Análise de custos e rendimento de condensado e vapor saturado em indústria cervejeira

Gustavo da Cunha Monteiro, Ícaro Antônio Resende Costa, Raimundo Alberto dos Santos, Rodrigo Martins de Assis

gustavo789cunha@gmail.com, icaroantonio126@hotmail.com, raimundo.alberto27@gmail.com, rdm.net@hotmail.com

Professor orientador: José Eduardo Barbosa de Oliveira

Coordenação de curso de Engenharia Mecânica

Resumo

No seguinte estudo desenvolvido através da análise direta da linha de produção e de eventos constantes de falhas envolvendo a contaminação de condensado e vazamento de vapor saturado em cervejaria localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, tem como objetivo demonstrar o impacto produtivo e econômico que as mesmas geram na indústria. Este irá comprovar através de dados e cálculos específicos, como a análise global do processo de distribuição, seus componentes, a falta de manutenção preventiva e até mesmo em casos específicos, a corretiva, afeta de forma econômica na empresa e consequentemente de seus colaboradores. Faz-se parte deste estudo demonstrar também, de forma detalhada, o processo do vapor em sua fase inicial até os seus consumidores, descrevendo todas as fases e envolvidos no processo e toda sua importância. Por fim, irão propor soluções para estas recorrentes falhas, através da melhoria contínua.

Palavras-chave: Impacto. Falhas. Manutenção. Vapor. Melhorias.

1. Introdução

Este estudo de caso consiste em demonstrar através de análises e cálculos, como as perdas contínuas em todo o processo de geração e distribuição de vapor saturado e condensado, correlacionados à falta de manutenção, acarretam de forma direta e

[1] **Graduação em Engenharia Mecânica – Centro Universitário UNA.**

grandiosa nos fatores econômicos da empresa. Como também, o descritivo detalhado de todo o processo e as perdas desses importantes agentes, que possuem enormes e variadas funções dentro da cervejaria.

A base de dados para o desenvolvimento da pesquisa compreendeu registros de falhas recorrentes em gaxetas dos trocadores de calor, purgadores, vazamentos de vapor e dados de faturamento, voltados para compra de gás natural para suprimento da linha de produção. Usando-se princípios consagrados das leis de conservação de massa e energia, o tratamento desses dados mostrou que as perdas de condensado, vapor e consequentemente de energia no sistema, são expressivas. Portanto torna-se claro que, o ganho ambiental e econômico para à empresa e profissional que poderão ser obtidos através de ações de melhoria, são bastante atrativos. O ponto principal desses resultados recomendou-se a realização de estudos aprofundados para melhor entendimento sobre esse sistema, focando-se principalmente nos pontos onde as perdas são mais significativas.

1.1.Tema

Dado este cenário efetuamos como objetivo principal, identificar o quão grande é o impacto econômico das perdas desse processo para à empresa. Dessa forma, foi necessário um estudo extensivo do processo de geração do agente principal de geração de energia da fábrica, pontuando os locais que ocorrem percas e quais componentes que se fazem protagonistas do cenário de falhas recorrentes.

1.2.Justificativa

Como Engenheiros, temos como principal função identificar problemas, caracterizar suas raízes e propor uma solução. Portanto, buscamos identificar falhas recorrentes em uma grande empresa, que de forma direta, acarreta em impactos significativos dentro da mesma. Então, procuramos buscar a solução de determinada tribulação dentro de uma das maiores empresas do nosso país.

1.3.Problematização

Após visitas técnicas, conseguimos apontar três componentes que se destacavam com recorrentes falhas, são eles: Gaxetas de trocadores de calor, purgadores e vazamentos nas tubulações de distribuição. Fazendo uma visualização do macroprocesso, é possível que exista um fator em comum entre esses componentes? Em quanto se resulta as perdas desse processo em valores reais?

1.4.Objetivo geral

Dentro desse contexto, fez-se nossa missão de estudo, identificar o agente em comum dos componentes citados, sua participação no processo e como ele em sua própria função e também suas percas, podem impactar nos fatores produtivos e econômicos dessa empresa.

1.5.Objetivos específicos

Para atingir o objetivo desejado, pontuamos os fatores que determinariam o caminho a ser seguido para o sucesso do estudo. Dessa forma, a pesquisa buscou seguir as seguintes diretrizes primordiais:

- Quantificar todo o processo de condensado e vapor saturado.
- Caracterizar as perdas identificando os principais componentes e pontos onde estas ocorrem e quais sistemas são prejudicados tanto pela perda como pela contaminação.
- Constatar o impacto econômico gerado por essas perdas.
- Mostrar a viabilidade da implantação de melhorias nesse sistema, demonstrando através de números, a diferença econômica que está pode gerar dentro da empresa.

2.Metodologia

O ponto inicial da nossa pesquisa consistiu em identificar um problema resultante de falhas recorrentes em determinada função exercida pelos integrantes do presente

estudo, ou até mesmo de forma abrangente a empresa do qual somos colaboradores. Chegando a um consenso, de realizarmos uma visita e mapeamento dos problemas existentes na empresa escolhida.

Dessa forma, foi-se determinada à empresa como a precursora deste estudo de caso, da qual realizamos visitas com acesso guiado por todo o processo fabril. Identificamos algumas falhas recorrentes em certos componentes como, a troca constante em poucos períodos de tempo das gaxetas dos trocadores de calor, substituição de purgadores e vazamentos espalhados em toda extensão das tubulações de distribuição. No desenrolar das análises desses componentes, foi notado que essas intercorrências possuíam um fator em comum, o vapor saturado. Mas qual a importância desse agente? Como isso acarreta de forma significativa à empresa, para que sejam tomadas ações de melhoria e não somente a manutenção corretiva?

O nosso estudo irá mostrar como esse recurso gerador de energia faz-se importante no papel da produção e quão grande pode ser o impacto econômico das perdas no mesmo.

3.Referencial teórico

3.1.Introdução ao processo de geração de energia

> *Recursos naturais são todos os elementos disponíveis na natureza que podem ser consumidos ou utilizados para a realização de outras atividades humanas, como a geração de energia (PORTAL SOLAR, 2014).*

Quando falamos de recursos naturais, é indiscutível destacarmos a água como um dos principais e mais usado desde a antiguidade até os dias de hoje, dado que este esteja presente em praticamente todas as demandas. No segmento industrial, portanto, a água é inteiramente indispensável, estando diretamente ou indiretamente presente em todos os campos dessa atividade. Dessa forma, podemos afirmar que também faz parte do ponto de partida deste estudo, o controle e a utilização da água,

visto que nossos agentes são derivados desse tão importante recurso. Sendo desta também, o fator de geração de energia de larga escala dentro da indústria cervejeira.

3.2.Conceitos de vapor saturado e condensado

O vapor d'água é um dos meios mais comuns de transporte e transferência de energia na indústria, seu uso é antigo tendo como precursores Gregos e Romanos.

Registros históricos mostram que algumas propriedades do vapor d'água já eram conhecidas e utilizadas por volta de 150 A.C. Naquela época, Hero de Alexandria descreveu no seu tratado "Pneumática", instrumentos que utilizavam as forças expansivas do vapor para fazer elevar a água acima do nível natural.

Também, nas ruínas da Pompéia foi encontrada uma caldeira primitiva para uso em necessidades domésticas. Porém, naquela época não se tem registro de qualquer aplicação comercial envolvendo o uso de vapor.

O vapor pode ocorrer de várias formas, variando de acordo com a temperatura e a pressão.

3.3.Vapor saturado

O vapor saturado é o vapor no qual existe água tanto no estado líquido quanto no gasoso, utilizado nos processos aonde o objetivo é o aquecimento. Observa-se na figura 1 que o vapor é gerado na caldeira e em seguida vai para as linhas de distribuição onde é utilizado em diversos equipamentos como princípio de troca térmica. Após o vapor ser usado, ou seja, após ceder a sua caloria para o processo ele é eliminado através dos purgadores já na forma de condensado retornando pela linha até chegar a um tanque de acumulo de condensado ou tanque de alimentação da caldeira onde será realizado tratamento químico e também acometido a pressão e temperatura devidas para uma melhor eficiência da geração na caldeira.

Figura 1- Exemplo

Fonte: usp.br

3.4.Vantagens da utilização do vapor saturado para aquecimento

O vapor saturado tem muitos atributos que o torna uma excepcional fonte de calor, particularmente às temperaturas de 100 ºC (212 ºF) e acima. Alguns desses atributos estão representados na figura 2:

Figura 2- Exemplo

Propriedade	Vantagem
Aquecimento rápido e uniforme através de transferência do calor latente	Melhorou a qualidade e produtividade do produto
Pressão pode controlar temperatura	Temperatura pode ser rapidamente e precisamente estabelecida
Alto coeficiente de transferência do calor	Menor área superficial requerida para transferência de calor, possibilitando redução no gasto inicial do equipamento
Origina a partir de água	Seguro,limpo e baixo custo

Fonte: disparco.com.br

3.5.Reuso de condensado

O reuso do condensado quente pode conceber uma economia expressiva de energia, tratamento químico e recuperação da agua.

O condensado pode ser reutilizado em diversas partes do processo, como:

- Água de alimentação aquecida, destinando o condensado quente de volta para o desaerador da caldeira.
- Como água quente, para correção do equipamento ou tantas outras aplicações com a finalidade de limpeza.
- Como pré-aquecimento para algum processo ou equipamento que seja aplicável.

3.6.Diminuição do custo de combustível

O condensado compreende uma quantidade expressiva de calor que pode ser mensurada de 10 a 30% da energia térmica inicial contida no vapor. O abastecimento da caldeira com o condensado de alta temperatura pode potencializar o resultado, uma vez que menor energia térmica é precisa para transformar a água em vapor. No momento que é recuperado e reutilizado de maneira satisfatória, o condensado pode resultar na redução do combustível da caldeira em torno de 10 a 20%.

3.7.Redução de gastos relacionados à água

Visto que a maioria das impurezas recolhidas durante o transporte do condensado foi removida, o condensado é capaz de ser reutilizado como água de abastecimento da caldeira, reduzindo o fornecimento da água, gastos com tratamento e também com custos associados com a água fria necessária para abaixar a temperatura do condensado antes deste ser descartado, quando for o caso.

3.8.Efeito positivo no meio ambiente

Diminuição da necessidade de combustível da caldeira por meio da recuperação do condensado pode levar a baixa poluição do ar através da redução das emissões de CO2, NOx E SOx.

3.9.Conceitos termodinâmicos

“A lei de conservação da massa ou o princípio da conservação da massa afirma que a massa de um objeto ou coleção de objetos nunca muda ao longo do tempo, não importa como as partes constituintes se reorganizem. A massa não pode ser criada nem destruída. ” (Por Nick Connor 11-2019). Dessa forma, pode-se dizer que o balanço de massa aplicado a um volume de controle está baseado na lei de conservação da matéria então, num determinado período de tempo, o somatório dos fluxos de massa e estoque é constante, como representado na figura abaixo.

$\Sigma M_{entrada} = \Sigma M_{saída} + \Delta M_{estoque}$

Onde:

$\Sigma M_{entrada}$ – Somatório dos fluxos de massa na entrada.

$\Sigma M_{saída}$ – Somatório dos fluxos de massa na saída.

$\Delta M_{estoque}$ – Variação do estoque.

Em um processo de regime permanente, em que não surgem alterações com o tempo, a variação de estoque é nula ($\Delta M_{estoque} = 0$). Dessa forma, os somatórios dos fluxos de entrada e saída são os mesmos. Esta situação tem interesse prático significativo, pois na maioria dos casos se está interessado em sistemas operando em condição normal ou estável (SANTOS e outros, 2001).

Figura 3: Imagem representativa da aplicação da conservação de massa em um volume de controle

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Pela lei de conservação de energia, ou primeira lei da termodinâmica, pode-se efetuar balanços energéticos em volumes de controle que representam processos em um

equipamento, conjunto de equipamentos ou numa unidade inteira, e determinar as perdas e rendimento (SANTOS, 2001). Esses balanços permitem quantificar os fluxos e as transformações energéticas nesses processos sem, contudo avaliar a qualidade da energia envolvida (ALMEIDA, 2005).

Nesse estudo particularmente, onde relacionamos o volume de controle de um sistema de geração de vapor em regime permanente, dado que serão desprezíveis as variações de energia cinética e potencial, o balanço energético que representa a primeira lei da termodinâmica é dado pela fórmula a seguir.

$$m_1 h_1 – m_2 h_2 = Q_{rev} – W$$

Onde; 1

m_1 – Vazão da corrente na entrada no volume de controle.

m_2 – Vazão da corrente na saída no volume de controle.

h_1 – Entalpia da corrente na pressão e temperatura de entrada do volume de controle.

h_2 – Entalpia da corrente na pressão e temperatura de saída do volume de controle.

Q_{rev} – Calor reversível fornecido ao volume de controle.

W – Trabalho útil produzido.

3.10.Perda de calor para o ambiente

Em geral, as perdas de calor podem ocorrer através de quatro formas: radiação, condução, convecção e evaporação. De acordo com SOARES (1982), em regime de trabalho normal da tubulação, as perdas de calor para o ambiente se dão pelo conjunto de três dos mecanismos de transferência de calor citados acima, são eles: condução, convecção e radiação. Tais perdas podem ser significativas e alcançar valores que causam comprometimento ao desempenho dos equipamentos que utilizam o vapor. Nos sistemas de rede de distribuição de vapor, as perdas térmicas podem ocorrer de duas maneiras, durante a partida ou na operação normal em regime de trabalho. Segundo SOARES (1982), no caso da partida, as perdas de calor são para promover o aquecimento da tubulação desde a temperatura ambiente até a temperatura do vapor na condição normal de operação. Já nas redes de distribuição de vapor que operam continuamente, a perda de calor para o aquecimento da tubulação é pouco

significativa, pois representa perdas pontuais que ocorrem apenas durante a partida do sistema.

Ludwig (1999) diz que, a transferência de calor para o meio ambiente através da superfície de um tubo com ou sem isolamento térmico se dá por convecção e radiação.

3.11.Combustível e combustão

A combustão nada mais é do que uma reação de oxidação de um material denominado “combustível” com o oxigênio (comburente), liberando calor. A equação genérica para o processo é:

COMBUSTÍVEL + OXIGÊNIO → CALOR + Produtos (CO_2, H_2O, CO, etc.).

Entre vários combustíveis que podem ser usados na queima de caldeiras para geração de vapor o escolhido para cervejaria foi o gás natural, mas existem outros como lenha, gasóleos, carvão mineral, palha de arroz, bagaço de cana, etc.

Devido o tipo de aplicação, o custo de transporte (gasoduto), o valor do m^3 e a facilidade de manutenção nos equipamentos foi escolhido o gás natural para ser o principal combustível na queima e em paralelo esta indústria possui uma usina de tratamento de biogás, proveniente da geração de ETEI’s (estação de tratamento de efluentes industriais), que corresponde a cerca de 15% do consumo diário em dias de produção média.

Evidentemente que essa queima tem um impacto ambiental, para inibir esse problema a cervejaria possui uma usina de extração de CO_2, o gás nocivo produzido pela queima da caldeira é conduzido a uma usina de tratamento que, através de um processo químico transforma este gás nocivo em um gás para ser utilizada nos produtos finais, reduzindo emissões para a atmosfera e custos já que se não fosse reaproveitado a fábrica teria que comprar de algum fornecedor externo, o que certamente não tem um baixo custo.

3.12.Uso de vapor na indústria alimentícia

O uso de vapor na indústria alimentícia se dá por alguns processos específicos, incluindo: aquecimento de água para troca termina com alimentos, aquecimento de soluções químicas para os chamados CIPs (clean in place) ou seja, limpeza de tubulações e tanques, fervura e cozimento de alimentos. É mais interessante financeiramente utilizar este tipo de energia para troca térmica que, por exemplo, a energia elétrica para aquecimento de todos os equipamentos e processos numa indústria alimentícia.

3.13.Implantação de melhorias através do sistema Kaizen

Em japonês, Kaizen significa melhoria contínua. Essa palavra propõe uma melhoria que engloba a todos, desde a liderança até os operários, dando também o significado de despesas a custo baixo. “A filosofia Kaizen sugere que a nossa maneira de viver, tanto no ambiente profissional quanto no pessoal, deve estar focada em um esforço constante de melhoria.” (Masaaki Imai - Guru da Gestão Enxuta).

Aprofundando mais sobre o assunto podemos falar que o kaizen é:

- Instruir as pessoas a manter padronização no serviço realizado;
- Demonstrar uma cultura de melhoria contínua;
- Compartilhar conhecimento;
- Persistir sobre uma meta;
- Compreensão para reduzir ou substituir uma atividade.

Após a segunda guerra mundial o Japão se encontrava em uma deplorável situação, sem recursos, e necessitava encontrar um meio de competir com marcas renomadas naquele momento como a Ford por exemplo. Enfim, a necessidade de se reerguer fez com que surgisse ali o kaizen.

Dali em diante teve início a metodologia kaizen de melhoria contínua. Pregando a seguinte tese: produzir mais utilizando menos e isso só era viável através de processos de melhoria. Uma empresa que tem a metodologia kaizen em seus pilares visa:

- Obtenção e crescimento de lucros;

- Cultura interativa dos funcionários;
- Melhorias sugeridas pela necessidade;
- Subtração de desperdícios;
- Conceder satisfação aos clientes.

Empresas cada vez mais desenvolvidas, um mercado cada vez mais rigoroso, consumidores cada vez mais apressados. Todos esses quesitos são de suma importância para o método Kaizen ser cada vez mais propagado dentro de organizações em geral, independente da sua extensão.

3.14.Como colocar o Kaizen em prática

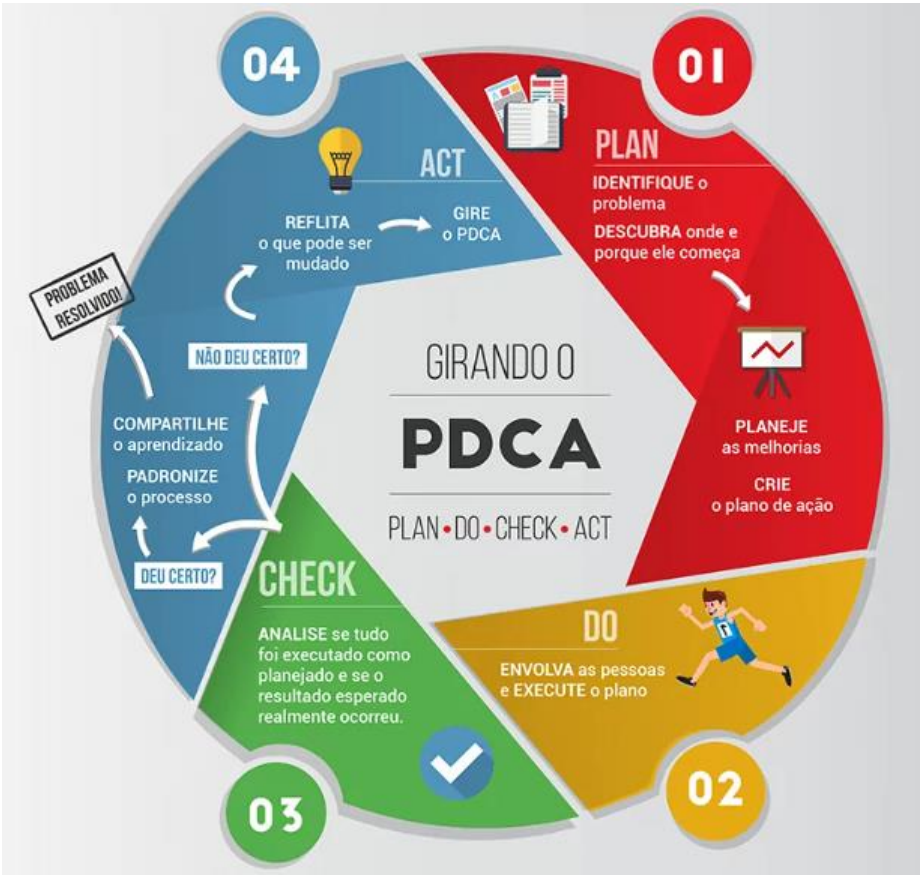
Depois de saber sua teoria e metodologia utilizada, vamos entender como colocar o Kaizen em prática e por consequência poder ser destaque no mercado.

O Kaizen acompanha um formato padronizado, mas quando é necessário investimento econômico pode ser acompanhado pelo ciclo PDCA para agilizar e melhorar o entendimento dos processos.

Essa ferramenta nasceu nos Estados Unidos na década de 20, criado pelo engenheiro americano Walter Andrew Shewhart. Era composto inicialmente por 3 passos (especificação, produção, inspeção) sendo acrescentada mais uma etapa anos depois, especificamente em 1951, Willian Edwards Deming viu a necessidade da inserção de mais uma etapa nascendo assim a roda de Deming, composta por quatro passos repetidos de forma continua: (especificação, produção, colocar no mercado e reprojetar).

Após o passar dos anos e com a inevitável evolução, hoje o PDCA é uma ferramenta mundialmente reconhecida como um método de melhoria contínua. Este método é usado pelas empresas na busca de gerenciar processos e alavancar o seu crescimento. Para melhor entendimento estudamos a figura 10.

Figura 10 – Ciclo PDCA.



Fonte: conaenge.com. br

Tal processo de gestão possui 4 etapas mais conhecidas atualmente como:

P (do inglês - Plan) = Planejamento.

Começamos com a etapa de fundamental importância para execução, é nesse instante que é realizado a identificação do problema. Na cervejaria temos como ocorrências a contaminação de condensado e vazamento de vapor saturado. O objetivo em si é identificar os locais de vazamento do vapor e contaminação do condensado, traçar um plano de manutenção corretiva e preventiva com prazo determinado para execução, levantar os riscos e o custo para solução destes problemas, afim de eliminar tais ocorrências.

D (do inglês - Do) = Execução.

Etapa de suma importância, pois aqui são executadas as tarefas conforme o plano de manutenção traçado na fase anterior. Nesta etapa ocorre também a inclusão de treinamentos, mostrando detalhadamente as causas dos problemas e as perdas

causadas, palestras e motivação para que a companhia tenha comprometimento com os novos parâmetros da cervejaria.

C (do inglês - Check) = Verificação.

Nessa fase é realizado a verificação dos resultados das manutenções desenvolvidas, uma comparação é feita entre os resultados obtidos e as metas traçadas. Vemos então se através dos métodos propostos houve redução na perda do vapor saturado, e se o condensado está com um teor de contaminação reduzido.

A (do inglês - Act) = Atuar/Agir.

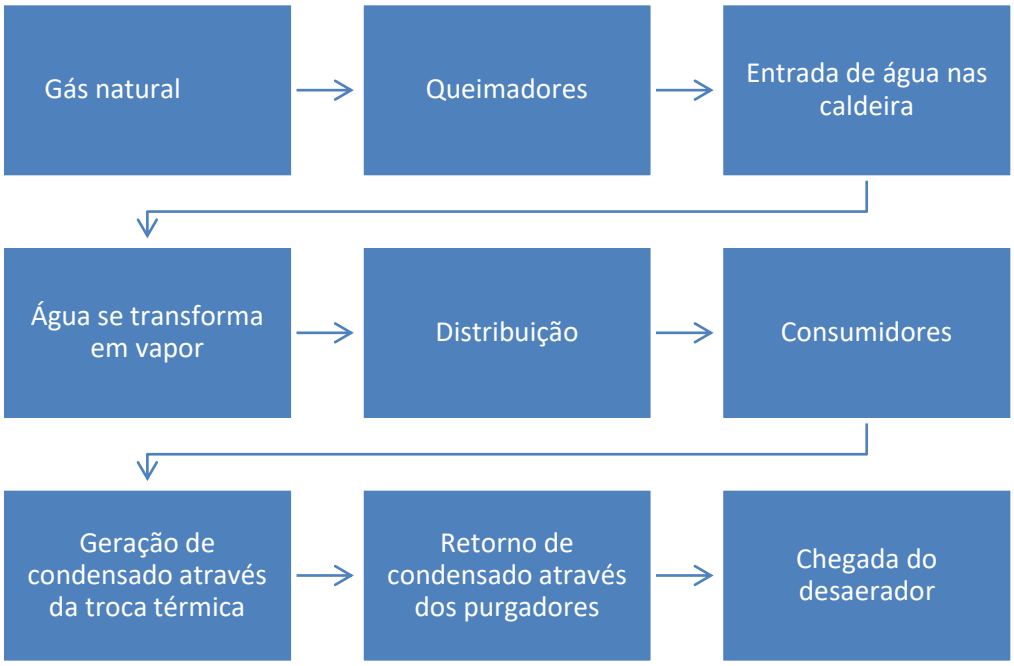
Aqui podemos refletir sobre as próximas ações a serem tomadas, ou seja, o que foi executado resolveu o problema das perdas do vapor e contaminação do condensado? Houveram melhorias? Se sim, é definido o padrão de processo. Se não, é necessário a realização de correção dos desvios em relação às metas definidas no início. É também nessa última etapa que vamos decidir se continua com o giro do PDCA, para melhoria contínua do processo.

Uma empresa que busca crescimento tem que se adaptar as mudanças frequentes do mercado, aumentando sua eficiência e acelerando sua produtividade para que o cliente seja atendido em tempo hábil. Contudo para que isso ocorra é necessário seguir um caminho. O PDCA é bastante conhecido pelos líderes e gestores, esse conhecimento uma vez propagado de forma consistente dentro da cervejaria pode se tornar uma cultura a ser seguida, fazendo com que a empresa alcance seus objetivos de forma mais assertiva.

4.Discussão e resultados

4.1.Caracterização e mapa de processo – Mapa de processo

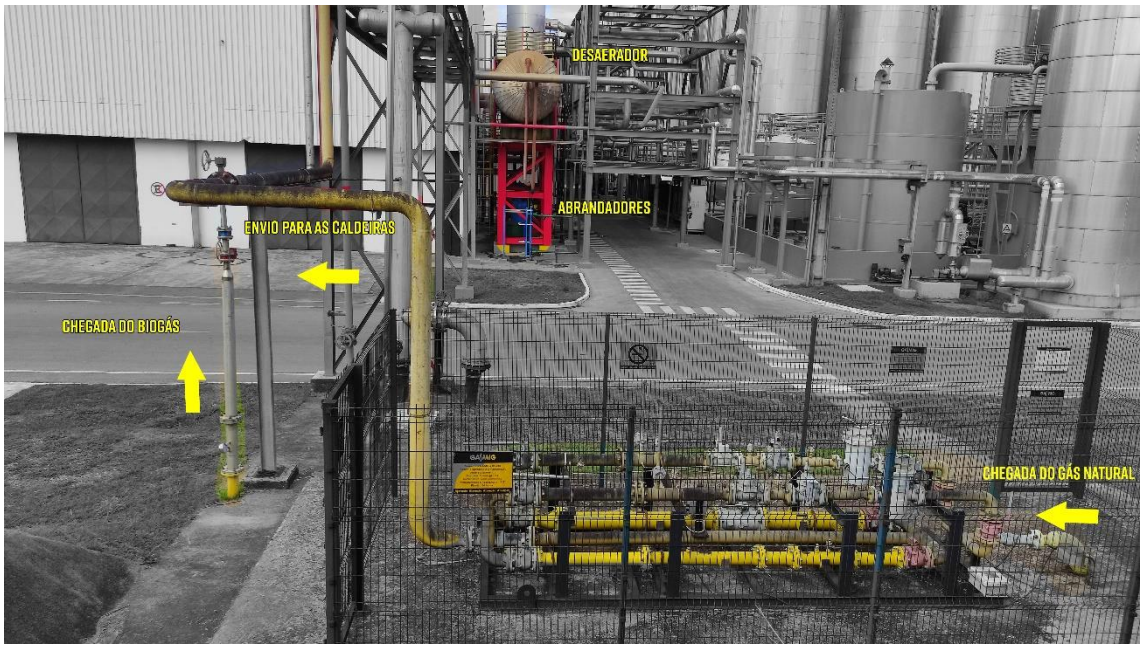
Figura 4 – processo de geração de vapor



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Através de uma unidade de distribuição da empresa Gasmig, as caldeiras recebem o gás natural para queima dentro das caldeiras, o desaerador é preenchido de água que passa por um tratamento químico e por abrandadores, onde são retirados todos os minerais e impurezas que atrapalham o processo de fabricação de vapor. Vejamos exemplo real do processo descrito nas figuras a seguir.

Figura 5 – Estação de chagada Gasmig.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Figura 6 – Abrandadores.

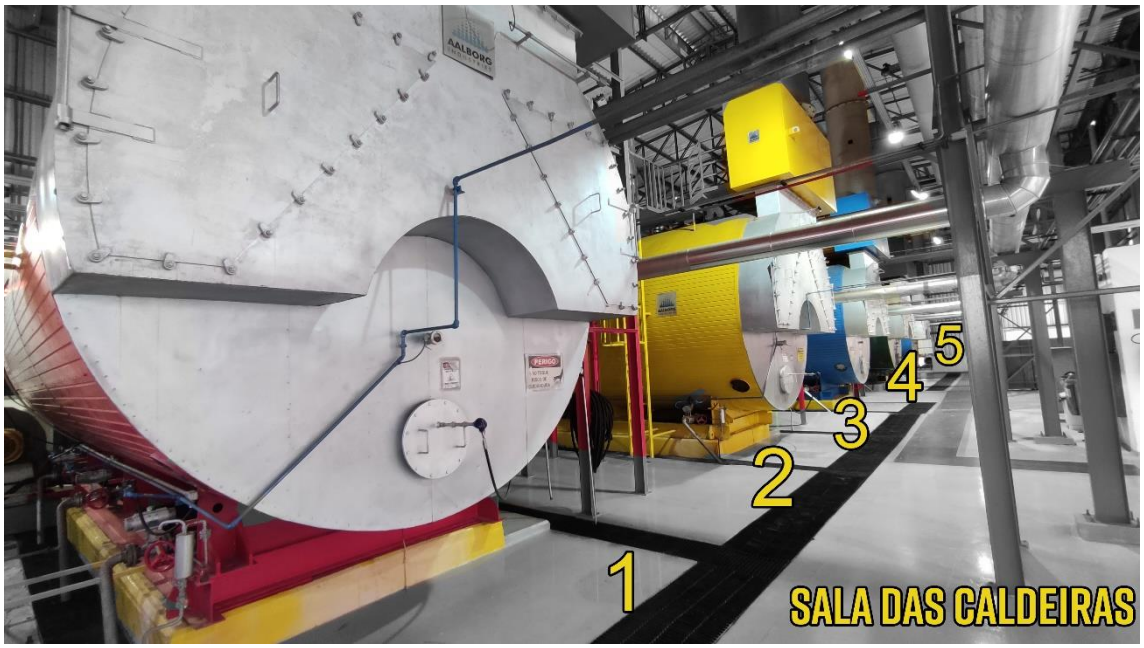
Fonte: Elaborada pelos Autores.

Após o preenchimento do desaerador é ligado a chama da caldeira e preenchido com a água tratada.

A água começa a entrar em ebulição dentro da caldeira em uma temperatura diferente do ambiente, como a pressão interna da caldeira é maior o ponto de ebulição também será.

As caldeiras modulam da seguinte maneira: Do total de quatro caldeiras em atividade apenas duas trabalham em tempo integral para alimentar todos os consumidores, caso tenha uma demanda maior de vapor a terceira caldeira que fica em “stand by” entra para suprir esse consumo anormal, diminuindo os riscos que alguma falha em todo sistema de produção, cause indisponibilidade no processo de fabricação. Todo processo é feito de forma com que isso funcione automaticamente através de automação.

Figura 7 – Sala de caldeiras.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Após chegar à temperatura e pressão de trabalho desejado o vapor é enviado através de um barrilete, que distribui entre as áreas consumidoras de toda cervejaria. É ideal ter essa separação pois, caso aconteça de um consumidor solicitar uma vazão maior de vapor saturado os outros consumidores não sentirão o efeito disso muito forte pois estão segregados.

Figura 8 – Barrilhete de distribuição.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

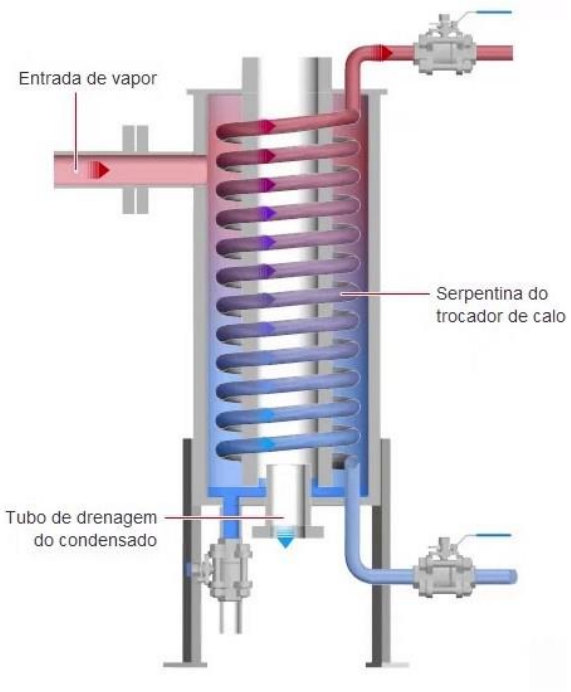
4.2.Trocador de calor – Conceito e exemplo real

O trocador de calor é um equipamento utilizado para trocar temperatura entre um fluido primário e um secundário, chegando a uma determinada temperatura em um desses fluidos. Em nosso estudo, descrevemos o processo que envolve o aquecimento de água com o uso de vapor, independentemente do tipo de trocador utilizado.

Dado aos dados adquiridos nesse estudo, dispomos do seguinte cenário de um trocador na cervejaria. Possui-se água a uma temperatura ambiente de 20 °C e é preciso aquecê-la para pasteurização até 85 °C, para esse processo, em um trocador de calor, de um lado entrará a água a temperatura ambiente e de outro o vapor. Através da troca térmica entre os fluidos, a água fria ficará aquecida na temperatura desejada (com auxílio da automação com sensor, válvula solenoide e controlador) e o vapor, perdendo caloria, se tornará condensado e será eliminado por purgador mecânico de boia de forma automática.

4.3.Descritivo técnico do funcionamento do trocador de calor

Figura 9 – Trocador de calor serpentina.



Fonte: TVL trocadores de calor condensado de vapor série SR

O vapor de exaustão flui para o topo do trocador à medida que a água fria entra na serpentina de transferência de calor.

O vapor é condensado em contato com a serpentina de transferência de calor que contém a água fria, transferindo seu calor latente. Como resultado, a temperatura da água nas serpentinas aumenta.

O condensado resultante escorre para o coletor na base do trocador. Quando o nível de condensado aumenta, ele flui por cima do tubo de drenagem e é descarregado.

Figura 10 – Trocador de calor por placa.

Fonte; Elaborada pelos autores.

Figura 11 – Trocador de calor casco tubo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

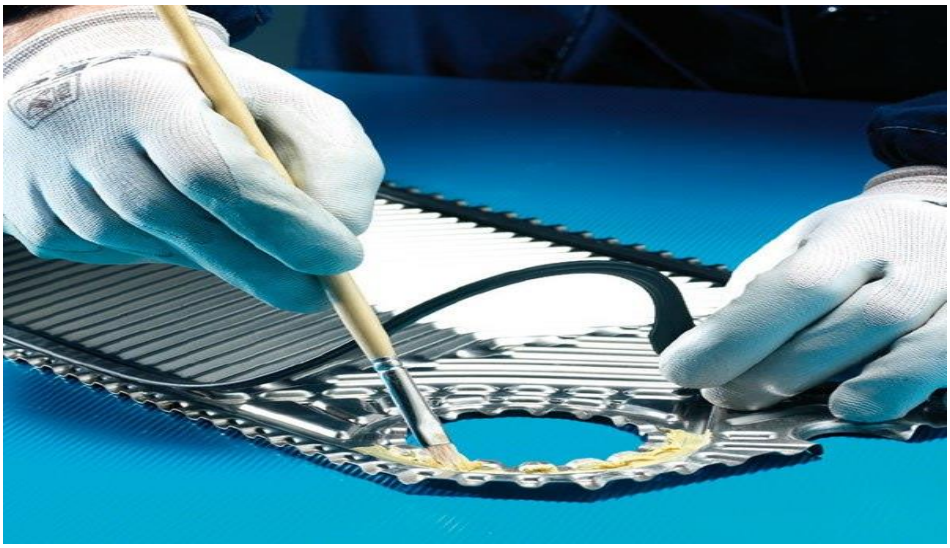
Devido o vasto uso e aplicação desse equipamento, os números de falhas são consideravelmente grandes. Após uma falha em um trocador a contaminação decorrente da comunicação entre os fluidos é normalmente detectada por sensores ou pela mudança na coloração do condensado, que se retornado a caldeira para um

novo início de ciclo, gera diversos prejuízos e ineficiências de processos. Para evitar esse impacto, ao ser detectado uma falha em trocador o operador imediatamente abre o dreno descartando todo condensado liberado após a troca térmica.

As manutenções desses trocadores normalmente possuem certo nível de complexidade e exigem muito tempo de análise e detecção do ponto especifico em falha.

Na imagem a baixo podemos visualizar um técnico realizando a substituição e selando o vedador da placa.

Figura 12 – Troca de gaxeta do trocador de calor.



Fonte: manutrol.com.br

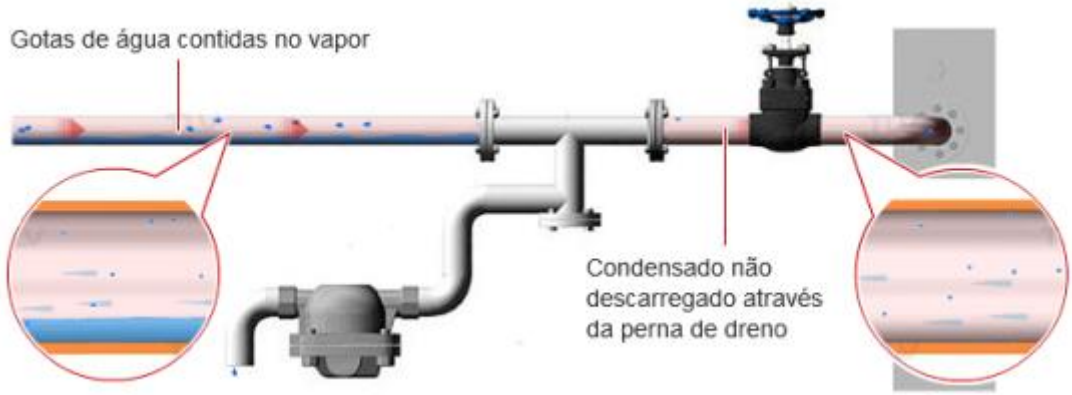
Os vedadores são os principais causadores de falhas nos trocadores, consequência da má qualidade dos mesmos, temperatura ou pressão a cima do dimensionado.

4.4.Purgadores

Operar manualmente a válvula para remover o condensado não é apenas complicado, mas também permite que o vapor escape. Com o uso cada vez maior de vapor, foi desenvolvida uma válvula que descarrega automaticamente o condensado, e assim nasceu o purgador. Em um processo de distribuição de vapor para alimentação de vários equipamentos, o purgador se torna indispensável, visto que ao longo do escoamento do vapor saturado existe a formação de gotículas de condensado que

aumentam gradativamente devido a troca térmica que ali ocorre, sendo necessário a purga do líquido.

Figura 13- Purgador em regime de trabalho



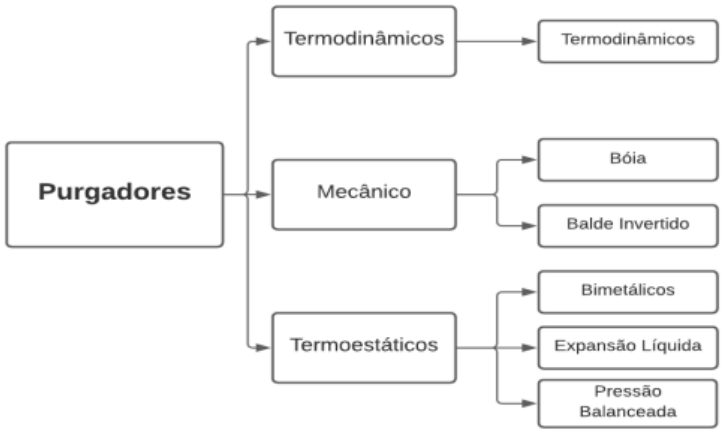
Fonte: disparco.com. br

Contudo, a maior perda de temperatura do vapor e maior produção de condensado acontecem quando o vapor chega ao seu consumidor, onde existe um contato com, por exemplo, o trocador de calor, causando uma troca térmica mais expressiva. Afim de que o condensado não prejudique a valia do vapor saturado ao consumidor, a não contaminação por meio de impurezas, e a redução de possíveis corrosões nas paredes internas das tubulações, o purgador é a solução que mais se aplica devido a sua eficácia na extração do liquido com baixa temperatura e purificação do sistema. Portanto se vê necessário manter uma manutenção assídua desses equipamentos e substitui-los devidamente.

4.5.Tipos de purgadores

Para que o processo se concretize de maneira ideal, existem inúmeros tipos de purgadores, cada um para sua determinada aplicação, conheçam alguns:

Figura 14 – Caracterização de purgadores.



Fonte: ufpr.com

Nos processos de produção da cervejaria, os purgadores mais usados são: Termodinâmicos e os mecânicos do tipo boia, nos quais vamos aprofundar sobre suas características técnicas e funcionamento.

O purgador termodinâmico nada mais é do que uma válvula automática cuja função é drenar o condensado mantendo o vapor aproveitável no tubo. Com um simples sistema operacional, é bastante confiável e pode operar em alta pressão e temperatura.

O purgador contém um disco móvel em seu interior que abre e fecha quando a pressão do fluido muda.

O condensado, passando pelo orifício central, move o disco para cima e segue para o canal de saída. Após um aumento da temperatura desse líquido, uma pequena quantidade de vapor flash se forma no purgador. Em seguida, ele preenche rapidamente a câmara de controle localizada acima do disco e aplica força a ela, impedindo o fluxo.

Desta forma, o purgador fecha e espera que o condensado fresco apareça sob o prato, que não tem energia suficiente para compensar a perda de radiação do corpo do purgador. O vapor do flash então condensa, reduzindo a pressão. Assim, o aparelho abre e o ciclo recomeça.

Purgadores mecânicos tipo Boia: Os purgadores tipo boia trabalham identificando a variação interna de densidade entre os elementos: vapor e condensado. Este purgador de funcionamento simples tem seu processo de abertura para vazão do condensado realizado a partir da boia. No momento em que o reservatório estiver cheio, a boia vai flutuar dando comando para abertura da válvula. Durante o tempo em que o reservatório não esteja no nível de purga do condensado, a boia funciona como uma barreira para vedar essa saída.

A instalação de purgadores é imprescindível dentro de um sistema de distribuição de vapor, visto que além de promover eficiência e economia, garante mais segurança ao processo.

4.6.Perdas no purgador

Embora seja um elemento de extrema necessidade num sistema de geração e distribuição de vapor, este também é responsável por enormes perdas de água e energia (SOARES, 1984).

Dentre os efeitos de perdas no processo, podemos destacar três aspectos que envolvem essas falhas e que, em todo caso, se feitos da forma correta podem ser controlados e até mesmo evitados, são eles:

- A escolha adequada do tipo de purgador.
- O dimensionamento apropriado do elemento e sua localização.
- Um plano de inspeção e manutenção, com indicativos em tempo real do funcionamento do mesmo.

A escolha e dimensionamento do purgador podem ser suprimidos como causas de perdas do sistema, pelo fato desta cervejaria possuir uma empresa especializada em purgadores e sistemas de vapor em geral, realizando a instalação correta de cada componente utilizado, fato que conseguimos aferir através de uma entrevista com" Marcelo Golberstein", gerente de vendas da empresa Spirax Sarco. Dessa forma, é preciso que o foco para solucionar ou mesmo, amenizar essas perdas, estejam totalmente investidos em monitoramento dos purgadores, com manutenções periódicas voltadas à preditiva e também ao uso de ferramentas de identificação em tempo real do funcionamento do purgador.

4.7.Tubulações

As tubulações em linhas de vapor, geralmente em aço inox devido à alta abrasividade do fluido, possuem centenas de metros de comprimento dentro da fábrica. São responsáveis por levar o vapor gerado nas caldeiras até os consumidores e retornar o condensado liberado dos purgadores até os reservatórios, que por sua vez, sendo esse condensado livre de contaminação volta para o início do processo para ser reutilizado ou distribuído para outras funções dentro da cervejaria.

Sendo este um sistema tão robusto, não é incomum encontrar-se certa quantidade de vazamentos.

Este sistema possui diversos tipos de componentes, dentre eles válvulas, reduções, flanges, uniões e curvas, onde muitos destes exigem no seu processo de montagem a união por solda. A solda é um processo crítico que se responsabiliza por diversos problemas e falhas no decorrer do tempo de uso da mesma.

Um componente importante na tubulação de vapor são os isolamentos térmicos que reduzem até 90% da perda de energia para o ambiente.

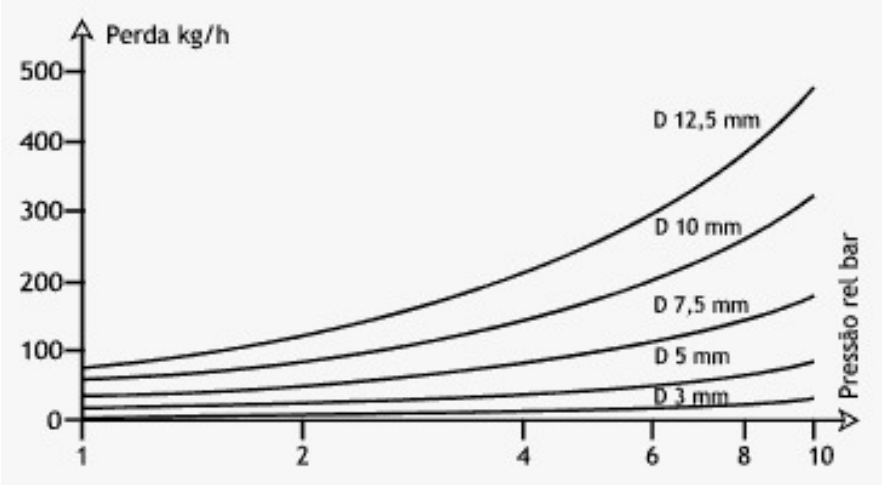
Figura 15 – Tubulações de distribuição.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os vazamentos são, em sua grande parte, orifícios bem pequenos, resultando em perdas localizadas também muito pequenas. Dentro desse contexto, esse aspecto baseado ao grande porte da Cervejaria, fazem com o que o volume dessas ocorrências se torne significativas.

Pressão, temperatura, a quantidade de vazamentos e o diâmetro equivalente de cada orifício, são parâmetros usados para fazer a quantificação dessas perdas. A quantidade de vazamentos pode ser alcançada através da contagem, porém, com um grau elevado de incerteza, pelo fato do diâmetro equivalente de cada furo se apresentar de difícil determinação em uma instalação industrial, fazendo assim de certa forma, que seja obrigatório a realização dos cálculos feitos por estimativa. Para um melhor entendimento, o gráfico abaixo apresenta de forma resumida o levantamento dos dados que representam a quantificação dessas perdas com base no diâmetro de cada furo.

Figura 16 – Gráfico de determinação do diâmetro de furos em linha de distribuição.



Fonte: https://www.mspc.eng.br/dir80/tubv3.php

- Valores em Y apresentam a quantidade de perdas em Kg/h.
- Valores em X apresentam a pressão relativa no sistema em Bar.
- As parábolas representam os pontos de tangência, de acordo com o diâmetro de cada orifício.

4.8. Análise de perdas do macroprocesso de geração de vapor saturado e condensado

No funcionamento do sistema de vapor temos perdas naturais e forçadas, as perdas naturais são por irradiação de energia térmica por percorrer longas distâncias até chegar no consumidor final, as perdas forçadas são pelo mal funcionamento de um

purgador, vazamentos em tubulações e conexões, mal dimensionamento do equipamento consumidor e outros erros de projetos.

Para o estudo e quantificação das perdas de agua no processo, partiremos da premissa de que cerca de 95% do volume de água em estado líquido convertido em vapor, deverá ser retornado aos tanques sendo 5% uma constante de perda natural do processo, justificada pelas uniões, válvulas e descargas de fundo de caldeira. Realizaremos a aferição de dados no período de 3 meses relacionados a quantidade de vapor produzido na caldeira e volume de condensado retornado, sendo a diferença desses valores nosso valor de perda de agua no processo. A cervejaria tem por objetivo a meta de 85% de retorno de condensado para reciclo.

Através de relatórios de produção disponibilizados por responsáveis da área, temos na tabela 1, os seguintes dados aplicáveis ao estudo.

Tabela1- Dados de produção.

	Produzido na caldeira	Retorno de condensado	Perda total	Perda por falhas
Agosto	33.840 ton	71%	9.779,76 m³	8.121,60 m³
Setembro	41.701 ton	86%	5.838,14 m³	3.753,09 m³
Outubro	50.010 ton	79%	10.502 m³	8.001,6 m³
Valor médio	41.850 ton	78,7%	8.706,63 m³	6.625,45 m³

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com esse cálculo conseguimos ver a perda principalmente de água inicialmente tratada que é destinada para a ETEI (Estação de Tratamento de Efluentes Industriais), a água utilizada nas caldeiras é um bem considerado de grande valor para o meio ambiente e também para a cervejaria já que no seu processo de tratamento são utilizados produtos químicos e equipamentos de alto custo.

Entretanto, com a entrada de água de reposição com uma temperatura baixa, ocorre maior demanda de calor para mudança do estado físico, exigindo maior consumo de gás natural.

4.9.Análise de custos e efeito

Para analisar custos envolvidos em um sistema complexo como um sistema de vapor deve se considerar diversos fatores que impactam diretamente e indiretamente no valor final de vapor por unidade. Custos de mão de obra de operação, maquinário investido, energia elétrica e gás natural para queima, estão entre os fatores. Vale lembrar também que além do impacto financeiro, fatores ambientais ligados a recursos hídricos, geração de energia elétrica e exploração do meio ambiente são de grande valia e devem sempre serem levados em conta.

Na análise de dados nossa pesquisa contou apenas com informações ligadas ao descarte e perda de agua para o meio externo do processo. Sabemos que para uma análise aprofundada deveria ser levado em conta as consequências da reposição de agua fria no sistema aquecedor que, exigira mais energia térmica para atingir a temperatura de trabalho. Purgadores em falha no sistema retornam o vapor saturado para o tanque de condensado e, além do prejuízo da pressurização desse sistema, o desperdício energético deste evento gera também impacto financeiro ao sistema.

Para a obtenção de resultados conforme desejado, foram analisados neste trabalho os impactos financeiros ligados a custo hídrico e gás natural.

O método de cálculo usado tem por unidade o valor/m^3 de agua. Absorvendo os parâmetros obtidos no levantamento anterior temos que a média mensal de perda de agua no processo é de 6.625,45 m^3.

4.10.Gás natural

Conforme cálculo utilizado por gestores e responsáveis da cervejaria para cada kg de agua são gastos cerca de 0,0898 m^3 de gás. Segundo tabela disponibilizada pela Gasmig temos:

Tabela 2 – Valores de gás natural por m³.

Fonte: http://www.gasmig.com.br

Consumo** (m³/mensal) aplicado em cascata	Tarifa sem impostos (R$/m³)	Tarifa com impostos (R$/m³)
0 a 12.500	4,6770	5,856539
12.501 a 50.000	3,5295	4,419639
50.001 a 250.000	3,4370	4,303811
250.001 a 750.000	3,4530	4,323846
750.001 a 1.500.000	3,4304	4,295546
1.500.001 a 3.000.000	3,4228	4,286030
3.000.001 a 4.500.000	3,3651	4,213778
4.500.001 a 7.000.000	3,2860	4,114729
Acima de 7.000.001	3,2403	4,057503
Demanda	0,4155	0,520289
Sobredemanda	5,0925	6,376828

Usando os dados médios mensais de perda da tabela 1 temos que são gastos 595,28 m³ de gás. Analisando os valores atualizados de gás natural fornecido temos que cerca de R$ 2.446,59 são gastos mensalmente e desperdiçados no processo.

4.11.Água Desmineralizada.

Como recurso essencial para este processo, a agua possui um certo custo para o tratamento e preparação na etapa anterior a entrada na caldeira. A cervejaria possui para seu processo de desmineralização da agua uma empresa parceira e por se tratarem de dados confidenciais entre as mesmas teremos como estimativa um custo mensal de 50 mil reais em tratamento químico e mão de obra.

Atualmente essa cervejaria é isenta de custos de fornecimento de água. Analisando uma situação paralela onde tal fosse cobrado a empresa teremos como parâmetro valores tarifários vigentes aplicados pela SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) empresa de distribuição de agua e esgoto na cidade de Sete lagoas-MG temos para 41.850 toneladas de água que por densidade considerada igual a 1 ton./m³, logo 41.850 m³ gerando um custo de R$632.859,54.

Em geral analisando a tabela 1, se tratando do valor médio perdido temos uma correspondência de 15,83% do total gasto no processo. Logo no custo em água temos: (632.859,54+50.000) *0,1583 resultando em R$108.096,67.

4.12.Impactos Ambientais

A cervejaria possui diversas diretrizes voltadas a conscientização e bom uso de recursos naturais. Diversos estudos são realizados pela mesma em parceria com o setor público e privados para o aprimoramento de metodologias que visam a melhoria do uso da agua e do tratamento da água. Esta empresa é comprometida com o meio ambiente e trabalha para garantir o abastecimento de água para as futuras gerações. Os impactos relacionados a extração de grandes volumes de agua por exemplo podem ter diversas consequências para o ecossistema no entorno da planta. A fábrica conta com uma área de meio ambiente, voltada para o tratamento de agua e resíduos tanto para uso em produção quanto para o retorno ao meio ambiente.
Temos também como fator de impacto a emissão de gases de efeito estufa para o ambiente. A fábrica possui até 2025 possui objetivo de uma redução de 25% de emissão na cadeia, além disso, almejam que 100% de sua energia elétrica consumida no processo de produção venham de fontes renováveis.

5.Conclusão

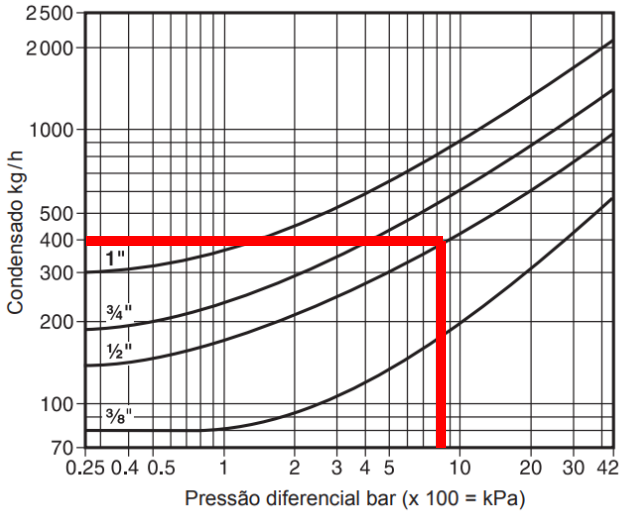
Dado ao estudo extensivo realizado dentro da cervejaria, podemos mensurar a quantidade de perdas em todo o processo, a falta de manutenção, o mau dimensionamento de componentes e do próprio sistema de produção e distribuição de vapor para aquecimento de outros fluidos, e colocar toda essa informação em valores econômicos, mostrando o impacto por estes gerados.
Dentro desse contexto, para a conclusão e quantificação das perdas, convertidas em valores financeiros necessitaram de um dos componentes da linha em específico, o purgador termodinâmico responsável por drenar o condensado. Este purgador existe para que o vapor que for condensado naturalmente no trajeto de fabricação até o aquecedor possa retornar ao tanque desaerador sem chegar no consumidor, prejudicando a troca térmica.

“O purgador em questão é um TD52-1/2” da marca Spirax Sarco, este modelo tem seu corpo relativamente pequeno comparado aos outros, mas sua tecnologia o faz responsável por uma capacidade de drenagem surpreendente.

Simulamos esse equipamento trabalhando em uma situação normal na cervejaria, com pressão a jusante de 8 bar e com a falha de vazando. Esta é a situação mais crítica deste equipamento, pois deixa que o vapor a montante volte para o desaerador com toda energia adquirida no processo de fabricação, o que acarreta o desperdício de gás natural, que foi usado na geração de energia e é um recurso natural, ou seja, além do valor financeiro o seu uso incorreto tem impacto no meio ambiente.

Utilizando a curva de capacidade encontrada no folheto técnico do equipamento, podemos mensurar a quantidade de vapor perdida por uma falha de vazamento, e sabendo o valor do metro cúbico de gás natural comprado, conseguimos mostrar a quantidade de vapor saturado que pode ser gerado utilizando 1m³ de gás natural, segue.

Figura 17 - Gráfico de curva de capacidade



Fonte: manual do equipamento- https://content.spiraxsarco.com/

Conforme mencionado, estamos trabalhando com uma pressão a jusante de 8 bar de vapor saturado, na curva de capacidade do equipamento essa pressão pode drenar aproximadamente 400 kg/h.

“Sabendo que a constante definida pela cervejaria é de 11,13 podemos agora mensurar a perda diária, mensal e anual para um único purgador de TD52-1/2”.

Vazão/h TD52-1/2” a 8 bar: 400kg/h

Hora: 0,4 ton

Diário: 0,4*24 = 9,6 ton./dia

Mensal: 0,4 kg/h. (30 dias. 24 horas) = 288 ton/mês

Anual: 0,4 ton /h. (288 ton/mês. 12 meses) = 3.456 ton/ano.

Sabendo também que, o metro cúbico vendido para a cervejaria pela distribuidora Gasmig conforme figura 18 é de R$ 4,11 que foi baseado no consumo total mensal, podemos agora saber o quanto de vapor saturado em valores reais um purgador de pequeno porte pode dar de prejuízo trabalhando a uma pressão de 8bar.

A constante definida para que 1m³ de gás natural seja transformado em vapor em situação normal é de 11,13, ou seja:

Por dia: 9,6/ 11,13*4,11=R$ 3,54

Por mês: R$ 3,54*30 = R$ 106,35

Por ano: R$ 3,54*365 = R$ 1.293,92

Sabendo que na planta existem cerca de 162 purgadores desse mesmo modelo e dimensão temos:

Por ano cerca de R$209.615,04. Vale ressaltar que este modelo é um dos menores usados na fabrica

Com esses valores em reais baseados nos dados fornecidos, podemos concluir que um equipamento de pequeno porte para uma cervejaria que trabalha com pressão de linha de 8 bar na distribuição, além de estar desperdiçando um recurso natural pela simples troca ao longo de todo ano pode dar um prejuízo de R$ 209.615,04 considerando apenas a compra do gás natural.

Por isso a importância de manter uma inspeção regular e programada de todos os equipamentos que fazem parte do sistema de vapor de uma cervejaria, e em caso de falha ter sobressalente para realizar a troca de imediato.

Podemos concluir também através da nossa análise de custo que as falhas provenientes do processo geram simbolicamente um valor médio de R$110.542,67 mensalmente à cervejaria. Com esse resultado temos por intenção acender o alerta a gestores e responsáveis a revisar os conceitos ligados a manutenção afim de reduzir as evidências e o tempo de ordem de troca ou reparo em equipamentos.

6.Agradecimentos

Agradecemos imensamente a esta cervejaria, por ter aberto as portas da empresa para a realização deste estudo, e ainda, disponibilizar as visitas e profissional para guiar-nos por toda fábrica, descrevendo todo o processo de geração de vapor. E também, o fornecimento dos dados necessários para realização da pesquisa, que por sua vez não poderia ser concluída sem os mesmos. Agradecemos também a empresa Spirax Sarco, que teve total disponibilidade para esclarecimento de dúvidas sobre os purgadores. Em especial ao Gerente de vendas Marcelo Golberstein, por se dispor a entrevista realizada para melhor entendimento e esclarecimento, sua participação foi fundamental. Ao nosso orientador José Eduardo, por toda paciência e disponibilidade em nós atender, mesmo quando estas não estavam dentro de sua obrigação como profissional, fora de horário comercial e em finais de semana, sem você não seria possível.

7.Sugestões para próximos estudos

7.1. Para a realização de trabalhos futuros poderíamos completar a monografia através da discussão dos seguintes estudos

- Analise de custos ligados a manutenção preventiva de purgadores.
- Implantação de melhorias de rendimento no processo de geração de vapor através da conscientização dos colaboradores na cervejaria.
- Implantação de sistemas de melhorias e monitoramento em tempo real de purgadores.
- Análise de trincas em trocadores de calor de placas na cervejaria.
- Análise de Confiabilidade e resistência de selos em bombas centrifugas.

8.Referências

http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/459/1/Ciclo%20PDCA%20um%20estudo%20de%20caso%20na%20distribuidora%20de%20bebidas%20Alef.pdf. Ciclo PDCA – Aplicação do sistema Kaizen.

https://content.spiraxsarco.com/-/media/spiraxsarco/international/documents/br/ti/pt_vapor_saturado_td52-ti-d2-01.ashx?rev=3b4f254e7408468a856c353a47454a75 Manual do equipamento – Gráfico de curva de capacidade. Purgadores termodinâmicos.

https://disparco.com.br/index.php/cursos/tipos-de-vapor-2?curso=teoria-do-vapor.

Teoria do vapor saturado –vantagens do uso do vapor saturado.

https://ferramentasdaqualidade.org/pdca Conceito PDCA – Ferramenta de melhoria.

http://www.gasmig.com.br/NossosServicos/Industrial/Paginas/Tarifas.aspx

Tabela de valores de gás natural por m^3

https://www.manutrol.com.br. Trocadores de calor- manutenções em trocadores de calor - Troca de gaxeta

https://www.siteware.com.br/metodologias/ciclo-pdca/.. Metodologia ciclo PDCA.

https://www.mspc.eng.br/dir80/tubv3.php. Gráfico de determinação do diâmetro de furos em linha de distribuição

https://www.napratica.org.br/o-que-e-e-como-funciona-o-metodo-pdca/.Método PDCA

https://www.vaportec.com.br/ind/2020/04/22/diferencas-entre-trocadores-de-calor/#:~:text=O%20trocador%20de%20calor%20%C3%A9,do%20tipo%20de%20trocador%20utilizado. Trocadores de calor- Conceitos e aplicações.

https://www.ufpr.com.br.. Purgadores - Caracterização de purgadores

https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-kaizen. O sistema Kaizen- Conceito

https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html#:~:text=N%C3%A3o%20recuperado-,O%20que%20%C3%A9%20condensado%3F,equipamento%20que%20est%C3%A1%20sendo%20aquecido. Trocadores de calor – Descrição técnica de funcionamento.