

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO**  
**TRABALHO**

**RICARDO FAGUNDES MAPELLI**

**ANÁLISE DE RISCO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE VAPOR SATURADO**

**São Leopoldo**

**2018**

RICARDO FAGUNDES MAPELLI

Análise de Risco do Processo de Geração de Vapor Saturado

Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, pelo Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do trabalho da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Esp. Narciso Ruzzarin

São Leopoldo

2018

## ANÁLISE DE RISCO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DE VAPOR SATURADO

Ricardo Fagundes Mapelli<sup>1</sup>

Resumo: Este artigo apresenta o resultado de uma análise de risco de processo realizada num sistema de operação e controle de um gerador de vapor instalado em uma empresa localizada na região metropolitana de Porto Alegre/RS onde problemas de manutenção e operação são as maiores causas de explosões. Portanto, o objetivo deste trabalho foi identificar os principais desvios do processo e realizar uma análise de risco, através da utilização da ferramenta HAZOP (Hazard and Operability Studies – Estudo de Operabilidade de Variáveis), classificando os principais riscos para a operação do sistema numa matriz de aceitabilidade de risco criada exclusivamente para a análise deste sistema, determinando ações de melhoria priorizadas conforme o risco para a operação dos geradores de vapor. Com base nos cenários identificados, é possível definir medidas de controle e ações diárias de operação, implantação de procedimentos diários de operação para os operadores da casa de caldeiras e implantação de um plano de manutenção para execução do setor de manutenção da empresa.

Palavras-chave: Hazop. Gerador. Vapor. Segurança.

### 1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de riscos são um conjunto de ações que identificam e reduzem os riscos ao qual os trabalhadores estão expostos num determinado processo produtivo. Gerenciar o processo de identificação de riscos requer o auxílio de recursos humanos, métodos, orçamentos e técnicas a fim de impedir que acidentes possam ocorrer provocando perturbações ao meio ambiente assim como a saúde dos funcionários e ao bom funcionamento do empreendimento. A partir disso torna-se imprescindível identificar as possíveis falhas, idealizar as medidas corretivas, ações capazes de resguardar os riscos e supervisionar todo o processo para garantir a eficiência contínua. (LAGE, 2006).

A ferramenta de análise de risco HAZOP (*Hazard and Operability Studies*) que consiste em uma técnica qualitativa desenvolvida nos anos 60 pela empresa

---

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, graduado pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos no ano de 2002 e desde então atuando como Inspetor de Caldeiras e Vasos de Pressão. E-mail: ricardo.elemento115@gmail.com

*Chemical Industries* e, em 1977, a Associação das Indústrias Químicas, através da publicação de um guia, incentivou sua utilização. (LEES, 2005). Essa técnica de análise visa identificar os perigos e os problemas de operabilidade de uma instalação de processo (sistema) baseada em um procedimento que gera perguntas de maneira estruturada e sistemática através de um conjunto apropriado de palavras-guia, o HAZOP busca por desvios das condições normais de operação. (RUZZARIN, 2018).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de risco, pela ferramenta HAZOP, para identificar onde melhorar a operação dos geradores de vapor em uma empresa na região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A segurança dentro de uma indústria pode apresentar duas categorias distintas: segurança de processos e segurança ocupacional. A segurança ocupacional está interligada com acidentes de trabalhos comuns como quedas, tropeços, atropelamento, dentre outros. Já a segurança de processos relaciona-se aos acidentes provocados por falhas dos equipamentos de processo, como quebra ou vazamento de equipamentos que podem provocar explosões, incêndios ou intoxicações respiratórias. (SOUZA, 2013).

Uma análise de risco realizada através da ferramenta HAZOP em um gerador de vapor pode ser considerada como segurança de processo, pois está vinculada diretamente ao processo de geração térmica suscetível a explosão, em caso de falha do equipamento ou falha de operação, podendo ser fatal aos trabalhadores, provocar prejuízo financeiro na planta industrial e danos ao meio ambiente. Esta análise de risco pela ferramenta HAZOP possui o objetivo de examinar sistematicamente cada segmento de uma instalação, visando identificar todos os possíveis desvios das condições normais de operação, relacionando suas causas e suas consequências. (RUZZARIN, 2018).

Antes de aplicar um estudo de HAZOP, é necessário compreender alguns conceitos fundamentais que constituem o desenvolvimento de uma análise de riscos. (CARDELLA, 2008). A seguir são apresentados os conceitos fundamentais segundo Cardella (2008):

- a) Nó de estudo: Consiste em um local do processo que pode ser estudado caso desvios possam acontecer. Este local é especificado nos fluxogramas.
- b) Parâmetros de operação: Estabelece os parâmetros de desempenho do processo ou sistema, na falta de desvios.
- c) Desvios: Perturbações provocadas no equilíbrio do sistema.
- d) Causas: Razões para que os desvios aconteçam; tais causas podem ser desde falhas do sistema, alterações externas, operações inesperadas, até erros humanos.
- e) Efeitos: Provenientes de um desvio da intenção de operação em um dado nó de estudo.
- f) Parâmetros de operação: Componentes físicos e procedimentos de operação.
- g) Palavras-guia: Palavras fáceis usadas para classificar os desvios e orientar o grupo de estudo auxiliando-o no levantamento de questões para aplicar o debate e discussões.

Para a execução de uma análise de risco com a ferramenta HAZOP é necessário seguir um cronograma com o objetivo de desenvolver um planejamento das atividades, sendo assim, este processo pode ser dividido em definição do escopo e objetivos do estudo, escolha da equipe de estudo, organização dos documentos necessários ao estudo, etapas de execução da análise e elaboração do relatório com plano de ação. (CARDELLA, 2008).

Outra etapa para análise de risco qualitativa é a definição das categorias de frequência e consequência, categorias de risco, todos definidos em uma matriz de aceitabilidade de riscos. Segundo Ruzzarin (2018, p. 48) cada cenário de acidente identificado é classificado de acordo com a sua categoria de frequência, a qual fornece uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência e da categoria de severidade (consequência) que fornece uma estimativa do dano esperado. O procedimento de classificação da frequência dos cenários identificados parte do princípio de que todas as salvaguardas existentes são 100% falíveis, e desta forma, devem ser qualificados na análise de risco como fatores relevantes para a correta estimativa de frequência (RUZZARIN, 2018, p. 51).

Com a definição das categorias de frequência deverá ser definido as categorias de severidade, onde as consequências de cada perigo deverão ser

tabuladas e categorizadas de acordo com o dano esperado de cada instalação ou processo.

Com a criação das categorias de risco e categorias de frequência podemos definir níveis de risco em uma matriz de aceitabilidade destes riscos e definir ações que possam ou não serem necessárias com o objetivo de reduzir esses riscos a níveis aceitáveis.

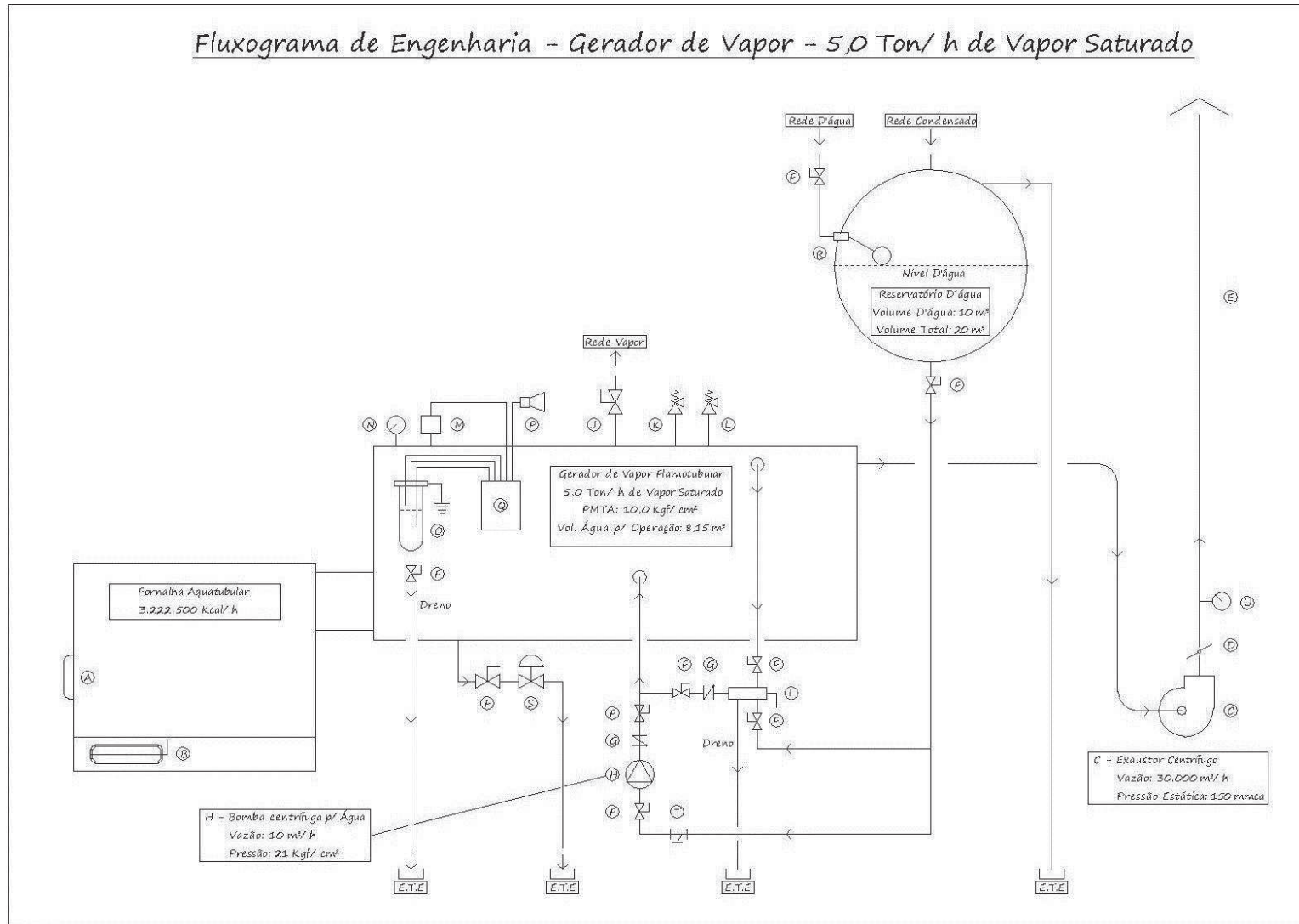
### **3 METODOLOGIA**

O método utilizado para este trabalho partiu da definição de um equipamento para análise, pelo critério da predominância de inspeção em uma empresa, na região do Vale dos Sinos, Rio Grande do Sul.

Portanto, este trabalho foi realizado através da empresa Elemento 115 Desenvolvimento Industrial Ltda, que entre outras atividades de engenharia realiza inspeções de segurança em geradores de vapor de acordo com o determinado pela norma regulamentadora número 13 (NR-13) do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE (BRASIL, 1978). Sendo o objeto de estudo um gerador de vapor horizontal, flamotubular, com capacidade de produção de 5,00 t/h de vapor saturado, combustível biomassa, neste caso lenha em toras para fornalha aquatubular (parede e grelha d'água), pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) de 10,00 kgf/cm<sup>2</sup>, tiragem forçada, ou seja, troca de calor por convecção realizada por exaustor centrífugo projetado especificamente para esta aplicação. Este tipo de equipamento é o mais inspecionado pela Empresa Elemento 115 Desenvolvimento Industrial Ltda, onde a lenha de acácia negra e/ou eucalipto possuem, como combustível, a melhor relação custo benefício em comparação a outros combustíveis como óleo BPF (Baixo Ponto de Fluidez), gás natural, casca de arroz, bagaço de cana, entre outros.

Assim foi desenvolvido um fluxograma de engenharia para a instalação típica de um gerador de vapor horizontal, flamotubular. O fluxograma de engenharia, apresentado na Figura 1, mostra a instalação típica deste tipo de equipamento numa casa de caldeiras, de um gerador à biomassa (lenha em toras) de operação manual exceto pelo controle de nível d'água que é automático. Na Tabela 1 consta a legenda dos itens apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de engenharia (gerador de vapor)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1 – Legenda do Fluxograma de Engenharia (Figura 1)

Item	Descrição
A	porta fornalha/ entrada de lenha
B	porta admissão ar para fornalha
C	exaustor centrífugo 30000 m <sup>3</sup> / h a pe = 150 mmca
D	damper regulagem de ar
E	chaminé/ chapéu chinês
F	VE: válvula esférica
G	VR: válvula de retenção
H	bomba centrífuga para água, 10 m <sup>3</sup> / h a 21 kgf/ cm <sup>2</sup>
I	injetor à vapor
J	VG: válvula globo
K	VS1: válvula de segurança, 2,5 t/ h, pa = 8,5 kgf/ cm <sup>2</sup> , pf = 8,0 kgf/ cm <sup>2</sup>
L	VS2: válvula de segurança, 2,5 t/ h, pa = 9,0 kgf/ cm <sup>2</sup> , pf = 8,5 kgf/ cm <sup>2</sup>
M	pressostato, pa = 8,0 kgf/ cm <sup>2</sup> , diferencial = 1,0 kgf/ cm <sup>2</sup>
N	manômetro para pressão do vapor acumulado, escala 0 - 21 kgf/ cm <sup>2</sup>
O	garrafa de nível com eletrodos de nível máximo, nível mínimo, nível de emergência
P	alarme sonoro de "nível de emergência"
Q	painel elétrico de comando, potência e controle
R	VB: válvula bóia mecânica
S	VP: válvula de purga acionamento automático
T	Filtro "Y"
U	Termômetro 0 – 300 °C

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com o fluxograma de engenharia pronto foram definidos os nós/sistema que serão objetos de estudo e análise, para cada nó/sistema foi definido também a intenção do nó e parâmetros de operação, neste caso, os nós selecionados serão:

- Reservatório d'água. Este nó possui a intenção de manter o volume de água em 10 m<sup>3</sup> a manter a água dentro dos padrões químicos e físicos a serem definidos para cada tipo de instalação e equipamento.
- Bomba centrífuga para água. Este nó possui a intenção de manter o fluxo de água entre 5 m<sup>3</sup>/h a uma pressão de 10,00 kgf/cm<sup>2</sup>.
- Gerador de vapor flamotubular. Este nó possui a intenção de manter a pressão do vapor acumulado entre 4,00 kgf/cm<sup>2</sup> e 10,00 kgf/cm<sup>2</sup> e manter o volume d'água em 8,15 m<sup>3</sup>.
- Fornalha aquatubular. Este nó possui a intenção de manter a taxa de energia térmica em 3.222.500,00 kcal/h.
- Exaustor centrífugo. Este nó possui a intenção de manter a vazão de ar em 30.000 m<sup>3</sup>/h a uma pressão estática de 150 mmca, manter a temperatura dos gases depois do exaustor entre 160 °C e 200 °C.

Em pesquisa aos relatórios de inspeção para este tipo de gerador de vapor, já caracterizado, em manuais de operação e prontuários de fabricantes foi possível definir os desvios na intenção de cada nó. Também em consulta realizada com



operadores de caldeira e supervisores de manutenção foram definidas as causas e efeitos de cada desvio, ficando os fatores relevantes definidos por uma análise pessoal da situação geral da instalação (projeto e execução), dos operadores e das condições de manutenção do equipamento.

Para definição das categorias de frequência e severidade, baseou-se na consulta a operadores de gerador de vapor e técnicos de manutenção nesse tipo de equipamento tendo como base as planilhas apresentadas por Ruzzarin (2018, p. 48).

Neste estudo, foram definidas cinco categorias de frequência tomando por base a norma regulamentadora número 13 (NR-13) do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE (BRASIL, 1978), que determina a vida útil de um gerador de vapor em vinte e cinco anos, portanto, não foram considerados eventos cujo acontecimento ocorre com mais de vinte e cinco anos de frequência, estas as cinco categorias de frequência atendem a seguinte descrição:

- a) Frequente: definida por eventos que ocorram uma ou mais vezes em até cinco anos e nenhuma alteração no sistema é realizada para restringir estes eventos.
- b) Provável: definida por eventos que ocorram uma ou mais vezes entre cinco e dez anos em dispositivos sujeitos a falhas mecânicas e/ou elétricas.
- c) Ocasional: definida por eventos que ocorram uma ou mais vezes entre dez e quinze anos em dispositivos sujeitos ao desgaste mecânico, a impurezas ou erro humano de operação.
- d) Remoto: definida por eventos que ocorram uma ou mais vezes entre quinze e vinte anos em dispositivos e instalações que apresentam falhas ou erros de projeto.
- e) Improvável: definida por eventos que ocorram uma ou mais vezes entre vinte e vinte e cinco anos em equipamentos e dispositivos sujeitos a inspeção de segurança.

Segue na Tabela 2 a definição das categorias de frequência atribuídas as causas dos desvios nos parâmetros dos nós/sistema.

Tabela 2 - Categorias de frequência

<b>Categoria</b>	<b>Código</b>	<b>Faixa de Frequência Associada</b>	<b>Descrição</b>
Frequente	FR	$f < 5$ anos	Histórico de uma ocorrência em 5 anos e nenhuma alteração realizada no sistema.
Provável	PR	$5 \text{ anos} < f \leq 10$ anos	Histórico de uma ocorrência entre 5 e 10 anos em equipamentos ou dispositivos sujeitos a falhas no sistema mecânico e no sistema elétrico.
Ocasional	OC	$10 \text{ anos} < f \leq 15$ anos	Histórico de uma ocorrência entre 10 e 15 anos em dispositivos sujeitos ao desgaste mecânico, impurezas ou erro humano de operação.
Remoto	RE	$15 \text{ anos} < f \leq 20$ anos	Histórico de uma ou mais ocorrências entre 15 e 20 anos em dispositivos que apresentam erros de projeto, falhas em instalações.
Improvável	IM	$20 \text{ anos} < f \leq 25$ anos	Sem histórico de ocorrências nos últimos 20 anos em equipamentos submetidos a inspeção.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste estudo, além das categorias de frequência, também foram definidas quatro categorias de severidade considerando-se a aplicação no processo de geração de vapor saturado, podendo ou não conduzir a uma parada de emergência do equipamento ou explosão, as categorias de severidade possuem a seguinte definição:

- a) Baixa: situação que não conduz a uma parada de emergência do gerador de vapor e tomada de ações respectivas.
- b) Moderada: situação que pode nos conduzir a uma parada de emergência, porém, há recursos a serem utilizados antes de se tomar ações para parada emergencial do gerador de vapor.
- c) Crítica: situação em que a única opção de segurança é a parada de emergência do gerador de vapor não havendo recursos para evitar a parada.
- d) Catastrófica: situação que pode ocasionar o superaquecimento ou sobre pressão do gerador de vapor pelo princípio do “canhão de Arquimedes” e consequente explosão.

Segue na Tabela 3 elaborada e utilizada para classificação, quanto a severidade, das causas dos desvios apontados nos nós/sistema.

Tabela 3 - Categorias de severidade

<b>Categoria</b>	<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
Baixa	BA	Situação que não nos leva a uma “parada de emergência”, portanto, não será necessário o desligamento do gerador de vapor.
Moderada	MO	Situação em que há recursos a serem utilizados antes de acionarmos uma “parada de emergência” no gerador de vapor.
Crítica	CR	Situação em que não há mais recursos necessitado uma “parada de emergência” do gerador de vapor.
Catastrófica	CT	Situação que pode ocasionar o superaquecimento ou sobre pressão do gerador de vapor e a consequente explosão.

Fonte: Elaborada pelo autor.

A elaboração da matriz de aceitabilidade de riscos também foi baseada nas planilhas apresentadas por Ruzzarin (2018, p. 53), porém adaptadas ao cenário de uma casa de caldeiras onde o gerador de vapor está instalado.

Portanto, foi elaborado uma matriz de aceitabilidade de riscos qualitativa atribuindo classificação aos riscos através da combinação entre a frequência e severidade destes riscos e o histórico de ocorrências registradas nos livros de segurança dos geradores de vapor inspecionados ao longo dos anos pela empresa.

Segue na Tabela 4 a matriz de aceitabilidade dos riscos elaborada e utilizada neste estudo que proporciona uma rápida classificação destes riscos.

Tabela 4 – Matriz de Aceitabilidade

Matriz de Aceitabilidade		Frequência				
		Improvável	Remoto	Ocasional	Provável	Frequente
S e v e r i d a d e	Catastrófica	RM	RM	RA	RA	RA
	Crítica	RB	RB	RM	RA	RA
	Moderada	RB	RB	RB	RM	RA
	Baixa	RB	RB	RB	RB	RM

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os riscos, utilizados neste estudo, receberam três caracterizações de cenários de acordo com os resultados das combinações da matriz de aceitabilidade que são:

- Risco baixo: considerado um cenário de risco aceitável e controlável caso venha a ocorrer, portanto, não necessita da aplicação de medidas podendo ocorrer, se necessário, apenas sugestões.
- Risco médio: considerado um cenário de risco aceitável, porém, deve-se propor recomendações que obrigatoriamente conduza a um cenário de risco baixo, caso contrário será necessário a aplicação de estudo complementar.
- Risco alto: considerado um cenário de risco não aceitável, deve-se aplicar um estudo complementar com definição de prazos e responsáveis.

Na Tabela 5 é apresentada a classificação dos riscos que caracteriza estes como baixo, médio ou alto podendo ou não propor recomendações e/ou sugestões a serem tomadas sempre com objetivo de buscar uma classificação de risco baixo.

Tabela 5 - Classificação dos riscos

<b>Categoria</b>	<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
Risco Baixo	RB	Para o cenário na categoria de Risco Baixo não é obrigatório a proposição de medidas. As medidas propostas neste caso são denominadas sugestões.
Risco Médio	RM	Para o cenário na categoria de Risco Médio, devem ser propostas medidas tecnicamente possíveis, denominadas <b>recomendações</b> , estas recomendações devem obrigatoriamente tornar o risco do cenário Risco Baixo, caso contrário, será obrigatório realizar estudo complementar.
Risco Alto	RA	Para o cenário na categoria de Risco Alto, será obrigatória a realização de estudo complementar. Neste caso, não é obrigatório propor recomendações durante o estudo de APPP/HAZOP, mas mesmo que haja recomendações, o estudo complementar continua obrigatório com definição de prazos e responsáveis.

Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4 RESULTADOS

A realização desta análise de risco pela ferramenta HAZOP foi desenvolvida e adaptada para atender as necessidades de instalação e operação de um gerador de vapor, portanto, foi adotado de forma própria e dedicada a este processo as planilhas e conceitos necessários julgados pertinentes e considerados de extrema importância.

Após a análise dos desvios, causas, efeitos foram analisados as categorias de frequência, de severidade e caracterização dos riscos nos nós/sistemas designados.

O nó/sistema definido como reservatório d'água possui quatro desvios de seu parâmetro de operação sendo dois desvios considerados pela metodologia já descrita como risco alto (RA) e dois considerados risco baixo (RB).

Este nó/sistema compreende:

- a) Válvula esférica (F) de conexão do reservatório à rede d'água.
- b) Válvula bóia mecânica (R).
- c) Conexão do reservatório à rede de condensado.
- d) Reservatório d'água propriamente dito.

Neste estudo mostrou-se necessário a instalação de um sistema eletrônico de monitoramento dos padrões físicos e químicos da água de alimentação do gerador de vapor. Segue na Tabela 6 a planilha HAZOP para o reservatório d'água.

Tabela 6 - Gerenciamento de Riscos Industriais, Estudos de Perigo e Operabilidade – HAZOP (reservatório de água)

(continua)

Empresa: Elemento 115 Desenv. Ind. Ltda		Nó/Sistema: Reservatório D'água				Data: 20/10/2018	
Intenção do Nó/parâmetros de operação: Manter o Volume D'água em 10 m <sup>3</sup> Manter água dentro dos padrões químicos e dentro dos padrões físicos							
Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Recomendações/Sugestões
Nível de água menor que 10 m <sup>3</sup>	Rede d'água desabastecida	Fator agravante, sistema de bombas não estão contempladas no gerador de energia elétrica	Desabastecimento d'água no gerador de vapor em até 120 minutos ocasionando sobreaquecimento e explosão do gerador de vapor após este período	PR	CT	RA	Instalação de chave de fluxo e alarme sonoro para detecção de falta d'água na rede de abastecimento
	Falha na válvula bóia mecânica (R)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de uma segunda entrada de água com válvula boia mecânica em "paralelo" à chave de boia mecânica (R) existente
	Falha na válvula esférica (F)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de uma segunda válvula esférica em "paralelo" à válvula esférica (F) existente na entrada de água
	Rede de condensado desabastecida	Fator agravante, falta de inspeção na rede de vapor e condensado (válvulas, conexões e tubulações)					Instalação de visor de fluxo na rede de condensado, visor de nível no reservatório d'água, chave de nível e alarme sonoro para nível baixo de água
Nível de água maior que 10 m <sup>3</sup>	Falha na válvula bóia mecânica (R)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo	Preenchimento do "pulmão" de recebimento de condensado do processo produtivo ocasionando a extravasão de condensado para a	PR	BA	RB	Não se aplica

	Excesso de água na rede de condensado	Fator agravante, falta de inspeção na rede de vapor e condensado (válvulas, conexões e tubulações)	ETE desperdiçando água e produtos químicos				
Água diferente dos padrões químicos	Condensado muito ácido ou muito alcalino	Fator agravante, falta de monitoramento diário do condensado	Deterioração estrutural do gerador de vapor, encerrando sua vida útil. Rompimento de partes sob pressão e explosão	OC	CT	RA	Instalação de sensores de monitoramento do PH da água e alarme sonoro na rede de condensado na casa de caldeiras
	Condensado com contaminação química	Fator agravante, falta de monitoramento diário do condensado					Instalação de sensores de monitoramento dos padrões químicos da água e alarme sonoro na rede de condensado na casa de caldeiras
	Rede d'água muito ácida ou muito alcalina	Fator agravante, falta de monitoramento diário da água de abastecimento					Instalação de sensores de monitoramento do PH da água e alarme sonoro na rede de abastecimento na casa de caldeiras
	Rede d'água com contaminação química	Fator agravante, falta de monitoramento diário da água de abastecimento					Instalação de sensores de monitoramento dos padrões químicos da água e alarme sonoro na rede de abastecimento na casa de caldeiras
Água diferente dos padrões físicos	Condensado com contaminação física	Fator agravante, inexistência de sistema de filtragem do condensado	Incrustação, por minerais sedimentados, no interior do gerador de vapor e da fornalha, acúmulo de lodo, perda de eficiência térmica e encurtamento da vida útil do equipamento	OC	MO	RB	Sugestão: implantação de um sistema de tratamento de água, externo ou interno, plano de purga dos sólidos no gerador de vapor e rotina de monitoramento dos parâmetros estabelecidos
	Rede d'água com contaminação física	Fator agravante, inexistência de sistema de filtragem da água de abastecimento					
	Excesso de minerais na água (maior dureza)	Fator agravante, inexistência de sistema de abrandagem e/ou desmineralização da água de abastecimento					

Fonte: Elaborada pelo autor.

O nó/sistema definido como bomba centrífuga para água (H) faz parte do sistema de abastecimento de água do gerador de vapor, possui seis desvios identificados neste estudo sendo quatro deles caracterizados como risco alto (RA) e dois desvios caracterizados como risco médio (RM).

Este nó/sistema é definido por:

- a) Válvula esférica (F) na conexão de saída do reservatório d'água.
- b) Tubulação até a conexão no gerador de vapor.
- c) Filtro "Y" (T).
- d) Bomba centrífuga (H).
- e) Válvulas esféricas (F) a montante e a jusante da bomba centrífuga.
- f) Válvula de retenção (G).

Neste estudo ficou evidente a necessidade de instalação de uma segunda linha "paralela" de alimentação de água com todos os dispositivos (bombas, válvulas e conexões) necessários. Segue na Tabela 7 a análise de risco HAZOP para bomba centrífuga para água (H).



Tabela 7 - Gerenciamento de Riscos Industriais, Estudos de Perigo e Operabilidade – HAZOP (bomba centrífuga para água)

(continua)

Empresa: Elemento 115 Desenv. Ind. Ltda		Nó/Sistema: Bomba Centrífuga p/ água				Data: 20/10/2018	
Intenção do Nó/parâmetros de operação: Manter o fluxo de água entre 5 m <sup>3</sup> /h e 10 m <sup>3</sup> /h à uma pressão de 10 Kgf/cm <sup>2</sup>							
Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Recomendações/ Sugestões
Fluxo de água menor que 5 m <sup>3</sup> /h	Perda de parte do fluxo na tubulação à montante e/ ou à jusante da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva nas tubulações	Desabastecimento d'água no gerador de vapor podendo ocasionar sobreaquecimento e explosão	PR	CT	RA	Instalação de uma segunda linha de alimentação d'água do reservatório até o gerador de vapor do gerador de vapor
	Obstrução na válvula esférica (F) na saída do reservatório d'água	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de válvula esférica na segunda linha de alimentação na saída do reservatório d'água
	Obstrução do filtro "Y" (T)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de um filtro "Y" na segunda linha de alimentação d'água para o gerador de vapor
	Obstrução da válvula esférica (F) a montante da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de válvula esférica na segunda linha de alimentação d'água para o gerador de vapor a montante da bomba centrífuga
	Desgaste da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo, falta de bomba reserva em "paralelo" com a bomba existente. Fator atenuante, existência de injetor d'água à vapor (I)					Instalação de uma bomba reserva em "paralelo" na segunda linha de alimentação d'água de abastecimento do gerador de vapor
	Falha na válvula de retenção (G)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Implantação de um plano de manutenção nessa válvula de retenção (G) tendo em vista não ser possível a instalação de uma segunda válvula em "paralelo"

(continuação)

	Obstrução da válvula esférica (F) a jusante da bomba	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Implantação de um plano de manutenção nessa válvula esférica (F) a jusante da bomba tendo em vista não ser possível a instalação de uma segunda válvula em “paralelo”
Fluxo de água maior que 10 m <sup>3</sup> / h	Aumento da rotação da bomba centrífuga (H)	Fator atenuante, sistema elétrico possui controle de amperagem que desarma a bomba no caso de aumento da rotação	Reposição muito rápida de água no gerador, arraste de água para rede de distribuição de vapor, desperdício de energia térmica, elétrica e combustível	PR	MO	RM	Implantação de um plano de manutenção no sistema elétrico de alimentação da bomba
Pressão de água menor que 10 Kgf/ cm <sup>2</sup>	Perda de parte do fluxo na tubulação à montante e/ ou à jusante da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva nas tubulações	Desabastecimento d’água no gerador de vapor podendo ocasionar sobreaquecimento e explosão	PR	MO	RM	Instalação de uma segunda linha de alimentação d’água do reservatório até o gerador de vapor do gerador de vapor
	Obstrução na válvula esférica (F) na saída do reservatório d’água	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de válvula esférica na segunda linha de alimentação na saída do reservatório d’água
	Obstrução do filtro “Y” (T)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de um filtro “Y” na segunda linha de alimentação d’água para o gerador de vapor
	Obstrução da válvula esférica (F) a montante da bomba	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de válvula esférica na segunda linha de alimentação d’água para o gerador de vapor a montante da bomba centrífuga
	Desgaste da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo, falta de bomba reserva em “paralelo” com a bomba existente. Fator atenuante, existência					Instalação de uma bomba reserva em “paralelo” na segunda linha de alimentação d’água de abastecimento do gerador de vapor

		de injetor d'água à vapor (I)					
	Obstrução na válvula de retenção (G)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Implantação de um plano de manutenção nessa válvula de retenção (G) tendo em vista não ser possível a instalação de uma segunda válvula em "paralelo"
	Obstrução da válvula esférica (F) a jusante da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Implantação de um plano de manutenção nessa válvula esférica (F) a jusante da bomba tendo em vista não ser possível a instalação de uma segunda válvula em "paralelo"
Pressão de água maior que 10 Kgf/ cm <sup>2</sup>	Aumento da rotação da bomba centrífuga (H)	Fator atenuante, sistema elétrico possui controle de amperagem que desarma a bomba no caso de aumento da rotação e existência de válvulas de segurança para alívio da pressão no gerador de vapor	Colapso da estrutura do gerador de vapor, perda total do equipamento	PR	CT	RA	Instalação de válvula de alívio de pressão d'água a jusante da bomba centrífuga (H)
Nenhum fluxo de água	Rompimento da tubulação à montante e/ou à jusante da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva nas tubulações	Sobreaquecimento e explosão do gerador de vapor	PR	CT	RA	Instalação de uma segunda linha de alimentação d'água do reservatório até o gerador de vapor do gerador de vapor
	Bloqueio na válvula esférica (F) na saída do reservatório d'água	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de válvula esférica na segunda linha de alimentação na saída do reservatório d'água
	Bloqueio do filtro "Y" (T)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de um filtro "Y" na segunda linha de alimentação d'água para o gerador de vapor
	Bloqueio da válvula esférica (F) a montante da bomba centrífuga (H)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Instalação de válvula esférica na segunda linha de alimentação d'água para o gerador de vapor a montante

							da bomba centrífuga
	Bomba centrífuga (H) não liga	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo, falta de bomba reserva em "paralelo" com a bomba existente. Fator atenuante, existência de injetor d'água à vapor (I)					Instalação de uma bomba reserva em "paralelo" na segunda linha de alimentação d'água de abastecimento do gerador de vapor
	Bloqueio na válvula de retenção (G)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Implantação de um plano de manutenção nessa válvula de retenção (G) tendo em vista não ser possível a instalação de uma segunda válvula em "paralelo"
	Bloqueio da válvula esférica (F) a jusante da bomba	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					Implantação de um plano de manutenção nessa válvula esférica (F) a jusante da bomba tendo em vista não ser possível a instalação de uma segunda válvula em "paralelo"
Fluxo reverso de água	Válvula de retenção (G) dando passagem no sentido oposto	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo	Desabastecimento d'água no gerador de vapor podendo ocasionar superaquecimento e explosão	PR	CT	RA	Implantação de um plano de manutenção nessa válvula de retenção (G). troca imediata deste dispositivo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O nó/sistema definido como gerador de vapor flamotubular é de fundamental importância na operação segura deste equipamento. Pois todo projeto de gerador de vapor contempla o nível correto de água como único parâmetro capaz de impedir um sobre aquecimento estrutural e suas danosas consequências. As consequências podem ser a perda total do equipamento, geração de vapor a taxas muito superiores a capacidade de vazão das válvulas de segurança e aumento instantâneo da pressão do vapor acumulado que torna sem efeito qualquer sistema de controle de pressão que se conhece ocasionando a explosão do equipamento pelo efeito “canhão de Arquimedes”.

Um bom projeto de gerador de vapor considera que podem haver falhas de dispositivos e/ou operação, portanto é definido, além dos níveis máximo e mínimo de água, um nível de emergência que ainda contempla uma geometria segura de operação mas também é um nível de imediata ação, onde o alarme sonoro (P) e luminosos no painel elétrico de comando (Q) devem ser acionados, a transferência de calor por convecção deve ser interrompida através do desligamento automático do exaustor centrífugo (C) entre outras medidas consideradas emergenciais.

Este nó/sistema definido como gerador de vapor saturado é formado por:

- a) Garrafa de nível (O) contendo os eletrodos de nível, válvula esférica (F) no dreno da garrafa de nível.
- b) Painel elétrico de comando (Q) contendo um controlador de nível eletrônico resistivo e todo sistema elétrico.
- c) Manômetro (N).
- d) Pressostato (M).
- e) Alarme sonoro (P).
- f) Válvula globo (J) de saída do vapor saturado para rede.
- g) Válvulas de segurança (K e L).
- h) Gerador de vapor propriamente dito.

O gerador de vapor, já descrito e analisado neste estudo, necessita que o volume d'água em seu interior seja  $8,15 \text{ m}^3$ , ou seja, se encontre sempre entre os níveis máximo e mínimo na garrafa de nível (O), pois esses limites são projetados para que o gerador de vapor possa receber com total segurança a energia térmica proveniente da fornalha.

Neste estudo foram identificados quatro desvios nos parâmetros de operação do nó/ sistema gerador de vapor flamotubular, sendo dois deles caracterizados como risco alto (RA), um risco baixo (RB) e um risco médio (RM). Neste estudo mostrou-se necessário para este nó/ sistema, entre outras ações, a instalação de uma rotina de comunicação entre o processo produtivo e casa de caldeiras com o objetivo de evitar paradas bruscas no consumo de vapor deixando desprevenidos os operadores do gerador de vapor, instalação de um sistema eletrônico de monitoramento da vazão e pressão do vapor acumulado com o objetivo de modular a alimentação de combustível e tiragem dos gases pelo exaustor centrífugo (C). Segue na Tabela 8 a planilha HAZOP para o gerador de vapor flamotubular.

Tabela 8 - Gerenciamento de Riscos Industriais, Estudos de Perigo e Operabilidade – HAZOP (gerador de vapor flamotubular)

(continua)

Empresa: Elemento 115 Desenv. Ind. Ltda		Nó/Sistema: Gerador de Vapor Flamotubular					Data: 20/10/2018
Intenção do Nó/parâmetros de operação: Manter a Pressão do Vapor Acumulado entre 4,00 Kgf/ cm <sup>2</sup> e 10,00 Kgf/ cm <sup>2</sup> . Manter o volume d'água em 8,15 m <sup>3</sup>							
Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Recomendações/ Sugestões
Pressão menor que 4,00 Kgf/ cm <sup>2</sup>	Consumo de vapor acima da produção no gerador	Fator agravante, falta de comunicação entre produção e casa de caldeiras, falta de habilidade do operador	Aumento do volume d'água, nível falso, arraste de água para rede de distribuição de vapor	OC	MO	RB	Não se aplica
	Taxa de energia térmica insuficiente	Fator agravante, falta de combustível, falta de habilidade do operador					
Pressão maior que 10,00 Kgf/ cm <sup>2</sup>	Consumo de vapor abaixo da produção	Fator agravante, falta de comunicação entre produção e casa de caldeiras, falta de habilidade do operador	Explosão do gerador de vapor	OC	CT	RA	Implantação de uma rotina de comunicação entre processo produtivo e casa de caldeiras
	Taxa de energia térmica excessiva	Fator agravante, excesso de combustível, falha no pressostato (M) que não desliga o exaustor centrífugo (C), falta de habilidade do operador. Fator atenuante, existência de válvulas de segurança (K e L) para alívio de pressão					Instalação de sistema eletrônico de monitoramento de vazão e pressão do vapor saturado para modular a alimentação de combustível e tiragem dos gases através do exaustor centrífugo (C)
Volume d'água menor que 8,15 m <sup>3</sup>	Não entra água no gerador de vapor	Fator agravante, falta implantação de um roteiro de ações e vistorias diárias no processo de geração de vapor. Fator agravante, falta de manutenção preventiva na garrafa de nível (O), no painel de comando (Q) e no alarme sonoro (P)	Sobreaquecimento e explosão do gerador de vapor	PR	CT	RA	Instalação de um sistema de acionamento manual da bomba centrífuga (H). Treinamento dos operadores para utilização do injetor à vapor (i)
	Entra água no gerador de vapor numa vazão inferior ao consumo de vapor	Fator agravante, falta implantação de um roteiro de ações e vistorias diárias no processo de geração de					Instalação de um sistema de acionamento manual da bomba centrífuga (H). Treinamento dos operadores

(conclusão)

		vapor. Fator agravante, falta de manutenção preventiva na garrafa de nível (O), no painel de comando (Q) e no alarme sonoro (P)					para utilização do injetor à vapor (i)
Volume d'água maior que 8,15 m <sup>3</sup>	Entrada contínua de água além do limite	Fator agravante, falta implantação de um roteiro de ações e vistorias diárias no processo de geração de vapor. Fator agravante, falta de manutenção preventiva na garrafa de nível (O), no painel de comando (Q) e no alarme sonoro (P)	Arraste de água para rede de distribuição de vapor, perda de eficiência térmica do gerador de vapor	PR	MO	RM	Desligamento manual da bomba centrífuga (H)

Fonte: Elaborada pelo autor.



O nó/sistema definido como fornalha Aquatubular é responsável por transformar a biomassa em energia térmica para o gerador de vapor.

Este nó/sistema é definido por:

- a) Porta da fornalha/entrada de lenha (A).
- b) Porta de admissão de ar para fornalha (B).
- c) Fornalha aquatubular propriamente dita.

Neste estudo foram identificados dois desvios nos parâmetros de operação ambos com risco baixo (RB). Porém, esses desvios possuem como efeito geral o baixo rendimento da fornalha e como consequência o desperdício de energia térmica e combustível. Segue na Tabela 9 a planilha HAZOP para a fornalha aquatubular.

Tabela 9 - Gerenciamento de Riscos Industriais, Estudos de Perigo e Operabilidade – HAZOP (fornalha aquatubular)

Empresa: Elemento 115 Desenv. Ind. Ltda		Nó/ Sistema: Fornalha Aquatubular					Data: 20/10/2018
Intenção do Nó/ parâmetros de operação: Manter o Fornecimento de Energia Térmica em 3.222.500 Kcal/ h							
Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Recomendações/ Sugestões
Energia térmica menor que 3.222.500 Kcal/ h	Taxa de combustível inferior ao projetado	Fator agravante, falta de habilidade do operador	Perda de eficiência do gerador de vapor	OC	BA	RB	Não se aplica
	Taxa de oxigênio inferior ao projetado	Fator agravante, desregulagem da porta de admissão de ar da fornalha (B), entupimento (sujeira) nas grelhas da fornalha, falta de habilidade do operador					
	Retrocesso de chama	Fator agravante, condições atmosféricas desfavoráveis com ventos e brisa em "inversão", falta de habilidade do operador					
	Rompimento de partes sob pressão	Fator agravante, incrustação de minerais no interior dos tubos das grelhas e paredes d'água da fornalha					
	Rompimento do isolamento térmico	Fator agravante, falta de manutenção preventiva no isolamento térmico da fornalha					
Energia térmica maior que 3.222.500 Kcal/ h	Taxa de combustível superior ao projetado	Fator agravante, falta de habilidade do operador	Desperdício de combustível	OC	BA	RB	Não se aplica
	Taxa de oxigênio superior ao projetado	Fator agravante, falta de habilidade do operador					

Fonte: Elaborada pelo autor.

O nó/ sistema definido como exaustor centrífugo é responsável pela condução da energia térmica proveniente da fornalha, que por convecção, através de tiragem forçada dos gases, transmite esta energia térmica ao feixe de tubos fumaça que transfere para a água através da condução térmica nas paredes dos tubos. Nesta breve descrição da transferência de energia térmica nota-se dois sistemas de transferência “em série” ocasionando um baixo rendimento térmico neste tipo de equipamento.

Este nó/sistema compreende:

- a) Tubulação de condução dos gases quentes entre gerador de vapor flamotubular e exaustor centrífugo (C).
- b) Exaustor centrífugo (C).
- c) Damper de regulação de ar (D).
- d) Termômetro 0 – 300°C (U).
- e) Chaminé/chapéu chinês (E).

Neste estudo foram identificados sete desvios nos parâmetros de operação do exaustor centrífugo (C), todos eles caracterizados como risco baixo (RB). Os efeitos observados nos desvios deste nó são a perda de eficiência energética e poluição do meio ambiente. Segue na Tabela 10 a planilha HAZOP para o exaustor centrífugo (C).

Tabela 10 - Gerenciamento de Riscos Industriais, Estudos de Perigo e Operabilidade – HAZOP (exaustor centrífugo)

(continua)

Empresa: Elemento 115 Desenv. Ind. Ltda		Nó/Sistema: Exaustor Centrífugo				Data: 20/10/2018	
Intenção do Nó/parâmetros de operação: Manter a Vazão de ar em 30.000 m <sup>3</sup> /h e Pressão Estática de ar em 150 mmca Manter temperatura dos gases depois do exaustor entre 160°C e 200°C							
Desvio	Causas	Fatores Relevantes	Efeitos	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Recomendações/Sugestões
Vazão de ar menor que 30.000 m <sup>3</sup> /h	Obstrução no damper de regulagem de ar (D)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo	Perda de eficiência do gerador de vapor, desperdício de combustível, aumento da geração de resíduos sólidos para o meio ambiente	PR	BA	RB	Não se aplica
	Desgaste do exaustor centrífugo (C)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo					
	Obstrução na tubulação à montante e/ou à jusante do exaustor centrífugo (C)	Fator agravante, falta de limpeza e manutenção nos dutos					
Vazão de ar maior que 30.000 m <sup>3</sup> /h	Aumento da rotação do exaustor centrífugo (C)	Fator atenuante, existência de dispositivo de sobre carga, desligando o exaustor em caso de aumento da corrente elétrica	Desperdício de combustível	PR	BA	RB	Não se aplica
Nenhum fluxo de ar	Bloqueio no damper de regulagem de ar (D)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo, falta de habilidade do operador	Nenhuma geração de vapor saturado	PR	BA	RB	Não se aplica
	Exaustor centrífugo (C) não liga	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo, falta de manutenção preventiva no painel elétrico (Q) e no pressostato (M)					
	Bloqueio na tubulação à montante e/ou à jusante do exaustor centrífugo (C)	Fator agravante, falta de limpeza e manutenção nos dutos					
Pressão estática de ar menor que 150 mmca	Obstrução no damper de regulagem de ar (D)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo	Perda de eficiência do gerador de vapor, desperdício de	PR	BA	RB	Não se aplica

	Desgaste do exaustor centrífugo (C)	Fator agravante, falta de manutenção preventiva neste dispositivo	combustível, aumento da geração de resíduos sólidos para o meio ambiente				
	Obstrução na tubulação à montante e/ou à jusante do exaustor centrífugo (C)	Fator agravante, falta de limpeza e manutenção nos dutos					
Pressão estática de ar maior que 150 mmca	Aumento da rotação do exaustor centrífugo (C)	Fator atenuante, existência de dispositivo de sobre carga, desligando o exaustor em caso de aumento da corrente elétrica	Desperdício de energia elétrica	PR	BA	RB	Não se aplica
Temperatura de saída dos gases na chaminé (E) menor que 160°C	Consumo de vapor saturado no processo abaixo da capacidade de geração no gerador de vapor	Fator atenuante, regulagem do damper (D) para diminuir a convecção de calor da fornalha. Fator atenuante, possibilidade de diminuição da área de troca térmica no gerador de vapor	Corrosão das caixas de passagem de ar, dutos, exaustor centrífugo, chaminé e chapéu chinês	OC	BA	RB	Não se aplica
Temperatura dos gases maior que 200°C	Taxa de energia térmica na fornalha superior ao projeto	Fator agravante, excesso de combustível na fornalha e falta de habilidade do operador	Grande desperdício de combustível e perda de eficiência do gerador de vapor	OC	BA	RB	Não se aplica
	Deficiência de troca térmica no gerador de vapor	Fator agravante, incrustação de minerais no interior do gerador de vapor					

Fonte: Elaborada pelo autor.

## 5 DISCUSSÃO

Após análise de riscos pela ferramenta HAZOP observou-se que um gerador de vapor saturado, como descrito, apresenta constantes riscos de processo que podem levar a explosões causando acidentes pessoais e materiais.

De acordo com Camissasa (2017, p. 349) os trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente devem estar submetidos à capacitação e reciclagem. Essa capacitação deve ser realizada sempre que ocorrerem modificações significativas na operação de equipamentos pressurizados ou troca de métodos, processo e organização do trabalho.

Segundo Camissasa (2017, p. 349) a norma NR-13 (BRASIL, 1978) determina que os sistemas de controle e segurança dos geradores de vapor devem ser submetidos a manutenções preventivas ou preditivas. Nestes sistemas incluem-se os instrumentos indicadores e controladores de pressão, válvulas de segurança, dispositivos de controle de nível d'água em geradores de vapor, entre outros.

Portanto, este estudo abordou com a análise de risco HAZOP uma situação mais imediatista, de curto prazo e constante incremento de informações gerando, caso necessário, novas recomendações/sugestões de acordo com a matriz de aceitabilidade de risco proposta. Estas recomendações ou sugestões geralmente foram vinculadas a deficiência de operação e/ou manutenção do equipamento e instalações.

A matriz de aceitabilidade bem como a caracterização dos riscos elaborada e adotada neste estudo nos mostrou o quanto é fundamental a implantação de ações, treinamento de pessoas, operadores e técnicos de manutenção, mostrou também a importância da elaboração e implantação de planos de manutenção preventiva para o setor de manutenção. A implantação de uma rotina diária de verificação e testes é uma grande ferramenta para aperfeiçoar operadores e operação de geradores de vapor.

Esta rotina diária para operação do gerador de vapor pode ser dividida em procedimentos de pré partida, procedimentos de partida, procedimentos de operação e procedimentos de parada do gerador de vapor. Com estes procedimentos os operadores diariamente se certificariam da integridade e eficiência dos dispositivos de controle do gerador de vapor diminuindo assim a possibilidade

de falhas. Um exemplo elaborado nesse estudo de roteiro de vistoria diária para operadores do gerador de vapor é demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11- Roteiro de vistoria diária para operadores do gerador de vapor

Etapa de Operação	Procedimento
Pré partida	Verificar o nível de água no reservatório d'água (volume d'água mínimo em 10 m <sup>3</sup> )
	Verificar e fazer o alinhamento da alimentação de água, ou seja, abrir e/ou fechar as válvulas esféricas (F) necessárias de modo a permitir o fluxo de água do reservatório d'água até a bomba centrífuga (H)
	Fazer verificação geral da válvula globo (J), válvulas de segurança (K e L), válvula de purga (S) e sua respectiva válvula esférica (F) e instrumentos da caldeira como manômetro (N) e pressostato (M)
	Verificar condições operacionais da bomba centrífuga (H)
	Fazer drenagem dos indicadores e controladores na garrafa de nível e Visor (O) e testar o alarme sonoro (P)
	Ajustar o nível d'água (8,15 m <sup>3</sup> ) do gerador de vapor flamotubular na posição operacional
	Verificar condições operacionais do exaustor centrífugo (C) e sistema de tiragem da caldeira que compreende grelhas, cinzeiro, porta de admissão de ar para fornalha (B) e damper (D)
	Verificar condições de operacionalidade do painel elétrico de comando, potência e controle (Q) e Sinalização
Partida	Certifica-se da quantidade disponível de combustível e que este esteja próximo à caldeira
	Coloque lenha seca, fina e um pouco de combustível líquido
	Inicie o fogo com tocha ou outro sistema disponível
	Alimentar a fornalha aquatubular de maneira a garantir aquecimento gradual dos refratários e grelhas da caldeira
Operação normal	Quando atingida a pressão de trabalho da caldeira, abrir lentamente a válvula globo (J) de saída de vapor, evitando golpe de ariete e liberando vapor para rede de distribuição de vapor
	Observar constantemente o nível de água, na garrafa de nível (O), do gerador de vapor, fazendo os ajustes necessários
	Observar temperaturas de saída dos gases no termômetro (U) mantendo entre 160°C e 200°C
	Observar a indicação de pressão do vapor acumulado no manômetro (N), fazendo os ajustes necessários
	Observar se o reservatório d'água está sendo suficientemente abastecido
	Observar se a reposição de combustível está sendo suficiente
	Fazer vistoria nos equipamentos, bomba centrífuga (H) e exaustor centrífugo (C) observando qualquer anormalidade (ruído, vibrações, superaquecimento)
	Observar a combustão através dos visores e da chaminé, fazendo os ajustes necessários no damper (D) e/ou porta de admissão de ar para fornalha (B)
	Fazer sopragem de fuligem periódica conforme rotina de cada equipamento
	Fazer descargas de fundo, atuando na válvula de purga (S), conforme recomendações do laboratório de análise de água
	Fazer as anotações exigidas pelos superiores
Parada	Manter sempre em ordem e limpa a casa de caldeiras
	Nuca se ausentar da casa de caldeira sem notificar algum colega ou superior para que se efetue a substituição
	Se a caldeira apagar subitamente durante sua operação normal retomar o processo de acendimento somente após garantia de completa purga e exaustão dos gases remanescentes
	Interromper a alimentação de combustível na fornalha aquatubular
	Manter o nível de água no gerador de vapor, ajustando-o conforme a vaporização que irá ocorrer, dependendo da quantidade de combustível disponível na fornalha
	Garantir que o combustível remanescente na fornalha não seja suficiente para geração de vapor, devemos desligar o exaustor centrífugo (C)
	Abafar a fornalha aquatubular, fechando os damper (D) e porta de admissão de ar para fornalha (B), garantindo vedação contra entradas de ar "novo"
Fechar a válvula globo (J) de saída de vapor	
Bascular as grelhas para possibilitar limpeza da fornalha aquatubular	
Tomar as providencias necessárias, dependendo do objetivo da parada da Caldeira	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observou-se que um bom projeto deste tipo de equipamento contempla dispositivos e ações que raramente nos conduz ao “Risco Catastrófico” com a explosão da caldeira, porém, a falta de habilidade ou falta atenção dos operadores do equipamento facilmente pode conduzir a uma falta de água no equipamento ocasionando, na melhor hipótese, a perda total deste gerador de vapor e na pior hipótese a explosão do gerador de vapor causando vítimas fatais e destruição de instalações industriais. Novamente é importante salientar que o treinamento constante dos operadores, cursos de aperfeiçoamento e reciclagens são fundamentais para diminuição dos riscos na operação de geradores de vapor.

Além da implantação de uma rotina diária de verificação e testes é fundamental também que seja implantado aos operadores de gerador de vapor procedimentos de parada de emergência, que conforme analisado neste estudo, deve contemplar duas situações de emergência que são volume de água abaixo do nível de emergência (volume menor que  $8,15 \text{ m}^3$ ) e sobre pressão do vapor acumulado acima da PMTA, ou seja,  $10,00 \text{ kgf/cm}^2$ . Estes procedimentos de parada de emergência implica aos operadores um roteiro de ações a serem tomadas no momento da referida emergência, saber o momento certo para acionar um procedimento de parada de emergência é em tudo responsabilidade do operador qualificado do gerador de vapor e depende em muito de sua experiência e calma para conduzir o trabalho, mesmo em equipamentos de grande porte e alto nível de automação. Segue abaixo tabela com procedimentos no caso de baixo volume d’água e sobreaquecimento no gerador de vapor e sobre pressão:



Tabela 12 - Procedimento para parada de emergência

Situação de Emergência	Procedimento
Volume de água baixo no gerador de vapor flamotubular (nível de emergência) e sobreaquecimento	Desligar a bomba centrífuga (H) para impedir a entrada de água no gerador de vapor flamotubular
	Fechar todas as válvulas de alimentação d'água para impedir a entrada de água no gerador de vapor flamotubular
	Cortar o combustível para abafar a fornalha
	Desligar o exaustor centrífugo (C) para cortar a transferência de calor por convecção
	Fechar o damper (D) para cortar a transferência de calor por convecção pelo efeito chaminé
	Fechar a porta de admissão de ar para fornalha (B) para abafar a fornalha
	Fechar a porta da fornalha/ entrada de lenha (A) para abafar a fornalha
	Fechar a válvula globo (J) de saída do vapor acumulado para impedir que a água restante saia do gerador de vapor flamotubular
	Aguardar a pressão do vapor acumulado subir e acompanhar o funcionamento das válvulas de segurança (K e L) no alívio da pressão
	Aguardar a caldeira resfriar completamente e verificar os danos causados pelo sobreaquecimento
Sobre pressão do vapor acumulado	Cortar o combustível para abafar a fornalha
	Desligar o exaustor centrífugo (C) para cortar a transferência de calor por convecção
	Fechar o damper (D) para cortar a transferência de calor por convecção pelo efeito chaminé
	Fechar a porta de admissão de ar para fornalha (B) para abafar a fornalha
	Fechar a porta da fornalha/ entrada de lenha (A) para abafar a fornalha
	Atuar manualmente nas válvulas de segurança para alívio da pressão do vapor acumulado
	Se necessário, atuar na válvula de purga (S) para alívio de pressão
	Manter o sistema de abastecimento de água funcionando normalmente

Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro grande quesito que proporciona uma boa e segura operação de geradores de vapor são os planos de manutenção do equipamento e seus dispositivos. O plano de manutenção corretiva é o menos indicado pois esta técnica não analisa e não prevê as falhas com antecedência, ou seja, a atuação dos técnicos de manutenção está vinculada apenas a parada involuntária do equipamento e/ou dispositivos. Desta forma, um plano de manutenção preventiva é mais efetivo no trabalho de evitar falhas no equipamento, basicamente os técnicos de manutenção executam verificações programadas no equipamento e dispositivos minimizando as falhas durante uma operação normal. O ideal seria a implantação de um plano de manutenção preditiva, ou seja, um plano de monitoramento da condição do equipamento e seus diversos dispositivos. Este monitoramento da condição pode ser realizado através de análise por termografia, análise de vibrações ou análise por ultrassom e nos mostra a condição dos dispositivos no momento da

medição possibilitando, caso necessário, uma parada planejada do equipamento sem ocorrer falhas no gerador de vapor.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A NR-13 (BRASIL, 1978) que regulamenta o projeto, instalação e operação de geradores de vapor e vasos de pressão, não determina um método de execução das inspeções de segurança nos geradores de vapor deixando sob responsabilidade dos engenheiros inspetores o método que achar mais adequado para realizar estas inspeções e elaboração dos respectivos relatórios.

Concluiu-se que a análise de risco, pela ferramenta HAZOP, pode ser uma alternativa para guiar inspeções de segurança em caldeiras, porém, necessitaria de estudos mais complexos para os diversos tipos de equipamentos existentes no mercado.

Este estudo concluiu também que o descontrole sobre o abastecimento de água, sobre a taxa de alimentação de água e sobre o nível de água no gerador de vapor, sobre os parâmetros físicos e químicos da água e fluxo reverso de água podem ocasionar um cenário caracterizado como risco alto (RA) e devem ser tomadas ações para evitá-lo. No processo de geração de vapor saturado os cenários caracterizados como risco médio (RM) também estão relacionados a água.

Outra conclusão deste estudo se refere a sobre pressão no gerador de vapor, seja de água ou vapor saturado, verificou-se que sobre pressão também pode conduzir a um cenário caracterizado como risco alto (RA), portanto, devem ser tomadas ações de controle da pressão no gerador de vapor.

Os cenários caracterizados como risco baixo (RB) são considerados aceitáveis para segurança do processo, porém, este estudo concluiu que muitos desvios de nó/sistema que conduzem a este cenário ocasionam desperdício de energia e poluição do meio ambiente.

Este estudo concluiu também que a operação destes geradores deve ser melhorada na implantação de verificações diárias, rotinas de operação e procedimentos em caso de emergência para os trabalhadores da casa de caldeiras, treinamento periódico de operação e implantação de um plano de manutenção para os equipamentos.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 13**: Caldeiras, vasos de pressão e tubulação. Brasília, DF, 1978. Disponível em: <<<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR13.pdf> >>. Acesso em: 29 set. 2018.

CAMISSASA, M. C. **Segurança e Saúde no Trabalho. NRs 1 a 36 Comentadas e Descomplicadas**. 4. ed. São Paulo: Método, 2017.

CARDELLA, B. **Segurança no Trabalho e Prevenção de Acidentes: Uma Abordagem Holística**. São Paulo: Atlas, 2008.

LAGE, Henrique. Análise preliminar de Riscos – APR. **Revista Meio Ambiente Industrial**. São Paulo, n. 60, p. 70-73, 2006.

LEES, F.P. **Lees' Loss Prevention in the Process Industries**. 3 Ed. Sam Mannan, 2005.

RUZZARIN, N. **Gerenciamento de riscos industriais, técnicas de análise de riscos**. 2018. Aula ministrada na disciplina de Gerenciamento de Riscos Industriais no curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2018.

SOUZA, G. R.; LIMA, P. A.; LIMA, A.B.G. Gestão de desempenho em segurança de processo: Estudo de caso em uma empresa de energia. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v.13, n.7, p. 78-93, 2013.