duração (minutos)	Resultado
Corpo - Casco			
Espelhos			
Tubos			

#### VIII - ALTERAÇÕES

#### IX - RELAÇÃO DE DOCUMENTOS ANEXOS

#### X - RESPONSÁVEL PELA INSTALAÇÃO

#### XI - PREENCHIMENTO

Dados do Proprietário:

Assinatura:

Resp. Técnica (Eng. Responsável):

Crea RN:

Assinatura:

ART N°:

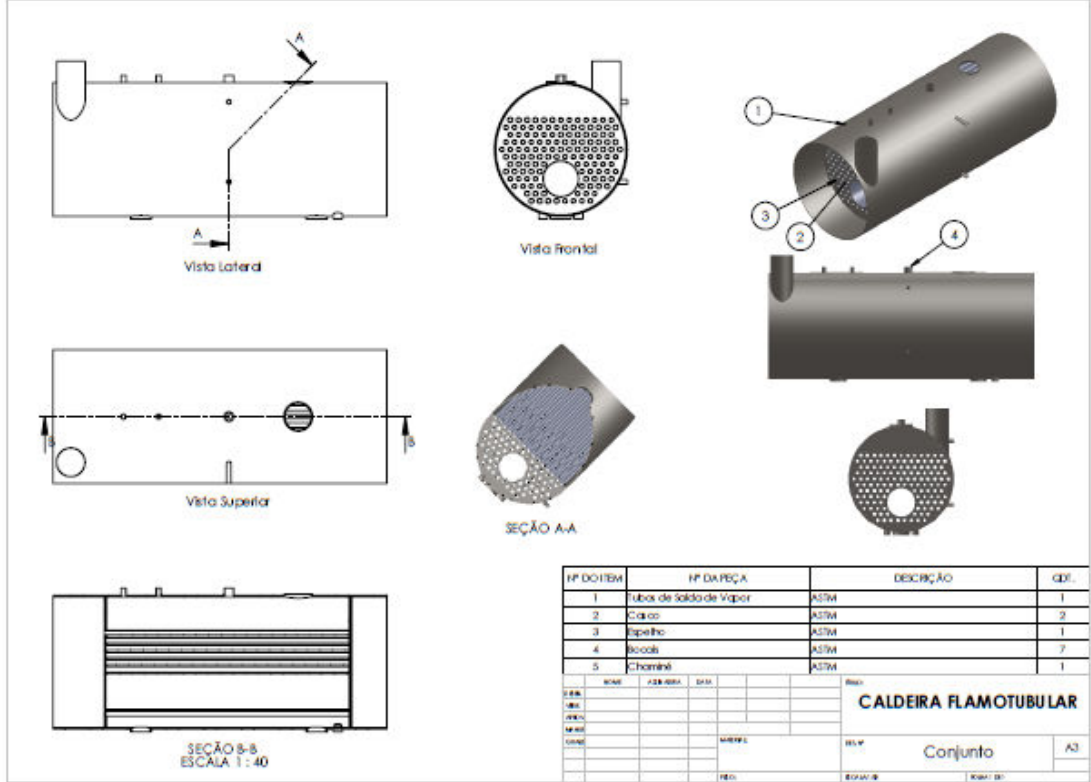
Local e Data

Fonte: Autor

### 4.3 Desenhos das caldeiras

O conjunto de desenho da caldeira (desenho 3) é parte integrante do prontuário e devem conter todos os documentos, plantas, desenhos, cálculos, pareceres, relatórios, análises, normas, especificações relativos ao projeto, devidamente assinados pelos profissionais legalmente habilitados.

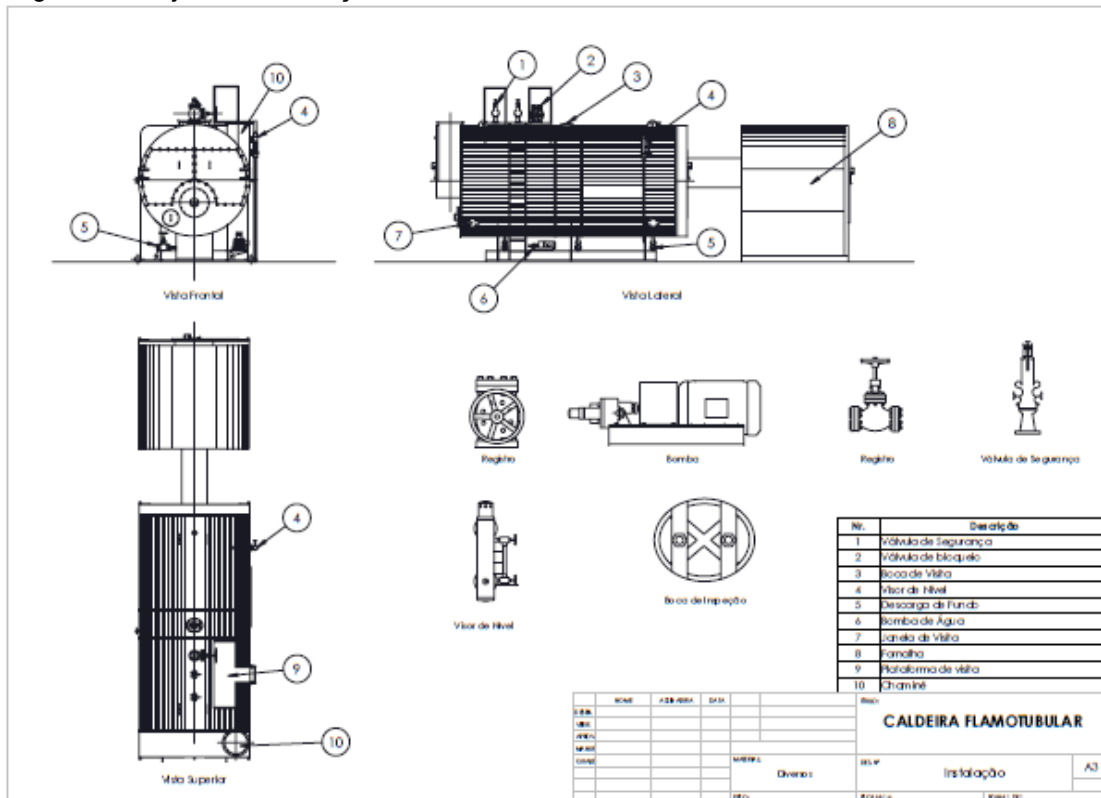
Figura 3 - Conjunto da caldeira



Fonte: Autor

O projeto de instalação (desenho 4), elaborado por profissional habilitado, visa atender o estabelecido na NR-13, e deve obedecer os aspectos de segurança, saúde e meio ambiente previstos nas Normas Regulamentadoras, convenções e disposições legais aplicáveis.

Figura 4 - Projeto de Instalação



Fonte: Autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objeto principal do levantamento do Prontuário ou da Requalificação das Caldeiras a Vapor é minimizar riscos e, como consequência, evitar danos. A utilização desses equipamentos está associada às mais variadas formas de risco, sendo as explosões os de maior gravidade. São equipamentos que operam com diferencial de pressão, onde, na sua grande maioria, a pressão interna é superior à pressão atmosférica. A elevada pressão interna faz com que o fluido no interior busque ocupar um espaço maior através de fendas e trincas e isto pode provocar explosões quando a pressão exercida no interior do vaso for maior que a resistência do material do qual o casco é fabricado. Assim, para evitar a explosão, surge a necessidade de estabelecer para o casco, tubos, tampos e espelhos, espessuras adequadas em função da resistência do material e das características de operação.

Além do recálculo mecânico, é importante, no processo de requalificação de Caldeiras, o profissional responsável verificar outros itens não contemplados neste trabalho e causadores de possíveis explosões, tais como: Incrustações, Corrosão Interna, Corrosão Externa, Trincas, Fissuras, Mandrilagem, Soldas, Juntas, Sistema de Alimentação da Água, Válvulas de

Segurança, entre outros.

Finalizando, não esquecer o componente mais importante em qualquer processo, o elemento humano. Assim, os operadores de Caldeiras não podem ser deixados de lado, não são eles os responsáveis pelo projeto, pela especificação dos materiais ou pela escolha dos instrumentos, são sim responsáveis pela operação do equipamento. Portanto, é de fundamental importância que, durante o processo de requalificação das Caldeiras, o profissional responsável elabore o manual de operação, possibilitando aos operadores desenvolverem melhor suas atividades rotineiras.

## REFERÊNCIAS

ALTAFINI, Carlos Roberto. **Apostila sobre caldeiras**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2002.

BIZZ0, Waldir A. **Geração, distribuição e utilização de vapor**. Campinas: FEM/Unicamp, 2003.

MARTINELLI JR, Luiz Carlos. **Geradores de vapor (Apostila)**. Ijuí: FEM/Unijuí, 2004.

PERA, Hildo. **Gerador de vapor**. 2. ed. São Paulo: Fama, 1990.

SARAIVA. **Segurança e medicina do trabalho**: normas regulamentadoras, convenções da OIT e normas trabalhistas e previdenciárias. 5. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.

SILVA, Remi Benedito. Geradores de vapor de água: caldeiras. São Paulo: Grêmio Politécnico-USP, 1957.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME Boiler and Pressure Vessel Code - Rules for Construction of Power Boilers - Section I. New York, 2007.

\_\_\_\_\_. ASME Boiler and Pressure Vessel Code - Rules for Construction of Pressure Vessels - Section VIII. New York, 2007.

\_\_\_\_\_. ASME Boiler and Pressure Vessel Code - Materials - Section II. New York, 2007.

TORREIRA, R. Peragallo. **Geradores de vapor**. São Paulo: Cia Melhoramentos, 1995.