

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

YURI GABRIEL PINHO DE SOUZA

Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade para Análise de Falhas Industriais:
Um Estudo de Caso em uma Usina de Açúcar e Alcool no interior do Estado de São Paulo.

Três Lagoas – MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

YURI GABRIEL PINHO DE SOUZA

Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade para Análise de Falhas Industriais:
Um Estudo de Caso em uma Usina de Açúcar e Alcool no interior do Estado de São Paulo.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, campus de Três Lagoas – MS, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof^o. Dr^o. **Rubens Ribeiro.**

Três Lagoas – MS

2024

RESUMO

As indústrias buscam cada vez mais otimizar seus processos, minimizar falhas e reduzir custo para serem mais competitivas no mercado. Surge então uma necessidade constante de manter-se operante e apresentar o menor número possível de falhas durante a produção de seus produtos ou serviços. Sendo assim o presente artigo trata-se de um estudo de caso que visa analisar quais setores apresentam maior tempo de indisponibilidade, identificar as causas de falhas industriais e propor uma solução de melhoria em uma usina de açúcar e álcool no interior do estado de São Paulo. Foram coletados dados referentes a safra do ano de 2024, até o mês de setembro, com base nos dados, utilizou-se de ferramentas da qualidade como análise de falhas, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, “5 porquês” e 5W2H para identificar qual equipamento com maior tempo de inatividade, quais as causas e uma proposta de melhoria. Notou-se que a Caldeira Aquatubular é o equipamento com maior tempo de parada durante a safra e o problema com maior recorrência foi o rompimento nas tubulações do super aquecedor devido ao procedimento incorreto da rampa de partida da Caldeira. Foi proposto uma melhoria que envolve treinamento dos operadores e pode-se considerar também um estudo de viabilidade para automatizar o processo de rampa de partida para minimizar as chances de falhas futuras.

Palavras-Chave: Paradas; Caldeira; Indústria; Análise; Causas.

ABSTRACT

Industries are increasingly seeking to optimize their processes, minimize failures and reduce costs to be more competitive in the market. There then arises a constant need to remain operational and present as few failures as possible during the production of your products or services. Therefore, this article is a case study that aims to analyze which sectors have the longest downtime, identify the causes of industrial failures and propose an improvement solution in a sugar and alcohol plant in the interior of the state of São Paulo. Data were collected regarding the 2024 harvest, until the month of September, based on the data, quality tools such as Pareto diagram, Ishikawa diagram, “5 whys” and 5W2H were used to identify which equipment had the longest of inactivity, what are the causes and a proposal for improvement. It was noted that the Water Tube Boiler is the equipment with the longest downtime during the harvest and the most recurring problem was the rupture in the superheater pipes due to the incorrect procedure for the Boiler starting ramp. An improvement was proposed that involves operator training and a feasibility study could also be considered to automate the starting ramp process to minimize the chances of future failures.

Keywords: Stops; Boiler; Industry; Analysis; Causes.

1. INTRODUÇÃO

As agroindústrias canavieiras desempenham um papel importante na economia brasileira. De acordo com Clein (2021), a importância das empresas desse setor está ligada às propriedades alimentares do principal derivado da cana-de-açúcar, o próprio açúcar, e das propriedades energéticas dos outros produtos e subprodutos oriundos dela, como o combustível etanol e a geração e cogeração de energia proveniente da queima do bagaço da cana.

Com o passar dos anos as indústrias buscam formas de se tornarem cada vez mais eficientes e competitivas no mercado. Dessa forma, as organizações passam a melhorar e otimizar cada vez mais seus processos para que possam suprir as demandas do mercado, tornando-se mais produtivas, minimizando falhas e em contrapartida, diminuindo seus custos de produção. As paradas industriais em uma usina de açúcar e álcool podem causar perdas econômicas substanciais, sendo assim, surge então a necessidade de analisar as falhas de modo a mitigar os seus efeitos para o processo.

Segundo Carpinetti (2010), com a evolução dos conceitos sobre qualidade no século passado, surgiram várias técnicas benéficas aos sistemas de gerenciamento da qualidade dos produtos e processos nas operações de produção em cadeia interna de valor. Seguindo essa linha de raciocínio, Carpinetti (2010) diz que as ferramentas da qualidade têm como finalidade o aumento da produtividade, almejando obter um melhor custo benefício no processo, identificar perdas e aumentar a competitividade da organização em termos de serviço ou produto final.

Diante disso Carpinetti (2012) frisa que a utilização de algumas ferramentas se faz necessário pois podem ser de suma importância para o gestor na identificação, priorização e solução de problemas na empresa, incitando uma política de qualidade constante.

Neste contexto Muniz *et al.* (2016) dizem que com a utilização sistematizada dessas ferramentas pode-se obter a origem causadora do problema, esse método foi chamado de Causa Raiz. Em relação à resolução dos problemas, Lima *et al.* (2014) diz que o investimento no planejamento e nas decisões das estratégias que serão aplicadas para reduzir ou eliminar os agentes de perdas é imprescindível, e para isso, deve-se entender melhor as atividades e os efeitos causados no fluxo de produção.

Com base no exposto acima, o principal objetivo deste estudo de caso é analisar quais setores da indústria apresentaram um maior tempo de indisponibilidade e quais as causas subjacentes. Foram aplicadas ferramentas da gestão da qualidade no período que compreende a safra de 2024 (até 30/09/2024), com a proposição de soluções de melhorias para reduzir o tempo de paradas industriais e aumentar a vida útil dos equipamentos.

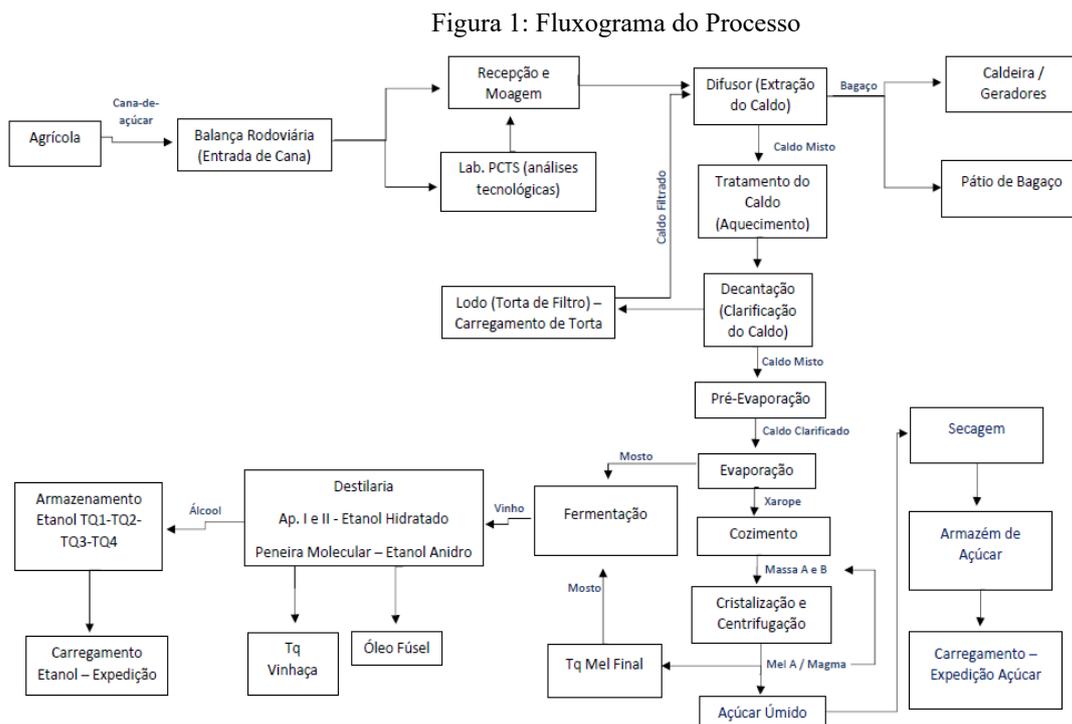
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. USINAS DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

As usinas responsáveis pelo processamento da cana-de-açúcar para fabricação de açúcar, etanol (anidro ou hidratado) e geração e cogeração de energia são chamadas de sucroalcooleiras. O Brasil destaca-se por ser o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, promovendo grande relevância no agronegócio brasileiro. Devido ao fato de possuir condições climáticas favoráveis, enormes áreas cultiváveis e a crescente demanda mundial por fontes de combustível renováveis, o Brasil têm se mostrado promissor para exportação dessa *commodity* (CONAB, 2020).

As operações nas indústrias sucroalcooleiras ocorrem de forma ininterrupta durante o período de safra, que corresponde ao período de plantio, colheita e moagem da cana-de-açúcar para produção de açúcar, etanol e energia. Por outro lado, o período de entressafra representa o período entre a pós colheita e o início do novo plantio, nesse período as usinas não produzem e utilizam o tempo para realizarem manutenções em toda planta.

O processo de produção nas usinas de açúcar e álcool é dividido em setores, sendo: Recepção e Preparo; Moagem/Difusão; Tratamento do Caldo; Evaporação do Caldo; Cozimento; Cristalização; Centrifugação; Preparo do Mosto; Fermentação; Destilação; Armazenagem de Açúcar e do Etanol (Mezaroba; Meneguett, 2010). O processo contendo os produtos e subprodutos de cada etapa pode ser representado pelo fluxograma mostrado na Figura 1:



Fonte: Autoria Própria

2.2 CALDEIRAS

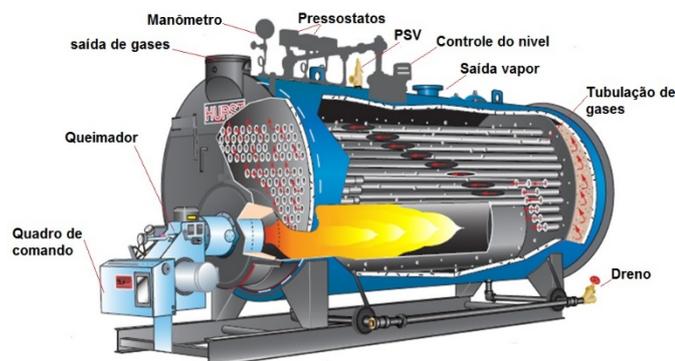
As usinas do setor sucroalcooleiro utilizam as caldeiras para promover a queima do bagaço da cana, cogerao energia e vapor para o processo. Segundo Leite e Militão (2008) as caldeiras são os equipamentos responsáveis por transformar a água em vapor com pressões superiores à atmosférica. Este processo ocorre através de trocas térmicas entre a água e um combustível que foi queimado.

Silva *et al.* (2008) dizem que as caldeiras podem ser classificadas em dois tipos:

- Flamotubulares (Figura 2): Os gases provenientes da combustão circulam no interior dos tubos e a água que será transformada em vapor circula pelo lado de fora, esse tipo de caldeira em média opera com pressões em torno de 10 kgf/cm² e produzem 15t/h de vapor.
- Aquatubulares (Figura 3): Os gases provenientes da combustão circulam na parte externa das tubulações e as tubulações contém em sua parte interna a massa de água e vapor, podem trabalhar com pressões superiores a 40 kgf/cm² e podem produzir até 750t/h de vapor em média.

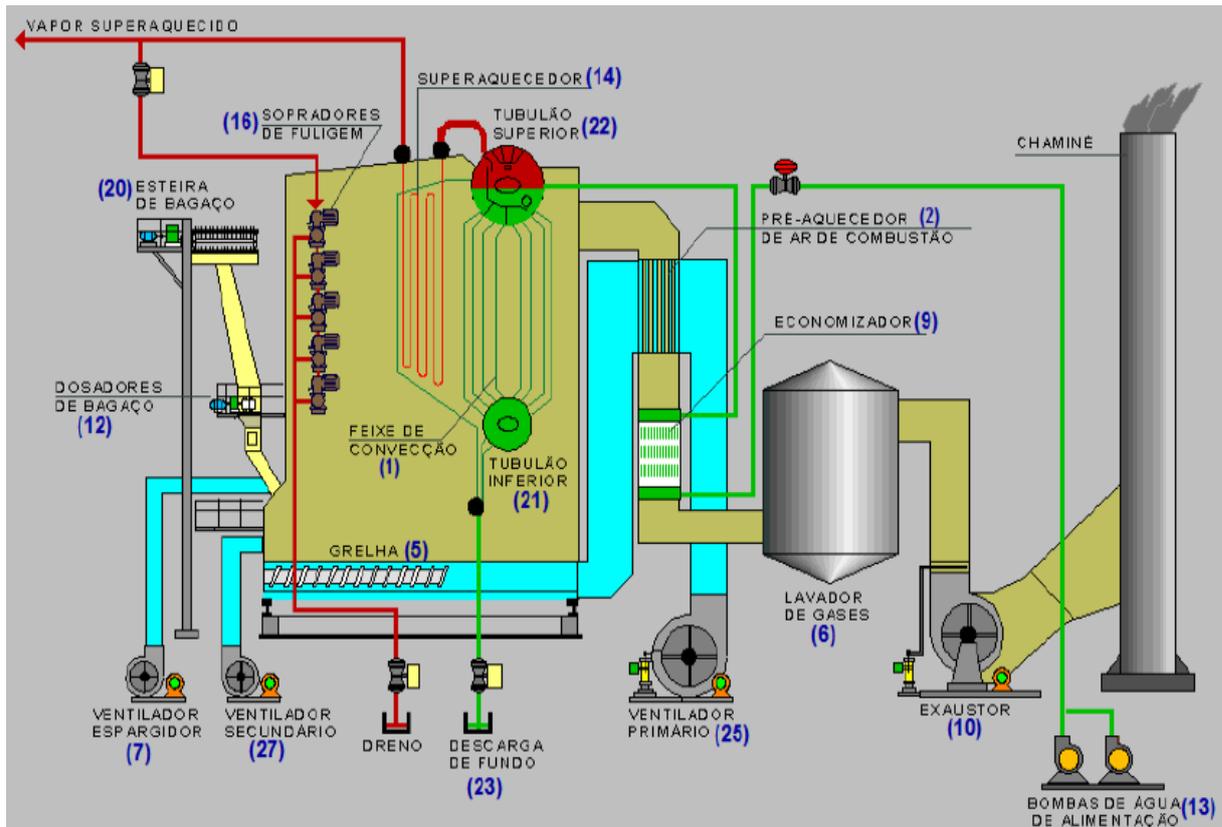
As usinas utilizam normalmente as caldeiras do tipo aquatubulares, pois fornecem uma maior quantidade de vapor que será utilizado no processo. A eficiência dos processos industriais de uma usina está ligada ao vapor gerado pelas caldeiras, pois se o vapor apresentar baixa pressão pode afetar o rendimento da produção ou até mesmo ocasionar paradas na indústria.

Figura 2: Caldeira Flamotubular



Fonte: Togawa Engenharia (2024)

Figura 3: Caldeira Aquatubular



Fonte: Adaptado de SMAR (2024)

2.3 MANUTENÇÃO

De acordo com a NBR-5462, a manutenção é definida como a combinação de todas as ações técnicas, administrativas e de supervisão, para manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

A manutenção, segundo Kardec e Nascif (2009) visa garantir a confiabilidade e disponibilidade das funções dos equipamentos e instalações, atendendo um processo ou serviço com segurança, preservando o meio ambiente e com custos compatíveis. Slack *et al.* (2002) afirma que a manutenção é a forma pela qual as empresas buscam evitar as falhas cuidando de suas instalações físicas. Os tipos mais comuns de manutenção são as corretivas, preventivas e preditivas.

Segundo Viana (2002) a manutenção corretiva é realizada após uma falha e seu objetivo é recuperar as condições de funcionamento do equipamento. A manutenção preventiva para Kardec e Nascif (2009) é aquela realizada para reduzir ou evitar falhas ou quedas de eficiência e normalmente são atreladas a um planejamento de manutenções que obedecem a um intervalo de tempo. Em paralelo as duas, a manutenção preditiva de acordo com Viana (2002) são manutenções

que tem como objetivo acompanhar máquinas ou equipamentos utilizando-se de monitoramentos, medições e análises para prever a chegada da falha.

2.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade, segundo Carpinetti (2010) são utilizadas como forma de gestão, que se obtém através de um conjunto de operações dentro de uma organização. Toledo (2001) relata que todas as empresas têm de buscar a qualidade por meio de um conjunto de atividades que definam parâmetros e padrões de seu produto. Dessa forma, as ferramentas da qualidade segundo Campos (1994), possuem a função de viabilizar o processo de gestão através de análises, gráficos de tendência, relações de causa e efeito, sendo esses dados, acessíveis aos gestores envolvidos no processo produtivo.

2.4.1 Análise de Falhas

Todo equipamento é passível de apresentar algum tipo de falha, e minimizá-la é uma tarefa inerente a gestão da produção e manutenção, sendo assim, ter um sistema de acompanhamento e controle das falhas é de extrema importância (Zolin, 2011). O objetivo da análise de falha é solucionar um problema que está afetando direta ou indiretamente o desempenho do processo ou equipamento, deve-se então observar de forma detalhada e coletiva todas as características relacionadas ao problema (Takayama, 2008).

Bentes (2007) explica que o gerenciamento de riscos está relacionado com a identificação, análise, avaliação e tratamento de riscos, pois diminui a possibilidade e probabilidade da ocorrência de falhas. A análise de risco segundo Pardo (2009) é a combinação de um processo qualitativo e quantitativo que fornece informações sobre eventos indesejáveis e as probabilidades e consequências esperadas dos riscos que foram identificados. A análise de falha tem por objetivo responder há algumas questões como: o que pode dar errado; qual a probabilidade de ocorrer; e quais as consequências do acontecimento.

2.4.2 Diagrama de Pareto

Segundo Machado (2012), o diagrama de Pareto tem o objetivo de mostrar a importância de todas as opções para que se possa escolher um melhor ponto de partida para solução de problemas, identificar a causa básica do problema e acompanhar sua resolução. No seguimento

industrial, são usados normalmente para identificar problemas mais importantes devido ao fato de usar diferentes critérios de medição como frequência de determinado evento e custo. É popularmente conhecido como a regra 80/20, onde 80% dos seus resultados são gerados por 20% das causas.

Diante disso, Koch (2015), relata que o princípio 80/20 demonstra que há um desequilíbrio entre as causas e os resultados, pois a maioria das causas tem baixo impacto, e a minoria tem alto impacto. Logo, compreende-se que os resultados são a derivação de uma pequena proporção das causas e esforços necessários para gerar esses resultados.

2.4.3 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, diagrama de causa e efeito ou diagrama de espinha de peixe, de acordo com Werkema (1995) é utilizado para indicar relações que existem entre os resultados de um efeito e suas possíveis causas, que de forma técnica, possam afetar os resultados desejados.

O método tem como finalidade indicar as origens de um problema existente, de forma que, vai de encontro com a causa raiz (Miguel, 2006). Para construir um diagrama de causa e efeito, deve-se realizar uma identificação do efeito a ser considerado e colocá-lo no lado direito do diagrama (Paladini, 1997). Para sua construção deve-se adotar como base das causas: matéria-prima, máquina, medida, meio ambiente, mão-de-obra e método. Dessa forma, é possível estruturar as causas raízes do problema em questão (Ballester-Alvarez, 2010).

2.4.4 Os “5 porquês”

O método é uma abordagem utilizada no sistema Toyota de Produção para chegar a verdadeira causa do problema, o método consiste em perguntar o porquê de um problema 5 vezes para encontrar a causa raiz. (Ohno, 1997).

2.4.5 5W2H

O 5W2H são uma série de 7 perguntas que vão nortear a construção de um plano de ação para resolução de determinado problema. As perguntas são feitas de modo a apoiar o planejamento de modo geral de acordo com as informações coletadas. O método 5W2H utiliza termos em inglês: What, Why, When, Who, Where, How, How Much (Daychouw, 2008). Abrantes (2009) explica as perguntas da seguinte maneira:

- What? - O que deve ser feito? (Ação);
- Why? - Por que deve ser feito? (Objetivo e/ou meta);

- When? - Quando deve ser feito? (Prazos);
- Who? - Quem deve fazer? (Responsáveis);
- Where? - Onde deve ser feito? (Local);
- How? - Como será feito? (Processo a ser seguido);
- How Much? - Quanto custará? (Orçamento).

3. MÉTODO APLICADO

As ferramentas da qualidade são grandes aliadas das empresas no tocante a melhorias e resolução de problemas. Diante disso, foi proposto um estudo de caso em uma usina de açúcar e álcool no interior do estado de São Paulo. Mediante à oportunidade, aplicou-se ferramentas como diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa e 5W2H para identificar as principais causas das paradas industriais e propor soluções de melhoria que terão impacto significativo para a companhia.

O propósito da pesquisa pode ser definido como propósito de avaliação de natureza aplicada, pois visa avaliar a eficiência ou eficácia de uma prática ou programa específico, com foco na decisão, e procura gerar conhecimento para aplicações práticas para resolução de problemas específicos (Ganga, 2011).

A abordagem utilizada pode ser definida como qualitativa, que segundo Ganga (2011) tem o objetivo de obter informações, observar e coletar evidências segundo a visão do indivíduo e que possibilitem interpretar o ambiente em que a problemática ocorre. O artigo caracteriza-se como sendo um estudo de caso, que para Ganga (2011) trata-se de uma pesquisa empírica baseada em fatos quantitativos e qualitativos que vão investigar um fenômeno inserido no contexto da vida real.

Para a construção do estudo de caso foram coletados dados das paradas industriais referentes a safra de 2024 (até o mês de setembro) via sistema PIM'S (Plant Information Management System) onde é feita a gestão completa das informações da planta. As variáveis coletadas foram: V1-Equipamentos Indisponíveis, V2-Tempo de Indisponibilidade e V3-Motivo da Indisponibilidade.

Vale ressaltar que a variável V2 realiza a somatória de tempo total da parada do equipamento, desde o momento em que o equipamento parou até a hora em que ele entrou em operação novamente, ou seja, tempo de manutenção, tempo para buscar materiais e etc.

Com o auxílio do gerente de produção industrial e o gerente de manutenção industrial, os dados foram planilhados utilizando o Microsoft Excel 2019 e foi gerado um gráfico e uma tabela

de modo que se obtivesse uma melhor visualização do equipamento que apresentava maior gargalo.

Em seguida utilizou-se ainda dentro do Excel, o diagrama de Pareto para que mostrasse, dentre as falhas do equipamento, quais eram mais significativas e deveriam ser exploradas. Após isso utilizou-se um diagrama de Ishikawa para identificar as principais causas dessa falha e com a ajuda do 5W2H foi possível elaborar um plano de ação de melhoria para sanar e/ou evitar o problema.

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa estudada, como mencionado anteriormente, foi uma usina de açúcar e álcool localizada no interior do estado de São Paulo que pertence a um grupo composto de mais duas unidades localizadas no estado do Paraná. A companhia como um todo possui quase cem anos no mercado, e a unidade em questão iniciou suas operações em 2007 apenas com a produção de etanol anidro e hidratado e apenas em 2015 expandiu sua produção para o ramo açucareiro. A companhia conta com aproximadamente 5000 colaboradores, e na unidade em questão são 1500 funcionários divididos entre os departamentos agrícola, produção industrial, manutenção industrial, qualidade e administrativo.

As operações dão-se início no campo, nas plantações de cana, que ao chegarem na usina passam por um processo de extração do caldo que posteriormente poderá ser processado para se transformar em açúcar ou etanol, e o bagaço e algumas impurezas como palha são utilizados como combustível para serem queimados na caldeira e transformados em vapor e energia para o processo. A capacidade produtiva média diária da unidade gira em torno de 17.000 sacas de açúcar VHP, 800 m³ de etanol hidratado, 200m³ de etanol anidro, 200 t/hora de vapor superaquecido a 530°C, pressão de 65 Kgf/cm² e 48,5 MW de energia gerada por dois turbo geradores.

A usina conta com um período de safra relativamente longo, são aproximadamente 9 meses de safra e 3 de entressafra. Durante a safra a usina opera praticamente de forma ininterrupta, ou seja, 24 horas por dia, isso faz com que alguns equipamentos apresentem falhas e desgastes que podem ocasionar paradas bruscas que tem um alto reflexo no processo como um todo.

Apesar de todos os cronogramas de manutenção e o período de entressafra que se torna exclusivo para realização de manutenções na unidade, a usina enfrenta problemas com paradas industriais longas e inesperadas que fazem com que diminua a produção e conseqüentemente cause um impacto financeiro para unidade.

4.2 ANÁLISES

Para realizar esse estudo foram coletados dados do sistema PIM'S, junto com a gerência da unidade, e pôde-se construir um histórico através de duas planilhas no Microsoft Excel 2019 separando todas as paradas que ocorreram na indústria na safra de 2023 (20/02/2023 até 30/11/2023) e 2024 (11/03/2024 até 30/09/2024), conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Paradas Industriais Safra 2023

SAFRA 2023		
Equipamento	Qtd. Paradas	Horas Paradas
Bomba de Caldo Prensado	24	2:39:00
Caldeira	14	67:49:00
CCM Difusor	2	0:23:00
CCM Recep. E Preparo	3	0:17:00
Desfibrador	3	2:53:00
Difusor	35	11:03:00
Eletroímã	24	1:53:00
Espalhador de Cana	1	2:14:00
Espargidor	1	1:27:00
Esteira Cush-Cush	1	0:05:00
Esteira de Cana Desfibrada	4	0:26:00
Esteira de Palha TC1	11	4:05:00
Esteira de Saída Difusor	17	5:07:00
Esteira Metálica	10	1:50:00
Esteira Principal do Difusor	8	0:23:00
Esteira de Retorno do Difusor	21	2:38:00
Esteira Secadora	1	0:11:00
Esteira Transversal	13	24:19:00
Hillo	42	12:12:00
Linha de Caldo Misto	1	0:14:00
Mesa Alimentadora	31	5:03:00
Moenda Desaguadora	9	2:52:00
Moenda Secadora	24	2:47:00
Peneira de Palha	2	0:05:00
Rede da Evaporação	1	0:02:00
Rede do Difusor	1	0:05:00
Rede da Recep. E Preparo	8	0:51:00
Rede do Trat. De Caldo	1	0:03:00
Tambor Alimentador	5	0:18:00
Tanque de Caldo Peneirado	3	0:09:00
Transformador da S.E.	1	2:05:00
Turbo Geradores	2	1:18:00
Total	324	157:46:00

Fonte: Autoria Própria

A planilha acima, refere-se aos dados da safra do ano de 2023 (20/02/2023 até 30/11/2024) e pode-se observar que a unidade teve 324 paradas industriais, totalizando 157 horas e 46 minutos de indisponibilidade. Além disso, notou-se que a Caldeira foi o equipamento com maior tempo de indisponibilidade, tendo ficado inoperante 67 horas e 49 minutos, o que representa aproximadamente 43% do tempo total. A planilha apresentada na figura 5 refere-se aos dados da safra do ano de 2024 até o mês de setembro.

Figura 5: Paradas Industriais Safra 2024

SAFRA 2024 (30/09/2024)		
Equipamento	Qtde. Paradas	Horas Paradas
Bomba de Caldo Peneirado	4	0:25:00
Bomba de Caldo Prensado	28	2:07:00
Caldeira	13	117:23:00
Compressor de Ar da Evaporação	1	3:46:00
Decantador	1	2:55:00
Desfibrador	1	6:33:00
Difusor	21	3:40:00
Eletroímã	34	2:22:00
Esteira Cush-Cush	1	0:09:00
Esteira de Cana Desfibrada	6	6:46:00
Esteira de Elevação Caldeira	3	0:39:00
Esteira de Estoque	2	12:14:00
Esteira de Retorno do Difusor	6	1:46:00
Esteira de Saída Difusor	9	1:00:00
Esteira Desaguadora	14	16:43:00
Esteira Distribuidora	9	54:22:00
Esteira Metálica	4	0:14:00
Esteira Secadora	4	5:29:00
Esteira Transversal	5	0:35:00
Hillo	23	4:57:00
Mesa Alimentadora	18	4:03:00
Moega Dosadora	1	2:16:00
Moenda Desaguadora	5	0:31:00
Moenda Secadora	16	8:18:00
Peneira Rotativa	1	6:39:00
Rede da Recep. E Preparo	2	0:18:00
Rede de Comunicação	2	4:20:00
Regenerador nº1	2	1:20:00
Tambor Alimentador	6	0:29:00
Turbo Geradores	4	6:55:00
Total	246	279:14:00

Fonte: Autoria Própria

A partir da Planilha apresentada na Figura 5, observa-se que a unidade teve, até o mês de setembro, 246 paradas industriais, totalizando 279:14min de indisponibilidade. Ademais, notou-se que a Caldeira foi novamente o equipamento com maior tempo de indisponibilidade, tendo ficado inoperante 117 horas e 23 minutos, o que representa aproximadamente 42% do tempo total. Com base nessas informações, evidenciou-se a Caldeira como equipamento mais crítico, pois historicamente ela apresenta falhas mais significativas para o processo.

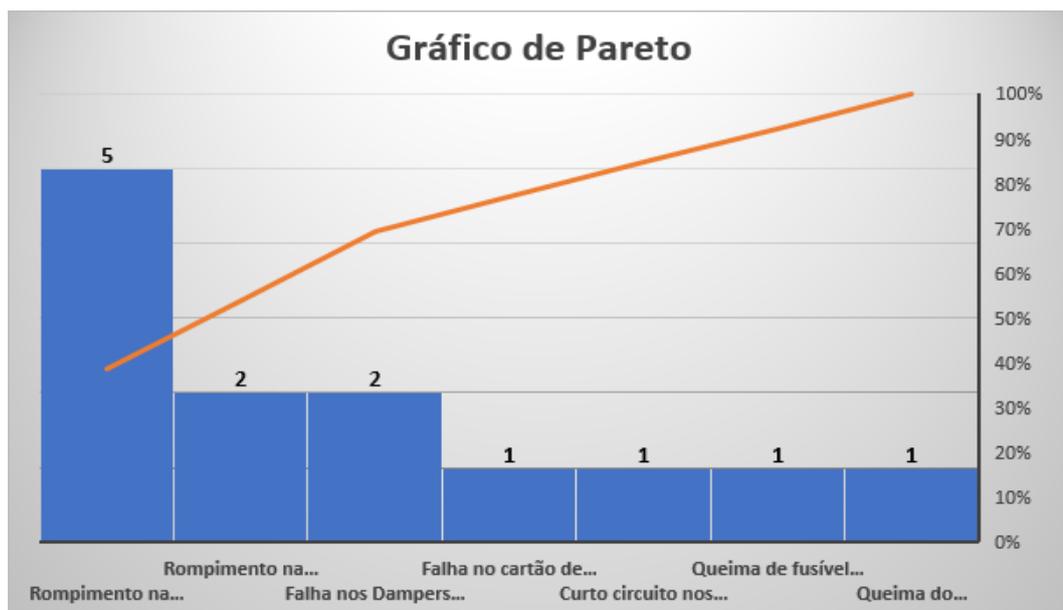
Desse modo, optou-se por realizar uma análise das falhas apresentadas pela Caldeira através do diagrama de Pareto (Figura 6) para identificar o problema mais importante e recorrente. Para a construção do diagrama utilizou-se como base as 13 falhas apresentadas pela Caldeira até o mês de setembro, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Causas das paradas na Caldeira na safra 2024

Motivo da Falha	Qtde.
Rompimento na tubulação do superaquecedor	5
Rompimento na tubulação da Parade de água	2
Falha nos Dampers dos exaustores	2
Falha no cartão de comunicação de rede Profibus	1
Curto circuito nos cabos de saída do Turbo Gerador 1	1
Queima de fusível no CCM	1
Queima do ventilador primário	1
Total	13

Fonte: Autoria Própria

Figura 6: Gráfico de Pareto

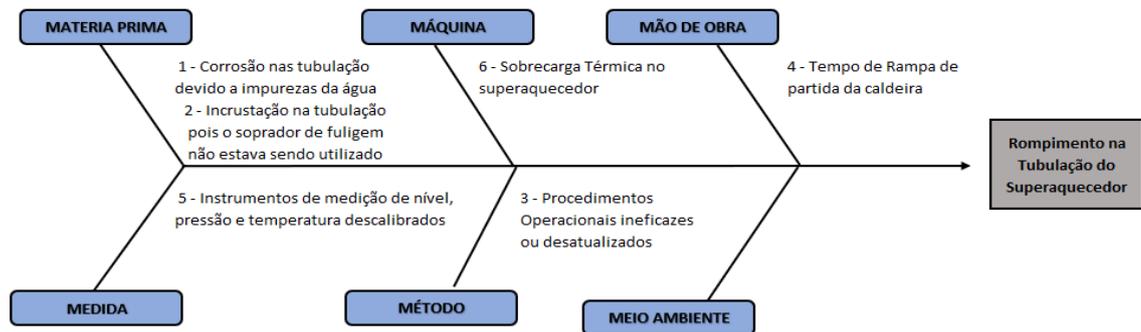


Fonte: Autoria Própria

Após a construção do diagrama de Pareto, pôde-se perceber que a principal causa das paradas na Caldeira foram devido a rompimentos nas tubulações do superaquecedor. O superaquecedor é um componente importante na construção das Caldeiras pois tem a função de aumentar a temperatura e pressão do vapor gerado na Caldeira acima do ponto de saturação.

Dessa forma, para investigar as causas que levaram ao rompimento da tubulação do superaquecedor, foi construído o diagrama de Ishikawa apresentado na Figura 7, junto à gerência, para evidenciar todas as possíveis causas do problema.

Figura 7: Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autoria Própria

Foram identificadas 6 possíveis causas para o rompimento da tubulação, porém após uma análise detalhada dos gerentes de produção industrial e manutenção industrial, o tempo de rampa de partida da Caldeira foi considerada como principal causa do rompimento. Essa escolha levou em consideração uma análise de todos os fatores presentes no diagrama, logo percebeu-se que não havia corrosão ou incrustação tão significativa a ponto de causar o rompimento, não houve sobrecarga térmica no equipamento com base no histórico registrado, os instrumentos de medição estavam devidamente calibrados, e ainda, os procedimentos operacionais estão corretos.

Sendo assim a causa do rompimento foi devido ao tempo de rampa de partida da caldeira. Faz-se necessário então avaliar o motivo que levou a falha operacional, sendo assim foi utilizado a ferramenta dos “5 porquês”, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8: Os “5 Porquês”

Descrição do Problema	<i>Tempo de Rampa de Partida da Caldeira</i>
1 - Por que?	O tempo da rampa de partida da Caldeira foi muito curto
2 - Por que?	Os operadores não seguiram o procedimento de rampa da Caldeira (9 horas)
3 - Por que?	Não era praticado todas as premissas estabelecidas no procedimento dos operadores
4 - Por que?	Não julgavam ser de tamanha importância
5 - Por que?	Falta de conscientização e envolvimento da gestão de forma mais próxima

Fonte: Autoria Própria

Observou-se que os operados não seguiram corretamente o procedimento de rampa de partida (lenta) da Caldeira pois não davam a devida importância. As rampas de partida da Caldeira ocorrem em casos de parada total, onde a caldeira é resfriada (aproximadamente 16 horas) e posteriormente aquecida do zero (aproximadamente 9 horas), porém existem casos de paradas durante o ciclo de operação como nos casos de interrupções temporárias na produção, onde o “reaquecimento” deve ser feito de forma controlada.

De acordo com os dados do histórico do sistema, os operadores estavam fazendo rampas de partida com no máximo 2 horas, com isso houveram variações grandes de temperatura e pressão dentro da Caldeira, ocasionando um estresse térmico, aumento de tensão e diminuindo na resistência do material na construção da tubulação, gerando trincas e fissuras que ocasionaram o rompimento. Para solucionar o problema, foi elaborado um plano de ação, que utiliza como base para sua construção o princípio do 5W2H apresentado na Figura 9.

Figura 9: 5W2H

<i>O que deve ser feito?</i>	Treinamento com os operadores da Caldeira
<i>Por que deve ser feito?</i>	Para que eles compreendam a importância da rampa de partida no tocante a segurança e eficiência do equipamento
<i>Quando deve ser feito?</i>	Ao final do período de safra
<i>Quem deve fazer?</i>	Gerentes e o supervisor da Caldeira
<i>Onde deve ser feito ?</i>	Caldeira
<i>Como deve ser feito ?</i>	Deverá ser passado aos operadores instruções técnicas sobre as operações da Caldeira de modo geral e através de atividades práticas, mostrar a importância do cumprimento dos procedimentos operacionais estabelecidos
<i>Quanto custará?</i>	Não haverá custo direto

Fonte: Autoria Própria

O problema pode ser solucionado através de treinamentos com os operadores da Caldeira. Eles devem passar por uma “reciclagem” dos procedimentos e padrões estabelecidos pela companhia para que possam compreender a importância do cumprimento dos mesmos. Deve ser realizado em loco, de forma prática para uma melhor fixação, além disso contará com o apoio da gerencia e supervisão para sua realização (reduzindo custos de contratar uma empresa terceirizada). Isso fará com que a operação se torne mais segura e eficiente, minimizando possibilidades reincidência do problema.

Além da proposta de treinamento com a operação, vale a ressalva de que, pode ser realizado um estudo de viabilidade para implantação de um sistema automatizado que evite falhar humanas. Essa automação deve ser capaz de ajustar todos os parâmetros da operação da rampa de partida de acordo com condições de temperatura, umidade do bagaço e outras variáveis que possam influenciar no processo. Assim aliado ao treinamento, poderá garantir uma menor chance de falhas operacionais futuras.

O rompimento na tubulação do superaquecedor da Caldeira ocorreu 5 vezes durante essa safra, em relação ao total de paradas da Caldeira ele representa aproximadamente 38%. Levando em consideração 117 horas e 23 minutos que a Caldeira ficou parada, obtém-se aproximadamente 5 dias de indisponibilidade, e como mencionado anteriormente, o rompimento da tubulação corresponde a 38% desses 5 dias, sendo assim pode-se chegar à conclusão que em média a caldeira ficou 2 dias parada por rompimento na tubulação do superaquecedor.

Com isso pôde-se calcular o ganho financeiro efetivo de se eliminar este problema, considerando os seguintes dados do processo e o preço estimado de venda do açúcar VHP e do Etanol Anidro e Hidratado, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Produção e Preços estimados

Produção de Açúcar VHP (sacas/dia)	17.000
Produção de Etanol Hidratado (dia)	800
Produção de Etanol Anidro (dia)	200
Preço médio da saca de Açúcar VHP (R\$)	R\$ 145,79
Preço médio do Etanol Hidratado (R\$/m ³)	R\$ 3.675,00
Preço médio do Etanol Anidro (R\$/m ³)	R\$ 2.714,00
Açúcar VHP	R\$ 2.478.430,00
Etanol Hidratado	R\$ 2.940.000,00
Etanol Anidro	R\$ 542.800,00
Faturamento Total (24 horas)	R\$ 5.961.230,00

Fonte: Autoria Própria

Sendo assim, em 2 dias de inoperabilidade devido ao rompimento da tubulação do superaquecedor da Caldeira, a usina deixa de produzir e conseqüentemente faturar um total aproximado de R\$ 11.922.460,00. Esse valor não considera a exportação de energia elétrica.

5. CONCLUSÃO

O presente artigo buscou analisar como as ferramentas da gestão da qualidade podem ser importantes para identificação, análise e resolução de um problema. Foram analisados os dados das falhas industriais no período da safra 2023 (20/02/2023 até 30/11/2023) e 2024 (11/03/2024 até 30/09/2024). Os dados evidenciaram historicamente uma tendência de a Caldeira Aquatubular ser o equipamento com maior tempo de indisponibilidade durante a safra.

Com base nos dados, a Caldeira foi escolhida como alvo do estudo, dessa forma avaliou-se de forma separada as falhas ocorridas no equipamento durante a safra de 2024, e com a ajuda do diagrama de Pareto notou-se que o maior problema se encontrava no rompimento das tubulações do superaquecedor. Elaborou-se então um diagrama de Ishikawa para que se pudesse entender as causas desse efeito.

O diagrama de Ishikawa evidenciou que o maior causador do rompimento foi o tempo de rampa de partida feita na caldeira. Para que fosse possível entender mais a fundo o problema, utilizou-se a ferramenta dos 5 Porquês e notou-se que os operadores não seguiam o procedimento de rampa de partida da Caldeira corretamente, e isso fez com que houvesse variações de pressão e temperatura causando trincas e fissuras na tubulação.

Elaborou-se então um plano de ação, visando realizar treinamento com os operadores da Caldeira afim de conscientiza-los da importância do cumprimento dos procedimentos estabelecidos e seus benefícios, além de realizar um estudo de viabilidade para automação do processo de rampa de partida da Caldeira. Então, com base nos dados do processo, caso o problema do rompimento da tubulação pare de ocorrer, foi possível estipular um PayBack após a realização do treinamento de aproximadamente R\$ 11.922.460,00.

O estudo de caso evidenciou de forma prática como as ferramentas da gestão da qualidade auxiliam na investigação da causa raiz de um problema e como ela norteia as possíveis soluções para o mesmo. Através dos resultados obtidos neste estudo de caso pode-se afirmar que as ferramentas contribuem de forma considerável para a gestão e melhoria contínuas nas empresas, promovendo um maior tempo de disponibilidade, aumento na produção e qualidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANTES, José. **Gestão da Qualidade**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

BALLESTERO-ALVAREZ, Maria Esmeralda. **Gestão de qualidade, produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2010.

BENTES, F. M. **Programa de gestão de risco para tubulações industriais**. Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências Mecânicas, Brasília – DF, 2007. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/3112/1/2007_FlavioMaldonatoBentes_parcial.pdf> Acesso em: 07 de outubro de 2024.

CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia a dia**. Belo Horizonte - 2º Ed., Fundação Christiano Ottoni, 1994.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CLEIN, C. **Motivos e consequências da falência de agroindústrias canavieiras no estado do Paraná**. 2021. 111 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2021. Disponível em: < <https://tede.unioeste.br/handle/tede/5292>> Acesso em: 29 de setembro de 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries Históricas das Safras**. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/893-cana-de-acucar-industria>> Acesso em: 07 de outubro de 2024.

DAYCHOUW, Merhi. **40 ferramentas e técnicas de gerenciamento**. Rio de Janeiro: Brasport, 2007.

GANGA, G. M. D. **Metodologia científica e trabalho de conclusão de curso (TCC): um guia prático de conteúdo e forma**. São Carlos: UAB-UFSCAR, 2011.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KOCH, Richard. **O Poder 80/20: Os segredos para conseguir mais com menos nos negócios e na vida**. São Paulo: Gutenberg, 2015.

LEITE, N. R.; MILITÃO, R. A. **Tipos e aplicações de caldeiras**. Prominp (Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural), São Paulo – SP, 2008.

LIMA, Y. C. C. et al. **Lean construction e P+L como ferramenta de gestão da qualidade na construção civil: Uma Estratégia Competitiva**. In: XXXIV ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014, Curitiba. Anais... Curitiba: ABEPRO, 2014. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_tn_s tp_203_149_26057.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

MACHADO, Simone. **Gestão da Qualidade**. Inhumas/GO: e-Tec Brasil, 2012. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/ei_xo_prd_industr/tec_acucar_alcool/161012_gest_qual.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

MEZAROBA, S.; MENEGUETTI, C.C. **Fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar**. Trabalho da Disciplina de Fatores de Produção Agropecuária (Graduação em Engenharia de Produção Agroindustrial) – Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, Campo Mourão, 2010. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.fecilcam.br/anais/iv_eepa/data/uploads/9-engenharia-da-sustentabilidade/9-07-com-autores.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

MIGUEL, P. A. C.; SALOMI, G. E. **Uma Revisão dos Modelos para Medição da Qualidade em Serviços**. Produção, v. 14, n. 1, p. 12-30, 2006. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/prod/a/FTK7SqrMsBt3FSSJqKZHKNs/?lang=pt>> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

MUNIZ, G. F. et al. **Análise da causa raiz no processo produtivo por meio do uso das ferramentas da qualidade**. DI Factum, v. 1, p. 75-81, 2016.

NBR 5462: 1994. **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ufsb.edu.br/propa/images/dinfra/coman/Legisla%C3%A7%C3%B5es/NBR-5462.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALADINI, E. P. **Qualidade Total na Prática – Implantação e Avaliação de Sistemas de Qualidade Total**. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A., 1997.

PARDO, J. A. R. **Metodologia para análise e gestão de riscos em projetos de pavimentos ferroviários**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geotecnia, Ouro Preto – MG, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/items/02ae2a8e-aa45-4caf-9403-bc0bc5d33906> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

SILVA, R. L. A., et al. **Análise de risco utilizando a ferramenta FMEA em um gerador de vapor**. In: Encontro Nacional de Engenharia De Produção (ENEGEP), XXVIII, Rio de Janeiro – RJ, 2008. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_s to_072_512_11900.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

SLACK, N. ; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002;
SMAR. **Automação Industrial**. Disponível em: <http://www.smar.com>. Acesso em: 08 de outubro de 2024.

TAKAYAMA, M.A.S. **Análise de falhas aplicada ao planejamento estratégico da manutenção**. Minas Gerais, 2008.

TOGAWA, Victor. **Partes que compõe uma caldeira**. Disponível em: <https://togawaengenharia.com.br/blog/partes-que-compoem-uma-caldeira/> Acesso em: 08 de outubro de 2024.

TOLEDO, J. C. **Conceitos básicos de qualidade de produto**. In: BATALHA, M.O. Gestão Agroindustrial. v. 1. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WERKEMA. M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

ZOLIN, I. **Ensaio Mecânicos e Análises de Falhas**. Santa Maria: e-Tec, 2011. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/15_ensaios_mecanicos_analises_falhas.pdf> Acesso em: 08 de outubro de 2024.