

UNIVERSIDADE DO SAGRADO CORAÇÃO

CAROLINE SOARES DA SILVA

**GERENCIAMENTO E ESTUDO DOS RISCOS EM
CALDEIRAS INDÚSTRIAS**

BAURU
2016

CAROLINE SOARES DA SILVA

**GERENCIAMENTO E ESTUDOS DOS RISCOS EM
CALDEIRAS INDÚSTRIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química, sob a orientação do Prof. Dr. Marcelo Telascrêa.

BAURU
2016

Silva, Caroline Soares da

S5862g

Gerenciamento e estudo dos riscos em caldeiras industriais / Caroline Soares da Silva. -- 2016.

68f. : il.

Orientador: Prof. Dr.Marcelo Telascrêa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Caldeira. 2. Gerenciamento. 3. Risco em caldeiras. Análise de risco. I. Telascrêa, Marcelo. II. Título

CAROLINE SOARES DA SILVA

**GERENCIAMENTO E ESTUDO DOS RISCOS EM CALDEIRAS
INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química, sob a orientação do Prof. Dr. Marcelo Telascrêa.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Telascrêa
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Esp. Raquel Teixeira Campos
Universidade do Sagrado Coração

Prof. Dr. Gill Bukvic
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 6 de dezembro de 2016.

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem Ele eu não teria força e coragem para essa jornada. Aos meus familiares, que acreditaram na minha capacidade e não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que determinou cada um dos meus dias antes que qualquer um deles existisse. Sempre foi essencial em minha vida Autor do meu destino e Meu guia. Agradeço ao meu Pai porque tem preparado para mim um caminho de vitórias. A Ele toda a glória e todo louvor!

Agradeço aos meus irmãos Romilda, Marcelo, Beatriz, Fabiana, Irene e Lucas meus grandes amigos, vocês são tudo para mim! Obrigada por sempre investirem em minha formação profissional e principalmente em meu caráter. Eu sabia que vocês tinham razão em não me deixar desistir dos meus sonhos, por isso me aguentaram me apoiaram e acreditaram em mim todas as vezes que eu me senti incapaz. Eu venci porque vocês venceram!

Agradeço a minha mãe Cecília, mesmo que a vida esteja me ensinando a te dizer adeus, fico em paz porque sei que está num lugar melhor e que um dia iremos nos ver novamente. Pois se sou essa pessoa hoje, sem sombras de dúvidas foi o fruto do seu amor, dedicação, coragem, paciência, bondade e compreensão por me apoiar e fazer a diferença sempre!

Agradeço você irmão Lucas, não tem palavras de gratidão a Deus por ter me dado você como irmão, você sempre seria minha escolha de todas as vidas.

Agradeço aos meus amigos, que fizeram parte desta jornada. Obrigada pelo animo, paciência, companheirismo e como diz em Provérbios 17:17 “Em todo tempo ama o amigo e para hora de angustia nasce o irmão”

Quisera Deus vocês fossem eternos! Amo vocês!

Agradeço meu professor/orientador Marcelo Telascrêa pelo auxílio, compreensão e estímulo para que este trabalho fosse concluído. Obrigada pela sua dedicação, paciência, suporte e principalmente pelos os incentivos. O senhor não contribui apenas na minha vida acadêmica e sim na minha vida pessoal. Suas palavras ficaram gravadas no meu coração e guardarei para sempre.

O meu agradecimento a todos os professores e funcionários da USC que contribuíram de forma tão importante para que eu chegasse até aqui. Acreditem vocês fizeram a diferença em minha vida!

“Agora, pois, permanecem a fé, a esperança e o amor, estes três; porém o maior destes é o amor”. *I Coríntios 13:13*

RESUMO

Os processos que utilizam o uso das caldeiras e vasos de pressões são alimentados com combustível e com circulação de gases ao serem queimados transferindo energia por um sistema de tubulações internas para a realização do pré-aquecimento da água. A pressão exercida por esse processo pode ser analisada pela lei de Pascal, onde a força aplicada em uma área resulta em pressão. Pela NR-13 as caldeiras são definidas, por equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, ocupando qualquer fonte de energia, fazendo-se os equipamentos similares utilizados em unidades de processo. Maior parte dos dados e referências sobre a troca de calor em caldeiras são propriedades dos fabricantes de equipamentos, por motivos claros não estão liberadas para literatura. A caldeira tem uma vida adequada dependendo especialmente do modo de trabalho que é realizado, frequência das limpezas externas e internas, de alimentação da qualidade da água, das corrosões, do sistema de vaporização, entre outros. Pois os riscos da caldeira podem apresentar e emparelhar nos acontecimentos como nos gases, a fadiga térmica (corrosão/trincas), ao superaquecimento e camuflagem. Mas na maior parte do funcionamento das caldeiras, os riscos resultam muito da qualificação e responsabilidade do operador. Com esses decorrentes riscos, devem-se estabelecer parâmetros, identificando a necessidade de um bom gerenciamento em caldeiras, buscando diminuir ou minimizar os riscos decorrentes do processo de operação. O objetivo desse trabalho é apresentar um estudo simples e objetivo sobre o funcionamento das caldeiras Flamotubulares e Aquatubulares, e suas aplicações, serão verificados os motivos que causam seus riscos. Podendo oferecer e propor alguns gerenciamentos e ações corretivas para a prevenção de riscos de acidentes. As informações, os dados e conceitos estudados foram coletados nas obras literárias. Portanto, a conclusão obteve-se que os acidentes causados pelas caldeiras causam grandes preocupações em grandes corporações, com isso é de grande importância buscar gerenciamento de soluções para minimizar esses riscos que surge durante todo o processo, utilizando também a norma regulamentadora (NR-13) que explica muitas ações para o controle e segurança.

Palavras-chave: Caldeira. Gerenciamento. Risco em caldeiras. Análise de risco.

ABSTRACT

The processes that use the use of boilers and pressure vessels are fed with fuel and with circulation gas to be burned transferring energy by a system of internal passages for conducting the pre-heating of the water. The pressure exerted by this process can be analyzed by Pascal law, where the force applied in an area results in pressure. The NR-13 boilers are set for equipment to produce and accumulate steam under pressure greater than atmospheric, occupying any energy source, making up similar equipment used in process units. Most of the data and references on the exchange of heat in boilers are equipment manufacturers of properties, for clear reasons are not released for literature. The boiler has an adequate life depending especially the work so that it is held, frequency of external and internal cleaning of the water supply of quality, corrosion, vaporization system, among others. Because the risks of the boiler may have and pair of events as in gases, the thermal fatigue (corrosion / crack), to overheating and camouflage. But most of the operation of the boilers, the risks result much of qualification and responsibility of the operator. With those resulting risks should be established parameters, identifying the need for good management in boilers, seeking to reduce or minimize the risks of the operation process. Objective of this study is to present a simple, objective study on the functioning of Flamotubulares and Aquotubulares boilers, applications and the reasons that cause their risks will be checked. Being able to offer and propose some managements and corrective actions to prevent the risk of accidents. The information, data and concepts studied were collected in literary works. So the conclusion was obtained that occurring accidents by boilers cause great concern in large corporadores, it is very important to seek management solutions to minimize the risks arising throughout the process, also using the regulatory standard (NR-13) that explains many actions to control and security.

Keywords: Boiler. Management. Risk in Boilers. Risk Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de fluxos em uma fornalha de caldeira	20
Figura 2 - Temperaturas diferentes em gás entre as placas	22
Figura 3 - Variação da entalpia e temperatura durante a mudança de estado da matéria	25
Figura 4 - Caldeiras a vapor de acordo com a circulação de vapor / água.....	28
Figura 5 - Caldeira vertical	31
Figura 6 - Caldeira horizontal	32
Figura 7 - Caldeira flamotubular vertical.....	32
Figura 8 - Ilustração de uma caldeira flamotubular.....	33
Figura 9 - Fluxo de energia em Sistema de Caldeira	34
Figura 10 - Processo Básico para Prevenção de Riscos.....	52
Figura 11 - Análise das probabilidades e conseqüências da APR.....	53
Figura 12 - Aplicação do Método APR	55
Figura 13 - Exemplo planilha segundo norma HAZOP.....	57
Figura 14 - Exemplo de aplicação do método HAZOP	57
Figura 15 - Vantagens e Desvantagens das Técnicas Abordadas.....	58
Figura 16 - Principais Cuidados na Caldeira de Combustível Líquido.....	59
Figura 17 - Principais Cuidados na Caldeira de Combustível Sólido.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de combustíveis	26
Tabela 2 - Coeficientes molares para alguns combustíveis	26
Tabela 3 - Combustão e Vaporização de caldeiras aquotubulares e flamotubulares	35
Tabela 4 - Lista de Verificação chek-list em caldeiras.....	50
Tabela 5 - Check-list Mensal SESMT	51
Tabela 6 - Categoria dos Riscos	53
Tabela 7 - Frequência de Ocorrência de Eventos	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	GERAL.....	14
2.2	ESPECÍFICOS.....	14
3	METODOLOGIA	15
4	REFERENCIAL TEÓRICO	16
4.1	PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS	16
4.1.1	Temperatura	17
4.1.2	Pressão	18
4.1.3	Trabalho	19
4.1.3.1	<i>Trabalho na Termodinâmica</i>	19
4.1.4	Calor	20
4.1.5	Transferência de Calor	21
4.1.5.1	<i>Condução</i>	21
4.1.5.2	<i>Convecção</i>	22
4.1.5.3	<i>Radiação</i>	23
4.1.6	Vapor	23
4.1.7	Combustão	25
4.2	GERADOR DE VAPOR.....	27
4.2.1	Tipos de caldeiras	28
4.2.2.1	<i>Principais Componentes</i>	29
4.2.2.2	<i>Caldeiras Verticais</i>	30
4.2.2.3	<i>Caldeiras Horizontais</i>	31
4.2.2.4	<i>Caldeira Flamotubulares ou fogotubulares</i>	32
4.2.2.5	<i>Caldeira Aquatubular ou Aquotubular</i>	33
4.2.2.6	<i>Comparação de Aquotubulares e Flamotubulares</i>	34
4.3	RISCOS DA CALDEIRA.....	36
4.3.1	Risco de Explosão	377
4.3.2	Risco de superaquecimento	388
4.3.3	Risco de choques térmicos	411
4.3.4	Risco de falhas em juntas soldadas	422
4.3.5	Risco de Corrosão	422
4.3.6	Risco do aumento de pressão	455

4.3.7	Risco de Gases	46
4.4	GERENCIAMENTOS DE CALDEIRAS	47
4.4.1	Norma Regulamentadora 13	488
4.4.2	Análises de Riscos	49
4.4.2.1	<i>Check- List (Lista de Verificação)</i>	49
4.4.2.2	<i>Análise Preliminar de Riscos (APR)</i>	52
4.4.2.3	<i>HAZOP (Hazard and operability studies)</i>	546
4.4.2.4	<i>Comparativo entre Hazop e APR</i>	Erro! Indicador não definido.
4.4.3	Processo de Verificação em Caldeiras de Combustíveis Sólidos e Líquidos ...	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Os experimentos para gerar vapor ocorrem desde o século II a.C., quando Heron de Alexandria criou o aparelho que mobilizava uma esfera em torno do seu eixo pela água vaporizada. Porém, somente na época da Revolução Industrial foi que houve grande avanço na utilização do vapor para movimentar os equipamentos e apenas após a 1ª Guerra Mundial que o vapor passou a ser utilizado industrialmente. (ALTAFINI, 2002).

Segundo Bizzo (2003), de forma simples, o processo de produção de vapor consiste de um processo gerador de vapor (caldeira), alimentada com combustível e com circulação de gases, que ao queimarem, transferem energia por todo um sistema de tubulações internas para a realização do pré-aquecimento da água. A pressão exercida por esse processo pode ser analisada pela lei de Pascal, onde a força aplicada em uma área resulta em pressão.

Para um melhor entendimento, torna-se essencial a abordagem da troca de calor, onde o fenômeno da transferência de calor, por meio da ebulição e condensação é de total importância. (BRASIL, 2006).

Apesar do processo na caldeira ser mecânico, não se deve esquecer-se de citar a importância do sistema de operação, onde se encontra o maior risco de acidente. A Norma Reguladora 13 (BRASIL, 2006), traz importantes contribuições para a operação com informações indispensáveis sobre os procedimentos com as caldeiras, reduzindo o risco de acidentes.

Segundo Souza (2012), baseado em pesquisas realizadas entre 2003 a 2012, constatou-se cerca de 70 acidentes com caldeiras e/ou vasos de pressão, observando uma taxa de mortalidade na ordem de 0,91%. Com ampla utilização nos meios industriais, as caldeiras que operam até vinte vezes acima da pressão atmosférica, podem trazer consigo riscos, que se analisados com critérios, podem ser reduzidos consideravelmente.

As caldeiras que fazem parte da discussão desse trabalho são do tipo Flamotubulares e Aquatubulares. Pretende-se apresentar, de forma simples e objetiva, os processos de funcionamento, aplicação e serão abordados os riscos envolvidos. Entre os principais riscos industriais, pode-se destacar: (BRASIL, 2006).

- a) Explosões: o mais importante com conseqüências catastróficas, pois o processo de operação, fabricação, projeto, manutenção e outras estão expostas;
- b) Choques térmicos;
- c) Risco de queimaduras;
- d) Liberação de radiação infravermelha;
- e) Gases tóxicos: como monóxido de carbono.

Com base no estudo realizado, pode-se analisar que os incidentes ocorridos com caldeiras industriais de médio (11 a 40 kgf/cm²) e grande porte (maior que 40 kgf/cm²) permitiram desenvolver novos métodos de operação, como mostra a nova Norma Reguladora 13. (BRASIL, 2006).

A busca em analisar as caldeiras e seus riscos tem como objetivo minimizar as causas conseqüentes de seus acidentes. Apesar de ser muito difícil ocorrer explosões pode-se constatar um alto índice de mortalidade sendo de níveis extremamente graves, tanto para as pessoas envolvidas em seu serviço quanto para natureza e seus impactos ambientais. Por tais motivos serão apresentadas técnicas de gerenciamento, sendo elas *Check-list*, Análise Preventiva de Riscos e Hazop, onde apesar da diferença em certas aplicações é imprescindível o uso das mesmas, com a finalidade da segurança do operador e equipamento. (OLIVEIRA et al., 2011).

2 OBJETIVOS

Apresenta-se a seguir o objetivo geral e específico desta pesquisa.

2.1 OBJETIVO GERAL

Pesquisar os riscos encontrados em caldeiras industriais, demonstrando dados relacionados às principais causas e conseqüências dos riscos, propondo soluções para reduzi-los.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Levantar dados sobre caldeiras e suas aplicações em uma indústria;
- b) Apresentar o sistema de funcionamento de caldeiras e sua troca de calor;
- c) Pesquisar os principais riscos encontrados em tal operação;
- d) Propor um melhor gerenciamento preventivo aos riscos industriais.

3 METODOLOGIA

Este trabalho possui para o meio acadêmico a importância de mostrar os funcionamentos das caldeiras (geradoras de vapor), seus riscos e a importância da responsabilidade e do gerenciamento para evitar acidentes.

A pesquisa é de caráter qualitativo, pois se baseia na revisão bibliográfica da literatura.

Para a realização deste trabalho foram executadas as seguintes etapas:

Revisão bibliográfica: O embasamento teórico foi realizado buscando artigos e trabalhos sobre o tema. Utilizando as palavras chave prosseguimos com a pesquisa para adentrar mais a fundo no assunto, palavras chave como: caldeiras, gerenciamento, riscos e análise, usando as seguintes bases de dados:

- a) Google acadêmico com acesso a artigos científicos nacionais.
- b) Livros, teses, dissertações, apostilas, artigos e manuais relacionados ao tema deste trabalho e à abordagem metodológica adotada.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

O foco do trabalho é avaliar riscos e propor ações corretivas para prevenção de riscos de acidentes. Inicialmente, será proposta de forma breve os dados termodinâmicos e físico-químicos relacionados às caldeiras e que estão intrinsecamente relacionados com os fatores ligados aos riscos de acidentes.

Os conceitos básicos abordados nesse trabalho das propriedades físico-químicas será realizado para um melhor entendimento do leitor, quando o objetivo do trabalho é tratar de assuntos envolvendo a caldeira e suas relações com o tema. Portanto do mesmo modo, apresenta conteúdos sobre temperatura e a necessidade do vapor para o seu funcionamento, expondo juntamente conceitos que estão relacionadas especialmente ao processo da água, da pressão e de gases de caldeiras a seguir.

4.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Segundo Fernandes, Pizzo e Moraes (2006), a densidade de uma substância (ρ) equivale a sua massa por unidade de volume e também representa o estado de agregação de uma substância, de acordo com a Equação 1:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (1)$$

Onde,

m = massa kg

V = Volume m³

De acordo com os autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005) o volume específico (v): pode ser obtido pelo inverso da massa específica, conforme com a Equação 2:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \text{ [m}^3\text{/kg]} \quad (2)$$

Onde,

V = volume m^3

m = massa kg

ρ = densidade

Ainda conforme Fernandes, Pizzo e Moraes (2006), o Peso específico (γ) obtém-se pela relação de peso e volume, como demonstrada na equação a seguir:

$$\gamma = \frac{Fp}{V} = \rho \cdot g[(kg/m^3) \cdot (m/s^2)] = [kg/s^2 \cdot m^2] \quad (3)$$

Onde,

F = massa x aceleração $kg \cdot (m/s^2)$

V = volume m^3

Quando alteradas a pressão ou a temperatura, conseqüentemente a densidade dos gases varia bastante, em contrapartida a densidade dos líquidos apresentam uma pequena variação sendo consideradas incompressíveis (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

Tais propriedades mencionadas acima são fundamentais para o funcionamento da caldeira, analisando o fluido e representando a base para o estudo da mecânica deste, pois cada tipo de substância avaliada tem suas propriedades específicas que são muito relevantes para uma perfeita análise dos problemas frequentemente encontrados na indústria (RODRIGUES, 2016).

4.1.1 Temperatura

Para produção de vapor em uma caldeira, torna-se indispensável falar da temperatura, sendo que a mesma esta presente na abertura da válvula de segurança, redução de resistência, entre outros vários fatores (BIZZO, 2003).

Para encontrar-se uma definição de temperatura é difícil. Imagina-se com a intenção de calor ou frio quando adequamos a um objeto. Com isso analisou-se com eficiência que se colocar um corpo quente em contato com um corpo frio, o corpo frio esquenta e o corpo quente esfria. Se os corpos estiverem juntos em contato por algum tempo, eles terão o mesmo grau de resfriamento ou aquecimento.

A temperatura na caldeira é uma das variáveis que mais deve ser controlada industrialmente, pois com o controle da mesma é possível apresentar diversos tipos de sistema, que incorporado a outros controles pode apresentar bons resultados na indústria. (ÇENGEL; GHAJAR, 2012).

4.1.2 Pressão

Sendo uma das grandezas mais importantes do trabalho da caldeira, podendo observar na própria Norma Regulamentadora 13 (BRASIL, 2006) - Caldeiras e Vasos de Pressão. Será relatada a importância da pressão, pelo risco que a mesma pode trazer caso não seguir as normas corretamente (ALTAFINI, 2002).

De forma simples, quando se aplica uma força em uma determinada área, terá como resultado pressão. Pode se dizer que a pressão é a força distribuída em uma determinada área.

Conforme os autores Çengel e Ghajar (2012), o equipamento que faz essa medição é o manômetro, com a fórmula de pascal a seguir podemos saber a pressão exercida em um determinado local, de acordo com a Equação 4:

$$P = \frac{F}{A} \text{ [N/m}^2 \text{ = Pa(pascal)]} \quad (4)$$

Onde,

F= força

A= área

Ainda segundo o autor mencionado acima, a pressão pode ser medida por várias unidades como bar, kgf/cm², psi, e Pascal, a seguir algumas transferências de unidades:

bar ~ 01 kg/cm² = 14,22 PSI

01 bar = 105 Pa

01 Pa = 01 N/m²

O autor Bizzo (2003) salienta que o vapor na caldeira tem grande benefício de manter a temperatura permanente durante a condensação a pressão constante, pois esta controla indiretamente a temperatura dos processos, afinal o controle de pressão por apresentar um controle mecânico de ação direta é alcançado mais facilmente que o controle direto de temperatura.

4.1.3 Trabalho

De acordo com Nogueira, Rocha e Nogueira (2005), pode se citar o trabalho, de forma geral, como sendo uma forma de transferência de energia, onde, definido por uma força F que atua sobre um deslocamento que segue a direção da força. Apesar de essa definição ter várias aplicações, pode-se notar que para a termodinâmica o conceito de trabalho torna-se mais amplo. Conforme a equação 5:

$$W = \int_a^b F \cdot dx \quad (5)$$

Onde,

F = força [N]

dx = deslocamento x [m]

4.1.3.1 Trabalho na Termodinâmica

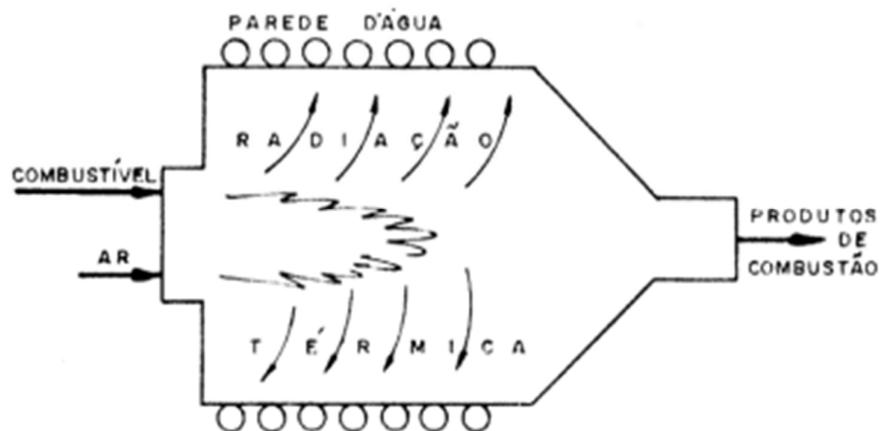
Pela definição dos autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005), trabalho na termodinâmica é o trabalho positivo feito por sistema, onde seu meio durante um processo se o sistema pudesse compartilhar pelo mesmo processo, onde o efeito externo ao sistema será o levantamento de um peso. O trabalho realizado é analisado contando-se o número de pesos padrão que podem ser escolhido de um nível dado a outro. Com isso a quantidade de trabalho transferida do sistema é igual à quantidade de trabalho transferida ao meio. Pelo sistema internacional de medidas, o trabalho é medido em Joule [$J = N \cdot m$].

4.1.4 Calor

Calor nada mais é do que uma forma de energia. Quando esta energia altera as características de um sistema no estado de equilíbrio, dizemos que é a finalidade do estudo da Termodinâmica Clássica, porém quanto ocorre durante o processo da transferência de energia para calor, diz respeito ao estudo de Transferência de Calor (BARROSA, 2004).

De acordo com ALTAFANI (2002) antes de qualquer trabalho na caldeira, o vapor vem de todo calor fornecido na água por meio da combustão, que por sua vez aumenta a temperatura, como mostra a Figura 1:

Figura 1 - Esquema de fluxos em uma fornalha de caldeira



Fonte: Bizzo (2003).

Segundo Nogueira, Rocha e Nogueira (2005) nas caldeiras estão presentes o calor sensível (Q), responsáveis pela mudança de temperatura na água e o calor latente (L), que faz a troca de estado da água. Suas respectivas fórmulas estão descritas a seguir na Equação 6 e 7:

$$Q = m.c.\Delta T \text{ [kJ } ^\circ\text{C]} \quad (6)$$

Onde,

m = massa;

c = calor específico [kJ/kg.K];

ΔT = variação de Temperatura;

$$L = \frac{Q}{m} \text{ [kJ/kg]} \quad (7)$$

Ainda segundo o autor citado acima, encontram-se nas caldeiras a grandeza de entalpia, que por sua vez é responsável pelo balanço da energia e determinar a energia que entra e sai de um sistema. Pode se analisar matematicamente a grandeza a seguir na Equação 8:

$$H = U + P.V \text{ [kJ]} \quad (8)$$

Onde,

$U = m.u$ energia interna específica [kJ];

$P.V$ = energia de expansão;

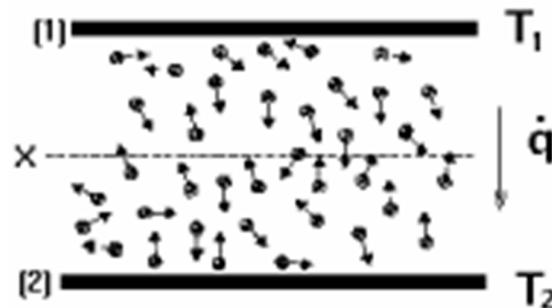
4.1.5 Transferência de Calor

Segundo Altafani (2002) a transferência de calor está diretamente ligada como a maior causa de explosões nas caldeiras pela falta de água nas áreas de transferência de calor. De forma essencial a energia que é transitada pela mudança da temperatura, pode ser explicada em modos de condução, convecção e radiação, ocorrendo de forma combinada.

4.1.5.1 Condução

Definida como um processo pelo qual o calor é transferido de uma região com altas temperaturas para uma região com baixas temperaturas em um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou meio diferentes em contato direto. Para um melhor entendimento vamos ver na Figura 2 quando um gás é submetido a uma temperatura diferente (INCROPERA; DEWITT; BERGAN; LAVINE, 2008).

Figura 2- Temperaturas diferentes em gás entre as placas



Fonte: Incropera; Dewitt; Bergan; Lavine (2008).

Expressado pela lei de Fourier, a quantidade de calor transmitida por condução é mostrada a seguir pela Equação 9 :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} [\text{kcal/h}] \quad (9)$$

Onde,

k = condutividade térmica, gases $6 \times 10^{-3} \text{kcal/hm}^\circ\text{C}$.

A = área da secção.

dT = gradiente da temperatura na secção.

4.1.5.2 Convecção

Conforme os autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005) diferente da condução que é utilizada para transferência de calor entre sólido em suas moléculas que permanecem fixas, a convecção trabalha com transferência de calor de um líquido ou sólido envolvendo movimento do líquido e condução de calor. Com uma alta taxa de transferência de calor comparado com condução pelo aumento da transferência de calor, coloca se mais partes frias e quentes em contato iniciando alta taxa de condução e com a fórmula a seguir podem expressar as variáveis com a Equação 10:

$$q_{\text{conv}} = h \cdot (T_f - T_s) \quad [\text{W/m}^2] \quad (10)$$

Onde,

h = coeficiente de transferência de calor;

T_f = Temperatura do fluido;

T_s = Temperatura da superfície;

Nas caldeiras flamotubulares encontram-se efeito de convecção, onde nas caixas de reversão e tubos encontradas na parte posterior das caldeiras, ocorre a troca de calor por convecção e radiação gasosa.

4.1.5.3 Radiação

A radiação térmica é realizada por ondas eletromagnéticas, depende da temperatura do corpo e as condições de superfície, sendo expressa pela equação. A importância da radiação é encontrada após temperaturas de 1.000°C, como nas fornalhas de caldeiras (MORISHITA, 2004).

$$q_{\text{rad}} = F_1 A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (11)$$

Onde,

F_1 = características radiativas

A_1 = área

$\sigma = 5,669 \times 10^{-8}$ (Constante de Stefan-Boltzmann)

T_1 = Temperatura do corpo

T_2 = ambiente do corpo

Em uma câmara de combustão a radiação térmica é a predominante forma de transferência de calor, nas caldeiras aquotubulares as radiações nos tubos da fornalha são mais intensas que de outras partes, sendo necessário ser construída com aço, condizente a sua necessidade. (ALTAFINI, 2002).

4.1.6 Vapor

As caldeiras como geradores de vapor, para o seu desempenho adequado é utilizada grande volume de água, que é o principal fluido para gerar o funcionamento, sendo abordada sua correlação com as caldeiras. O vapor da água é

utilizado em diversas indústrias e centrais termelétricas, como transportador de energia. Por sua grande vantagem em conteúdo energético e pouco corrosivo, não é tóxico, e por não ser inflamável e corrosivo (ALTAFINI, 2002).

Segundo os autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005) é possível relacionar o vapor como substância da fase gasosa, em que parte da mesma está próxima de condensar-se, é utilizada a relação pressão, volume e temperatura, chamado de gases perfeitos e para denominar o vapor é usada a Equação 12, a seguir:

$$pv = RT \quad (12)$$

Onde,

p = pressão [bar]

v = volume molar [$m^3/kmol$]

R = [$kJ/kmol.K$]

T = temperatura [$^{\circ}C$]

No processo de escoamento de fluidos nas caldeiras, encontra-se com frequência energia de expansão que é a soma de energia interna (U) com o produto ($P.V.$) que é denominada entalpia. Com o aumento da entalpia pela energia fornecida às moléculas a temperatura continua constante, quando o fluido mudar de estado haverá um aumento da temperatura, conforme demonstra a figura 3, utilizando a Equação 13:

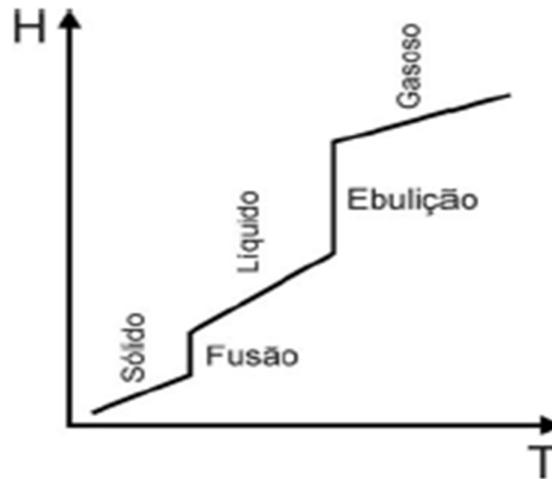
$$H = U + P.V \text{ [k.J]} \quad (13)$$

Onde,

$U = m.u$ energia interna específica [kJ];

$P.V$ = energia de expansão;

Figura 3 - Variação da entalpia e temperatura durante a mudança de estado da matéria



Fonte: Fernandes, Moraes, Pizzo (2006).

Segundo Çengel e Ghajar (2012) a capacidade para produção de vapor de uma caldeira é expressa por (kg/h), mas o vapor possui quantidades de energia diferente para temperatura e pressão, portanto o valor é denominado pelo calor total transmitido pelo tempo, com a equação 14 a seguir, pode se ter um melhor entendimento do acontecimento:

$$Q = m_v (h_{TOT} - h_L) \quad [\text{kcal/h}] \quad (14)$$

Onde,

Q = produção de vapor

m_v = vazão de vapor produzido [kg/h]

h_{TOT} = entalpia total do vapor [kcal/kg]

h_L = entalpia da água de alimentação [kcal/kg]

4.1.7 Combustão

A produção de vapor é assegurada pela queima de combustíveis, como gás ou lenha. Define-se combustão como reação química exotérmica entre duas substâncias, combustível e comburente, tendo a função de manter a temperatura na

caldeira elevada para ocorrer à queima total do combustível antes dos produtos alcançarem os dutos de troca de calor (ELEKTRO, 2016).

Caldeiras flamotubulares ou fumotubulares têm a queima da combustão completa resultando em gases que fluem dentro dos tubos, ocorrendo a queima no interior de um cilindro de chapa de aço, onde os gases quentes correm para as demais passagens de gases (ALBERICHI, 2013).

Os combustíveis podem ser classificados em líquidos, sólidos e gasosos, a tabela abaixo mostra uma relação de combustíveis decorrentes de sua classificação, de acordo com os autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005), conforme demonstrado na tabela 1 e 2 anexados abaixo, mostrara os líquidos e as propriedades dos mesmos:

Tabela 1– Relação de combustíveis

Sólidos	Líquidos	Gasosos
Madeira	Derivados de petróleo	Metano
Bagaço de cana	Óleo de xisto	Hidrogênio
Turfa	Alcatrão	Gases siderúrgicos
Carvão mineral	Licor negro	Gás de madeira
Carvão vegetal	Álcool	Biogás
Coque de carvão	Óleos vegetais	-
Coque de petróleo	-	-

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 2 - Coeficientes molares para alguns combustíveis

Combustível	Coeficiente Molar				Observação
	X	Y	Z	k	
Óleo combustível	7,2	12	0	0,06	tipo B1, 2% enxofre
Gás natural (típico)	1,15	4	0,2	0	85% CH ₄ , 10%, C ₂ H ₆ e 10% CO ₂
GLP	3,5	9	0	0	50% C ₃ H ₈ e 50% C ₄ H ₁₀
Lenha	4,76	7,2	3,3	0	eucalipto com 30% de umidade
Bagaço de cana	4,02	6,7	2,8	0	---
Carvão vegetal	6,19	3,6	0	0	carvão de eucalipto, de boa qualidade
Carvão mineral	7,37	5,7	0	5,7	carvão vapor de Tubarão, SC, 44% cinzas

Fonte: Nogueira, Rocha, Nogueira (2005).

Conforme os autores Nogueira; Rocha; Nogueira, (2005) as equações a seguir demonstram a relação em volume para cada estado do combustível.

a) Combustíveis gasosos, conforme a Equação 15:

$$(a/c)_{\text{base seca, volume}} = 4,76 (x + y/4 - z/2 + k) \quad (15)$$

Onde;

a/c - relação ar/combustível estequiométrica [ar/m^3];

x - teor molar de carbono;

y - teor molar de hidrogênio;

z - teor molar de oxigênio; e

k - teor molar de enxofre.

b) Combustíveis Líquidos e Sólidos, conforme a Equação 16:

$$(a/c)_{\text{base seca, massa}} = \left(\frac{137,28 (x + y/4 - z/2 + k)}{12x + y + 16z + 32k} \right) \quad (16)$$

Onde,

a/c - relação ar/combustível estequiométrica [ar/kg];

x - teor molar de carbono;

y - teor molar de hidrogênio;

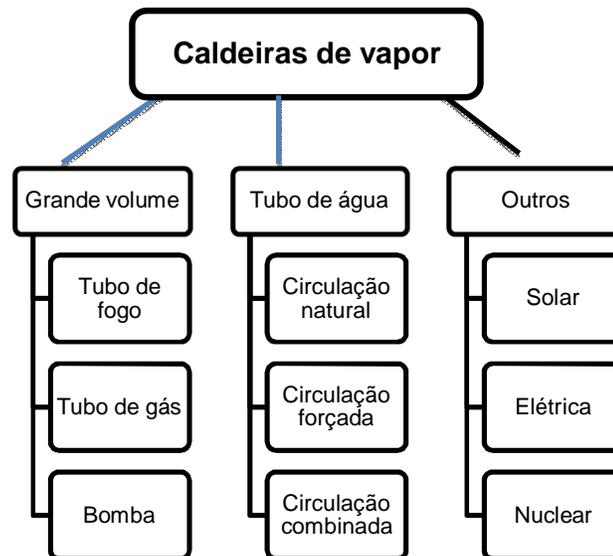
z - teor molar de oxigênio;

k - teor molar de enxofre.

4.2 GERADOR DE VAPOR

A fórmula $H = U + P.V$ [k.J] é uma forma simples de ser apresentado o funcionamento das caldeiras flamotubulares e aquatubulares e seus principais componentes. De acordo com Çengel e Ghajar (2012) o gerador de vapor mais importante é popularmente conhecido como caldeira, realizando a troca térmica entre combustível e água. A Figura 4 demonstrará uma melhor classificação dos tipos de caldeiras e suas aplicações.

Figura 4 - Caldeiras a vapor de acordo com a circulação de vapor / água



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.1 Tipos de caldeiras

Segundo Alberichi (2013), como as caldeiras possuem uma ampla classificação, o foco do trabalho será caldeiras a vapor, por serem as mais convencionais não deixando de falar da existência das caldeiras, como as de:

- Vapor: com o foco nessas caldeiras, elas produzem vapor com a queima de algum combustível.
- Recuperação: não utiliza combustível para produção de vapor, nessa aplicação as caldeiras usam calor restante de algum processo industrial.
- Água Quente: não haverá vaporização do fluido, o mesmo é utilizado em sua forma líquida. (ex: calefação);
- Nucleares: o vapor é produzido pela energia liberação de combustíveis nucleares. (ex: urânio enriquecido);

As caldeiras podem ser classificadas segundo, a Norma Regulamentadora - 13 (BRASIL, 2016), por sua categoria de pressão sendo:

- a) Categoria A: operação com pressão superior a 1960 Kpa;

- b) Categoria B: operação média entre 588 Kpaate1960 Kpa;
- c) Categoria C: opera com pressão máxima de 588 Kpa.

As caldeiras podem ser classificadas de acordo com grau de automação (manuais, semi-automáticas e automáticas) ou com o tipo de combustível utilizado (líquido, sólido, gasoso, caldeira de recuperação e caldeira elétrica).

Segundo Martinelli Junior (2016), a classificação de caldeiras pode se dar quanto à disposição da água em relação aos gases quentes, como flamotubulares ou fogotubulares (verticais ou horizontais) ou aquatubulares ou aquotubulares (verticais ou horizontais). Mesmo com grande variação de caldeiras, para uma melhor escolha do tipo que irá aplicar, deve se satisfazer as principais funções que o mesmo deseja em sua aplicação, tais como:

- O serviço que será aplicado
- Qual o combustível disponível?
- O equipamento de combustão necessário
- Sua capacidade de produção
- Em qual pressão e temperatura do vapor a mesma trabalhara
- Como o foco de todo indústria é focada em lucros, não pode se faltar

avaliar a viabilidade econômica da mesma.

4.2.2.1 Principais Componentes

De acordo com Martinelli (2009), os geradores de vapores (caldeiras) são constituídos de vários componentes que em sua totalidade constitui um equipamento complexo, como nas caldeiras de grande porte e as por queima de combustíveis sólidos. Para um melhor entendimento do funcionamento dos geradores de vapor, será abordado os principais componentes que a regem:

- Câmara de combustão: confundido com fornalha algumas vezes, a câmara tem a função de manter as chamas provenientes do combustível em uma temperatura elevada até que o combustível termine totalmente sua queima antes do produto alcançar os dutos que realiza a troca de calor;

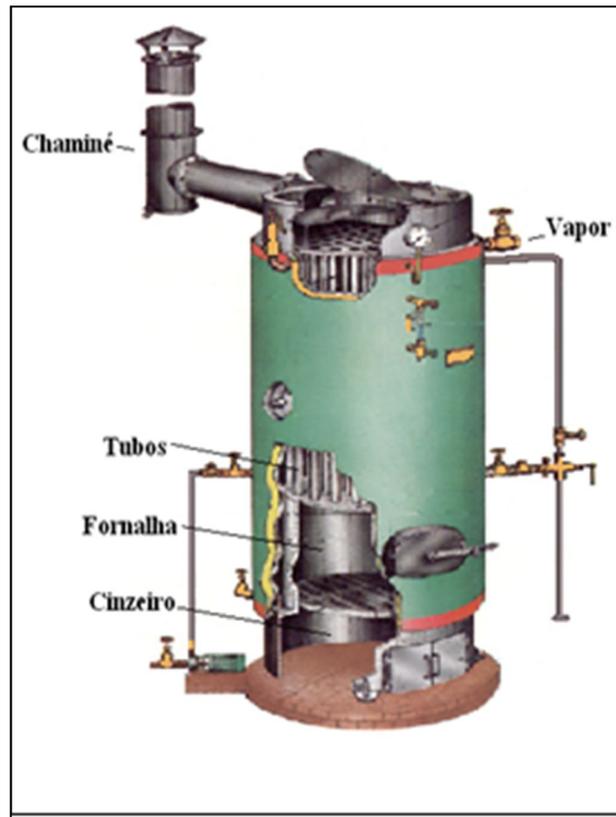
- Aquecedor de Ar: re-aproveitando o calor residual dos gases de combustão, pode aquecer o ar entre 120°C e 300°C, depende exclusivamente do tipo de combustível utilizado e instalação;

- Cinzeiro: depósito de cinzas provenientes da combustão ou de resíduos que não completam a combustão;
- Fornalha: local onde é realizada a queima de combustíveis tem a função também de misturar o ar-combustível, vaporizar o combustível e atomizar o mesmo e com a queima contínua da mistura realiza a conservação;
- Chaminé: retiram os gases da combustão, essa expulsão é determinada com o tamanho e velocidade da instalação para o ambiente indicado. O efeito tiragem ajuda na circulação dos gases quentes;
- Economizador: com o resíduo de gases, ajuda no aquecimento da água. Encontra-se a fornalha após o superaquecedor, ajuda no rendimento, menor choque térmico entre água já existente e a do tambor;
- Superaquecedor: o vapor saturado gerado na caldeira tem sua temperatura elevada, constituído de um ou mais feixes tubulares;
- Reaquecedor: quando se deseja elevar a temperatura do vapor de estágio médio de uma turbina, o reaquecedor trabalha como um superaquecedor;
- Grelhas: sendo divididas em fixas, rotativas e inclinadas, ela ampara o material na fornalha;
- Retentor de Fuligem: antes dos gases saírem pela chaminé, o retentor separa a fuligem resultante da queima estequiométrica;
- Canais de Gases: local onde o gás em sua etapa final circula para a chaminé, seu material dependendo da temperatura pode ser de alvenaria ou de aço;

4.2.2.2 Caldeiras Verticais

Caldeira vertical é um tipo de caldeira monobloco, que possui em sua configuração uma baixa capacidade de serviço e rendimento térmico, com dimensão de aproximadamente 2m² até 30m², trabalhando com pressão máxima de 10[kgf/cm²], seu corpo possui um cilindro fechado em suas extremidades por placas planas, conhecidas como espelhos. Esse tipo de caldeira pode ser vantajoso para um melhor manejo em sua limpeza, pois tem o interior acessível e com isso conseguindo um ótimo rendimento da fornalha, é uma caldeira com várias aplicações e com fácil locomoção. A figura 5 demonstra esse tipo de caldeira (ALBERICHI, 2013).

Figura 5 - Caldeira vertical

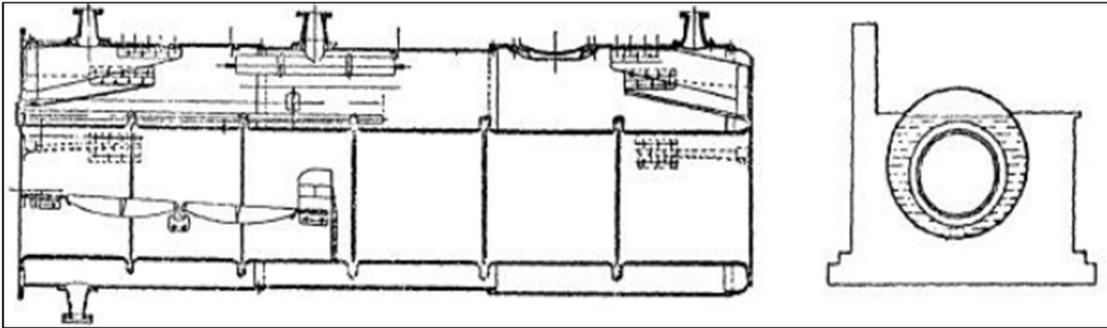


Fonte: Rodrigues (2016).

4.2.2.3 Caldeiras Horizontais

As caldeiras horizontais têm sua própria divisão, sendo caracterizada por tubos verticalmente colocados em um cilindro, fechada na extremidade por espelhos (placas). Sua fornalha fica no corpo cilíndrico, localizada embaixo das placas inferior como a figura 6 mostra, o processo ocorre de forma que os gases feitos pela combustão sobem pelos tubos, fazendo a água se aquecer e vaporizando a mesma que se encontra externamente. (ALBERICHI, 2013).

Figura 6 - Caldeira horizontal

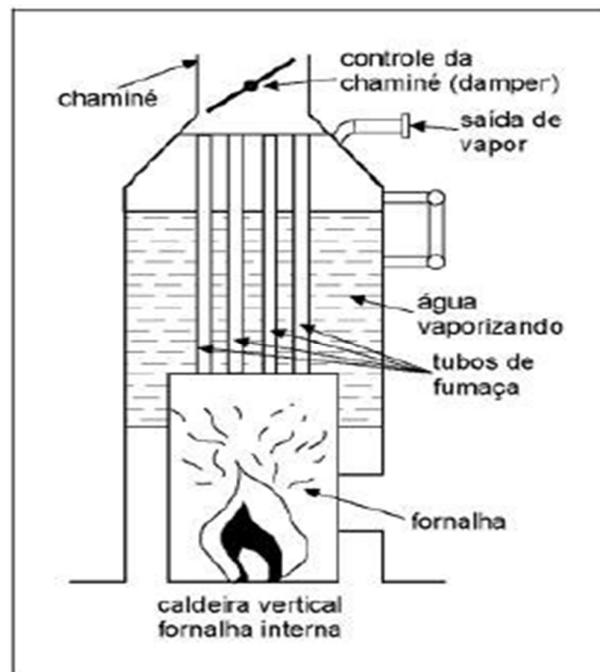


Fonte: Alberichi (2013).

4.2.2.4 Caldeira Flamotubulares ou fogotubulares

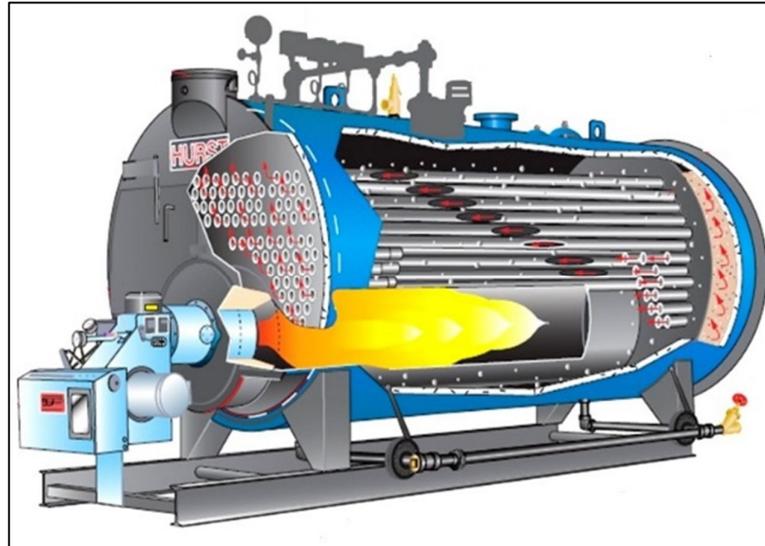
Esse tipo de caldeira é utilizado para obtenção de vapor saturado de baixa pressão, ou seja, é uma caldeira de baixa capacidade. Com esse tipo de caldeira a água circula ao redor de tubos, circulando gases quentes desses tubos que são provenientes da combustão. As caldeiras flamotubulares operam com pressão limitada, chegando a trabalhar com 10 bar em alguns casos podem chegar a 20 bar, as Figura 7 e 8 a seguir tratará um pouco sobre os equipamentos envolvidos (LEITE; MILITÃO, 2008).

Figura 7 - Caldeira flamotubular vertical



Fonte: Leite, Militão (2008).

Figura 8- Ilustração de uma caldeira flamotubular



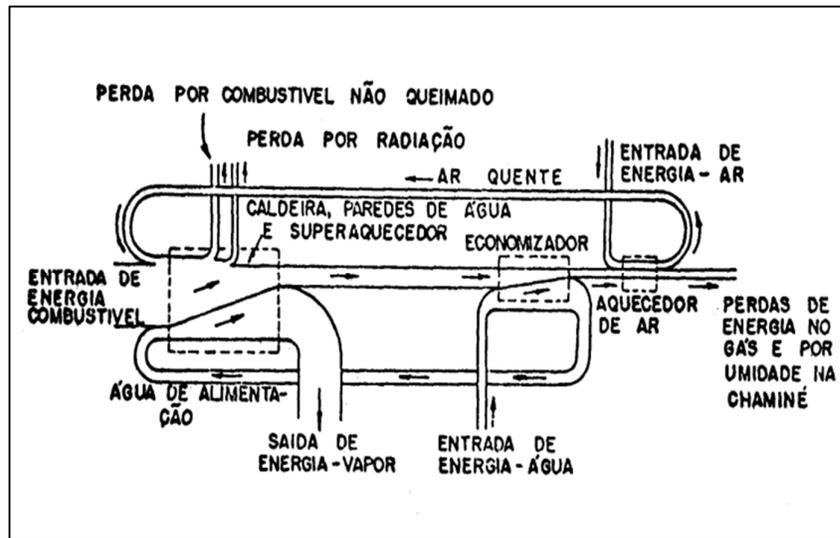
Fonte: Moraes (2015).

4.2.2.5 Caldeira Aquatubular ou Aquotubular

Caracterizada por sua produção maior vapor por agüentar pressão e temperaturas mais elevadas, possui utilização bem mais ampla em relação às caldeiras flamotubulares, as caldeiras aquotubulares trabalham com circulação de gases de combustão externa e com os tubos conduzindo vapor e água. Esse tipo de caldeira tem características de adaptação importante, uma delas é o superaquecedor que fornece vapor superaquecido para o funcionamento de turbinas (ALBERICHI, 2013).

Na caldeira aquotubular a água é distribuída em tubos retos ou curvos de grandes quantidades, onde os mesmos estão submetidos exteriormente em contato com os gases de combustão. De forma simples o fluxo ilustrado a seguir demonstrará o funcionamento da energia:

Figura 9 - Fluxo de energia em Sistema de Caldeira



Fonte: Martinelli (2009).

De acordo com os autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005) as caldeiras aquotubulares possuem uma vasta flexibilidade por seu arranjo nos tubos que são constituídos por feixes e assim facilitando o tipo de construção, uma classificada melhor pode ser vista a seguir:

- Tubos curvos: esse tipo tem um tambor ou mais de quatro tambores em seu sentido transversal ou longitudinal;
- Tubos retos: os tambores das caldeiras aquotubulares de tubos retos, estão o sentido longitudinal ou transversal;

4.2.2.6 Comparação de Aquotubulares e Flamotubulares

Será feita uma comparação entre vantagens e desvantagens dos dois tipos de caldeiras abordados neste capítulo.

De acordo com os autores Nogueira, Rocha e Nogueira (2005):

- Grau de combustão: pela fornalha não fazer parte integral da caldeira, as aquotubulares tem um grau de combustão muito maior que as obtidas nas flamotubulares. Com isso pode-se ter câmaras mais amplas para a queima de petróleo. Conforme a Tabela 3 abaixo:

Tabela 3- Combustão e Vaporização de caldeiras aquotubulares e flamotubulares

TIPO DE CALDEIRA	GRAU DE COMBUSTAO			VAPORIZAÇÃO ESPECIFICA		
	CARVÃO kg/m ² h(G)	PETRÓLEO kg/m ² h(S) kg/m ² h(V)		CARVÃO kg/m ² h(G)	PETRÓLEO kg/m ² h(S) kg/m ² h(V)	
Flamotubular	120 – 180	1,5 – 2,5	-	1100 – 1400	30 – 35	30 - 35
Aquotubular	250 – 400	5,1 – 8	150 – 200	1800 – 3300	35 – 50	70 – 100

Fonte: Nogueira, Rocha, Nogueira (2005).

- Vaporização: com relação à análise da tabela, as caldeiras aquotubulares possuem uma maior vaporização, ou seja, consegue se elevadas capacidade com pouco peso e volume;

- Peso e volume: as caldeiras aquotubulares ocupam um volume menor que as flamotubulares, sendo que o peso também é menor em relação às aquotubulares.

- Peso: com a eliminação do casco ou corpos cilíndrico em equipamentos de grande diâmetro e espessura, também com a redução de água.

- Pressão: como a pressão aumenta em proporção do diâmetro e atingindo uma pressão com valores de 25kg\cm² nas caldeiras flamotubulares, tendo isso como parâmetro percebe-se a inviabilidade desse tipo de caldeira para aplicações onde necessita grande valores pressão, tendo o valor seria inviável como a estrutura ocupando um grande espaço. Como as caldeiras aquotubulares em sua construção utilizada tubos e coletores com diâmetros pequenos, elas são construídas com espessura menor.

- Superaquecedores: nas caldeiras aquotubulares podem ser instalados em qualquer segmento do percurso dos gases, atingindo temperaturas maiores em relação às flamotubulares que têm eles fixado no interior dos tubos, reduzindo passagem de gases e dificultando limpeza.

- Tempo: como as caldeiras aquotubulares têm uma estrutura onde a água passa por uma estrutura de pequeno m², ou seja, atinge a pressão de operação em menor tempo. Em equipamentos de grande dimensão as caldeiras flamotubulares podem chegar a demorar 24h para atingir o tempo de operação e as aquotubulares 4h sem risco de acidentes.

- Alimentação da Água: as flamotubulares têm uma vantagem em relação às caldeiras aquotubulares, pois a sua alimentação pode ser feita diretamente por água natural, sendo que nas aquotubulares é empregada água tratada para evitar incrustações na superfície e produção de espuma e ebulição juntamente com o vapor;
- Eficiência Térmica: normas americanas são utilizadas para determinar a eficiência térmica quando se refere a caldeiras, pois não existem normas nacionais. No sistema American Society of Mechanical Engineers (ASME) um equipamento pode atingir eficiência de 84%.

As caldeiras aquotubulares possuem uma eficiente de 80 a 85% utilizado o sistema ASME, caso seja utilizado superaquecedores ou economizadores esse valor pode vir a ser maior. Nas flamotubulares mesmo com boas condições de limpeza, é impossível ter eficiência maior que valores de 75 a 78%.

Vida útil: definiu-se que a vida útil deste tipo de equipamento quanto ao tempo máximo de operação da mesma em máxima temperatura sem qualquer risco. Como nas caldeiras aquotubulares os tubos e superaquecedores ficam em partes expostas, sua durabilidade é menor, mas sua troca é relativamente fácil e rápida, nas caldeiras aquotubulares após vários anos de funcionamento da mesma, tendo o problema dos tubos sendo inúteis é normal ter problemas com a corrosão da fornalha aparecendo fissuras em partes metálicas. (Nogueira, Rocha e Nogueira, 2005).

4.3 RISCOS DA CALDEIRA

A vida útil de uma caldeira depende fundamentalmente do modo de trabalho que é executado, frequência das limpezas internas e externas, do sistema de vaporização (regime variável ou constante), das corrosões, de alimentação da qualidade da água, entre outros.

Os riscos que podem acontecer estão emparelhados a fadiga térmica (trincas/corrosão), ao superaquecimento e choques térmicos. Os riscos, na maior parte dos casos, envolvendo o funcionamento de uma caldeira, resultam da falta de responsabilidade e qualificação do operador. (ALBERICHI, 2013).

4.3.1 Risco de Explosão

Segundo Altafani (2002), a função de caldeiras subentende a presença de riscos dos mais diversos: explosões, quedas, ferimentos diversos, incêndios, choques elétricos, entre outros. Os riscos de explosão são, contudo, os mais importantes pelos critérios:

- a) Encontra-se existente durante todo o tempo de funcionamento, sendo preciso no seu controle de forma contínua, ou seja, sem interrupções;
- b) Nos grandes casos da violência que as explosões acontecem, suas consequências são catastróficas, pela enorme quantidade liberada instantaneamente de energia;
- c) Por cercar não só os operadores, mais também as pessoas que trabalham pelas proximidades;
- d) Porque sua prevenção deve ser considerada em todas as fases: projeto, fabricação, operação, manutenção, inspeção e outras.

Com relação a água presente no processo, a pressão reinante na mesma é sempre maior à pressão atmosférica. Todo fluido compressível tem seu volume muito diminuído quando comprimido. Essa diminuição é tantas vezes reduzida quanto maior for o aumento da pressão. A massa comprimida de fluido busca então, ocupar um espaço maior através de fendas e rupturas. Isso é alcançado com a explosão, quando por alguma razão, a resistência do recipiente que o contém é superada (ALBRECHI, 2013).

Segundo Magrini (1985) outro fator importante a ser avaliado quanto às explosões nas caldeiras é no processo de vaporização onde uma grande quantidade de calor é transportada. Neste sentido, os danos provocados pela explosão de uma caldeira serão superiores que um reservatório contendo ar. Porque parte da energia será permitida na forma de calor, provocando o aquecimento do ambiente onde ocorre a explosão.

Risco de explosão pode ser emanado pela combinação de 3 causas:

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

4.3.2 Risco de superaquecimento

A caldeira quando é construída com o aço, ela é sujeita em algum lugar, a temperaturas maiores àquelas toleráveis, onde o aço ocorre redução da resistência e o aumento de risco de explosão. Mas pode haver outros danos para ocorrer à explosão como: abaulamentos, empenamentos e envergamentos. No superaquecimento pode existir outro erro na oxidação das superfícies expostas, se o meio for oxidante, ou é a carbonatação, se o meio for redutor (ALTAFANI, 2002).

As principais causas são:

a) Uso de aços com defeitos. Pois na obtenção de chapas e de tubos é usado o processo de laminação, que ocorre uma inclusão de defeitos. Na produção de chapas ocorre dupla laminação, formado de vazios no interior do aço. Esses vazios apresentam um formato longitudinal ao longo da chapa, dando a noção de ter chapas sobrepostas. Esses defeitos fazem com que as chapas não suportam as mecânicas previstas ou cargas térmicas no projeto. (ALTAFINI, 2002).

b) Seleção inadequada do aço no projeto da caldeira. Devido ao emprego de aços poucos resistentes as solicitações impostas, se o projeto de caldeiras não for elevado às condições de não homogeneidade de temperatura de trabalho das superfícies de aquecimento, vai haver risco de ruptura e/ou fluência dessas partes submetidas à pressão (ALTAFINI, 2002).

c) Queimadores mal posicionados: sem perderem totalmente suas propriedades mecânicas, os aços dos tubos e das chapas de caldeiras permitem o aquecimento a até algumas centenas de graus Celsius. Podem ser atingidas as chamas de queimadores na temperatura de até 1.000 °C se for mal posicionado do queimador, pode determinar a incidência direta da chama sobre alguma superfície, possibilitando a fluência do material e o superaquecimento. Dependendo da ocorrência de outros fatores, pode ter implicações como a explosão eminente da mesma ou a deformação gradual ou lenta da caldeira (ALBERICHI, 2013).

d) Prolongamentos excessivos dos tubos. Acontece com mais frequência nas caldeiras fumotubulares, nos tubos expandidos nos espelhos deixados com um comprimento muito grande para dentro das câmaras (caixas) de reversão. Essas extensões exageradas prejudicam a reversão de fluxo dos gases quentes, gerando

pontos de superaquecimento, da qual consequência certa é o surgimento de fissuras nos tubos e/ou nas regiões entre furos dos espelhos (GYURKOVITS, 2004).

e) Incrustações: As incrustações são deposições de sólidos sobre as superfícies de aquecimento, no lado da água, por causa da presença de impurezas como: silicatos complexos, sólidos em suspensão, sulfatos, magnésio e carbonatos de cálcio. As incrustações podem resultar em tratamentos inadequados da água da caldeira (magnésio ou borras de fosfato de cálcio) e de óxidos de ferro não protetores (ALTAFINI, 2002).

A incrustação uma vez que se comporta como isolante térmico, ela não permite que a água refrigere o aço, esse aço absorve o calor sensível, onde a temperatura é elevada proporcionalmente a quantidade de calor recebida. Há uma deterioração na situação nos casos de incrustações generalizadas, pois para manter-se a água na temperatura de ebulição é preciso o aumento do fornecimento de calor no lado dos gases (GYURKOVITS, 2004).

Conforme explica GYURKOVITS (2004), podem ocorrer algumas consequências com o aumento da temperatura interna:

- Acentua-se o risco de explosão, por causa do aumento da temperatura do aço, como ela prevista para trabalhar em temperatura da ordem de 300°C, pois ela pode acabar ganhando uma exposição de até 500°C, longe dos seus limites de resistência.

- Podendo-se romper e soltar-se a camada incrustante, faz com que a água entre em contato direto com as paredes do tubo em alta temperatura causando a expansão repentina da água e, portanto, ocorrendo à explosão.

f) Falta de água nas regiões de transmissão de calor. O contato da água com o aço é fundamental para conservar-se refrigerado. Sem causar aumento excessivo da temperatura do aço é fundamental que o calor recebido pelas superfícies de aquecimento seja transferido para a água, pois o processo de vaporização ocorre à pressão constante no lado da água. O processo a temperatura constante acabara no local da caldeira em alguma parte onde haverá falta de água, que acontecera o início da transferência de calor sensível. Gerando o superaquecimento do metal e, de consequência, ausência de resistência (ALBERICHI, 2013).

Os principais motivos para a falta de água são:

- Má circulação da água: nas caldeiras aquotubulares em que a circulação da água se faz de modo natural, entre as partes menos quentes da água e mais quentes acontece à diferença da densidade, onde a força motriz é encarregada pela motivação da água no interior do equipamento. Para algumas pressões de trabalho, é essencial a utilização de bombas para forçar a circulação da água. Para refrigerar certa quantidade de água é preciso atravessar cada tubo, para constatar um bom equilíbrio da vazão de água (ALTAFINI, 2002).

Nas caldeiras fumotubulares acontece em regime normal uma circulação de água, pode haver um aumento de temperatura formando-se bolhas de vapor através da velocidade da água for deficiente, isolando termicamente a parede da fornalha da água na caldeira (GYURKOVITS, 2004).

- Falha operacional: Segundo ALTAFANI (2002), atualmente as caldeiras podem trabalhar basicamente de dois comportamentos: manualmente ou automáticas, onde o operador vai selecionar por meio de comandos as posições manuais ou automáticas. Na posição automática, a caldeira tem suas variáveis controladas por controles de instrumentação e por meio de malhas. Através dessas malhas as caldeiras trabalham neste momento com um grau de controle cada vez mais alto, solicitando menor quantidade de intervenções dos operadores.

Conforme ALBERICHI (2013), as caldeiras modernas são totalmente automáticas, onde seu funcionamento controlado é pela instrumentação, sendo assim ela exige pouca ou quase nenhuma intervenção do operador, com isso, vai requisitar maior precisão e qualificação dos operadores nos equipamentos.

O funcionamento das bombas de alimentação de água e queimadores são comandados pelo sistema regulador de nível da água, é essencial á mesma, através de válvulas solenoides que paralisa o suprimento de combustível, desligando completamente os queimadores. As falhas operacionais que conseqüentemente resulta na falha de alimentação da água da caldeira, deixando assim o superaquecimento ocasionando a explosão é através dos processos de ligamento e de desligamento das caldeiras de forma manual. Pela falta de água estes riscos, como manômetros, luzes indicativas, termômetros, variação de temperatura, leitura incorreta de mostradores, entre outros, estão justamente relacionados a procedimentos inadequados realizados pelo operador ou pela ausência de conhecimento técnico na operação, que colabora nas falhas operacionais das caldeiras (ALTAFANI, 2002).

Em muitos casos, a posição manual é necessária para o ligamento ou partida e para o desligamento da caldeira, se ligá-la fosse utilizada a posição automática, os controles adotariam o máximo fornecimento de energia, se forem comandadas pela pressão de vapor, vai levar as consequências desastrosas. Nesse ponto, o risco de falta de água esta agregada a procedimentos inadequados do operador, ou seja, se não aumentar a vazão de fornecimentos de água quando o nível tende a descer. Essas falhas e erros, normalmente decorrem de falsas indicações de nível ou imperícia na direção do equipamento (GYURKOVITS, 2004).

4.3.3 Risco de choques térmicos

Os choques térmicos ocorrem por mérito de frequentes paradas e recolocação em marcha de queimadores. As caldeiras de bom desempenho a essas condições são aquelas que possuem queimadores com potência abundante ou queimadores que operam em *on-off*, isto é, que não modulam a chama. E outra causa que favorece os efeitos dos choques térmicos são as incrustações das superfícies (ALTAFINI, 2002).

Quando a alimentação da caldeira é feita com água fria (temperatura inferior a 80°C), em situações descontínuas com a entrada de água nas regiões mais frias da caldeira, pode ocorrer o choque térmico. Este tipo de incidente acontece com mais frequência em caldeiras flamotubulares e, principalmente, naquelas que possuem câmaras de reversão traseira seca. Outra falha operacional que ocorre pelo choque térmico é após um rebaixamento excessivo de nível, onde o operador injeta água fria, buscando recuperar o nível normal, nessas situações, a medida certa a ser tomada é a suspensão diretamente do suprimento de incidente à caldeira (GYURKOVITS, 2004).

Outra ocorrência que acontece de choques térmicos é quando uma redução exagerada do nível de água, por algum motivo e com parte da superfície de aquecimento sem refrigeração, o operador injeta a água, para tentar retomar o nível normal da mesma. Esta situação pode-se assumir como uma medida certa e suspensão imediata do abastecimento de combustível aos queimadores (ALTAFINI, 2002).

4.3.4 Risco de falhas em juntas soldadas

As operações de soldagem são inúmeras na fabricação de caldeiras; soldas de costados, soldas de tubos, soldagem de virolas para a confecção, pedestais, etc. Essas falhas em juntas soldadas potencializam os riscos de explosão da caldeira, podendo representar áreas de menores resistências (GYURKOVITS, 2004).

Segundo Alberichi (2013), os defeitos em soldas são classificados em grupos, como grupo de fissuras ou trincas, grupo de cavidades, grupo de inclusão de escória, grupo de falta de fusão e de penetração e grupo de defeitos de forma.

Seja qual for o processo de soldagem, esse deve ser efetuado por soldadores qualificados e segundo processos reconhecidos por normas técnicas específicas. Depois das operações de soldagem, as caldeiras deveriam passar por tratamentos térmicos de alívio de tensões ou de normalização, para reduzir as tensões decorrentes do processo de solda. Para garantir segurança à caldeira desde sua construção, é primordial que suas juntas soldadas sejam monitoradas por ensaios não destrutivos, como o exame radiográfico (ALTAFINI, 2002).

4.3.5 Risco de Corrosão

Segundo GYURKOVITS (2004), “a corrosão estabelece uma das mais importantes causas de deterioração de caldeiras”.

A corrosão é um dos principais fatores pela degradação das caldeiras. Ela atua como um fator importante detectada pelos instrumentos de operação da caldeira. Isto é, os pressostatos e as válvulas de segurança não conseguem detectar seu desenvolvimento por que não é conduzida por elevação de pressão de trabalho. A corrosão avançada dos elementos da caldeira pode ser motivo de explosão até mesmo em pressões inferiores a PMTA – Pressão Máxima de Trabalho Admissível. Dessa maneira, o avanço da corrosão em caldeiras só pode ser encontrado por meio de fiscalizações minuciosas do equipamento, onde são obrigatórias pela lei (ALBERICHI, 2013).

Existem várias maneiras de acontecer corrosões nas caldeiras, tanto dentro, partes em contato com a água (corrosão interna), como fora, partes em contato com os gases (corrosão externa):

a) Corrosão interna. É um tipo de corrosão que se realiza de muitas maneiras, segundo muitos mecanismos, portanto, é sempre consequência direta da presença de água (impurezas presentes, características e comportamento), quando fica em contato com o ferro, nas varias faixas de temperaturas (ALTAFINI, 2002).

- Oxidação generalizada do ferro: Segundo ALTAFANI (2002), é o que acontece quando o aço dos tubos e chapas antes da colocação em marcha das caldeiras exhibe uma fina camada, da ordem de 50 microns, protetora contra a corrosão, chamada magnetita (Fe_3O_4), que mostra uma coloração escura, aderente e densa. No trabalho da caldeira, essa camada protetora esta frequentemente sendo quebrada e reconstruída estando resistente a alguns agentes químicos, como ácido nítrico. Portanto, quando tem essa ação de agentes químicos, como o oxigênio, soda caustica, quelantes de tratamentos de água, etc. A magnetita deixa de estar e começa a oxidação do ferro, ocasionando na formação de outros óxidos que não se protegem do aço.

- Corrosão galvânica: ocorre quando dois metais diferentes estão em presença de um eletrólito, oferecendo uma diferença de potencial, causando um fluxo de elétrons. Nas caldeiras, o par galvânico pode ser criado quando partes metálicas de níquel ou de cobre ou outro metal se emitir pela erosão, cavitação de tubulações ou de rotores de bombas que se armazenam em ranhuras ou proporções de pequenas folgas entre as partes da caldeira. Pelo aço atuar como um anodo, ele é o elemento mais afetado quanto à corrosão (GYURKOVITS, 2004).

- Corrosão por aeração diferencial: Conforme Alberichi (2013) nas caldeiras fumotubulares são mais ocorridas, onde o oxigênio dissolvido na água causa corrosão dos tubos superiores, pois os tubos submersos estão sujeitos a menores concentrações de O_2 , verificados a região acima da superfície da água. Essa desigualdade de concentração de O_2 forma uma pilha em que o anodo é formado pela parte menos aerada, como pilha galvânica, o anodo, neste caso, é também a região que mostra corrosão mais grave, sendo detectada, viabilizara a aparência de pites, cavidade na superfície metálica com fundo angular e profundidade maior que o seu diâmetro, cavidade na superfície metálica com fundo arredondado e profundidade inferior que seu diâmetro. Nas caldeiras aquotubulares a aeração diferencial acontece no tubulão superior e nos purificadores de vapor.

- Fragilidade cáustica: essa corrosão é um modo em que a soda cáustica hidróxido de sódio, em concentração 5%, migra para partes em que não exista a camada protetora de magnetita ou para fendas reagindo exatamente com o ferro (ALTAFINI, 2002).

- Corrosão por gases dissolvidos: Alguns gases podem contaminar a água da caldeira, principalmente com o gás H_2S , consequentes da poluição atmosférica ou pelo tratamento com sulfito de sódio. O H_2S reage com o ferro dando origem a sulfeto de ferro (FeS), que se mostra sob a forma de manchas pretas. O gás carbônico (CO_2) torna a água rapidamente acidificada, possibilitando a formação de pites. Outro fator que age na redução da espessura é a erosão. Esse fenômeno pode realizar diversas maneiras nas caldeiras, como: na alimentação da água pela bomba em que o jato de introdução, conseguindo conter partículas pesadas (partes metalizadas, areia, etc.), que reflete sobre a parede externa da fornalha, gerando seu desgaste (GYURKOVITS, 2004).

Ainda segundo Gyurkovits(2004, p 47):

Quando a erosão e a corrosão se associam, os efeitos danosos são muito mais intensos que a soma de cada um, se agirem isoladamente. A cavitação embora não seja comumente relacionada como causa de explosões, é também um processo de degeneração de materiais que, associados ou não a corrosão, também tem como consequências a redução de espessura, 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, sendo sua ocorrência muito comum em bombas centrífugas (com pressão de sucção deficiente), dobras, cotovelos e derivações de tubulações, válvulas, impelidores, etc. (GYURKOVITS, 2004, p 47).

b) Corrosão externa: Segundo ALTAFINI (2002), este tipo de corrosão ocorre nas superfícies diferentes aos gases de combustão e é função do combustível utilizado e das temperaturas. Nas caldeiras aquotubulares, as superfícies mais quentes são aquelas do reaquentador e do superaquecedor, conseguindo realizar corrosão nas caldeiras que queimam óleo como carvão. A corrosão acontece alguns fenômenos, fazendo-se que a face exposta aos gases de combustão necessita dos combustíveis empregados e das temperaturas. Na caldeira existem algumas áreas que são mais aquecidas como nos superaquecimentos e nos ressuperaquecedores, podendo haver uma corrosão nessas áreas, não apenas nas caldeiras a óleo, como também as caldeiras a carvão. Os mecanismos de corrosão dependem do combustível, havendo uma formação sobre os tubos com os depósitos fluidos de cinzas, para realizar um papel primordial de propagação de corrosão.

O ar atmosférico é outra causa que colabora para a corrosão externa. Caldeiras instaladas em regiões muito úmidas, locais perto ao mar e em atmosferas muito poluídas, exibe corrosão externa, de modo geral, em todos os locais, tais como colunas, plataformas, escadas, chaparias, etc.

4.3.6 Risco do aumento de pressão

Segundo ALBERICHI (2013), em uma caldeira, a pressão do vapor é uma função direta da quantidade de energia livre na fornalha pela queima do combustível, também transmitida a água. Dessa maneira, a pressão interior da caldeira vai depender principalmente da atuação do queimador. Pois o queimador não será o único responsável pelo aumento de pressão na caldeira. Por exemplo, a bomba de alimentação, injeta água com pressão superior àquela de trabalho. Se a vazão com que a bomba alimenta a caldeira for superior que aquela de saída do vapor, o nível de água cresce, e a pressão de trabalho aumenta. Para a pressão ser mantida dentro seus parâmetros no decorrer da operação normal da caldeira, ela segue os sistemas:

- Sistema de modulação de chama: É um sistema formado por um pressostato modulador de chama, um conjunto de registros e um servo-motor. O pressostato possui um diafragma que se expande com o crescimento da pressão e que aciona os contatos que emitem o sinal elétrico para o acionamento do servomotor. Para acionarem os registros estes transmite movimento a alavancas, que irá alterar a vazão de combustível e a vazão de ar. Por causa disso a alimentação do queimador fica modificada e obtêm a modulação de chama, isto é, sua intensificação nos momentos de pressões baixas e sua diminuição nos momentos de pressões superiores (ALTAFINI, 2002).

- Sistema de pressão máxima: Segundo Gyurkovits (2004) é um dos sistemas de segurança das caldeiras, que age bruscamente e é composto por um pressostato e uma válvula solenóide. A alimentação elétrica da bobina da válvula solenóide é cortada quando o pressostato é pressionado, onde seu campo magnético é desfeito e, por gravidade, a haste ferromagnética cai, fechando a válvula que da passagem ao combustível para o queimador. O pressostato fecha outra vez o circuito, quando a pressão normal se restabelece, a bobina é energizada e o campo magnético criado atrai haste ferromagnética, abrindo a válvula.

- Válvula de segurança. As válvulas têm as necessidades de deixar sair o vapor quando a pressão exceder a PMTA, produzindo à diminuição da pressão interna (ALTAFINI, 2002).
- Sistema manual: a indicação de pressão no manômetro da caldeira, o operador tem exigência de acionar os muitos dispositivos para intervir, onde for essencial, para conservar a pressão interna da caldeira: bomba de alimentação ou mesmo na válvula de segurança, queimador. Por meio da primeira, o vapor pode ser permitido a atmosfera manualmente, através do acionamento da alavanca da válvula (ALBERICHI, 2013).

Com essas possibilidades conjugadas ou não, esperam-se que as caldeiras tenham muitas chances de ser operadas com segurança, mas pode haver casos de explosões causadas por falhas. Pela natureza mecânica pode haver a possibilidade de falhas em pressostatos, como bloqueio de sua comunicação com a caldeira ou de natureza elétrica ou a deterioração do diafragma, pelo colamento dos platinados (GYURKOVITS, 2004).

As válvulas de segurança para ter um bom funcionamento devem ser fabricadas com um sistema de controle de qualidade muito rigoroso, com molas diretamente testadas, dimensões cuidadosamente calibradas, concentricidade dos elementos e vedações impecável, do contrário, poderão não fechar após o alívio da pressão, pois se abrir no instante em que se necessita da sua abertura pode ficar mais grave. Geralmente, a válvula de segurança realiza após o sistema de pressão máxima não ter funcionado, isto é, se não funcionar a válvula de segurança, o sistema de segurança ficara muito comprometida, sobrando apenas o sistema manual como possível administração da situação (ALTAFINI, 2002).

De acordo com ALTAFANI (2002, p. 24) falhas no sistema manual “são decorrentes de defeitos em instrumentos de indicação de pressão e de nível ou nos dispositivos de controle, ou, ainda, de procedimentos inadequados por parte do operador”.

4.3.7 Risco dos Gases

Conforme o autor GYURKOVITS (2004), as explosões do lado dos gases ocorrem pelo processo de combustão ou por uma reação química. Este método ocorre em um tempo muito pequeno e numa reação exotérmica, cujo resultado é o

aumento rápido e violento da pressão em um espaço limitado. Nessa natureza, as explosões que acontecem nas caldeiras operam com combustíveis gasosos e líquidos. As nevas de óleos combustíveis aquecidos ou de líquidos inflamáveis indicam comportamento similar às dispersões gasosas inflamáveis. Ao entrar em contato com o ar, constituem uma mistura que entra em combustão instantânea, se a relação ar/combustível for do limite de inflamabilidade do combustível e se possuir uma pequena fonte de calor para a ignição.

No lado dos gases as explosões ocorrem com frequência na recolocação manual em marcha da caldeira, quando é favorecida a ignição com retardo, ou sem a purga previa, sendo uma condição em que a fornalha se depara inundada com a mistura combustível-comburente. Este defeito é associado ou não a falhas no sistema de alimentação de ar, gerando uma perda momentânea da chama. Desse modo, o interior da fornalha estará enriquecido com a mistura e a explosão será deflagrada pelo sistema de ignição ou por partes incandescentes da fornalha, ou por outro queimador, sucedendo a perda da chama ocorrer em um queimador, enquanto outros funcionam (ALBERICHI, 2013).

Encontra-se válvula de alívio, instaladas nos espelhos dianteiros de caldeiras flamotubulares que se retém fechadas por meio da pressão de molas durante o desempenho normal da caldeira, e que abrem para fora, quando a pressão da fornalha supera a pressão exercida pelas molas. As pressões das explosões são calculadas para abrir o lado dos gases e dar alívio, diminuindo seus efeitos, pois esse resultado nem sempre é atingido, dada a violência com que as explosões realizarem, fazendo voar os espelhos, em alguns casos. (ALTAFANI, 2002).

4.4 GERENCIAMENTOS DE CALDEIRAS

Uma vez identificada a necessidade de um bom gerenciamento em caldeiras, feita uma ampla pesquisa bibliográfica será levantada uma forma eficiente de gerenciar melhor caldeiras flamotubulares e aquotubulares buscando minimizar os riscos decorrentes do processo de operação da mesma. Tratando da segurança em vasos de pressão, torna se indispensável falar sobre a Norma regulamentadora - 13 que será tratada a seguir.

4.4.1 Norma Regulamentadora – (NR-13)

De acordo com o Ministério do Trabalho (2006) foi estabelecida no Brasil em 1978 a norma de caldeiras e recipientes de pressão, pela grande preocupação com a segurança em caldeiras. Sendo que somente em 1994 o ministério de trabalho publicou no diário oficial o novo texto compondo a NR -13. Apesar da norma regulamentadora 13 ser a mais precisa para esse tipo de trabalho, têm se algumas normas complementares da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para caldeiras, sendo elas:

NBR-12177: conhecida antigamente como Norma Brasileira 55, tratados procedimento de inspeção;

NB- 227: tratando dos projetos e construção de caldeira estacionária;

ASME (American Society of Mechanical Engineers): responsável por varias normas de vasos de pressão,a ASME também é muito utilizada para trocadores de calor;

NR-28: Fiscalização e penalidade: dentre vários pontos importantes da norma regulamentadora 13, será apresentado as principais regulamentações:

NR-4: Norma regulamentada pelo ministério do trabalho e emprego, que busca a segurança e a saúde do trabalhador, conhecida como (SESMT) Segurança e Saúde Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (NETO, 2013).

Segundo Alberichi (2013), o “profissional habilitado” para exercer o trabalho na caldeira, deve ser um Engenheiro com competência legal na área e sabendo atuar nas atividades pertinentes, tais como: projeto de construção, acompanhamento, operação, manutenção, supervisão de vasos de pressão (com regulamentação).

Todas as caldeiras antes devem ser submetidas a inspeções internas e externas de segurança, sendo elas feitas: antes do funcionamento, após reforma por qualquer tipo de causa, para as caldeiras com categoria A, B e C deve-se realizar uma vez ao ano, ao reativar uma caldeira parada, se a mesma estiver à 6 meses nessa situação; quando a mudança de local; com 25 anos de funcionamento, devem ser submetidas a uma rigorosa avaliação.

De acordo com Altafani (2002), apesar de alguma semelhança entre as normas regulamentadora NR-13 e NBR-12177, destacam-se sua importância com algumas normas descritas a seguir:

Os exames realizados nesta norma são: interno e externo; “prontuário da caldeira” e “Relatório de inspeção”. Em disposição dos ensaios realizados são: hidrostático; de acumulação; dos dispositivos de alimentação de água e sempre manter a PMTA (pressão máxima de trabalho permitida) atualizada.

4.4.2 Análises de Riscos

Sabendo que os acidentes envolvendo vasos de pressão são em sua totalidade catastróficas para as pessoas envolvidas no trabalho, deve ser analisado todo seu processo antes do início de sua operação, sendo que existem várias formas de análise de riscos como check-list preventivo, APR (Análise de Riscos) e HAZOP (*Hazard and Operability Studies*) - Estudo de perigo e Operabilidade (OLIVEIRA et al., 2011).

4.4.2.1 Check- List

Faria (2009), explica que o *chek-list* ou lista de verificação composta por várias perguntas relacionadas ao sistema em análise e com objetivo de verificar a conformidade deste sistema e, sendo de grande importância as não conformidades, que poderiam prejudicar o bem-estar das pessoas envolvidas do equipamento, ter perda material ou prejudicar o meio ambiente. Em decorrência, segundo Oliveira et al. (2011), com o objetivo principal da lista é identificar os riscos através de uma avaliação padrão em alguma atividade em andamento, sendo o nível de detalhamento determinado de acordo com a necessidade ou risco da atividade em foco.

A análise realizada na lista de verificação tem que estar em conformidade com a NR-13 e contendo todas as especificações necessárias, na onde buscamos as mesmas com os operadores da área, a manutenção, supervisor da manutenção e o responsável da caldeira. Dessa forma um *chek* lista pode ser montado de forma mais eficiente, abaixo será demonstrado 2 tabelas de *chek-list* onde as mesmas buscam sempre estar em conformidade com a NR-13. (ALBERICHI, 2013).

Tabela 4- Lista de Verificação *chek-list* em caldeiras

ITEM	DESCRIÇÃO	CONFORME	NÃO CONFORME	N.A.	INFRAÇÃO	VALOR MULTA	VALOR ADEQUAÇÃO
13.1.4 a	Possui válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a PMTA?						
13.1.4 b	Possui instrumento que indique a pressão do vapor acumulado?						
13.1.4 c	Possui injetor ou outro meio de alimentação de água, independente do sistema principal em caldeiras a combustível sólido?						
13.1.4 e	A caldeira possui sistema de indicação para controle do nível da água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente?						
13.1.5	A caldeira possui afixada em seu corpo, em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação conforme requisitos da NR-13?						
13.1.5.1	Possui em local visível, a categoria da caldeira e seu número ou código de identificação?						
13.1.6.1	Quando inexistente ou extraviado, o "Prontuário de Caldeira" foi reconstituído pelo proprietário, com responsabilidade técnica do fabricante ou de "Profissionais Habilitados"?						
13.1.6.2	Em caso de venda ou transferência a documentação de caldeira acompanha a mesma						
13.1.6.3	O proprietário da caldeira apresenta quando exigido pela autoridade competente do Órgão Regional do MTb o seu prontuário?						

Fonte: Elaborado- adaptado da NR-13 (ALBERICHI, 2013).

Tabela 5- Check-list Mensal SESMT

Check-list Mensal SESMT	SIM	NÃO
1- O equipamento está trabalhando abaixo da Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA)?		
2- Constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens:		
A) A válvula de Segurança está em boas condições?		
B) A válvula de Segurança está com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a PMTA?		
C) O manômetro está em bom estado e funcionamento?		
D) Existe sistema de drenagem rápida e funcionando bem?		
E) Sistema de indicação para controle do nível de água que evite o superaquecimento por alimentação deficiente funcionando bem?		
3- Corpo da caldeira:		
A) A placa de identificação da caldeira está em local visível de fácil acesso?		
B) Existe na placa e identificação da caldeira as informações abaixo?		
Nome do fabricante		
Nº de Ordem dado pelo fabricante		
Ano de fabricação		
Pressão Máxima de Trabalho Admissível		
Pressão de teste hidrostático		
Capacidade de produção de vapor		
Área da superfície de aquecimento		
Código de projeto e ano de edição		
Categoria da caldeira		
4 – Existem duas saídas de emergência, amplas e em direções destinadas		
5 – A ventilação é permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas?		
6- Existe acesso fácil e seguro, necessário a operação e manutenção de caldeira?		
7- Existe sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora de área de operação?		
8- Existe iluminação conforme as normas vigentes e iluminação de emergência?		
9- Existe manual de operação da caldeira?		
10- O operador está continuamente no seu posto de trabalho?		
11- Os operadores de caldeira possuem certificado de treinamento de segurança na operação de caldeiras?		
12- Estágio prático		
13- Existe relatório de inspeção, emitido pelo profissional habilitado?		
14- Existe prontuário de inspeção, emitido pelo profissional habilitado?		
15- Existe sinalização de segurança conforme NR-26?		
16- Existe proteção contra incêndio conforme NR-23?		
17- Existe atendimento a NR-20, líquidos combustíveis e inflamáveis?		
Observações que se fizerem necessárias:		

Data: ___/___/_____ Marca da caldeira:		
Solicitamos que as irregularidades acima apontadas sejam sanadas no menor espaço de tempo, pois representam condições de insegurança		
_____	_____	
Operador da caldeira	Visto SESMT	

Fonte: Elaborado pela autora - adaptado da SESMT (2015).

4.4.2.2 Análise Preliminar de Riscos (APR)

De acordo com a Norma Regulamentadora 13 (BRASIL, 2014) com o avanço tecnológico na década de 60, as indústrias começaram a adotar condições de trabalho em temperaturas e pressões muito elevadas, tornando sua operação muito mais crítica e resultando em grande risco para o homem, meio ambiente e propriedade. A análise preliminar de riscos surgiu de forma a ajudar a minimizar os impactos causados ao meio ambiente, homem e propriedade. Sendo que os riscos podem vir de formas variadas, mas de forma simples descrevem-se como:

- a) Incêndio (radiação térmica);
- b) Vazamento (resíduos tóxicos);
- c) Explosão (pressão).

Um processo básico de riscos pode ser analisado no fluxograma a seguir:

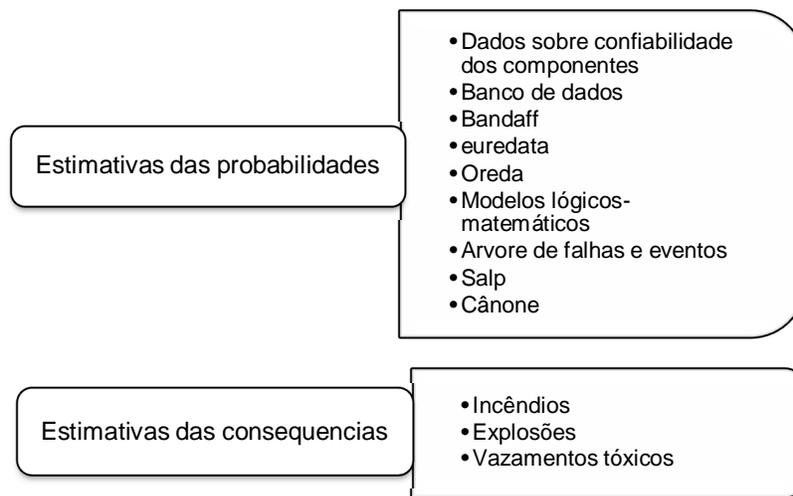
Figura 10 - Processo Básico para Prevenção de Riscos



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Sella (2014), para a realização da APR, analisam-se várias probabilidades e consequências em decorrer do processo. A figura 11 abaixo, demonstra a análise da mesma:

Figura 11- Análise das probabilidades e conseqüências da APR



Fonte: Elaborado pela autora

Para uma melhor priorização do risco apresentado na análise, usam-se as seguintes categorias e frequências de ocorrência na análise preventiva de riscos (APR), conforme as Tabelas 6 e 7 abaixo:

Tabela 6 - Categoria dos Riscos

Categoria	Nome	Características
I	Desprezível	Não degrada o sistema nem seu funcionamento. Não ameaça os recursos humanos.
II	Marginal	Degradação moderada com danos menores. Não causa lesões. É compensável ou controlável.
III] Crítica	Degradação crítica com lesões. Dano substancial. Apresenta risco e necessita de ações corretivas imediatas.
IV	Catastrófica	Série degradação do sistema. Perda do sistema, morte e lesões

Fonte: Fruhauf, Campos, Huppés (2005)

Tabela 7- Frequência de Ocorrência de Eventos

Categoria	Denominação	Descrição
A	Muito improvável	Cenários que dependam de falhas múltiplas de sistemas de proteção ou ruptura por falha mecânica de vasos de pressão. Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil da instalação.
B	Improvável	Falhas múltiplas no sistema (humanas e/ou equipamentos) ou rupturas de equipamentos de grande porte. Não esperado de ocorrer durante a vida útil da instalação. Sem registro de ocorrência prévia na instalação.
C	Ocasional	A ocorrência do cenário depende de uma única falha (humana ou equipamento).
D	Provável	Esperada uma ocorrência durante a vida útil do sistema.
E	Frequente	Pelo menos uma ocorrência do cenário já registrado no próprio sistema. Esperando ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação.

Fonte: Manual de Análise de Riscos Industriais (2016).

Após esclarecimento do método APR, abaixo estará sendo mostrada sua aplicação no ramo industrial, para seu entendimento será dito de forma breve sobre o ponto de orvalho, que trata a temperatura em qual ocorre a condensação do vapor da água existente no ar, de forma simples, a temperatura mínima que a mistura poderá sofrer de resfriamento sem acontecer a condensação da umidade. Com isso o controle de orvalho evita que na tubulação de gás forme líquido condensado, que resulta em problemas no seu transporte. Um exemplo disso seria a queda de pressão, conforme a figura 12 a seguir (SELLA, 2014).:

Figura 12 - Aplicação do Método APR

ANALISE PRELIMINAR DE RISCOS – APR														
Sistema	Sistema de ajuste de ponto de Orvalho			Referência: PFD XXX Rev. X								Data:		
Perigo	Causa	Detecção (D) /Salvaguarda (S)	Possíveis Efeitos	Fr eq .	Pessoal		Instalação		Meio		Imagem		Recomendações e observações	C. A
					S	R	S	R	S	R	S	R		
Grande liberação de fluido inflamável e tóxico	Ruptura em linhas, vaso, permutador, filtro, flanges, válvulas a devido à corrosão, fadiga, impacto mecânico, falha de montagem, matérias inadequados	Visual [D]; Detecção de gás e fogo [D]; Confirmação de gás (S)-ESD3; Parada automática da produção com despressurização manual/remota [ESD2-HS]; Confirmação de fogo [S]-ESD3, parada automática da produção com despressurização automática; Monitoração das variáveis de processo; Sistema de drenagem de área classificada; Sistema de combate a incêndio.	Possibilidade e de Jato de fogo e de explosão; Possibilidade e de incêndio em poça; Formação de nuvem tóxica.	B	IV	M	IV	M	I	T	IV	M	Prever estudo de queda de carga e objetos na área.	1
	Queda de carga ou impacto durante movimentação de carga	Visual [D]; Detecção de gás e fogo [D]; Confirmação de gás (S)-ESD3; Parada automática da produção com despressurização manual/remota [ESD2-HS]; Confirmação de fogo [S]-ESD3, parada automática da produção com despressurização automática; Monitoração das variáveis de processo; Sistema de drenagem de área classificada; Sistema de combate a incêndio.	Possibilidade e de Jato de fogo e de explosão; Possibilidade e de incêndio em poça; Formação de nuvem tóxica.	C	IV	M	IV	M	I	T	IV	M	Prever estudo de queda de carga e objetos na área.	2

Fonte: Sella (2014).

4.4.2.3 HAZOP (*Hazard and operability studies*)

De acordo com as autoras Ielo e Silva (2015) apesar das empresas em muitos casos utilizarem o seu próprio método de análise, torna-se indispensável um dos métodos citados, ressaltando que em todos os casos check-list é obrigatório em qualquer tipo de operação. Utilizada pela primeira vez na década de 60 pela empresa imperial *Chemical Industries, Ltd.* Hazop vem da junção da palavra *Hazard* (perigo), associada com *Operability* (operabilidade). Por tratar de uma metodologia estruturada que identifica desvios operacionais, pode se reutilizar o projeto para unidades com o mesmo processo. Também utilizada para segurança com a revisão de unidades em operação, de forma que sua aplicação vai tanto do início da instalação até o estágio final da mesma.

Antes de mostrar a aplicação do Hazop é necessária a explicação dos processos envolvidos em sua organização. Conforme Sella (2014), sua aplicação será através de:

a) Nós de estudo: pontos/seções do processo/equipamento. Com a função de estudar todo equipamento. Ex: é a válvula de retenção à montante (entrada) do vaso de pressão até a válvula de bloqueio à jusante (saída). Fluidos diferentes normalmente são analisados em nós diferentes.

b) Palavras-guia: associada ao processo (vazão, temperatura, pressão) e, as palavras mais utilizadas normalmente, são: não; nenhum; mais; menos; também e outras.

c) Desvios: afastamentos das intenções de operação que são descobertas a partir da aplicação sistemática de palavras-guia a parâmetros de processo (AIChE, 2008).

d) Causas: causam desvios. Ex: falhas na instrumentação ou nos equipamentos, erros humanos, imprevistos do processo, ações externas.

e) Conseqüências: resultado de um desvio.

f) Recomendações / Observações: opiniões para realizar alguma mudança no projeto, podendo ser de procedimento.

g) Parâmetros de processo: variantes físicas ou químicas do processo.

A seguir será apresentada a Figura 13, como exemplo na norma HAZOP:

Figura 13 - Exemplo planilha segundo norma HAZOP

HAZOP										
Identificação do sistema:			Rev:			Data rev:				
Fluxograma n°:			Participantes:			Data:				
Subsistema:			Possíveis Causas			Consequencias		Salva guarda	Comentários	Ações requeridas
Responsável:			Palavra Guia			Desvio		Possíveis Causas	Consequencias	Salva guarda

Fonte: Ielo, Silva (2015).

Para um melhor entendimento da técnica HAZOP, estarei apresentando sua aplicação nas caldeiras como segue abaixo:

Figura 14 - Exemplo de aplicação do método HAZOP

HAZOP										
Identificação do sistema: Caldeira			Data rev:							
Fluxograma n°:			Participantes:			Data:				
Subsistema: Nó de estudo 2 – Caldeira Aquatubular			Possíveis Causas			Consequencias		Salva guarda	Comentários	Ações requeridas
Responsável:			Palavra Guia			Desvio		Possíveis Causas	Consequencias	Salva guarda
N°	Parâmetro	Palavra guia	Desvio	Possíveis causas	Consequências	Salva guardas	Comentários	Ações requeridas	Resp.	
1	Pressão (tubos)	Menos	Menos pressão	Vazamento proveniente da entrada de ar de combustão e do gás natural; Falha no controlador de pressão.	Menor rendimento da produção, gerando gastos com a manutenção e atraso na produção. Risco de explosão ou graves acidentes.	Barreiras existentes PT 0965, PIC 0965, PR 0965.	Fato decorrente da falta de manutenção e treinamento operacional adequado.	Não se aplica		
2	Pressão (tubos)	Mais	Mais pressão	Falha no controlador de pressão (manômetro); Excesso de entrada de ar de combustão e gás natural	Idem ao de menos pressão	Barreiras existentes PT 0965 PIC 0965 PR 0965	Idem ao de menos pressão.	Não se aplica		
3	Reação	Também	Reação secundária	Proveniente de qualquer impureza/contaminação presente nos componentes de alimentação.	Incrustação. Os componentes podem reagir entre si e provocar uma explosão ou acidente, como também pode haver a formação de vapor contaminado.	Não se aplica devido à existência de laudos referentes às matérias-primas.	Os fornecedores do combustível já fornecem laudos contendo toda a composição da matéria-prima.	Não se aplica		

Fonte: Ielo, Silva (2015).

4.4.2.4 Comparativo entre Hazop e APR

De acordo com SELLA (2014) apesar de ser muito discutido qual método é mais eficiente para utilizar no projeto em questão, primordialmente a vida do operador da máquina deve ser o maior ponto em questão, ressaltando que análise das técnicas citadas deve ser feita antes de levantar os custos do projeto, tornando-

se mais eficiente. A tabela abaixo mostra algumas vantagens e desvantagens em relação ao Hazop e Apr.

Figura 15 - Vantagens e Desvantagens das Técnicas Abordadas

Técnica	Vantagens	Desvantagens
APR	<ul style="list-style-type: none"> -Técnica sistemática e lógica; -Identificação dos perigos com antecedência; -Identificação de critérios para dar continuidade ao desenvolvimento do processo; -Mitigação e controle dos possíveis perigos existentes; - Ajuda na seleção de áreas da instalação nas quais outras técnicas de análise de risco devamos ser usadas; -Estimula o <i>brainstorming</i>; -Relativamente rápida quando comparado com a aplicação de técnicas similares. 	<ul style="list-style-type: none"> -Depende da experiência do grupo participante; -Precisa de um líder especializado para conduzir a análise; -Medidas excessivas de proteção; -Normalmente aplicado em fase inicial quando as informações disponíveis são limitadas ou passíveis de sofrer alterações.
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> -Técnica sistemática e lógica; - Identificação de desvios que possam ocasionar eventos perigosos; - Identificação de desvios que possam ocasionar problemas operacionais; -Levantamento de causas que possam gerar desvios; -Estimula o <i>brainstorming</i>; -Revisão completada projeto da instalação e da sua operação; -Melhoria da eficiência da planta. 	<ul style="list-style-type: none"> -Depende da experiência do grupo participante; -Precisa de um líder especializado para conduzir a análise; -Medidas excessivas de proteção; -Consumo de tempo elevado quando comparado com a aplicação de técnicas similares.

Fonte: Sella (2014).

4.4.3 Processo de Verificação em Caldeiras de Combustíveis Sólidos e Líquidos

Segundo o autor Martinelli Jr (2009), diz que para caldeiras de combustível líquido, todos os dispositivos para combustão, bombas de óleo, ignição, etc., bombas d'água e os sistemas de bloqueio e alarme, estão ligados a um painel de comando e a um programador. Embora, automáticos, estes dispositivos podem falhar reforçando a importância da norma que adverte o operador a não abandonar o seu posto de trabalho.

Figura 16 - Principais Cuidados na Caldeira de Combustível Líquido

ANTES DO FUNCIONAMENTO	EM FUNCIONAMENTO
Verificar nível de água	Evitar golpe de aríete abrindo válvula de vapor (isso ocorre quando atinge a pressão de trabalho necessária)
Verificar válvulas de água na bomba	Observar: - manômetro - indicador de nível (ajustar aos padrões de segurança)
Drenar os indicadores de nível: - garrafa e visor - testar sistema de alarme Drenar caso necessário: - distribuidor de vapor - superaquecedor	Operador não deve deixar o local, ficando sempre atento a caldeira
Acionamento de descarga de fundo rápido (sempre observar o fechamento da válvula)	Acionar descarga de fundo
Analisar se quantidade de combustível atende o fogo no tempo que deseja operar a máquina	Registro diário de equipamentos e acessórios
Acender fornalha (cuidado para não danificar refratário e grelhas)	Evitar queimar outro tipo de substância na fornalha
	Uma vez por dia acionar descarga manual nas válvulas
	Caldeiras Aquotubulares, limpar os tubos com soprador de fuligem
	Ficar atento ao nível da água
	Ter cuidado ao adicionar os produtos para tratamento da água
	Colaborar com a CIPA e seguir as normas
	Manter local de trabalho limpo e organizado
	Acionar o sistema alternativo para abastecimento de água
	Controlar tiragem de CO ₂ da combustão

Fonte: Elaborado pela autora.

Para Martinelli Jr (2002) nas caldeiras de sólidos, os cuidados devem ser tomados em acordo com o equipamento utilizado, sendo que cada um tem sua própria característica. Como as caldeiras de grande porte, sendo aquelas com grande produção de vapor necessitam de muitos dispositivos de segurança e mais operadores qualificados, mas independente de sua característica e porte todas as

caldeiras necessitam de acompanhamento constante como mostra a Tabela a seguir.

Figura 17 - Principais Cuidados na Caldeira de Combustível Sólido

ANTES DO FUNCIONAMENTO	EM FUNCIONAMENTO
Verificar nível: - tanque de água - óleo de combustão	Evitar golpe de aríete abrindo válvula de vapor. (isso ocorre quando atinge a pressão de trabalho necessário)
Verificar válvulas da rede de óleo	Observar: - manômetros do óleo - vapor e ar - lubrificação do compressor
Ligar o aquecedor de óleo e ter controle sobre a temperatura	Verificar água e óleo em seus depósitos
Drenar: - distribuidor de vapor - serpentina do aquecedor de óleo	Acionamento da descarga de fundo (conforme necessidade)
Verificar: - eletrodos de ignição - correias do ventilador - correias do ventilador - compressor, refrigeração e lubrificação - fornalha (ver acúmulo de gases)	A combustão deve ser observada na chaminé ou nos visores.
	Anotações sobre equipamentos e acessórios, conforme seu funcionamento
	Manter caldeira limpa e organizada
	Acionamento do abastecimento de água
	Averiguar vazamentos no sistema de alimentação de : - água - ar - combustíveis
	Colaborar com a CIPA e seguir normas
	Controlar tiragem de CO ₂ da combustão
	Caso utilizar óleo BpF, na parada da caldeira usar óleo diesel ou querosene na tubulação de óleo combustível até o queimador
	Se o queimador parar de funcionar no meio do seu processo, nunca o reacender com calor das paredes ou tocha
	Controlar mistura combustível evitando: - formação de fumaça branca - excesso de ar - fumaça preta - excesso de óleo

Fonte: Elaborado pela autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todo risco em caldeiras envolvendo acidentes operacionais causa uma grande preocupação em grandes corporações e com isso tornam-se extremamente importantes soluções para minimizar esses riscos em decorrer de todo processo. A proposta deste trabalho foi realizar um estudo bibliográfico para buscar soluções de minimizar e gerenciar esses acidentes oriundos de vários co-fatores.

Como as caldeiras têm um polo industrial gigantesco na atualidade, desenvolvendo a pesquisa bibliográfica foi observada a grande importância de duas técnicas para melhor segurança de todo processo, sendo elas Hazop e Apr.

Com a planilha do Hazop e Apr, seguindo suas respectivas normas, ressaltando que as empresas normalmente planejam as suas próprias planilhas Hazop, porém, não deixando de apresentar todos os parâmetros de análise da planilha Hazop, como riscos, causas, consequências e barreiras de proteção. O estudo realizado das caldeiras apresentou muitos riscos envolvendo sua operação, e analisando o processo, foi verificado que os acidentes ocasionados por falhas operacionais, são de grande maioria, por falta de cuidado com as normas e treinamento, pois a inspeção das tubulações da caldeira e em todo o seu corpo deve ser feita de forma minuciosa.

A norma que resguarda as caldeiras NR-13 traz diversas ações para controle e segurança, porém em muitos casos os operadores não têm o treinamento adequado da mesma. Com isto, já se mostra a importância desse trabalho e sua grande aplicação não somente em caldeiras, mas também em quaisquer processos industriais envolvendo vasos de pressão.

Concluindo então que o principal objetivo do trabalho em buscar formas de gerenciar e minimizar os riscos em processos industriais envolvendo caldeiras foi aplicado nas técnicas *Chek-list*, Apr e Hazop. Conhecer o funcionamento e precaver-se dos riscos envolvidos nas caldeiras que, por sua vez é consolidado que há anos está no mercado industrial, e foi de forma satisfatório alcançado, comprovando e contribuindo no crescimento profissional de acadêmicos cursando Engenharia Química.

REFERÊNCIAS

ALBERICHI, M. **Estudo das instalações e operações de caldeiras de uma indústria de produtos químicos do estado do Paraná, sob a ótica da NR-13 e NR-28.** 2013. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ALTAFINI, C. R. **Curso de engenharia mecânica – disciplina de máquinas térmicas – apostila sobre caldeiras.** Caxias do Sul, 2002. Disponível em <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeirasapostila.pdf>>. Acesso em 20 de out. 2016.

BARROSA, M. R. **Princípios Fundamentais da Transferência de Calor.** 2004. 48 f. Trabalho de Conclusão de curso graduação em Engenharia Naval e Oceânica - UERJ, Rio de Janeiro, 2004.

BIZZO, V. A. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor.** Campinas. SP. 2003. 5 p. Apostila.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Manual técnico de caldeiras e vasos de pressão. – Edição comemorativa 10 anos da NR-13.** 1. Ed. MTE, SIT, DSST, Brasília, 2006.

BRASIL. Normas Legais. **Portaria Ministro de Estado do Trabalho e Emprego nº 594,** de 28 de abril de 2014. Disponível em:<<http://www.normaslegais.com.br/legislacao/portaria-mte-594-2014.htm>>. Acesso em 09 de out. 2016. Publicado no Diário Oficial da União em: 02 mai. de 2014.

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e de Massa – uma abordagem prática.** Tradução: Fátima A. M. Lino. 4. ed. Belo Horizonte: AMGH Editora, 2012.

Chek-list Mensal de Caldeiras (NR-13). Risco Biológico, 2015. Disponível em: <http://www.riscobiologico.org/lista/20111222_01.pdf>. Acesso em 10 de out. 2016.

DONOSO, J.P. **Caldeiras e vasos de pressão**. Rio de Janeiro: IBP, 2012. 53 f. Notas de aula.

Elektro – Eletricidade e Serviços SA. **Manuais Elektro de Eficiência Energética**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual_risco.pdf>. Acesso em 10 de out. 2016.

FARIA, M.T. **Gerência de Riscos**. Curitiba: UTFPR, 2009. 79p. Apostila.

FERNANDES, F A. N.; PIZZO, S. M.; MORAES JUNIOR, D. **Termodinâmica Química**. Ceará: UFC, 2006.

FRUHAUF, D. V.; CAMPOS, D. T. A.; HUPPES, M. N. **Aplicação da Ferramenta Análise Preliminar de Riscos Estudo de Caso Indústria Frigorífica de Frangos**. 2005. 42 f. Trabalho apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista no curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, para obtenção do título de Engenheiro de Segurança do Trabalho, da UEPG, Paraná, 2005.

Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Manual de Análise de Riscos Industriais**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual_risco.pdf>. Acesso em 10 de out. 2016.

GYURKOVITS, J. L. C. **Caldeiras**. 2004. Disponível em: <http://www.slideshare.net/educacaof/caldeiras-3485277?from_search=7>. Acesso em 08 de out. 2016.

HAMADA, E. H. **Estudo de um ciclo de vapor utilizado para tratamento de superfícies metálicas - estudo preliminar de caso**. 2012. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

IELO, R. F.; SILVA, S. Y. **Estudo de Caso: Aplicação da Ferramenta Hazop em Segurança de Processos – Empresa M&G - Poços de Caldas/MG**. 2015. 39 f. Trabalho de Conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Química, da Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2015.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Tradução: Eduardo M. Queiroz. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008.

LEITE, N. R.; MILITÃO, R. A. **Tipos e Aplicações de Caldeiras**. 2008. Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na Disciplina de Fabricação e Montagem de Caldeiras e Trocadores de Calor, Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2008.

MAGRINI, Rui de Oliveira. **Riscos de acidentes na operação de caldeiras**. São Paulo: Fundacentro, 1985.

MARTINELLI JUNIOR, L.C. Geradores de vapor. **Saudeetrabalho.com.br**. 2009. Disponível em: <<http://www.saudeetrabalho.com.br/download/gera-vapor.pdf>>. Acesso em: 14 de out. 2016.

MORAES, A. **Segurança na Operação de Vasos de Pressão e Caldeiras**. 2005. Disponível em: <<http://valvsegura.blogspot.com.br/2015/06/cursos-sobre-seguranca-operacional-de.html>>. Acesso em 16 de out. 2016.

NETO, L. **Fiscal Segurança do Trabalho** Fortaleza. CE. 2013. 282 p. Apostila.

NOGUEIRA, L. A. H.; ROCHA, C. R.; NOGUEIRA, F. J. H. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

OLIVEIRA, M. M.; CATAI, R. E.; SERTA, R.; MAINARDES, C. W.; CANOICO, M. R. S. O. Análise do Gerenciamento de Riscos de um Sistema de

Caldeira e Vaso de Pressão -Estudo De Caso. **Abepro.org.br**. 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_138_877_18237.pdf>. Acesso em: 10 de out. 2016.

RICHI, M. Estudo das Instalações e Operações de Caldeiras de uma Indústria de Produtos Químicos do Estado do Paraná, sob Ótica da NR-13 E NR-28. 2013. 103 f. Trabalho apresentado como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Especialista no curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Paraná, 2013.

RODRIGUES, L. E. M. J. Mecânica dos fluídos – propriedades dos fluídos. São Paulo: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2016. 18 f. Notas de aula.

SELLA, C. B. COMPARATIVO ENTRE AS TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCOS APR E HAZOP. 2014. 50 f. Trabalho apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SOUZA, L.M. Caldeiras e vasos de pressão. Rio de Janeiro: IBP, 2012. 53 f. Notas de aula.