

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**



LUIZ FELIPE VERÇOSA E SILVA

**A IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PURGADORES EM
LINHAS DE VAPOR: ESTUDO DE CASO.**

**MANAUS
2022**

LUIZ FELIPE VERÇOSA E SILVA
MATRÍCULA 1415100155

**A IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PURGADORES EM
LINHAS DE VAPOR: ESTUDO DE CASO.**

Trabalho de Conclusão de Curso, TCC, apresentado ao Curso de Graduação, da Universidade Estadual do Amazonas (UEA) como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. João Evangelista Neto.

MANAUS
2022

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice-Reitor:

Kátia do Nascimento Couceiro

Diretora da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica:

João Evangelista Neto

Banca Avaliadora composta por: Data da defesa: 26/05/2022.

Prof. João Evangelista Neto, Dr. (Orientador)

Prof. Edry Antônio Garcia Cisneros, Dr.

Prof. Israel Gondres Torné, Dr.

CIP – Catalogação na Publicação

Verçosa e Silva, Luiz Felipe

A importância da inspeção e manutenção de purgadores em linhas de vapor: estudo de caso. / Luiz Felipe Verçosa e Silva; orientado por Prof. Dr. João Evangelista Neto. – Manaus: 2022.

41 páginas p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade do Estado do Amazonas, 2022.

1. Purgadores. 2. Vapor. 3. Energia. I. Neto, João Evangelista.

LUIZ FELIPE VERÇOSA E SILVA

A IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PURGADORES EM LINHAS
DE VAPOR: ESTUDO DE CASO

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Nota obtida: _____ (_____)

Aprovada em ____ / ____ / ____.

Área de concentração: Vapor

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. João Evangelista Neto, Dr.



Avaliador: Prof. Edry Antônio Garcia Cisnero, Dr.



Avaliador: Prof. Israel Gondres Torné, Dr.

RESUMO

A manutenção de equipamentos é essencial para garantir a disponibilidade e o correto funcionamento dos sistemas produtivos, garantindo suas operações seguras e contínuas. Com isso, sabemos que purgadores de vapor são críticos em sistemas cujo vapor é utilizado o qual é tema deste trabalho, tratamos da inspeção e manutenção de purgadores em linhas de vapor, fazendo a instalação e o controle destas peças. Assim, haverá um aprofundamento sobre vapor e suas especificidades, funcionamento dos purgadores, consumo da fábrica, custos de projeto etc. Para o projeto foi contratado o fornecedor de 40% dos purgadores da planta com o objetivo de inspecionar os 649 purgadores de modelos diferentes, identificando perdas de vapor e falhas no correto funcionamento. O objetivo é fazer a economia de energia durante o projeto, iniciado em 2020. E que em 2021, já impactou em 1% de redução no consumo de energia da empresa, onde a meta tem como objetivo anual 2% de redução e ambição de até 2050 reduzir em até 50% o consumo de energia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Purgador mecânico tipo boia livre

Figura 2: Forma correta de instalação de linhas de vapor

Figura 3: Bota de condensado

Figura 4: Sonda ultrassônica Ultraprobe100

Figura 5: Gráfico de análise de vazamentos de vapor por purgadores

Figura 6: Relação de performance dos purgadores

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos principais tipos de caldeiras

Tabela 2: Perdas de vapor e seu impacto financeiro

Tabela 3: Investimento necessário

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. TEMA DO ESTUDO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	2
2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2.2. METODOLOGIA UTILIZADA	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. VAPOR.....	3
3.2. USO E APLICAÇÃO DO VAPOR.....	4
3.3. PRODUÇÃO DE VAPOR	5
3.3.1. Caldeiras	6
3.4. PURGADOR	9
3.4.1. Tipos de Purgadores	10
3.4.2. Escolha do Purgador Adequado.....	11
3.4.3. Dimensionamento e localização.....	12
3.4.4. Inspeção e manutenção de purgadores	15
3.5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PURGADORES.....	16
3.5.1. Procedimentos de Inspeção	17
3.5.2. Procedimentos de Manutenção	19
4. ESTUDO DE CASO.....	21
4.1. DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS.....	21
4.2. OBJETIVOS DO CONTRATO DE MANUTENÇÃO	21
4.3. IDENTIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA.....	22
4.4. IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE	24
4.5. CRIAÇÃO DE UM PLANO DE AÇÃO/MANUTENÇÃO.....	29
4.6. EXECUÇÃO O PLANO DE AÇÃO/MANUTENÇÃO.....	30
4.6.1. Mapeamento do Sistema.....	31
4.6.2. Inspeção do Sistema de Purgadores.....	31
4.6.3. Manutenção do Sistema de Purgadores.....	32
4.7. RESULTADOS.....	32
4.8. BOAS PRÁTICAS	33
5. CONCLUSÕES.....	34

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA DO ESTUDO

Sistemas a vapor são muito conhecidos no mercado e apresentam uma versatilidade incrível, mas ainda assim é possível observar que muitas empresas decidem não utilizar esta ferramenta. O vapor de água começou a ser usado como meio de geração, transporte e utilização de energia desde os primórdios do desenvolvimento industrial, onde inúmeras razões colaboraram para a geração de energia através do vapor. Um ponto muito importante é a quantidade de água no mundo – composto mais abundante do planeta – além de ser um recurso de fácil obtenção e baixo custo.

A partir da identificação dos benefícios da utilização do vapor, as indústrias verificaram que, em diversos processos, o vapor pode ser utilizado com fonte de aquecimento, entre eles podemos citar: reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores e secadores, são alguns exemplos dos inúmeros processos e equipamentos térmicos que podemos encontrar no mercado.

O estudo realizado neste trabalho visa a economia de energia através do controle do vapor produzido numa empresa multinacional que produz pneus do segmento de duas rodas para abastecimento do mercado nacional e internacional. Este vapor é transportado através de tubulações, vinda da caldeira instalada, para aquecer as máquinas da linha de produção do produto final. Durante este transporte, o vapor sofre reações, como a perda de energia devido ao ambiente em que as tubulações estão expostas e acaba se tornando novamente líquido, conhecido como condensado. É neste momento que o equipamento que trará a economia dos custos entra no circuito de produção de vapor, o qual é conhecido como Purgador, que é responsável por reter o vapor na linha de produção e eliminar o condensado para que este não entre nas máquinas da produção. Assim, identificamos que neste processo temos algumas variáveis que podem onerar em custos para a empresa, com isto iremos analisar a perda ocasionada devido a este processo e mostrar como fazer economia de energia com a manutenção adequada destas peças.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVOS GERAIS

- Otimização de plantas industriais que empregam o vapor como meio interveniente.

2.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os procedimentos de inspeção, gestão e manutenção dos purgadores de condensado instalados nas linhas de vapor da fábrica;
- Estudo de caso: manutenção do sistema de purgadores de condensado instalados nas linhas de vapor da fábrica focada na produção de pneus veiculares para reduzir o consumo de energia anual;
- Criar procedimento operacional padrão com as otimizações adotadas.

2.2. METODOLOGIA UTILIZADA

A pesquisa foi realizada em duas etapas, a primeira etapa do presente trabalho foi concentrada na identificação das variáveis de influência para o projeto e nas diretrizes para a execução do estudo de caso. Assim, para a identificação destas variáveis foi realizada uma revisão bibliográfica pertinente aos assuntos de vapor e suas gerações, purgadores e seus tipos encontrados no mercado além de manutenção e planos de manutenção, assim como também foi utilizado o *know-how* de pessoas que já executaram este tipo de serviço anteriormente em outras empresas.

Posteriormente, foi apresentado a execução do estudo de caso em que foram realizados dois levantamentos para atingir a viabilidade do projeto:

- Levantamento dos dados dos equipamentos da planta industrial, analisando o funcionamento de cada equipamento, através de uma pesquisa de campo, gerando assim uma planilha em Excel com os dados coletados de 549 purgadores instalados nas linhas de vapor;
- Um levantamento estatístico do último ano do nível de vazamento encontrado nos purgadores de vapor do parque industrial através dos relatórios de inspeções realizadas durante este período;

Para realizar estas atividades, utilizamos algumas ferramentas de medição que nos auxiliaram no processo de inspeção, sendo elas uma câmera termográfica, um equipamento ultrassom e a inspeção visual do equipamento pelo time responsável pela manutenção do equipamento.

Após inspeção realizada em todos os purgadores da planta e realizada a avaliação do seu estado atual, foi verificada a necessidade de realização de manutenções preventivas em alguns destes purgadores, pois sem esta, foi possível observar perdas no sistema de vapor que impacta diretamente no aumento do consumo de gás natural na caldeira para geração do vapor da planta industrial.

Por fim, poderemos observar os resultados obtidos pela contratação de um fornecedor para a execução das manutenções necessárias, além dos ganhos e as melhorias identificadas no plano de ação realizado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para melhor compreensão do estudo, foi analisado primeiramente os principais conceitos, onde se foi obtida uma visão geral do estudo do vapor, caldeiras e purgadores, identificando as principais denominações, tipos, vantagens e desvantagens que influenciam diretamente e indiretamente na eficiência energética do sistema de vapor e as variáveis que custeiam a manutenção dos purgadores, bem como as justificativas para este investimento.

3.1. VAPOR

O vapor d'água pode ser tratado como a transformação física endotérmica que ocorre à água ao absorver calor proveniente de uma fonte e alterar seu estado físico passando do estado líquido para o gasoso. Este vapor foi utilizado como meio de transporte de energia na Revolução Industrial e antes de ser utilizado desta forma, já era muito utilizado para cozinhar alimentos. Atualmente o vapor é uma ferramenta indispensável em muitas fábricas e processos industriais, devido sua versatilidade com diversas aplicações e a possibilidade de ser reutilizado, sendo assim bem prático para o transporte de energia.

Para Peragallo (2002) o vapor de água é um elemento transportador de calor, ele consiste em água que devido à elevação de sua temperatura, mudou de estado físico, assim adquirindo pressões superiores à atmosférica. Esta mudança de estado favorece na sua movimentação através do percurso de tubulações e equipamentos.

A quantidade de energia térmica total disponível no vapor (calor) é dada pela soma entre o calor latente e o calor sensível presentes. O calor sensível é designado pela quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura da água sem que esta tenha uma alteração no seu estado físico. A quantidade de calor necessária para alterar o estado da água – à sua temperatura de ebulição – é denominada de calor latente (DIAS, 2012).

O vapor d'água se apresenta da seguinte maneira, calor deve ceder à água uma energia tal que, a sua temperatura aumenta até um valor específico em que ela não consegue mais se manter em estado líquido, este é o ponto de ebulição em que água começa a se tornar vapor. A sua formação acontece no momento que a água é aquecida e se torna vapor gerado de água, onde suas propriedades podem variar bastante a depender da combinação das condições de pressão e de temperatura. Por este motivo, através da combinação de pressão e temperatura, podemos classificar o vapor em categorias, sendo algumas delas como: Vapor Saturado, Vapor Superaquecido ou Água Supercrítica.

3.2. USO E APLICAÇÃO DO VAPOR

O vapor começou a ser utilizado na indústria a partir da Revolução Industrial, a sua aplicação era no acionamento de bombas, locomoção de locomotivas e outros similares através de uma força motriz. Após algum tempo, utilizar o vapor como força motriz foi diminuindo e nos tempos atuais temos a utilização principal do vapor como fonte térmica e de forma secundária, utilizando sua força motriz para geração de energia elétrica modelo conhecido como Cogeração.

Assim o vapor produzido por uma fonte geradora de vapor pode ser utilizado de diversas formas como: geração de energia elétrica, processos de fabricação e beneficiamento, geração de trabalho mecânico, aquecimento de linhas e reservatório de óleos combustíveis ou aromáticos e ainda na prestação de serviços.

Dias (2012) ainda explana que o vapor é utilizado como fonte de energia devido apresentar algumas características, sendo elas:

- É gerado a partir da água, fluido relativamente barato, seguro e acessível e grande parte do mundo;
- Permite armazenar e transportar uma quantidade de calor razoável, a uma temperatura satisfatória à maioria dos processos industriais;
- É facilmente transportado por tubagens, podendo percorrer grandes distâncias entre os pontos de geração e os pontos de consumo.

E por fim, o vapor pode ser empregado em diversos tipos de indústrias. São essas: Automobilísticas, farmacêuticas, alimentícias, pneumáticas, metalmecânico, metalúrgico, entre diversas outras. O estudo de caso aplicado neste trabalho evidenciará o trabalho executado numa indústria multinacional situada na Zona Franca de Manaus que faz a produção de pneus de moto e bicicleta, sendo ela uma das líderes deste mercado, no mundo.

3.3. PRODUÇÃO DE VAPOR

Os geradores de vapor são equipamentos que têm trocadores de calor complexos que produzem o vapor d'água através de pressões superiores a pressão atmosférica, devido a uma energia combustível e um elemento comburente, que é o ar. A produção de vapor pode ser realizada através de caldeiras, que funcionam como uma espécie de panela de pressão, aquelas devem estar totalmente alinhadas para que possam ter o melhor rendimento térmico possível.

De forma simples, podemos dizer que é um reservatório preenchido até certo nível de água – podendo variar de modelos e marcas de fabricantes – e esta é aquecida por uma fonte de calor contínua, gerado pela queima de algum combustível, como por exemplo o gás natural, e como resultado temos o vapor. Diferentemente da panela de pressão, que desperdiça o vapor produzido através da válvula de pressão e o não reabastecimento de água, devido sua função principal não ser produzir vapor, a caldeira ao aquecer a água tem como foco produzir o vapor a ser utilizado para industrialização, fazendo a transmissão do vapor produzido através das tubulações ligadas a ela. Outra característica importante é que a caldeira deve ser reabastecida

para que possa manter sua operação e todos seus parâmetros mínimos para produção do vapor de forma eficiente e segura.

3.3.1. Caldeiras

Segundo Bazzo (1995), nas indústrias do início do século XVIII muitos eram os inconvenientes gerados pela combustão local de carvão para geração de calor. As primeiras máquinas destinadas à geração de vapor surgiram para sanar este problema, uma vez que a energia captada em uma unidade central e distribuída para os diversos setores da empresa, através do vapor. Para fins industriais, a primeira caldeira criada foi desenvolvida na Inglaterra por Newcomen, seu formato era semelhante a um cogumelo e ela tinha peças auxiliares que ainda não haviam sido utilizadas em outros equipamentos industriais, como: válvulas de segurança, aparelhos de medição, dispositivos de níveis etc.

A caldeira é um recipiente metálico que tem como função a produção de vapor mediante o aquecimento de água. As caldeiras em geral são empregadas para alimentar máquinas térmicas, autoclaves para esterilização de materiais diversos, cozimento de alimentos através do vapor e calefação ambiental (ALTAFINI, 2002). No estudo de caso, o vapor produzido nas caldeiras tem algumas utilizações, entre elas: o aquecimento de prensas para vulcanização de pneus, utilizado com unidades de controle de temperatura para manter o funcionamento de máquinas.

Uma última definição para as caldeiras é dada pela NR13 (2020) – Norma Regulamentadora – que classifica as caldeiras a vapor como equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os referedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo.

A energia térmica produzida nas caldeiras pode ser liberada de algumas formas, esta liberação dependerá de geradores de vapor, para ALFATINI (2002) estas formas são:

- Resistências Elétricas;
- A queima do combustível sólido, líquido e gasoso, os exemplos para cada forma são respectivamente: lenha, óleos derivados do petróleo e gases de combustão – natural ou biogás.

Assim podemos classificar as caldeiras em dois principais grupos: as caldeiras abastecidas através de energia elétrica e caldeiras abastecidas através de combustíveis.

3.3.1.1. Caldeiras Elétricas

As caldeiras elétricas são equipamentos simples, elas são compostas basicamente por um vaso de pressão onde a água é aquecida por eletrodos ou resistências. O seu índice de eficiência é bem elevado, de ordem de 95% a 98% (ELETROPAULO, 2004).

Podemos classificar as caldeiras elétricas em duas formas, devido à maneira de aquecer a água:

- Resistores: nas caldeiras que são usados resistores para aquecer a água, o aquecimento acontece devido a resistências elétricas que ficam imergidas na água.
- Eletrodos: nas caldeiras em que são usados eletrodos, a água é aquecida através da passagem de corrente elétrica.

Apesar deste tipo de caldeira ter um manuseio e automação fáceis, ela não tem sido utilizada ou comprada com frequência no mercado. Isto devido a uma de suas desvantagens, a caldeira elétrica é dependente de uma fonte de energia elétrica maior que as caldeiras a combustível, assim, sofrendo impacto através do custo da energia elétrica, que atualmente tem aumentado progressivamente em diversos países. Logo, devido a esta principal desvantagem muitas empresas preferem utilizar as caldeiras abastecidas através de outros combustíveis.

3.3.1.2. Caldeiras a Combustível

Este tipo de caldeira realiza o aquecimento da água através da queima de algum combustível. Como as caldeiras elétricas, podemos classificar a caldeira a combustível de duas maneiras: caldeiras aquatubulares e caldeiras flamotubulares. Podemos caracterizar os tipos de caldeira da seguinte forma:

- Aquatubular: Dentro deste equipamento existem tubos, onde a água é aquecida através de sua passagem no interior deles, estes tubos são

envolvidos pelos gases comburentes. É também conhecida como caldeira de paredes de água ou caldeira de tubos de água.

- **Flamotubular:** O funcionamento desta máquina acontece de forma contrária ao de caldeira aquatubular, os gases aquecidos da combustão circulam no interior dos tubos que passam por toda a extensão do reservatório de água, onde enfim é aquecida e produz vapor.

Na tabela a seguir, são mostradas as principais vantagens e desvantagens dos tipos de caldeiras alimentadas através de combustíveis:

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos principais tipos de caldeiras

Tipos de Caldeiras	Vantagens	Desvantagens
Aquatubulares	Grande capacidade de produção de vapor; Temperatura de trabalho acima de 450°C; Partida rápida; Vida útil longa;	Alto custo de aquisição; Sua aplicação deve ser feita para empresas e indústrias de grandes demandas de vapor; Incapaz de pequenas produções de vapor;
Flamotubulares	Baixo custo de aquisição; Baixo custo de manutenção; Fácil construção;	Eficiência menor que caldeiras aquatubulares; Aplicada em empresas e indústrias de pequeno e médio porte por menores demandas de vapor; Limites de pressão de trabalho e produção de vapor menores;

Fonte: Elaborado pelo Auto

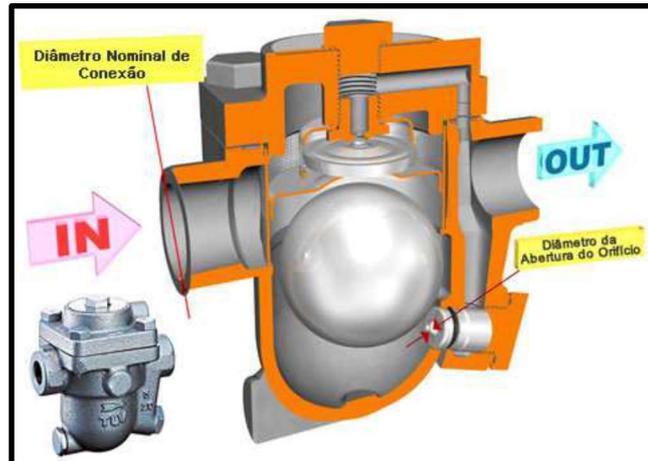
Um importante ponto que a economia de gases e de vapor pode ser realizada com estudos e projetos em caldeiras, com melhorias de eficiência nos equipamentos, pré-aquecimento da água, purgas nas caldeiras, instalações de distribuição de vapor de sistemas automáticas de drenagem de condensado – purgadores, sistemas para recolher e tratar condensados etc. Seguindo estas variáveis, o estudo foca na economia de energia através de sistemas de purgadores, para isso é necessário entender como é o seu funcionamento e suas características.

3.4. PURGADOR

O purgador de vapor é um equipamento que faz separação do vapor e do condensado automaticamente – de forma mecânica, sem necessidade do uso de energia elétrica – estes são recebidos através de tubulações vindas da caldeira. Devido à exposição dos tubos ao meio externo, o vapor produzido nas caldeiras e transportador através das tubulações acaba sendo condensado – perdendo energia para o meio ambiente. Então, é neste momento em que o purgador de vapor trabalha, ele retém o vapor e evita que a água, também chamada de condensado, entre nas máquinas ou equipamentos que são alimentados através deste vapor.

Inicialmente, a água era removida através de uma abertura de tempos em tempos de uma válvula para purgar o condensado, ou então, uma válvula levemente aberta o tempo todo para descarregar o condensado, só que ao mesmo tempo o vapor era desperdiçado. Logo, foram identificadas que estas não eram as melhores maneiras de realizar o processo de liberação do condensado, pois havia desperdício de tempo do trabalhador e perda de vapor. Após esta avaliação e visto o crescimento do consumo e da utilização do vapor nas indústrias, foi desenvolvida uma válvula para remover o condensado automaticamente e este foi o momento em que o purgador de vapor começou a ser utilizado. Segue abaixo imagem ilustrativa para exemplificar o purgador e seus orifícios de entrada e saída:

Figura 1: Purgador mecânico tipo boia livre



Fonte: <https://www.tlv.com/global/BR/>

A empresa TLV® (2022) – fabricante de purgadores no mercado – define o purgador de vapor da seguinte maneira: purgador de vapor é uma válvula autônoma que drena o condensado automaticamente de um invólucro que contenha vapor e que ao mesmo tempo permaneça vedado para o vapor vivo, ou se necessário, que permita que o vapor flua a uma taxa controlada ou estabelecida. A maioria dos purgadores de vapor também passará gases não condensáveis enquanto permanecem vedadas ao vapor vivo.

Por fim, os purgadores de vapor são dispositivos automáticos, cuja finalidade é separar e eliminar o condensado formado nas tubagens de vapor e nos equipamentos de aquecimento, sem deixar escapar o vapor (DIAS, 2012).

3.4.1. Tipos de Purgadores

Segundo Decol (2012), os purgadores podem ser divididos em três grandes grupos: os purgadores mecânicos, os purgadores termostáticos e os purgadores termodinâmicos. Segue a definição do funcionamento apresentada pela empresa Spirax Sarco® (2022), fabricante de purgadores, válvulas e acessórios para linhas e sistemas de geração de vapor, para cada um dos citados acima:

- Purgadores mecânicos: usam a diferença de densidade entre o condensado e o vapor. O exemplo mais comum deste tipo é purgador de boia.

- Purgadores termostáticos: usam a diferença de temperatura entre o vapor e o condensado resfriado. Os exemplos para estes tipos de peças são o purgador termostático de pressão balanceada e o purgador termostático de expansão metálica.
- Purgadores termodinâmicos: usam a diferença de pressões dinâmicas do condensado a baixas velocidades e do vapor reevaporado a velocidade mais altas, o exemplo deste tipo é o purgador de disco.

Como foi explicitado o purgador é uma peça importante num sistema de distribuição de vapor, ele age na interação entre a rede de distribuição de vapor e o sistema de recuperação de condensado. Uma de suas desvantagens é que ele pode ser responsável por perdas de água e energia, devido ao mesmo apresentar ineficiências no seu funcionamento como: entupimento de fluxo, corrosão de orifícios de recepção e/ou saída de fluidos, instalação inadequada do equipamento, uso de um tipo de purgador inadequado para o objetivo final etc. Por isso, quando um purgador tiver que ser escolhido, três aspectos precisam ser considerados com relação à sua aplicação:

- A escolha do tipo de purgador mais adequado;
- O correto dimensionamento e escolha de sua localização;
- Um plano de inspeção e manutenção para manter seu funcionamento correto.

3.4.2. Escolha do Purgador Adequado

Durante a escolha do purgador, devem ser avaliadas as variáveis do meio onde cada purgador irá ser instalado, ou seja, é necessário verificar a aplicação requerida ao purgador e alocar de acordo com o ambiente. Para DIAS (2012) esta avaliação propõe obedecer a alguns fatores como:

- Quantidade de condensado a ser eliminado;
- Frequência da purga do condensado;
- Perda admitida de vapor vivo;
- Quantidade de ar e outros gases presentes no vapor;

- Ação corrosiva ou erosiva do vapor ou do condensado;
- Baixo custo de aquisição;
- Facilidade de manutenção;

Logo, pode-se verificar que existem diversas alternativas e possibilidades para a escolha do equipamento mais adequado, caberá à equipe que estiver fazendo o estudo, a implantação e ainda a manutenção das linhas de vapor, fazer a identificação do purgador que melhor se adapta ao seu pátio fabril.

3.4.3. Dimensionamento e localização

O principal objetivo das linhas de vapor é abastecer de maneira confiável os equipamentos da planta industrial com um vapor de alta qualidade. Para que este processo ocorra perfeitamente é necessário que o condensado seja removido de maneira rápida e eficiente através dos purgadores instalados em locais de descarga adequados. Visto a importância da utilização do purgador, a sua instalação não pode ser feita de qualquer maneira. Assim, alguns critérios devem ser seguidos quando esta instalação for iniciada para certificar que os purgadores irão funcionar corretamente e que os locais de instalação sejam os mais adequados.

Para fazer um bom dimensionamento e uma boa instalação, a empresa TLV aponta quatro diretrizes – chamadas de “Quatro Melhores Práticas” – para que a instalação dos purgadores seja feita da maneira correta. Estas quatro “Melhores Práticas” são orientações para auxiliar na garantia da descarga suave do condensado nas linhas de vapor para prevenir a ocorrência de problemas típicos de vapor. Elas são expostas da seguinte forma:

- Escolha cuidadosa das localizações do purgador;
- Fornecer apoio ideal e tubulação de vapor inclinada;
- Atenção para a configuração da perda de dreno (Bota de condensado)
- Remoção adequada de ar e condensado no final da linha de vapor

3.4.3.1. Escolha cuidadosa das localizações do purgador

A primeira diretriz a ser aplicada é com a relação ao local de instalação do purgador, diversos pontos devem ser avaliados para a definição do local, entre eles: altura, distância de pontos, tamanho da seção transversal da tubulação etc. A instalação dos purgadores deve ser realizada nas seguintes situações:

- A cada intervalo de 30 a 50 metros na linha de vapor;
- Antes de válvulas redutoras de pressão (controle) para prevenir o acúmulo do condensado quando a válvula estiver fechada. O purgador também ajuda a reduzir erosão do assento da válvula ocasionado pelo condensado.
- Na frente de válvulas fechadas por longos períodos para ajudar a eliminar a poça de condensado, que de outra maneira poderia ser propelida à alta velocidade, duto abaixo quando a válvula manual for aberta. Da mesma maneira, um purgador de vapor é necessário no final da tubulação para ajudar a drenar o sistema para uma operação segura e efetiva;
- Na parte inferior das seções de tubulação vertical porque a decolagem vertical pode ajudar o condensado não arrastado e acumulado a mudar de sentido devido à gravidade.

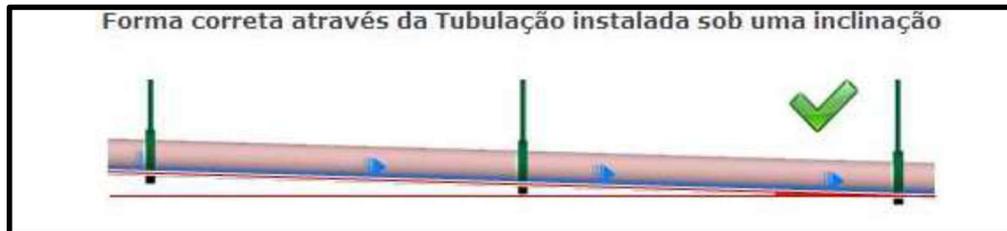
3.4.3.2. Fornecimento do apoio ideal

Outro ponto importante a ser avaliado são as instalações onde as tubulações de vapor estão alocadas. Caso os suportes para tubulações sejam instalados de maneira muito distante, a tubulação pode provocar desvio da direção – curvas e inclinações – devido ao seu próprio peso, podendo causar alagamento de condensado nas linhas de vapor. Portanto, é importante realizar a instalação das tubulações seguindo três critérios:

- Instalar suporte de tubulação em intervalos apropriados;
- Instalar tubulação sob uma inclinação não inferior a 1/100.
- Tubulação não deve ser instalada paralela ao chão, já que isto impede a passagem do fluxo de condensado.

A figura 2 representa a forma correta da instalação das tubulações de passagem de vapor:

Figura 2: Forma correta de instalação de linhas de vapor



Fonte: www.tlv.com

3.4.3.3. Configuração da perna do dreno

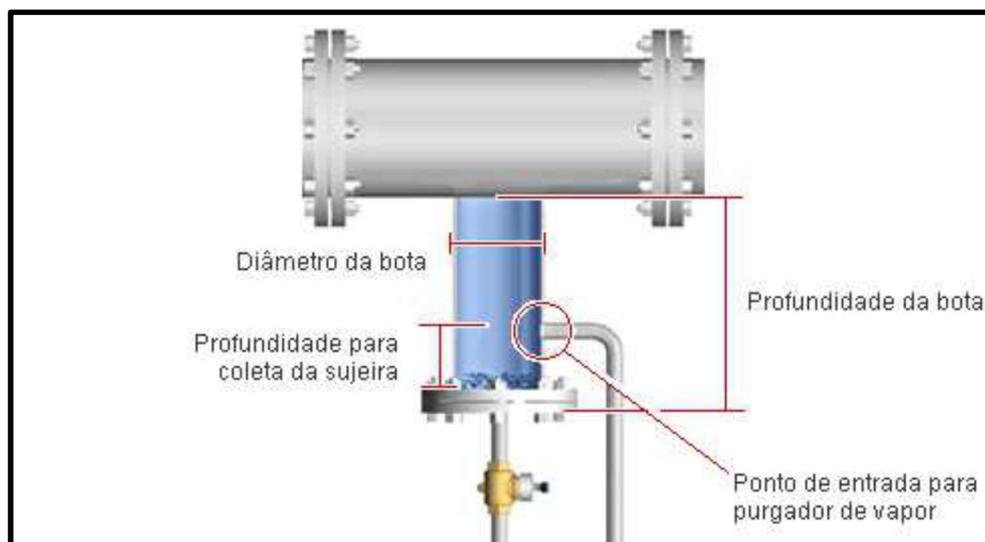
A organização das conexões das linhas de vapor e dos purgadores é uma variável importante no dimensionamento das instalações. Segundo a TLV, em alguns casos, as tubulações de mesmo diâmetro da entrada do purgador de vapor são utilizadas para conectar diretamente o purgador na linha de vapor. Mas, esta prática não é recomendável na maioria dos casos, pois se a linha de vapor for significativamente maior em diâmetro, é possível que o condensado que passa muito rápido pela linha, não consiga entrar facilmente em pequenas aberturas, assim pode ultrapassar as pernas de coletas na maioria das vezes.

A tubulação chamada de perna de dreno ou bota de condensado é uma tubulação maior, com dimensionamento adequado, é normalmente instalada para auxiliar na realização da remoção do condensado. As botas de retorno de condensado podem ser especialmente importantes em operações que estão sendo iniciadas, pois elas atuam na liberação de sujeiras vindas do condensado formado pelo aquecimento das tubulações, além de evitar o acúmulo de condensado nas tubulações evitando a possibilidade de haver golpes de aríete ou até mesmo a formação de pistões hidráulicos – momento onde a onda que formaria um golpe de aríete passa a ocupar toda a sessão transversal do tubo, formando um golpe mais crítico e destrutivo à tubulação.

A Figura 3 abaixo representa a bota de condensado (perna de dreno) adequada ao correto dimensionamento que deve conter os fatores a seguir: diâmetro da bota, profundidade da bota, profundidade da porção de acúmulo da sujeira e ponto

de entrada para purgador de vapor. Estes fatores devem ser selecionados e conectados cuidadosamente para permitir que a atuação do purgador seja a mais suave possível.

Figura 3: Bota de Condensado



Fonte: www.tlv.com

3.4.3.4. Remoção adequada de ar e condensado no final da linha de vapor

Outro ponto de extrema importância que temos é o tópico que trabalha a remoção do ar e do condensado ao final da linha de vapor. Segundo a TLV, no final das linhas de distribuição do vapor, é importante remover o ar que se encontra inicialmente presente nas tubulações durante o início da operação. Para que esta remoção ocorra corretamente ao final da linha, é importante que sejam instalados purgadores conhecidos como eliminadores de ar, para prevenir o bloqueio de ar dentro das tubulações e seja instalada uma bota de condensado para que a peça possa realizar a condensação do vapor que chega ao final da linha e seja descarregado adequadamente como condensado às linhas de retorno.

3.4.4. Inspeção e manutenção de purgadores

O monitoramento de purgadores é uma etapa muito importante no controle do consumo eficiente de vapor e conseqüentemente no custo de energia, pois se não houver uma inspeção e uma manutenção adequada ao processo e ao equipamento,

poderá haver muitas perdas de vapor. Para evitarmos este tipo de contratempo, se faz necessário um plano de monitoramento adequado e elaborado de acordo com os tipos de purgadores existentes e as suas respectivas localizações na rede de vapor.

Para que o acompanhamento seja realizado, é necessário avaliar as variáveis deste cenário. Para isso podemos utilizar procedimentos ou equipamentos indicados pelos fabricantes dos equipamentos como a seguir:

- **Caça Vazamentos:** Muito utilizado em linhas de vapor, mas requer experiência da parte do observador para que possa identificar de forma eficaz os vazamentos à olho nu.
- **Visores de Condensado:** Ferramenta muito importante, normalmente instalada na saída do purgador. Mesmo não sendo possível avaliar com precisão a perda de vapor – caso o purgador esteja danificado – ainda assim é possível verificar a quantidade de purgas por minuto ou se há vazamentos internos.
- **Câmera Termográfica:** Equipamento de medição que pode ser utilizado para verificar a temperatura externa dos purgadores. Assim é possível avaliar o estado deste purgador, sempre lembrando que a temperatura de entrada do purgador deve ser superior à temperatura de saída e da tubulação de retorno de condensado.
- **Sonda Ultrassônica:** Para inspeções mais criteriosas, este equipamento é utilizado para obter uma informação mais precisa do estado do purgador. O aparelho avalia a quantidade de decibéis produzidos através da passagem do vapor ao purgador, além de possibilitar a avaliação se há uma passagem constante do vapor (vazamentos) ou não.

3.5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE PURGADORES

No estudo realizado, algumas das ferramentas apresentadas acima foram utilizadas com eficiência e por isso se faz necessário detalhar como é feita uma inspeção e quais os tipos de manutenção devemos realizar para se atingir o objetivo de redução de consumo de vapor.

3.5.1. Procedimentos de Inspeção

A inspeção é uma etapa fundamental para identificar os problemas e avaliar os riscos existentes para uma organização, desta forma a mesma consiste numa avaliação e em seguida de um diagnóstico.

Para que sua inspeção seja eficiente, é necessário que se conheça o local estudado e possua um mapa dos equipamentos que precisam ser inspecionados, assim diminuirá a possibilidade de erros ou gasto de tempo em locais ou equipamentos indesejados. Após o levantamento dos equipamentos e com mapa à disposição, é possível iniciar a atividade de inspeção.

Durante a atividade, é possível utilizar todas as ferramentas apresentadas neste documento, cada uma delas seguindo seu objetivo. Em nosso estudo, durante a avaliação de funcionamento dos purgadores, utilizamos principalmente dois equipamentos para coleta de dados, sendo eles a sonda ultrassônica e a câmera termográfica.

A sonda ultrassônica, em geral, foi mais utilizada devido obter um resultado mais preciso na inspeção dos purgadores frente à câmera térmica. A sonda ultrassônica utilizada em questão é a Ultraprobe 100, UE Systems INC.

3.5.1.1. Sonda Ultrassônica – Sensor Ultrassônico Ultraprobe 100

O aparelho Ultraprobe 100 é um equipamento que foi utilizado como ferramenta de diagnóstico e avaliação do correto funcionamento dos purgadores instalados na planta, assim como também pode ser utilizado para detectar perdas em sistemas de vapor e de ar comprimido por avaliar o nível de ruído da linha que está sendo estudada, assim podendo detectar derivas. Este aparelho é alimentado através de uma bateria 9V comumente encontrada no mercado e transmite as informações através de indicadores de nível de dB (decibéis) através de um display de gráfico de barras, que consiste em dez LEDs que indicam a intensidade do sinal ultrassônico. O equipamento também dispõe de um regulador de níveis onde o utilizador poderá decidir qual faixa mínima de dB decidirá por detectar variando de 0dB a 70dB.

O equipamento também possui a sonda removível e um gatilho. Para que as leituras sejam feitas é necessário que o gatilho esteja pressionado. Existe uma entrada para fones de ouvido do tipo P2 para que possa ouvir os ruídos detectados pela sonda durante a operação do aparelho.

Figura 4: Sonda Ultrassônica Ultraprobe 100



Fonte: Imagem tirada pelo Autor

Antes de avaliar um purgador, devemos ter previamente as informações sobre ele, para que as leituras do equipamento possam ser interpretadas corretamente. Abaixo podemos observar algumas características importantes de serem observadas antes de realizar a inspeção:

- Tipo de Purgador (boia livre, termodinâmico, bimetálico etc.);
- Pressão máxima de trabalho;
- Aplicação do purgador;
- Carga de Condensado;

Com estes dados em mãos, é possível conhecer o purgador a ser estudado e verificar o nível de ruído esperado para ele, possibilitando avaliar se o nível de ruído obtido durante as inspeções está abaixo, acima ou dentro do nível esperado. E a partir daí, podemos gerar nosso plano de manutenção visando uma rede de vapor mais eficiente e um vapor com maior qualidade para nossos equipamentos.

3.5.2. Procedimentos de Manutenção

A manutenção é um conjunto de medidas necessárias que permitem manter ou restabelecer a um sistema o estado de funcionamento. A manutenção dos equipamentos de produção é um elemento chave para que haja uma alta produtividade com o menor custo, além de garantir a qualidade esperada. Quando observamos a manutenção em si, podemos observar tipos de manutenção diferentes e cada um com sua característica específica.

3.5.2.1. Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva tem como foco corrigir uma falha que não deveria acontecer naquele período, ocasionando uma parada repentina no funcionamento da máquina e causando impacto no rendimento de produção da fábrica. Este tipo de manutenção é utilizado, principalmente, quando existe uma máquina ou equipamento que está com seu funcionamento comprometido e apresenta um risco à produção, devido ao fato de cada fração de tempo em que este equipamento permanece sem funcionar, representa custos para a empresa, tanto pelo custo da manutenção em si, quanto pela perda de produção. Assim, para que sejam evitados problemas ainda maiores, se faz importante dois fatores para a resolução do problema: uma equipe de manutenção competente e com treinamento adequado para atuar no momento que houver a necessidade e em caso de equipamento, peças de reposição em estoque para que haja a facilidade de localização desta peça e possibilite a rápida correção do defeito encontrado.

Segundo Candido (2010) a manutenção corretiva é aquela que executa intervenções urgentes quando ocorre uma parada imprevista de uma máquina por motivo de quebra ou defeito no material que ela produz. O mecânico de manutenção ou uma equipe de manutenção vai até a máquina verificar a situação e determina o que dever ser feito de acordo com os recursos disponíveis: peças de reposição e pessoal.

3.5.2.2. Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva tem como foco principal reduzir a necessidade da manutenção corretiva, ou seja, busca minimizar quebras ou falhas de máquinas através de trocas de peças que apresentem desgaste, vibrações etc. A manutenção preventiva deve seguir um plano de trabalho previamente elaborado, baseado em intervalos de tempo. De acordo com Xavier (2003) um dos segredos de uma boa manutenção preventiva está na determinação dos intervalos de tempo. Como forma de segurança, comumente tendemos a utilizar intervalos de tempo normalmente menores que o necessário, o que implicam em paradas e troca de peças desnecessárias e um aumento no custo de manutenção.

Este tipo de manutenção normalmente é utilizado em plantas onde possíveis falhas podem provocar grandes impactos na produção e por isso é decidido assumir um custo mais elevado pela repetição de trocas durante um intervalo de tempo, frente ao risco de ter sua máquina ou equipamento parado, comprometendo parte ou até toda a operação da produção.

3.5.2.3. Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva tem como objetivo programar suas manutenções baseadas em dados coletados através de um monitoramento. Diferentemente de uma manutenção preventiva que seguirá um calendário previamente estabelecido, a manutenção preditiva pode atuar através de um monitoramento constante ou periódico, gerando relatórios indicativos do estado do equipamento o que traz uma precisão maior para intervenções de troca de peças, evitando paradas e custos desnecessários para a empresa.

Portanto a manutenção preditiva antecipa o acontecimento de algum problema ou necessidade de intervenções de manutenção e através de seu monitoramento elimina as desmontagens desnecessárias, conseqüentemente aumentando o tempo de disponibilidade dos equipamentos, reduzindo a quantidade de paradas emergenciais, além de aumentar o aproveitamento da vida útil das peças e equipamentos, gerando maior confiabilidade e desempenho do seu parque industrial.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS

A empresa em que o estudo de caso foi aplicado é uma Multinacional, uma das maiores do segmento, que se posiciona entre as principais líderes de mercado. Com mais de 130 anos de história, presença comercial em mais de 140 países e cerca de 69 unidades industriais espalhadas por todos os continentes do mundo, visando qualidade e inovação no desenvolvimento de seus produtos e serviços. Hoje, algumas das áreas em que atua são: carros, motocicletas, bicicletas, veículos de carga, aviões etc. Esta empresa possui mais de 112mil funcionários em todo o mundo e no Brasil são mais de 6mil funcionários.

A empresa que foi contratada para a execução do serviço, a Empresa 1 tem mais de 100 anos de experiência em sistemas de vapor e em todas as indústrias que a empresa contratada passou, resultou em excelentes economias de custo e aumento na eficiência do uso do vapor. Possui mais de 1.100 engenheiros que trabalham em 33 países em todo o mundo, estes são especializados em cada especificação do sistema de vapor.

4.2. OBJETIVOS DO CONTRATO DE MANUTENÇÃO

Dentre os objetivos estudados, alguns foram definidos como pontos chave para que a prestação de serviço fosse um sucesso: a contratada deve realizar o mapeamento de todo o sistema de purga e drenagem de condensado da empresa, deve também fazer a inspeção do sistema de purga e drenagem de condensado bem

como fazer sua manutenção em caso de encontrar derivas para que, ao fim de suas intervenções, possa alcançar a marca de no máximo 4% de derivas em purgadores.

4.3. IDENTIFICAÇÃO DE VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA

As equipes de manutenção da fábrica de produção de pneus, são responsáveis por manter a planta em funcionamento, através do controle de fluidos, energia, peças de reposição, manutenção dos equipamentos em geral etc. Dentre estes objetivos, foi colocado no ano de 2021 que um dos objetivos destes grupos, deveria realizar uma redução no consumo de energia em até 4%. Para isso, foi criado um plano estratégico de projetos e ações a serem tomados para que este marco fosse alcançado, sendo estes a seguir: manutenção de redes de fluidos retirando vazamentos, aplicação de isolamentos térmicos em pontos que não existiam e substituição de isolamentos degradados, instalação de luminárias LED em galpões e instalação de luminárias solares em áreas externas, entre outros.

Após este primeiro *Brainstorm* – técnica de dinâmica de grupo desenvolvida para explorar a potencialidade criativa de um indivíduo ou de um grupo colocando-a a serviço de objetivos pré-determinados – foram definidas quais seriam os pontos principais a serem pilotados a fim de garantir o objetivo estabelecido para o time de manutenção. Dentre estes pontos, está o foco do nosso estudo, que é a manutenção dos purgadores e botas coletoras de condensado.

Para que possamos estudar a viabilidade deste estudo, se faz necessário primeiramente identificar o cenário atual da fábrica, observando os pontos que influenciam a geração e o consumo de vapor. O primeiro ponto a ser identificado é: a geração de vapor da fábrica estudada se faz através de uma caldeira flamotubular AALBORG M3P com capacidade de geração máxima de 15ton/h de vapor e pressão máxima de trabalho de 18bar. O índice de eficiência desta caldeira deve ser acima de 85% para que haja a produção de um vapor de qualidade sem o consumo desnecessário de combustível.

Outros pontos importantes a serem observados, são o consumo de água e o consumo de gás natural, sendo estes matéria-prima para a geração do vapor. Com isso, podemos observar que o abastecimento de água tende a ser o mesmo durante o funcionamento da caldeira, por ser contínuo e ter como objetivo manter o nível de

água da caldeira em aproximadamente 55% da sua capacidade. Já o gás natural pode variar seu consumo de acordo com o volume de água e principalmente de acordo com a temperatura que esta água está entrando na caldeira.

Além disso, podemos observar também um outro ponto importante para o nosso estudo que é o ambiente em que estão instaladas as linhas de vapor. Este ambiente podendo ser frio, quente ou intermediário. Na planta da fábrica estudada, parte das linhas de vapor possuem isolamentos térmicos e parte ficam expostas ao meio ambiente, mas a localização da fábrica no bairro do Lago Azul, na cidade de Manaus, implica num ambiente quente, o que minimizará, em partes, as perdas de calor que outras unidades da mesma empresa situadas em locais frios. Em outras fábricas desta mesma empresa as tubulações devem ficar abrigadas em galpões ou até mesmo enterradas, devido a questões ambientais muito frias, fazendo com que o vapor passado pelas tubulações condense muito mais rápido devido à troca térmica com o meio ambiente gelado.

Por fim, outro ponto de grande influência no consumo do vapor, é a localização e aplicação dos purgadores, como vimos na revisão bibliográfica, cada purgador tem sua aplicação específica e para isso deve ser instalado no ponto ideal para que sua função possa ser garantida, aumentando a eficiência da linha de vapor.

Assim, conhecendo nossas principais variáveis de influência, conhecendo o objetivo de reduzir o consumo de energia em 4% e sendo este um desafio entregue ao time de manutenção, a equipe técnica identificou a necessidade de um plano de manutenção garantir um melhor controle das linhas de vapor. A equipe de manutenção da fábrica criou o projeto de manutenção, onde as etapas foram:

- Identificação da necessidade;
- Criação de um plano de ação;
- Execução do plano de ação;
- Aplicação de melhorias;

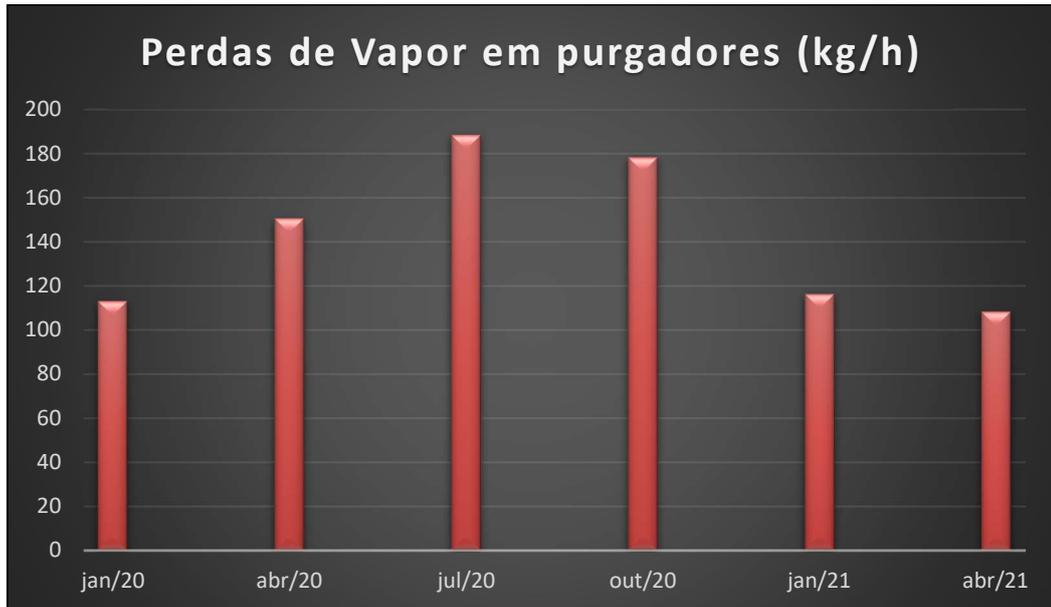
4.4. IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

Para iniciar o estudo, foram levantadas as últimas avaliações nas linhas de vapor e purgadores realizadas, pois já se havia visto uma necessidade com a manutenção destas peças, mas que não era dada a devida atenção. Ao se identificar um vazamento ou purgador com defeito, o time de manutenção optava por trocar o purgador em que apresentou defeito, sem que houvesse uma avaliação prévia do sistema de vapor ao redor do equipamento.

O principal motivo de purgadores causarem derivas no consumo de vapor se dá pela não identificação rápida do problema. Muitas vezes operadores e funcionários das áreas que estão instalados os equipamentos, por não terem o conhecimento técnico do equipamento e não possuir conhecimento aprofundado em sistemas de vapor acabam por não conseguirem identificar estas derivas, o que uma pessoa com mais experiência e conhecimento sobre purgadores consegue fazer esta identificação com mais rapidez.

A Figura 5 – Gráfico de análise de vazamentos – expõe a situação vivenciada no ano de 2020, onde é possível identificar um volume maior de perdas de vapor durante o período de 2019 com melhoras sensíveis em 2020. Estes dados foram coletados através da necessidade de manutenções corretivas nos períodos em que foram realizadas inspeções de purgadores e assim a equipe de manutenção da fábrica em que o estudo foi realizado pôde identificar a grande quantidade de purgadores apresentando mau funcionamento, conseqüentemente um consumo elevado e desnecessário de vapor. Devido ao fato de a equipe de manutenção ser enxuta, muitas vezes não se podia dar a atenção necessária aos purgadores, ocasionando demora para que as intervenções, trocas ou reparos acontecessem e assim, permitindo que os desperdícios permanecessem por mais tempo e por isso foi necessário contratar a empresa em questão para realizar a manutenção e o controle do nível de vazamentos da planta. Através das inspeções realizadas pela contratada, puderam ser identificados como principais influenciadores do mau funcionamento de purgadores: os golpes de aríete, principalmente em purgadores de boia e o elevado tempo para identificação das falhas.

Figura 5: Gráfico de Análise de Vazamentos de Vapor por Purgadores



Fonte: Elaborado pelo autor

Através do gráfico, podemos observar que a média de desperdício por vazamentos em purgadores no ano de 2020 estava em cerca de 157,59kg/h de vapor e para o ano de 2021 foi estabelecida uma meta de garantir não mais que 110kg/h até o final do ano.

Levando em consideração o mês de julho de 2020, onde houve a pior perda de vapor por mau funcionamento em purgadores (vazando, parado, bloqueado etc.), foi possível observar durante a medição uma relação de 8% do total de purgadores com derivas, podendo ser observado na Figura 6, abaixo:

Figura 6: Relação de performance dos purgadores



Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma podemos verificar que, devido à demora na identificação dos purgadores que estavam com defeito, eles foram se acumulando durante o tempo e conseqüentemente acumulando a perda de vapor que deveria ter seu consumo exclusivo como fonte de calor para o aquecimento das máquinas da linha de produção. Através desta perda contínua de vapor, é possível que seja calculado o custo desta perda utilizando os dados necessários e definição de variáveis de influência, além de identificar quais intervenções passam a ser mais vantajosas devido ao fato de ser necessário parar por determinado momento a produção do equipamento, para que seja feita a correção da deriva e garantia da economia no consumo de vapor, água, energia elétrica e gás natural.

Por estes motivos, a manutenção dos purgadores se torna uma peça-chave na redução do consumo de energia da planta e para isso é imprescindível que o processo de inspeção e manutenção de purgadores seja respeitado, para que os níveis de vazamentos sejam mínimos e possibilitando a viabilização do contrato gerado para a manutenção deles. O cálculo utilizado para determinar a viabilidade do contrato se deu a seguir:

$$\text{Custo de Vapor} = \frac{(Qt - Ta) * 1000}{PCI * \mu} * \text{Custo Gás Natural} \quad (1)$$

Legenda:

Qt: Calor total necessário para geração do vapor

Ta: Temperatura de entrada de água na caldeira

PCI: Poder Calorífico Interior do combustível

μ : Eficiência da Caldeira

Custo Gás Natural: Custo do m³ de gás natural fornecido

Estas são as variáveis identificadas como variáveis de influência necessárias para o cálculo de viabilidade. Elas foram fornecidas pela equipe de manutenção, através do acompanhamento diário destes dados. Para que todas as variáveis possam ser compreendidas com clareza, abaixo teremos uma breve explicação de cada uma delas:

- Qt: O calor total necessário para geração do vapor é todo o calor absorvido pela água até chegar no limite do seu estado líquido e prestes a iniciar o processo de ebulição para seguir ao estado de vapor. Seu valor utilizado para calcular o custo do vapor é encontrado na tabela de vapor saturado, facilmente achada *online*;
- Ta: temperatura de entrada de água na caldeira é uma variável importante de ser controlada devido fato de ser possível economizar energia de acordo com a temperatura da água, ou seja, quanto mais elevada a temperatura de entrada de água na caldeira, menor será a necessidade de exposição desta água à fonte de calor da caldeira para que seja produzido o vapor, conseqüentemente, será menor o consumo de gás natural;
- PCI: o poder calorífico dos gases é uma constante que representa a capacidade do combustível utilizado gerar energia através da sua combustão;
- μ : corresponde a eficiência energética dada pela relação entre o fluxo energético absorvido pelo fluido de trabalho (água) e o fluxo de calor total fornecido pelo combustível (gás natural) (CARVALO,2006);
- Custo Gás Natural: dado recebido através das faturas da empresa contratada e responsável pelo fornecimento de gás natural para a empresa estudada.

A partir da criação desta fórmula de viabilidade e a obtenção dos dados necessários para substituir as variáveis, podemos encontrar o custo necessário para geração de 1 tonelada de vapor sendo R\$228,09, encontrado através da Fórmula 2, a seguir:

$$Custo Vapor = \frac{[(667,1-63)*1000]*2,56}{8476*0,8} = R\$228,09 \quad (2)$$

Dados:

Qt = 667,1 kcal/kg

Ta = 63°C

PCI = 8476 Kcal/m³ °C

$$\mu = 80\%$$

$$\text{Custo Gás Natural} = \text{R\$ } 2,56/\text{m}^3$$

A partir deste momento, onde já podemos saber quanto custa para nossa central de vapor gerar uma tonelada de vapor, é possível também, quantificar o potencial de economia de vapor em um determinado espaço de tempo, que no nosso caso será dentro de um ano, devido ao fato da fábrica onde o estudo foi feito, trabalhar em regime de 24h, com três turnos de 8h por dia totalizando 720h em um mês e 8640h em um ano.

Desta forma, o valor potencial de economia pode ser encontrado através da multiplicação do Custo do Vapor pelo valor da perda mensal ou anual em toneladas de vapor. Para tornar esta relação mais clara, foi montada a tabela 2 que irá evidenciar as perdas e assim demonstrar o potencial de economia criado através da utilização do contrato de inspeção e manutenção de purgadores da planta.

Tabela 2: Perdas de vapor e seu impacto financeiro

	Perdas (t)	Custo (R\$)
Mensal	113,47	25.881,37
Anual	1361,64	310.576,46

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com isto, através deste estudo realizado, foi possível quantificar e entender o grande impacto no custo da fábrica devido à falta de atenção dada anteriormente para os purgadores da planta que passavam muito tempo sem inspeções e sem manutenção periódica para minimizar estes problemas. Assim, a melhor maneira de corrigir este problema é a partir da execução de um plano de ação baseado na criticidade dos pontos e no tempo para reparo.

Podemos observar que está sendo desperdiçado aproximadamente 210mil reais em faturas de gás natural por desperdícios de vapor em purgadores e além disso também podemos perceber que através da manutenção destes equipamentos, podemos minimizar este impacto reduzindo significativamente este desperdício. Levando em consideração que este custo de vapor, está diretamente ligado ao

consumo de Gás Natural, podemos observar que temos um potencial de economia de cerca de 81.780m³ do nosso combustível bem como diminuir as emissões de CO₂ para o meio ambiente.

4.5. CRIAÇÃO DE UM PLANO DE AÇÃO/MANUTENÇÃO

Após obter os dados, quantificar e verificar o potencial de economia, se fez necessário a criação de um plano de ação para que houvesse uma melhoria na performance geral do consumo de vapor da fábrica e possibilitando que as condições da planta industrial pudessem evoluir. Desta forma, a equipe da manutenção juntamente da equipe comercial da empresa buscou ações necessárias para a resolução do problema indicado.

Uma dificuldade encontrada pelas duas equipes, após a análise da equipe técnica da manutenção para correção dos purgadores com defeito, foi observada que a empresa contratante não possuía um número adequado ou suficiente de funcionários com o conhecimento necessário para fazer o controle e a identificação dos problemas dos 649 purgadores, desta forma se fez necessário terceirizar a mão de obra especializada em purgadores para corrigir e controlar estes pontos.

A partir daí, outra atitude tomada foi buscar no mercado empresas especializadas em sistemas de vapor que poderiam atender a demanda solicitada. Além disso, é sabido que os purgadores da fábrica estão divididos majoritariamente em apenas 2 marcas do mercado e por este motivo foi dada preferência para que uma destas duas empresas pudesse fazer este serviço. Esta decisão se deu pelo fato do contrato de inspeção e manutenção de purgadores tornar obrigatório por parte da contratada assumir os custos de troca dos purgadores da sua marca, onde a empresa contratante iria arcar apenas com os custos dos purgadores que não fossem da mesma marca da empresa contratada, o que inviabilizou a concorrência de outras empresas do mercado.

Através do contrato redigido e enviado aos fornecedores, foi exigido que eles enviassem suas propostas técnicas e comerciais contendo todas as exigências evidenciadas no contrato. Desta forma a empresa contratada enviou sua proposta que foi validada e aprovada pelas equipes de manutenção e comercial e assim possibilitando que a empresa contratada pudesse iniciar a execução do serviço.

O investimento necessário pode ser observado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Investimento necessário

	Meses	Preço mensal	Total (R\$)
Inspeção e Manutenção	12	12.102,65	145.231,80
Fornecimento de Peças	12	6.458,27	77.499,24
Total			222.731,04

Fonte: Elaborado pelo Autor

Com os dados do desperdício de vapor quantificados e com o valor total do investimento necessário, se fez possível a definição do ROI (*Return of Investment*) ou *payback* (relação entre o valor investido anual e o potencial de economia anual). Assim, foi possível observar que em cerca de 1,06 ano é possível chegar no *payback* através das economias geradas pela realização do serviço da empresa contratada. A Fórmula 3 a seguir demonstra como foi possível obter este valor:

$$Payback = \frac{Investimento\ Total\ Anual}{Potencial\ Economia\ Anual} = \frac{R\$222.731,04}{R\$210.087,81} = 1,06\ ano \quad (3)$$

Após análise de todos os dados expostos anteriormente foi possível formalizar a contratação da empresa através de uma minuta de contrato de manutenção industrial contínua, onde a contratada torna-se então uma parceira da contratante e assim deverá cumprir todos os itens acordados no contrato e no dossiê de contratação.

4.6. EXECUÇÃO O PLANO DE AÇÃO/MANUTENÇÃO

Com a conclusão da elaboração do trabalho e com a empresa que prestaria o serviço, devidamente contratada, com este contrato sendo iniciado em Maio de 2021, foi começada a execução das ações levantadas pelo time e o cumprimento das ações pré-estabelecidas no contrato.

4.6.1. Mapeamento do Sistema

De acordo com as ações definidas dentro do contrato estabelecido, a primeira etapa das ações foi a realização do mapeamento de todo o parque de purgadores instalados na planta, sendo estes pontos de purgadores instalados em máquinas ou linhas de drenagem de condensado (botas de condensado) da empresa em que o estudo foi aplicado. Para isso, foi utilizado o *layout* das tubulações de vapor da planta e as plantas baixas da área onde a empresa se localiza. Assim, foi criada uma planta de identificação da localização de cada purgador com o auxílio do software AutoCAD®. Com o mapeamento realizado, pôde ser realizada a identificação de cada purgador com uma plaqueta, para que fosse possível o cadastramento da peça em um sistema de gestão. As plaquetas utilizadas são de aço inoxidável e possui uma padronização de gravação sugerido pela empresa contratada, contendo a numeração do purgador instalado e o logotipo da empresa.

O prazo para realização deste mapeamento foi determinado previamente dentro do contrato, sendo este de 60 dias, a partir do fechamento do contrato de prestação de serviços contínuos.

4.6.2. Inspeção do Sistema de Purgadores

A próxima ação a ser tomada, após feito o mapeamento dos purgadores e identificação dos mesmos, é a avaliação dos purgadores através da inspeção, utilizando as ferramentas previamente mencionadas neste documento, como a Sonda Ultrassônica Ultraprobe 100 sendo o principal instrumento utilizado, mas também sendo utilizado em outros casos a câmera térmica para auxiliar o diagnóstico.

Assim, para quantificar as perdas associadas, é necessário que a pessoa a realizar este diagnóstico, seja alguém habilitado, capacitado para tal, sendo em geral, técnicos em mecânica com experiência comprovada em sistemas de vapor juntamente com um engenheiro responsável que irá verificar e validar o diagnóstico realizado.

O processo de inspeção e diagnósticos foi realizado três vezes durante o ano, previstos para acontecerem durante a vigência do contrato, podendo ser solicitado pela empresa contratante um diagnóstico extraordinário, caso necessário.

4.6.3. Manutenção do Sistema de Purgadores

Com o mapeamento realizado e iniciadas as inspeções, iniciou-se a execução do plano de manutenção dos purgadores identificados com mau funcionamento. Esta intervenção se deu de diferentes modos, onde pôde ter sido feita uma substituição do purgador por um novo de mesmo modelo, alteração no modelo do purgador de acordo com seu ponto de instalação e aplicação, reparo do purgador instalado devido não apresentar defeitos que fizessem necessária a substituição completa do equipamento, de acordo com as normas exigidas pelo time de Engenharia e Manutenção da empresa.

A pilotagem destas ações fora desenvolvida em comum acordo e após o aceite prévio do setor de Manutenção da empresa, devido ao fato da empresa trabalhar em regime de 3 turnos de 8 horas ao dia, o fornecedor deve executar o serviço de acordo com a disponibilidade da produção, se adequando às normas e exigências da empresa sem impactar ou gerando o mínimo de impacto ao planejamento de produção.

4.7. RESULTADOS

Durante a execução de todas as atividades e feito o estudo o qual é base deste documento, foram analisados 649 purgadores e o ponto de partida do estudo foi baseado na média do ano antecedente ao ano o qual foi feito o estudo (2020), onde foi-se identificado 8% dos purgadores instalados na planta com mau funcionamento, além disso dentre os 649 purgadores, aproximadamente 53% deles são da marca da empresa contratada. Também pudemos identificar a perda significativa de vapor e o alto desperdício de aproximadamente 157,59 kg/h de vapor, contabilizando um custo de aproximadamente R\$210.087,81 ao ano.

A empresa foi contratada durante o mês de maio de 2021 e com isso o plano de ação previsto pelas equipes envolvidas foi respeitado e executado de acordo com as exigências previstas em contrato e levantadas durante o processo. Após o mapeamento da planta da fábrica, foi realizada a primeira inspeção em Julho de 2021, onde se pôde observar uma redução no número de purgadores com mau funcionamento, chegando a cerca de 6,5% de purgadores com mau funcionamento.

A segunda inspeção dos purgadores foi realizada 30 dias após a primeira manutenção do sistema, em Setembro de 2021, onde foi-se possível identificar mais uma vez redução na quantidade de purgadores apresentando mau funcionamento, sendo nova taxa de aproximadamente 5,7%, uma redução menor à identificada frente à primeira realização devido serem encontrados alguns purgadores com difícil acesso para que fosse realizada a manutenção.

A última inspeção realizada dentro do ano de 2021 foi em Novembro, onde foi possível observar a melhor redução e o cumprimento da exigência principal do contrato de inspeção e manutenção de purgadores, onde foi conquistado e atendido o valor mínimo de 4% do total de purgadores instalados na planta com mau funcionamento.

4.8. BOAS PRÁTICAS

Este estudo realizado na planta da empresa de produção de pneus para motocicletas e bicicletas situado no município de Manaus, foi realizado em outras unidades da mesma empresa no Brasil anteriormente, devido ao seu sucesso foi entendido com uma Boa Prática, o que auxiliou na decisão de criação deste contrato de prestação de serviço contínuo junto de todas as motivações financeiras que foram encontradas durante o ponto de partida deste estudo.

Além disso, o contrato mostrou-se muito benéfico para o time de Manutenção por ter uma empresa contratada com uma excelente experiência em sistemas de vapor que se dispôs da auxiliar e treinar membros técnicos do time de Manutenção da empresa contratante, aumentando a capacidade técnica de identificações de problemas em purgadores e possibilitando uma ação rápida de correção dele.

5. CONCLUSÕES

Durante o estudo, em uma planta industrial com 649 purgadores instalados, foi encontrada uma deriva de cerca de 8% dos purgadores instalados, que equivalem a 52 purgadores com mau funcionamento, gerando um custo por desperdícios de aproximadamente R\$ 210.000,00 por ano, o qual foi possível reduzir a partir do contrato realizado, possibilitando em cerca de 6 meses chegar ao marco de apenas 4% de purgadores com mau funcionamento, sendo este atendido até os dias atuais, em 2022.

Toda a experiência adquirida neste estudo será transmitida para outras plantas da empresa, onde serão apresentados os dados de como o contrato foi criado, das motivações e principalmente dos ganhos adquiridos após sua realização, para demonstrar que este tipo de ação realizada no passado, se faz muito importante e eficaz para a realidade atual das plantas da empresa, possibilitando uma grande economia para o grupo desta Multinacional produtora de pneus.

Desta forma, foi possível enxergar a importância de se realizar um plano de manutenção de purgadores onde se é previsto a realização de inspeções sistemáticas organizadas em um calendário para evitar desperdícios em purgadores, bem como a rápida identificação de problemas e a correção deles para garantir o mínimo valor de desperdícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFATINI, C. R. **Curso de Engenharia Mecânica Disciplina de Máquinas Térmicas. Apostila sobre Caldeira.** Universidade de Caxias do Sul, 2002.

BAZZO, E., **Geração de vapor**, Editora da UFSC, 2ª Edição, 1995. 216 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 13 – **Caldeiras e vasos de pressão.** Redação dada pela Portaria nº 3.214, 8 de julho de 1978. – Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13.pdf>>. Acesso em 12 maio 2022.

CANDIDO J. F. **Manutenção Corretiva - Manutenção e Lubrificação de Equipamentos.** Universidade Estadual Paulista, 2010.

CARVALHO O. S. **Identificação de oportunidades para redução de perdas de água e energia em um sistema de geração.** Universidade Federal da Bahia, 2006.

DECOL A. M. F. **Linha de retorno para condensado e automatização da linha de vapor.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

DIAS, S. P. M. **Otimização da Rede de Vapor.** Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em: Engenharia Química, 2012.

ELETROPAULO, **Manual de Administração de Energia**, São Paulo, 2004. Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br>>. Acesso em 12 maio 2022.

PERAGALLO, R. T. **Fluidos térmicos.** Editora Hemus, 2002. 319p.

SPIRAX, S. **Bem-vindo ao mundo do vapor - Apostila de estudo do vapor** Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/25316074/apostila-sarco>>. Acesso em 12 maio 2022.

TLV. Disponível em: <<https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>>. Acesso em 12 maio 2022.

UE, S. **Ultraprobe100 – Descrição Geral das Especificações Ultraprobe100.** Disponível em: <<https://www.uesystems.com/pt-br/product/ultraprobe-100/>>. Acesso em 12 maio 2022.

XAVIER, J. NASCIF. **Manutenção – Tipos e Tendências.** Disponível em <<http://claudemir Alves.weebly.com/uploads/3/8/6/2/3862918/tendencia.pdf>>. Acesso em 12 de maio 2022.