



ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO AUTÔNOMA DE TUBOS DE AÇO SEM COSTURA EM LINHAS PRODUTIVAS DE UMA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: ENFOQUE EM MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS

RELIABILITY ANALYSIS OF AUTONOMOUS MEASURING EQUIPMENT FOR SEAMLESS STEEL PIPES IN PRODUCTION LINES OF A STEEL INDUSTRY: FOCUS ON MAINTENANCE CENTERED ON RELIABILITY AND COST REDUCTION

ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD DE EQUIPOS DE MEDICIÓN AUTÓNOMOS PARA TUBOS DE ACERO SIN COSTURA EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN EN UNA INDUSTRIA SIDERÚRGICA: ENFOQUE EN EL MANTENIMIENTO ENFOCADO A LA CONFIABILIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS

Fernando Augusto Baia de Paula ¹

¹ Instituto Federal de Minas Gerais

¹fernandobaia9@gmail.com

ARTIGO INFO.

Recebido: 01.07.2024

Aprovado: 06.08.2024

Disponibilizado: 30.09.2024

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção, Redução de Custos, Confiabilidade, Melhoria contínua.

KEYWORDS: MAINTENANCE, COST REDUCTION, RELIABILITY, CONTINUOUS IMPROVEMENT.

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento; Reducción de costos; Fiabilidad; Mejora continua.

***Autor Correspondente:** de Paula, F. A. B.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo demonstrar como a manutenção com foco na confiabilidade do processo pode ser benéfica à produtividade das empresas. O estudo foi realizado abordando técnicas de investigação dentro das linhas produtivas de tubos de aço sem costura de uma empresa brasileira situada no município de Jeceaba, Minas Gerais. Foram realizados testes de aferição e calibração dos medidores de comprimento do equipamento de inspeção eletromagnética e das serras de corte de tubos do processo de produção de tubos de aço sem costura, mitigando falhas e determinando parâmetros seguros para medição dos tubos produzidos pela empresa, tornando os resultados mais confiáveis e possibilitando redução de custos produtivos. O estudo surgiu dentro do programa de desenvolvimento de estagiários promovido pela empresa, que consistia em uma série de atividades a serem desenvolvidas pelos estagiários para melhoria dos processos internos e redução de custos no processo produtivo da empresa, onde diante do trabalho desenvolvido foi possível a descoberta de uma redução de custos de aproximadamente 1 milhão de reais anuais no processo, otimizando o processo e os lucros das empresas.

ABSTRACT

This study aimed to demonstrate how maintenance focused on process reliability can be beneficial to companies' productivity. The study was conducted by addressing

investigation techniques within the seamless steel tube production lines of a Brazilian company located in the city of Jeceaba - Minas Gerais. Calibration and measurement tests were performed on the length gauges of the electromagnetic inspection equipment and the tube cutting saws of the seamless steel tube production process, mitigating failures and determining safe parameters for measuring the tubes produced by the company, making the results more reliable and enabling a reduction in production costs. The study arose within the intern development program promoted by the company, which consisted of a series of activities to be developed by the interns to improve internal processes and reduce costs in the company's production process. Given the work developed, it was possible to discover a reduction in costs of approximately R\$1 million per year in the process, optimizing the process and the companies' profits.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo demostrar cómo el mantenimiento centrado en la confiabilidad del proceso puede ser beneficioso para la productividad de las empresas. El estudio se realizó mediante técnicas de investigación dentro de las líneas de producción de tubos de acero sin costura de una empresa brasileña ubicada en el municipio de Jeceaba, Minas Gerais. Se realizaron pruebas de medición y calibración de los medidores de longitud de los equipos de inspección electromagnética y de las sierras cortadoras de tubos en el proceso de producción de tubos de acero sin costura, mitigando fallas y determinando parámetros seguros para la medición de los tubos producidos por la empresa, logrando resultados más confiables y permitiendo una reducción de los costes de producción. El estudio surgió dentro del programa de desarrollo de pasantes impulsado por la empresa, el cual consistió en una serie de actividades a desarrollar por los pasantes para mejorar los procesos internos y reducir costos en el proceso productivo de la empresa, donde en vista del trabajo desarrollado se pudo descubrir una reducción de costos de aproximadamente 1 millón de reales por año en el proceso, optimizando el proceso y los beneficios de las empresas.

INTRODUÇÃO

Confiabilidade é a palavra-chave em um circuito de equipamentos industriais, onde se espera que os resultados sejam positivos e confiáveis, pois com um mercado extremamente competitivo e clientes cada vez mais exigentes, os processos necessitam de maior precisão para que as empresas satisfaçam as expectativas dos clientes externos e internos. Uma vez que os resultados internos também são de suma importância nos processos, visando redução de custos de manutenção corretiva, desperdício de matéria-prima e descarte de material com valor agregado.

Segundo Lafraia (2001), o objetivo da manutenção na ótica da manutenção centrada da confiabilidade é garantir que um sistema ou elemento prossiga a desempenhar as funções para as quais foi projetado ou produzido. Essa abordagem concentra-se na manutenção preventiva para evitar paradas indesejadas do processo.

A manutenção centrada na confiabilidade (MCC) é uma metodologia que estuda um sistema ou equipamento em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer a manutenção e a prevenir as falhas ou, ao menos, minimizar as perdas ocasionadas por elas (Karddec & Nascip, 2013).

Pensando nesse conceito, considerado determinante para alcançar os objetivos traçados para o projeto do programa de desenvolvimento de estagiários da empresa VSB Soluções Tubulares, desenvolveu-se este projeto visando o aumento da confiabilidade no processo de produção de tubos de aço sem costura e na possível redução de custos no processo produtivo, buscando a revisão dos parâmetros dos medidores de tubos existentes na linha de produção, tratando as falhas encontradas, gerando dados comparativos e tendo como objetivo específico à redução de custos no processo através do levantamento de manutenção e confiabilidade.

O estudo teve como foco os medidores de comprimento e serras feixe do setor de laminação da usina, onde foram feitos testes comparativos e de repetitividade na linha de produção dos tubos. Levantou-se dados históricos no sistema com objetivo de montar um comparativo, mostrando as variações dos equipamentos ao longo do tempo e confrontando com as especificações dos fabricantes das máquinas e dos parâmetros determinados pelo departamento de engenharia da empresa, formando uma base para melhorias e ajustes no processo produtivo.

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Segundo François Monchy no livro “A função da manutenção” (1989) o termo “manutenção” tem origem no universo militar, onde o objetivo esperado é manter eficiente, nas unidades de combate, o efetivo de material necessário para um nível constante. Entendendo o significado de a palavra manter, temos a definição de dicionário: “fazer ficar ou ficar em determinado estado, posição ou situação; conservar (-se)”. Monchy sustenta que manutenção é um conjunto de ações que permite manter ou reestabelecer um bem, dentro de um estado específico ou na medida para assegurar um serviço determinado.

Após a segunda guerra, técnicas de manutenção acabaram sendo muito difundidas dentro das indústrias, um legado adquirido durante o período e com as demandas que esse exigiu para ser mantido e alimentado. Falhas em equipamentos e, consequente perdas dolorosas, fizeram que como os olhos se voltassem a processos e equipamentos mais confiáveis. Os avanços da manutenção se deram em três linhas de ação principais (Nippon Steel Corporation, 1988):

- Métodos de gerenciamento;
- Aumento da confiabilidade de equipamentos e sistemas;
- Desenvolvimento de alternativas tecnológicas para os equipamentos existentes.

Em se tratando de melhoria continua dos processos produtivos, determinar rotinas de inspeção nos equipamentos, realizar levantamentos, o tratamento dos dados gerados e traçar planos de ação para dirimir as falhas encontradas são medidas imprescindíveis dentro dos processos produtivos das indústrias em geral, pois tais medidas tem como consequência a melhora geral do processo, diminuindo a necessidade intervenções de manutenção, maior produtividade em função diminuição de paradas não programadas na produção e, consequentemente, maior lucratividade e confiabilidade na empresa.

Para Bevilacqua et al. (2000), a definição da melhor solução de manutenção deve ser analisada individualmente de um equipamento para outro, levando em consideração sua taxa de falhas, seu custo de manutenção e o impacto da falha no sistema de produção. Por esta razão, acreditamos que a manutenção deve ser analisada caso a caso para decidir qual a melhor estratégia a adaptar.

Em um cenário de globalização, no qual as empresas conseguem derrubar barreiras geográficas e vender e distribuir produtos para qualquer lugar do mundo, a manutenção passa a ser vista dentro dessas organizações como uma função estratégica para aumentar a confiabilidade, melhorar a produtividade e reduzir custos de processos. Isso ocorre porque a produtividade está diretamente relacionada à redução de custos e pode levar a maiores receitas. Melhorar a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos de produção contribui, portanto, sobremaneira para aumentar a competitividade em uma organização (Ārya et al., 2009; Niu et al., 2010).

Assim sendo, tornou-se necessário introduzir uma nova mentalidade nas indústrias e abandonar a cultura da manutenção reativa nas unidades industriais. A implementação da manutenção corretiva impacta diretamente no desempenho da planta. Outro equívoco cultural é a implementação de manutenções preventivas mal planejadas, sem preparo prévio, consulta sobre outras áreas de possível envolvimento e pontos mais diversos que incluem tal manutenção. Um bom planejamento é essencial para as boas práticas serem implementadas eficazmente, alcançando melhores resultados. Poucas empresas estão percebendo o potencial da manutenção preditiva associada ao uso de técnicas preditivas e possibilitada pela nova tecnologia disponível hoje (Deshpad & Modak, 2001).

Em busca de formas de melhorar os processos nas instituições, novas técnicas passaram a ser trabalhadas e difundidas de maneira mais ampla no ambiente industrial. A Manutenção voltada a evitar problemas futuros, onde prevenção de problemas se mostra mais eficaz do que atuações corretivas, estão sendo muito bem-vistas dentro dos programas de manutenção. O Planejamento prévio, paradas programadas para verificação do sistema, testes constantes nos equipamentos são ferramentas presentes no dia a dia das indústrias. Oliveira e Diniz (2001) defendem que para reduzir a probabilidade de sua indisponibilidade esses dispositivos devam ser testados periodicamente.

Dito isso, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MMC) entra em pauta, uma vez que foi desenvolvida para auxiliar na elaboração e, conseqüentemente, melhoria dos programas de manutenção nas instituições. Desse modo, tem-se que a MCC realiza avaliações criteriosas dos processos para levantamento detalhado de possíveis falhas e suas conseqüências nos processos produtivos, como a falta de segurança e perda de produção. Com esse pensamento bem sedimentado assegura-se que as empresas poderão aumentar os índices de segurança e confiabilidade, onerando menos os sistemas e conseguindo bons índices de economia e produtividade.

A presença da manutenção é inerente a todos os ramos de um negócio, podemos citar alguns como: segurança, integridade ambiental, indústrias, em geral, qualidade de produto, disponibilidade física de equipamentos, confiabilidade e custos operacionais. Em acordo com esse pensamento, a comunidade profissional que compõe todas as áreas de uma empresa deve assumir a responsabilidade e tomar o protagonismo para contribuir com o gerenciamento constante dos processos de trabalho. Dessa forma, a manutenção representa umas das atividades mais importantes nos processos produtivos e organizacionais de uma instituição, e deve ser vista como impulsionadora das empresas que almejam alcançar bons níveis de excelência produtiva e se diferenciar dos concorrentes como indicam Chaves e Medeiros (1998).

Outro fato importante de ser abordado nesse universo de melhorias nos ambientes de trabalho é o econômico. Melhorias contínuas de processos, ações coordenadas e planejadas, redução de paradas no processo produtivo, redução de manutenções corretivas de equipamentos por quebra e tudo que está relacionado a mitigar falhas nas linhas produtivas, tem por tendência e conseqüência redução nos custos dos produtos e isso traz lucros atrativos para indústrias e empresas diversas. Já que a competição do mercado de trabalho se tornou tão forte, os detalhes em melhoria contínua podem se reverter em melhores preços e, assim, em maiores chances de vencer concorrências com outras empresas.

A vantagem competitiva é construída aumentando o valor de um produto para os clientes ou reduzindo o custo de trazer um produto ao mercado (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2014).

Em um mercado competitivo onde a procura é diretamente afetada pelos preços aplicados aos bens e serviços, uma das principais ações que as empresas e organizações devem tomar para obter maiores lucros é controlar e reduzir custos (Akkem, 2017). Sendo assim, manter-se competitivo em termos de custos em um mercado globalizado e altamente competitivo significa manter os custos baixos o suficiente para obter lucro e precificar seu produto ou serviço, dentro da concorrência, em níveis que sejam atraentes para os consumidores, argumentam (Bateman & Smell, 2011).

Dessa forma, o controle de custos no processo significa que os responsáveis diretos ou indiretos pelas atividades devem evitar o uso desnecessário de recursos importantes para o ciclo produtivo, incentivando e difundindo a importância de como lidar com os diversos custos que uma organização possui. Porém, gerenciar os custos e mantê-los nos níveis desejados requer eficiência e controle, ou seja, é necessário atingir os objetivos utilizando os recursos de forma eficiente e inteligente, minimizando os desperdícios conforme recomendado (Bateman, 2012).

Em acordo com todos os pontos abordados neste estudo, buscou-se apresentar embasamento para a difusão de técnicas de melhoria contínua, com objetivo de diminuir custos, aumentar confiabilidade nos processos e efetivar métodos de manutenção mais eficazes no processo produtivo de tubos de aço sem costura e desta maneira demonstrar como essas técnicas podem trazer grandes benefícios no processo produtivo mediante pequenas ações concentradas que geram resultados excelentes e com grande potencial de geração de valor para a organização.

Observando a competitividade dos mercados atuais, pensar em maneiras de melhorar os custos produtivos dos processos produtivos é primordial para que empresas consigam manter suas atividades de maneira saudável e competitiva. É fundamental que as atividades do processo produtivo que não agregam valor ao produto sejam sistematicamente reduzidas e as perdas eliminadas (Bornia, 1995).

CONTEXTUALIZAÇÃO

A SIDERURGIA NO BRASIL

A indústria siderúrgica no Brasil tem desempenhado um papel crucial no desenvolvimento econômico e industrial do país. Desde suas origens no período colonial até sua modernização e integração no mercado global, a siderurgia brasileira passou por várias fases de crescimento e transformação, influenciadas por políticas governamentais e investimentos nacionais e estrangeiros.

A história da siderurgia no Brasil é um processo dinâmico e complexo, que se desenvolveu desde o período colonial até os dias atuais, referenciados a seguir:

PERÍODO COLONIAL E IMPÉRIO (1500-1889)

- **Século XVI a XVIII:** Durante o período colonial, a produção de ferro no Brasil era rudimentar e atendia principalmente às necessidades locais. Técnicas artesanais eram usadas para produzir ferramentas e implementos agrícolas.

- **1810:** Foi fundada a Fábrica de Ferro de Ipanema em Sorocaba, São Paulo, a primeira siderúrgica do Brasil, utilizando técnicas europeias e recursos naturais locais. A fábrica teve um papel significativo no desenvolvimento inicial da siderurgia no país (Narloch, 2015).

REPÚBLICA VELHA E ERA VARGAS (1889-1945)

- **1921:** A criação da Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira em Sabará, Minas Gerais, marcou um avanço significativo no setor. Essa foi uma iniciativa conjunta entre empresários belgas e mineiros, que modernizou a produção de aço no Brasil (Silva, 2000).
- **1941:** A fundação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda, Rio de Janeiro, foi um marco na industrialização brasileira. Inaugurada oficialmente em 1946, a CSN foi a primeira grande siderúrgica integrada do país, impulsionada pelo governo de Getúlio Vargas como parte de um esforço para promover a autonomia industrial (D'araujo, 1992).

PÓS-GUERRA E DÉCADAS DE 1950 E 1960

- **1953:** A criação da Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais (Usiminas) em Ipatinga, Minas Gerais, representou um salto na capacidade produtiva de aço no Brasil. Usiminas se tornou uma das maiores e mais modernas siderúrgicas da América Latina (Cardoso, 2004).
- **1957:** A fundação da Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa) em Cubatão, São Paulo, ajudou a expandir ainda mais a produção de aço, atendendo à crescente demanda industrial no país (Francisco, 1999).

DÉCADAS DE 1970 E 1980

- **1976:** A criação da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) no Espírito Santo consolidou a capacidade produtiva brasileira, focando na exportação de placas de aço. A CST foi uma das maiores produtoras de placas de aço do mundo (Silva, 2000).
- **1980:** O Brasil tornou-se um dos maiores produtores mundiais de aço, com um setor siderúrgico consolidado e tecnologicamente avançado. Esse crescimento foi impulsionado por políticas governamentais e investimentos internacionais (Moreira, 1989).

PRIVATIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO (DÉCADA DE 1990 EM DIANTE)

- **1991-1993:** O processo de privatização das principais siderúrgicas brasileiras, incluindo a CSN, Usiminas e Cosipa, foi parte das reformas econômicas promovidas pelos governos de Fernando Collor de Mello e Fernando Henrique Cardoso. A privatização visava aumentar a eficiência e a competitividade do setor (Bresser-Pereira, 1996).
- **2000s:** A década foi marcada por expansões e modernizações nas plantas siderúrgicas, com significativos investimentos em tecnologia e aumento da capacidade produtiva. As empresas brasileiras passaram a competir globalmente, exportando aço para diversos mercados (Pinheiro, 2003).

O setor siderúrgico brasileiro experimentou um aumento significativo na produção de aço, impulsionado pelo crescimento econômico e pela demanda interna e externa. Esse crescimento foi especialmente evidente devido aos investimentos em infraestrutura, como grandes projetos de construção civil e obras de infraestrutura pública, que aumentaram a necessidade de materiais como vergalhões e estruturas metálicas. Além disso, as exportações desempenharam

um papel crucial, com o Brasil consolidando sua posição como um dos principais exportadores mundiais de produtos siderúrgicos, atendendo a mercados globais como os Estados Unidos, Europa e Ásia. Essa expansão também foi apoiada por avanços tecnológicos na produção de aço, visando aumentar a eficiência e reduzir os impactos ambientais, em conformidade com as regulamentações nacionais e internacionais.

A EMPRESA

A empresa onde o trabalho foi desenvolvido é reconhecida como uma das principais produtoras de aço do Brasil, com uma longa história de contribuições significativas para o setor siderúrgico nacional. Localizada a aproximadamente 100 km da cidade de Belo Horizonte, na região do quadrilátero ferrífero no estado de Minas Gerais, região estratégica para o setor industrial siderúrgico. A empresa destaca-se por suas operações eficientes e pela utilização de tecnologias avançadas na produção de diversos tipos de aço. Além de sua capacidade produtiva robusta, a empresa mantém um compromisso contínuo com práticas sustentáveis e responsáveis, buscando minimizar o impacto ambiental de suas operações. A empresa também se destaca por sua forte cultura organizacional, que valoriza a inovação, a segurança no trabalho e o desenvolvimento contínuo de seus colaboradores. Ela mantém um papel importante no mercado nacional e internacional, contribuindo para o crescimento econômico e a geração de empregos em sua área de atuação.

A empresa fabrica uma ampla gama de produtos tubulares de alta qualidade, atendendo principalmente aos setores de petróleo e gás, energia, automotivo e industrial. Seus principais produtos incluem:

- **Tubos de Aço Sem Costura:** Utilizados em diversas aplicações industriais, como condução de fluidos, estruturas *offshore*, equipamentos de perfuração de poços de petróleo, entre outros.
- **Tubos Premium:** Desenvolvidos com tecnologia avançada para aplicações que exigem maior resistência e desempenho em ambientes severos, como exploração de petróleo em águas profundas.
- **Tubos para Indústria Automotiva:** Fornecidos para fabricantes de automóveis para aplicação em sistemas de escape, estruturas de chassi e outras aplicações específicas.
- **Tubos para Aplicações Industriais Específicas:** Produtos personalizados e sob medida para atender às necessidades específicas de clientes nos setores industrial e de infraestrutura.

A empresa é conhecida por sua capacidade de produção de alta tecnologia e por sua forte ênfase em inovação e qualidade, garantindo produtos que atendem aos mais altos padrões técnicos e de segurança.

MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE

Para Siqueira (2005), os tipos de manutenção são também classificados de acordo com a atitude dos usuários em relação às falhas. As categorias de manutenção podem ser identificadas, sob esse aspecto:

- Manutenção Reativa ou Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva

MANUTENÇÃO REATIVA OU CORRETIVA

Pode-se dizer que manutenção corretiva é o simples ato de se consertar algo que está quebrado, inoperante, improdutivo. Manutenção corretiva ou reativa foi a técnica mais usada durante grande parte da história das indústrias. Vianna (1991) apud Wyrebski (1997) define essa modalidade de manutenção como “atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos”.

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2008), como o próprio nome já diz, a manutenção corretiva consiste em deixar o equipamento ligado até que quebre e não tenha mais condições de trabalhar, ou seja, a manutenção ocorre somente após a falha.

MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Manutenção Preventiva é definida por Pilon (2007) como a situação em que se caracterizou o defeito, porém este não torna o equipamento indisponível. Sendo assim, essa forma de manutenção é realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha.

Entende-se manutenção preventiva como uma intervenção técnica no equipamento, com um escopo de ações de manutenção pré-determinado ou troca de itens, antes do mesmo apresentar falhas operacionais ou avarias.

MANUTENÇÃO PREDITIVA

Com o desenvolvimento dos processos produtivos surgiram também outros métodos de manutenção, esse desenvolvimento levou à manutenção preditiva, que surge como uma forma mais precisa de programar intervenções nos equipamentos. Consiste em monitorar o desempenho das máquinas avaliando determinados indicadores para determinar o momento adequado para intervenções de manutenção.

Takahashi e Osada (2000) definem o conceito de manutenção preditiva como: “Filosofia que evita a tendência para o excesso de manutenção (por exemplo, excesso de manutenção e revisão) que as práticas tradicionais de manutenção preventiva tendem a ser”.

METODOLOGIA

Este trabalho configura-se como uma pesquisa-ação, uma vez que o pesquisador autor, estuda o processo, fazendo o levantamento de sua confiabilidade, em uma empresa de fabricação de tubos de aço sem costura. Para a realização deste estudo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre MMC, redução de custos, tipos de manutenção e melhoria contínua, com o intuito de dar embasamento técnico e nortear o trabalho. Quanto à abordagem pode-se classificá-la como pesquisa quantitativa, cujo objetivo foi analisar como as variáveis do processo podem afetar a

confiabilidade, o desempenho e os custos de produção. Durante o estudo, foram coletados dados para comparação e alguns testes foram realizados para que os dados pudessem ser comparados e avaliados para mostrar alteração ou deterioração do processo.

Quanto à pesquisa quantitativa, considera-se tudo o que pode ser quantificado, o que significa traduzir informações em números para fins de classificação e análise (SILVA, MENEZES, 2005).

Do ponto de vista dos objetivos dos estudos, classificou-se como uma pesquisa exploratória, pois a mesma visava propiciar maior familiaridade com o problema abordado, tornando o mais explícito possível.

Desta forma, foram realizadas ações pontuais na área produção como teste de repetibilidade, medição mecânica dos tubos de calibração dos equipamentos e conferência do *set-up* dos equipamentos, levantamento de dados para gerar informação sobre a situação em que os equipamentos envolvidos no processo se encontravam e, dessa forma, determinar uma configuração confiável dos equipamentos de produção e, assim, mitigar falhas e eliminar possíveis desperdícios na produção.

A partir dos dados coletados em campo foram realizadas a seleção, qualificação e tratamento desses para embasamento do estudo. Após a análise dos dados tratados foram realizadas reuniões com o corpo de engenheiros e responsáveis pelo processo, para definição das melhores práticas a serem adotadas. Utilizou-se de ferramentas de qualidade como 5 porquês, *brainstorm* de ideias, plano de ação dentre outros e, desta forma, traçando as melhores estratégias e práticas para implementação das melhorias propostas pelo estudo realizado.

Dentre as ferramentas de qualidade utilizadas estão os 5 porquês, que é um método utilizado para determinar a causa raiz de um determinado problema, a ferramenta consiste em realizar questionamentos consecutivos sobre as causas dos defeitos ou problema encontrado, estimulando um exercício de reflexão sobre as possíveis causas do ocorrido, trazendo para a discussão um pensamento mais aprofundado sobre o assunto e possibilitando encontrar outros fatores que podem estar possibilitando a falha em discussão.

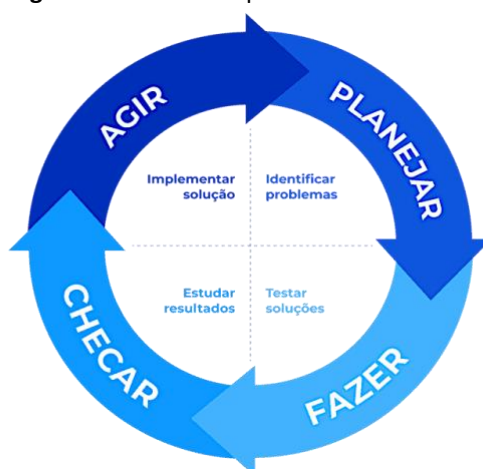
Para Aguiar (2014), o método 5 porquês consiste em perguntar o porquê de um problema sucessivas vezes, para se encontrar a sua causa raiz, a autora enfatiza ainda que o primeiro questionamento deve ser construído em face do problema em si e que o mesmo deve responder objetivamente o porquê desse estar acontecendo.

Outra ferramenta utilizada para traçar as melhores práticas a serem adotadas diante das informações levantadas foi a determinação de um plano de ação fundamentado na ferramenta ciclo PDCA, método muito conhecido nos processos de melhoria contínua. A ferramenta PDCA consiste em quatro etapas relacionadas a seguir:

- *Plan* (Planejamento): Nesta fase a organização define com clareza objetivos a serem alcançados, estabelecendo metas específicas e mensuráveis no projeto;
- *Do* (Realizar; Fazer): Após o Planejamento, a equipe responsável parte para a fase de execução, implementando as ações que foram estabelecidas no planejamento.
- *Check* (Verificação): No terceiro momento é realizada a verificação das ações implementadas durante a fase de execução, são realizadas as coletas de dados, medições e comparação dos resultados obtidos em relação com metas estabelecidas no planejamento;
- *Action* (Ação): Por último, a equipe utiliza os resultados obtidos na fase de verificação para a tomada de decisão e implementação das ações necessárias encerrando o ciclo.

Para Junior (2008), o ciclo PDCA consiste em uma ferramenta de melhoria contínua, com o qual se busca a eliminação dos problemas através de ações de combate às causas em sua raiz (Figura 1).

Figura 1. Desenho esquemático do ciclo PDCA



Fonte: Elaborado www.canva.com.br (2024).

DESENVOLVIMENTO

O projeto foi desenvolvido na linha de produção da empresa, com um viés de investigação para determinar a confiabilidade dos equipamentos na medição do comprimento dos tubos de aço sem costura. Essa medição, quando feita de maneira não controlada, pode influenciar no não atendimento aos requisitos do cliente. Por exemplo, tubos com área não inspecionada é algo muito grave, pois a área não inspecionada pode conter defeitos e/ou descontinuidades que desqualificam o produto e fazem com que a credibilidade da marca seja colocada em dúvida.

Deste modo, iniciando o projeto utilizando as fases do ciclo PDCA, as primeiras reuniões foram realizadas iniciando planejamento das ações a serem tomadas. Foram determinados os pontos de medição dentro da área produção dos tubos que seriam verificados, sendo eles os medidores do equipamento de inspeção eletromagnética que consiste em 3 módulos de varredura eletromagnéticas equipados e com sensores de medição de comprimento dos tubos e também foi determinado a realização dos testes das serras feixe, responsáveis pelo corte dos tubos duplos em tubos simples, já no tamanho específico de produto final.

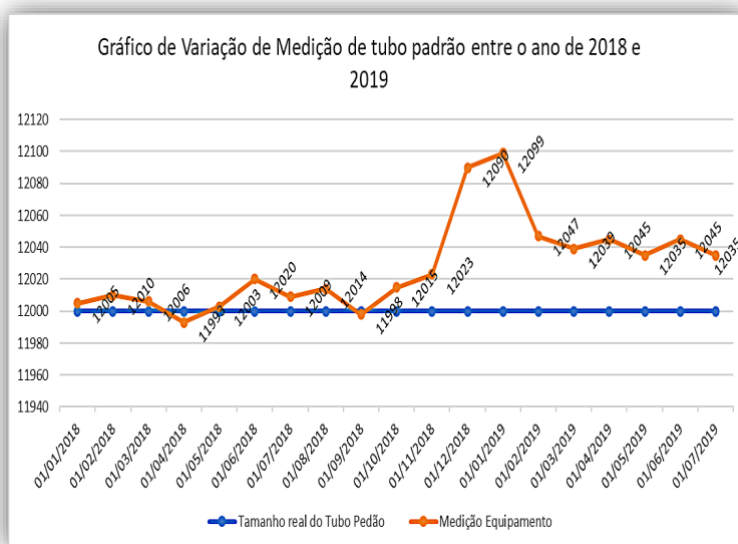
Ainda na fase de planejamento, após esse levantamento dos pontos a serem testados, as ações foram traçadas e dessa maneira determinados quais seriam os testes mais adequados para que a medição dos tubos fosse feita, terminar o nível de conformidade dos equipamentos e, conseqüentemente, a confiabilidade do processo.

Os testes iniciaram no equipamento de inspeção eletromagnética e para determinar os dados comparativos do estudo, foi realizado um levantamento dentro do programa de gestão da empresa que trouxe uma série histórica de medições do ano de 2018, até o segundo semestre de 2019, onde como parâmetro foi utilizado um tubo padrão (tubo utilizado para calibração do equipamento de inspeção eletromagnética).

Desse modo o tubo foi medido mecanicamente por uma trena aferindo-se um tamanho de 12.000 milímetros. É importante destacar que a aferição da metragem do tubo foi realizada com uma treina calibrada pelo departamento de metrologia da empresa, encarregado por manter os equipamentos sempre aptos ao trabalho e confiáveis para o uso, o uso de ferramentas calibradas pelo setor de metrologia é obrigatório nos procedimentos dentro da área de produção, essa é uma boa pratica utilizada para que as falhas nas ferramentas utilizadas sejam minimizadas ao máximo determinando padronização e qualidade no processo.

Em posse da metragem obtida pela medição física do tubo, teve início a fase de comparação dos resultados com as informações de medição da série histórica e, desta forma, foi possível detectar uma discrepância através da plotagem de um gráfico, (Figura 2), no período referente ao mês 01/2018 até o mês 07/2019, esse gráfico mostra que nesse determinado período dentro da série histórica a oscilação nas medições aumentou entre os meses 12/2018 e 07/2019, expondo que algo poderia estar gerando alguma oscilação no equipamento de medição dos tubos.

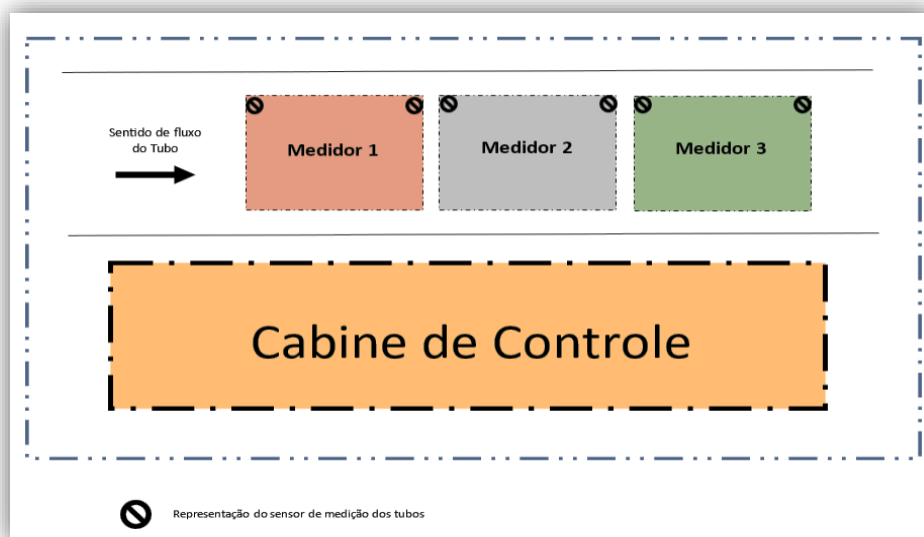
Figura 2. Representação Gráfica de medição de tubo padrão ao longo do tempo



Fonte: Autor (2024)

Dando início a segunda etapa do ciclo PDCA os testes foram iniciados no equipamento de inspeção magnética. Este equipamento é composto por 3 módulos, doravante denominados, modulo1, modulo 2 e modulo 3, onde eles promovem uma varredura eletromagnética por toda a extensão do tubo com a finalidade de detectar qualquer tipo de defeito ou descontinuidade ao longo do tubo, tanto na área interna como na área externa. O ponto focal da investigação se deu nos sensores de medição posicionados na entrada em cada módulo do equipamento, onde é realizada a leitura de entrada do tubo no modulo e a saída do mesmo na outra extremidade e, desta forma, realizando o cálculo de comprimento total do tubo (Figura 3).

Figura 3. Desenho esquemático do equipamento de Inspeção eletromagnética



Fonte: Autor (2024).

Ainda dentro da fase de planejamento do projeto foi determinado para aferição dos sensores de medição o teste de repetitividade. O teste de repetitividade consiste em realizar a varredura de um tubo determinando por 3 vezes no equipamento de inspeção eletromagnética, após as três varreduras é possível comparar os resultados obtidos cada um dos módulos. Assim, foi determinada uma ordem de tubos de produção para os testes, que foram realizados pelos inspetores de qualidade que estavam de serviço no turno planejado e os dados foram levantados, tratados e representados na Tabela 1.

Tabela 1. Teste de Repetibilidade

Teste de Repetibilidade dos Medidores					
Ordem de Serviço	Tubo	Comprimento Prove-Up	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3
LAR0336002	1	12323	12315	12350	12330
	2	12318	12320	12335	12370
	3	12567	12585	12580	12580
	4	12319	12400	12325	12335
	5	12570	12620	12656	12555
	6	12564	12625	12565	12555

7	12821	12840	12815	12810
8	12565	12575	12570	12560
9	12809	12805	12820	12810
10	12828	12805	12820	12825
11	12769	12760	12780	12775
12	12807	12810	12835	12805
13	12823	12830	12880	12820
14	12826	12820	12870	12825
15	12825	12830	12875	12825

Cada tubo da ordem de serviço LAR0336002 foi testado por 3 vezes, e, assim, foram determinadas as medições dos mesmos em relação à medição física realizada no tubo através de trena calibrada e a mediação apresentada pelos sensores de cada um dos módulos do equipamento. Como exemplo extraio os dados do tubo 1, com a medida de 12.323 milímetros aferida na área de *prove-up* (área específica determinada para ação dos inspetores de qualidade de produção para realização de inspeções e teste físicos nos tubos) pelo inspetor responsável, em sequência os valores aferidos pelos sensores de cada módulo do equipamento sucessivamente, módulo 1: 12.315 mm, módulo 2: 12.350 milímetros e módulo 3: 12.330 mm.

Ato contínuo, teve início a análise dos dados levantados e para melhor entendimento em relação à variação da medição dos sensores, foi realizado o cálculo de a subtração de cada valor aferido pelos sensores em relação à aferição física realizada fisicamente na área de *prove-up* (Tabela 2).

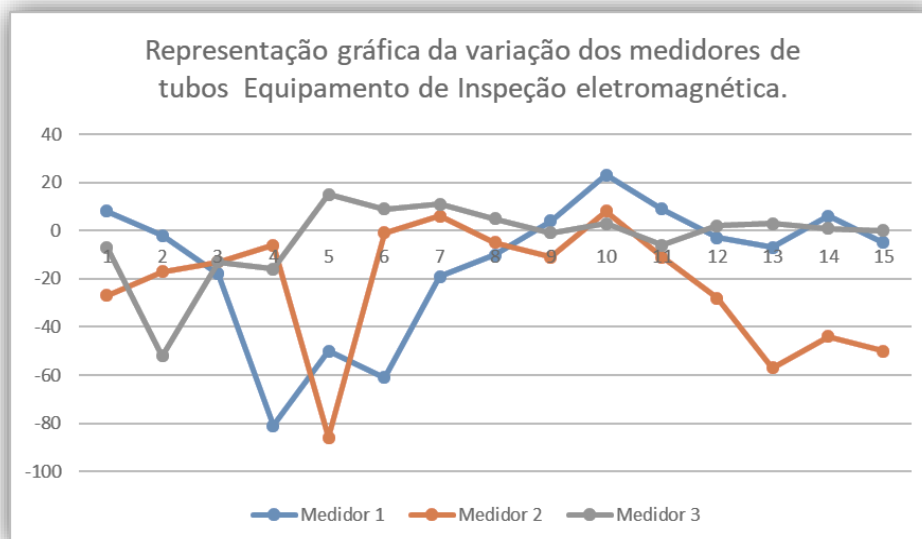
Tabela 2. Teste de Repetibilidade com cálculo de variação dos medidores

Teste de Repetibilidade dos Medidores						Cálculo de Variação		
Ordem de Serviço	Tubo	Comprimento Prove-Up	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3	Medidor 1	Medidor 2	Medidor 3
LAR0336002	1	12323	12315	12350	12330	8	-27	-7
	2	12318	12320	12335	12370	-2	-17	-52
	3	12567	12585	12580	12580	-18	-13	-13
	4	12319	12400	12325	12335	-81	-6	-16
	5	12570	12620	12656	12555	-50	-86	15
	6	12564	12625	12565	12555	-61	-1	9
	7	12821	12840	12815	12810	-19	6	11
	8	12565	12575	12570	12560	-10	-5	5
	9	12809	12805	12820	12810	4	-11	-1
	10	12828	12805	12820	12825	23	8	3
	11	12769	12760	12780	12775	9	-11	-6
	12	12807	12810	12835	12805	-3	-28	2
	13	12823	12830	12880	12820	-7	-57	3
	14	12826	12820	12870	12825	6	-44	1
	15	12825	12830	12875	12825	-5	-50	0

Após o tratamento dos dados foi realizada a plotagem de um gráfico (Figura 4), com a finalidade melhora da visualização dos resultados e de comparação da variação de medição entre os módulos do equipamento de inspeção eletromagnética, e assim determinar qual deles possui mais assertividade na medição. A análise feita demonstra que, em termos de continuidade, o módulo 3 do EIP apresentou menor variação de medidas em relação às medidas físicas realizadas.

Dessa maneira, comparando os resultados, conseguimos determinar o módulo 3 como um medidor com meio nível de assertividade nas medições e, conseqüentemente, determinar um aumento na confiabilidade do equipamento e do processo produtivo, impondo mais certeza quanto ao atendimento da capacidade física da área subsequente, serras feixe, e também do aumento da confiabilidade de que os tubos estão sendo despachados com áreas não inspecionadas pelo EIP, reduzindo o risco de produtos não conformes com as normas reguladoras do setor.

Figura 4. Representação gráfica de variação dos medidores de tubos



Fonte: Autor (2024).

Encerrando o ciclo PDCA foi realizada reunião de alinhamento com o corpo de engenheiros responsável, os resultados foram apresentados e considerados satisfatórios em relação ao planejamento, as ações implementadas com o aval do departamento de engenharia e manutenção da área, de maneira que o medidor do módulo 3 foi determinado como padrão de medição para os tubos no EIP dentro do processo produtivo.

Dentre as pautas discutidas na reunião de alinhamento, foram determinadas as causas do desvio no padrão de medição dos equipamentos, onde identificamos que a causa raiz do problema tem origem em uma manutenção programada realizada no equipamento primeiro entre o fim do ano de 2018 o início do ano de 2019. Identificamos que a equipe de manutenção realizou trocas nos componentes do EIP, o que levou a crer que os ajustes nos medidores não foram realizados de forma adequada após a manutenção realizada, o que provavelmente ocasionou a falha no processo.

Para Mobley (1995) conhecendo-se o risco, pode-se tomar decisões tais como: continuar ou abandonar a operação; agregar proteções e/ou redundâncias ou intervir. Desse modo, com a

identificação do problema no ajuste dos medidores foi possível estabelecer uma margem de segurança no processo produtivo e o aumento da confiabilidade dos sensores de medição.

Com a primeira etapa concluída, foi reiniciado o ciclo PDCA dando continuidade à investigação e aos testes no equipamento subsequente da linha de produção como determinado na fase de planejamento inicial, as serras feixe.

Quando os tubos passam para inspeção no EIP os mesmos possuem um comprimento médio de 12 a 13 mil milímetros de comprimento, onde o produto é chamando popularmente no processo produtivo de tubo duplo. O trabalho realizado nas serras feixe consiste em serrar as pontas sem acabamento dos tubos (rabo de peixe) e dividi-los ao meio, transformando os tubos em produtos com cerca de 6 mil milímetros de comprimento cada.

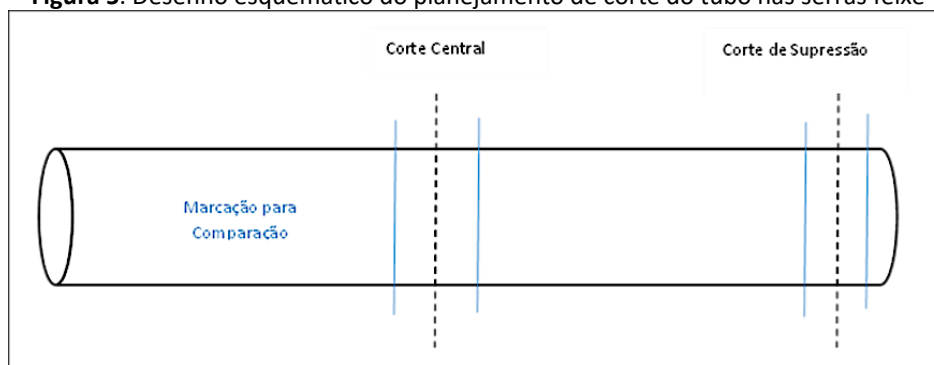
O nome serra feixe se dá pelo fato de o equipamento agrupar 3 tubos duplos no mesmo corte, otimizando o uso e aumentando a capacidade de produção. Os sensores fazem o trabalho de alinhamento de corte, para que os tubos sejam serrados de maneira uniforme sem perda de matéria-prima como valor agregado.

Os testes propostos na investigação foram os seguintes:

- Medição das pontas descartadas;
- Marcação física dos tubos para comparação de assertividade do corte.

Desta forma, foram selecionados 10 pontas descartadas, que foram medidas mecanicamente com trena calibrada pelo departamento de metrologia da empresa. O equipamento tem uma programação determinada conforme a necessidade de corte. No dia dos testes, o corte de supressão (corte de pontas) estava programado com 200 mm, valor usado como parâmetro de comparação para as medições físicas dos descartes (Figura 5).

Figura 5. Desenho esquemático do planejamento de corte do tubo nas serras feixe



Fonte: Autor (2024).

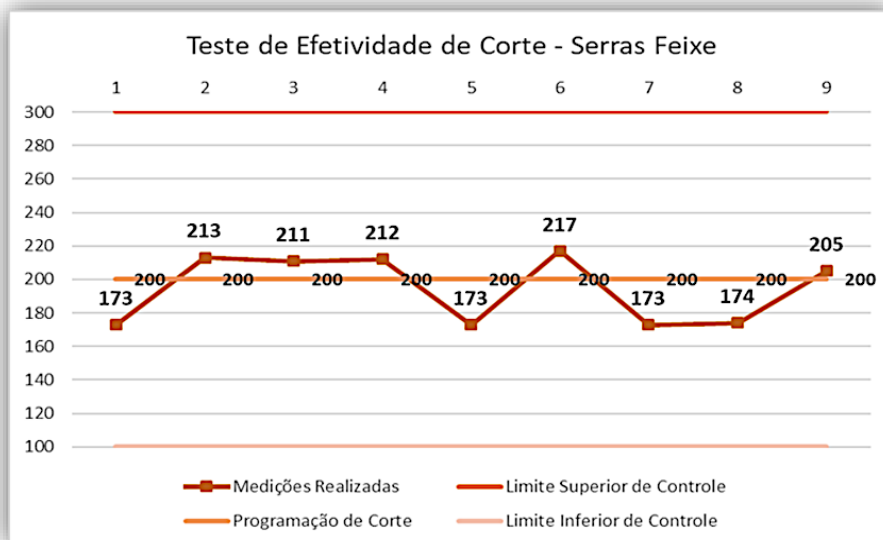
Em ato contínuo foram realizadas marcações nos tubos escolhidos, determinando onde os cortes seriam feitos, e marcações de tolerância de 100 mm, tanto à direita da marcação central do corte programado quanto a esquerda, determinando um padrão visual de desvio de corte para fins de comparação.

As medições foram realizadas nas pontas descartadas e nos tubos simples gerados nos cortes. Para representação neste estudo foram consideradas as pontas descartadas, onde realizaram-se as medições físicas de cada uma delas com trena calibrada pelo setor de metrologia e foram feitas comparações em relação ao corte programado na serra feixe, determinado em 200 mm.

O foco da investigação era aferir se as serras possuíam uma variação de corte acima do limite de tolerância determinado pelo fabricante do equipamento, em caso de confirmação na variação dos cortes acima dos limites determinados haveriam indícios de problemas nos ajustes dos medidores responsáveis pelo posicionamento das lâminas das serras.

Ao fim da coleta de dados, os mesmos foram tratados gerou-se um gráfico para melhor visualização do resultado (Figura 6). O intuito do gráfico foi determinar visualmente a variação no padrão de corte, e se os desvios encontrados estavam dentro do padrão determinado.

Figura 6. Gráfico de teste de efetividade de corte dos tubos nas serras feixe



Fonte: Autor (2024).

Dando continuidade, foi possível determinar um desvio de corte máximo de 27 mm e um desvio de corte mínimo de 50 mm no equipamento, resultados que atendem às orientações do fabricante, que orienta uma tolerância de desvio máximo de 100 mm nos cortes automatizados da máquina.

Desse modo, concluída a etapa 3 do ciclo PDCA, não houve necessidade de intervenções nos ajustes físicos dos sensores de mediação dos tubos, e foi possível determinar que a assertividade dos medidores e da serra feixe como satisfatória aos padrões determinados pelo fabricante do equipamento, mais uma vez trazendo embasamento as premissas de MCC.

Porém, apesar de os testes demonstrarem conformidade na execução dos cortes e um bom desempenho dos sensores de medição dos tubos, foi descoberto no levantamento das

configurações do equipamento, um fato que chamou atenção, pois durante as entrevistas realizadas junto aos inspetores de qualidade responsáveis pelo equipamento identificou-se uma configuração padrão de corte no valor 50 mm para os tubos processados nas serras feixe.

As entrevistas continuaram, com o questionamento da necessidade do corte de 50 mm sendo intensificado. Nesse momento, foi observada uma grande incerteza sobre essa programação e um desencontro significativo de informações, o que levou a questionar a necessidade da programação do corte no processo.

Diante da incerteza percebida a questão foi levada a pauta em reuniões com os engenheiros e líderes da área, para que o assunto fosse discutido e avaliado. Como resultado dessas discussões conclui-se que não existia uma resposta plausível e técnica para a existência da configuração de corte de 50 mm na programação do equipamento.

Analisando a situação da programação de corte, chega-se a conclusão que essa leva a um desperdício de matéria-prima com valor agregado, pois, o produto já passou pelos processos de transporte, laminação, corte, inspeções de qualidade etc., processos que geram custos de produção.

Assim sendo, foi identificado uma oportunidade de redução de custos no processo, em função desse descarte desnecessário de 50 mm, mais uma vez comprovando que manutenções e investigações dentro das linhas de produção são de suma importância para melhoria contínua do processo e identificação de oportunidades de otimização de produção e redução de custos operacionais.

Diante desta oportunidade iniciou-se mais uma vez o ciclo PDCA para determinar um plano de ação sobre o assunto. Esse descarte é denominado dentro do processo produtivo da empresa como VZ, que é basicamente o fator que calcula o descarte de produto com valor agregado.

LEVANTAMENTO DE DADOS E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DA INICIATIVA DE REDUÇÃO DE CUSTOS

Identificada a possibilidade de eliminação da programação de corte 50 mm do equipamento de corte dos tubos de aço sem costura, inicia a fase de planejamento do ciclo PDCA, realizando um levantamento de dados sobre a quantidade de material descartado nas serras no período de janeiro a julho de 2019 e do possível alcance de redução de descarte VZ que seria possível alcançar.

Para isso, foram levantadas dentro do sistema informações que poderiam embasar no cálculo de descarte VZ realizado no primeiro semestre de 2019 e na possibilidade de redução de custos no processo a ser alcançada.

O levantamento de dados foi realizado do período de 01/01/2019 a 31/07/2019 e para determinar a quantidade de material descartado nas serras neste período foi necessário coletar informações no sistema de gestão da produção, porém, devido ao tipo de informação disponível

no sistema, houve a necessidade da realização de alguns cálculos para adequar as informações ao objetivo do estudo. As variáveis utilizadas para os cálculos do estudo foram:

- **Variável 1** - $TB_{kg/m}$ - Massa do metro de tubo de aço frio (Determinada de acordo com a corrida e especificação do tubo);
- **Variável 2** - D_{Vz} - Descarte diário de tubos em metros;
- **Variável 3** - VTD_{Vz} - Valor da Tonelada de Material Descartado.

No primeiro momento a modelagem da equação foi necessária à transformação do valor de descarte diário que é fornecido pelo sistema em milímetros para metros, utilizando a equação:

$$Descart \text{ em } M = \frac{Valor \text{ do descarte}(mm)}{1000} \quad (1)$$

Ato contínuo, para a variável 1 componente do cálculo de descarte, é necessário a explicitação de que para determinar o valor da massa fria do tubo de aço sem costura, existe uma relação entre a espessura da parede do tubo, o diâmetro da bitola do tubo e o comprimento do tubo, que são utilizados para calcular a massa de aço existente por metro de tubo.

Vale ressaltar ainda, que como esse fator já é fornecido pelo sistema, o estudo se ateve apenas à explicação de como o valor é obtido para contextualização e maior entendimento do raciocínio utilizado.

Dessa forma, em posse do fator de massa de descarte e a quantidade de metros descartados mensalmente foi possível determinar a quantidade de descarte de produto por corrida, dada em quilos dentro dos meses alvo do estudo, utilizando a equação:

$$Descarte \text{ de } Vz \text{ por corrida: } TB \frac{kg}{m} * D_{Vz (m)} \quad (1)$$

No passo seguinte foi realizado o somatório de descarte obtido em cada corrida de produção de todos os meses do período estudado conforme a equação 3 e posteriormente realizado o somatório do total mensal obtido conforme equação 4 (Tabela 3).

$$Descarte \text{ Total Mensal} = \sum Descarte \text{ de } Vz \text{ por corrida} \quad (3)$$

$$Descarte \text{ Total do periodo de 7 meses} = \sum Descarte \text{ de } Vz \text{ mensal} \quad (4)$$

Tabela 3. Descarte de material mensal no processo produtivo

Total de descarte Mensal	
Mês	Quantidade descartada (ton)
Janeiro	1613,39
Fevereiro	1447,76
Março	1618,38
Abril	993,20
Maio	956,55
Junho	2432,67
Julho	1136,03
Total	10197,97

Avistando a possibilidade de eliminação da programação de 50 mm de corte das serras, foi realizada uma simulação dos valores descartados nos meses estudados sem esta programação, para determinar quanto seria possível economizar em relação ao custo de material descartado (Tabela 4).

Tabela 4. Comparativo de quantidade de produto descartado com programação de 50 milímetros e sem a programação de 50 mm

Total de descarte Mensal		
Mês	Quant. de material descartado (ton) mensal (Com programação de 50 mm)	Simulação de quant. de material descartado (ton) mensal (Sem programação de 50 mm)
Janeiro	1613,39	1537,49
Fevereiro	1447,76	1374,80
Março	1618,38	1535,58
Abril	993,20	941,10
Maio	956,55	893,26
Junho	2432,67	2328,71
Julho	1136,03	1065,48
Total	10197,97	9676,42

Finalizada a fase simulação do potencial de redução de custos do processo, foi possível determinar uma redução no descarte de produto com valor agregado estimada em 9%, em função da eliminação da margem de corte de 50 mm adotada na serra feixe até aquele momento e sem critério técnico aparente para existir.

Para determinar o potencial de redução de custos foi utilizada a variável 3 - VTD_{vz} (Valor da Tonelada de Material Descartado), essa variável foi determinada pelo departamento de engenharia da empresa e estabelecido em R\$ 980,00 (Novecentos e oitenta reais) por tonelada descartada de tubo de aço sem costura. Sendo assim, realizando a operação descrita na equação 5 a seguir, foi possível determinar o valor monetário de descarte praticado nos 7 meses estudados e simular a economia que poderia ser obtida nesse mesmo período, adequando a programação da serra sem a margem de 50 mm nos cortes possível no processo produtivo.

$$\text{Custo total em R\$ de descarte} = D_{vz} * VTD_{vz} \quad (5)$$

Deste modo, ao aplicar o fator VDT_{vz}, fornecido pelo setor de engenharia, multiplicado pelo total de descarte produzido no processo produtivo, foi possível determinar o custo de descarte acumulado no período estudado e, ao mesmo tempo, simular a economia que poderia ter sido obtida nesse mesmo período, alterando a programação dos cortes nas serras feixe. Os cálculos foram realizados e, dessa forma, determinado um potencial de economia aproximado na casa dos R\$ 500.000,00 (quinhentos mil reais) no acumulado dos 7 meses, um valor expressivo dentro do processo produtivo em termos de economia aos cofres da empresa.

SIMULAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA PARA O PERÍODO DE 12 MESES

Finalizando as ações do estudo, utilizando a ferramenta de Planilha de Previsão do Excel, foi realizado também uma projeção da produção de descarte de material nas serras para os meses

subsequentes do ano de 2019 e, assim, mensurar o potencial de redução de custos para o período de 12 meses (Figura 7).

Figura 7. Cálculo de previsão de produção descarte nas serras feixe, utilizando a ferramenta de planilha de previsão do Excel

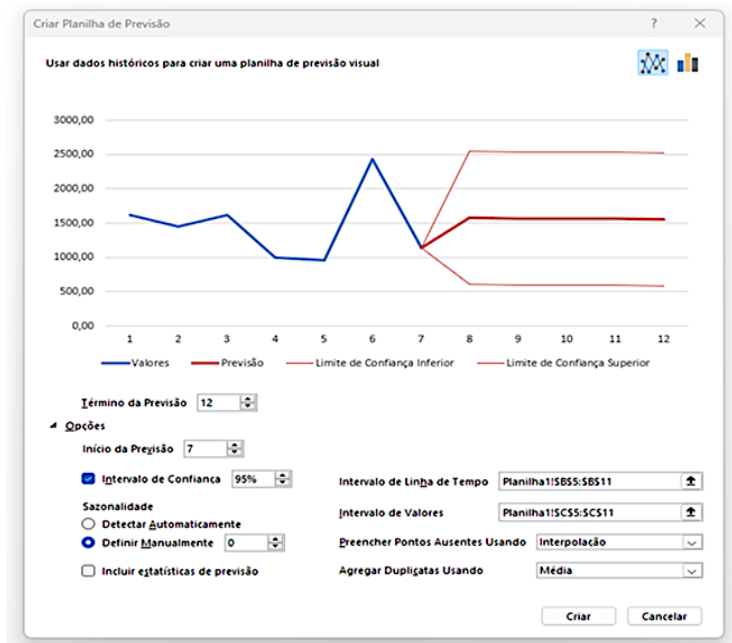
Linha do Tempo	Valores	Previsão	Limite de Confiança Inferior	Limite de Confiança Superior
1	1613,39			
2	1447,76			
3	1618,38			
4	993,20			
5	956,55			
6	2432,67			
7	1136,03	1136,03	1136,03	1136,03
8		1576,40	606,17	2546,63
9		1570,98	600,75	2541,22
10		1565,56	595,32	2535,80
11		1560,14	589,89	2530,40
12		1554,72	584,45	2524,99

Fonte: Autor (2024).

A Planilha de Previsão do Excel consiste em uma ferramenta que calcula uma previsão, no caso em tela, de produção de descarte de material, baseada em um período determinado e em função de dados já existentes.

No período do estudo já existiam dados de descarte produzidos do período de janeiro a julho de 2019, e o período de previsão foi determinado para os meses subsequentes de agosto a dezembro do mesmo ano. Desse modo, os cálculos da planilha de previsão foram realizados utilizando a seguinte configuração da ferramenta (Figura 8).

Figura 8. Configuração da ferramenta planilha de previsão do Excel

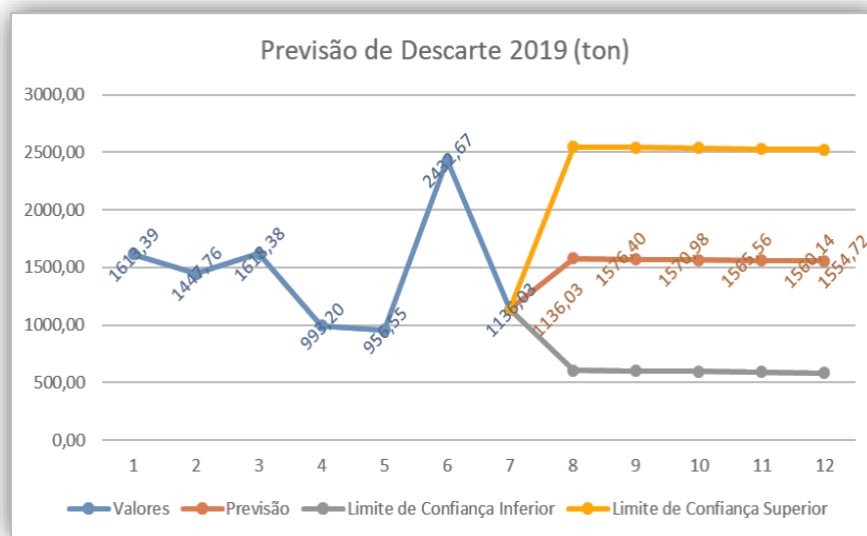


Fonte: Autor (2024)

- **Início da Previsão:** Determina o ponto inicial da previsão, considerando os dados já existentes no estudo;
- **Término da Previsão:** Determina o fim do período da previsão, no caso em tela considerando os 5 meses a serem previstos;
- **Intervalo de confiança:** Determina o nível de confiança associado a uma probabilidade. No caso em tela foi considerado o padrão de intervalo de confiança de 95%.
- **Sazonalidade:** Nesta configuração é possível determinar a possibilidade e inserir períodos determinados de ausência de produção. Essa ausência de produção pode acontecer devido a condições climáticas, por exemplo, no caso de produções agrícolas, que tem a produção influenciada pela cultura cultivada e suas especificidades. No caso em tela, por se tratar de uma produção continua a sazonalidade foi desconsiderada;
- **Intervalo de linha do tempo:** Determina o período do estudo;
- **Intervalo de valores:** Determina os dados de base para o cálculo da previsão;
- **Preencher Pontos Ausentes:** Existem duas maneiras de programar a ferramenta no caso de dados faltantes, primeiro, é possível usar a interpolação – que consiste em preencher o dado faltante com uma média calculada dos dados anteriores – ou utilizar o preenchimento por zeros – que considera a informação faltante como zero. No caso em tela, foi utilizada a configuração de interpolação, que de toda forma não teve influência no cálculo, pois as informações estavam completas;
- **Agregar Duplicatas Usando:** A ferramenta ainda possibilita a detecção de valores duplicados e como tratá-los, no caso em tela, foi utilizada a possibilidade de considerar a média para valores repetidos. Nesse caso, não houve influência no estudo, pois não existem valores repetidos nos dados levantados.

Como resultado a ferramenta gera também um gráfico de previsão representado na Figura 9.

Figura 9. Gráfico de previsão de descarte de material nas serras feixe



Fonte: Autor (2024)

No gráfico plotado, na linha pontilhada azul temos a produção de descarte dos meses de janeiro a julho 2019, valores obtidos no sistema de gestão da empresa; na linha pontilhada laranja temos a previsão estimada de produção de descarte para os meses subsequentes, de agosto a dezembro; e nas linhas pontilhadas em amarelo e cinza, temos a simulação dos melhores e dos piores cenários de descarte de material (Tabela 5).

Tabela 5. Tabela comparativa de estimativa de descarte de material em toneladas com simulação de redução de custos pela alteração da regra de corte de 5mm

Previsão de descarte 2019		
Mês	Descarte mensal com programação de 5 mm	Descarte mensal sem a programação de 5 mm
Janeiro	1613,39	1537,49
Fevereiro	1447,76	1374,80
Março	1618,38	1535,58
Abril	993,20	941,10
Maio	956,55	893,26
Junho	2432,67	2328,71
Julho	1136,03	1065,48
Agosto	1576,40	1494,07
Setembro	1570,98	1487,73
Outubro	1565,56	1481,40
Novembro	1560,14	1475,06
Dezembro	1554,72	1468,72
Total de descarte (Ton)	18025,78	17083,40
Custo total de descarte (R\$)	R\$ 17.665.267,75	R\$ 16.741.728,66

Deste modo, é possível simular os custos de descarte anual de produção, considerando a programação de corte de 50 mm e desconsiderando a programação de corte 5 mm. Considerando a diferença simulada nos dois cenários é possível estimar uma redução de custos de descarte na casa R\$ 900.000,00 (novecentos mil reais) anuais, com um simples ajuste na programação.

A redução de custos no processo produtivo não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também melhora a competitividade e a sustentabilidade das empresas. Segundo Womack e Jones (1996), a implementação de Lean Manufacturing elimina desperdícios e cria valor para o cliente, resultando em processos mais ágeis e econômicos. Além disso, Hammer e Champy (1993) destacam que a reengenharia de processos pode levar a reduções substanciais de custos ao eliminar atividades que não agregam valor e simplificar os fluxos de trabalho, proporcionando melhorias dramáticas em medidas críticas de desempenho como custo, qualidade e tempo de entrega.

CONCLUSÃO

Como conclusão é possível entender neste estudo a grandeza dos processos produtivos que envolvem a indústria siderúrgica no Brasil. O setor é um dos principais responsáveis pelo desenvolvimento econômico do país e está inserido em um mercado altamente tecnológico, onde as empresas disputam o mercado de maneira acirrada e altamente competitiva.

Os custos de produção de tubos de aço envolvem fatores como: mão de obra especializada, equipamentos de tecnologia avançada e linhas de produção de grande nível de complexidade. Diante disto, entende-se que pequenos detalhes podem definir a margem de lucro ou prejuízo para as empresas atuantes do ramo, tendo em vista o cenário que envolve o setor metalúrgico fica evidente que ações para otimização do processo, investimento em qualificação de mão de obra, ações de redução de custo, melhoria contínua, dentre outras, são de suma importância para sobrevivência e saúde financeira das empresas.

O estudo realizado possibilitou a revisão dos processos produtivos através do levantamento de dados históricos. Testes físicos, como o de Repetibilidade, foram realizados e, em seguida, feita a comparação dos resultados obtidos nas atividades, proporcionando dados seguros para embasamento da tomada de decisão e uma melhoria em geral no processo.

Por meio do trabalho realizado foi possível uma melhoria nos ajustes dos sensores de medição de tubos do equipamento de inspeção eletromagnética, trazendo maior confiabilidade em relação a esse. Foi possível também a revisão das serras de corte, confirmando as configurações do equipamento em relação ao planejamento e aumentando a confiabilidade dos resultados entregues dessas. Por fim, foi possível ainda explorar a possibilidade de uma redução custo de descarte de material com valor agregado, com o valor expressivo de cerca de 1 milhão de reais anuais, aumentando a lucratividade da empresa ou possibilitando novos investimentos no setor, evidenciando a importância do conceito de manutenção eficiente nas linhas de produção.

As técnicas de MMC quando utilizadas de maneira correta promovem ótimos resultados, como o aumento da confiabilidade nos processos, realizando uma entrega mais assertiva ao consumidor final e, conseqüentemente, o fortalecimento da marca e maior lucratividade. É importante ressaltar também que a reconfiguração de equipamentos e a revisão de processos específicos têm um impacto direto nos custos operacionais das empresas, proporcionando potenciais economias financeiras significativas. Essas ações visam otimizar a eficiência dos processos de produção, reduzir desperdícios e melhorar a utilização de recursos, resultando em benefícios financeiros tangíveis.

Melhorias nos processos de produção podem reduzir o desperdício de matérias-primas e insumos, o que não apenas diminui os custos de compra, mas também reduz os custos associados ao descarte e à gestão de resíduos.

Em resumo, a reconfiguração de equipamentos e a revisão de processos específicos não apenas melhoram a eficiência operacional e a qualidade do produto, mas também oferecem uma oportunidade significativa para reduzir custos operacionais. Essas iniciativas não devem ser vistas como investimentos isolados, mas sim, como parte de uma estratégia contínua de melhoria e adaptação às condições de mercado em constante mudança.

Para uma empresa prosperar em um ambiente competitivo e dinâmico, é essencial não apenas focar na otimização atual de processos, mas também estar preparada para os desafios e oportunidades futuras através de uma estratégia robusta de melhoria contínua. Incluir uma visão sobre os próximos passos ou áreas futuras de melhoria contínua não só demonstra o compromisso da empresa com a inovação constante, mas também reforça sua capacidade de adaptação às mudanças no mercado.

Dito isso, se abrem possibilidades futuras de melhoria contínua em diversas áreas da empresa como:

- **Tecnologia e Digitalização:** investir em tecnologias emergentes, como inteligência artificial, Internet das Coisas e automação avançada, pode melhorar a eficiência dos processos, reduzir custos operacionais e oferecer novas oportunidades de negócios.
- **Sustentabilidade Ambiental:** integrar práticas sustentáveis na cadeia de valor, como redução de resíduos, eficiência energética e uso responsável de recursos naturais, não apenas fortalece a imagem da empresa, mas também reduz custos a longo prazo.
- **Desenvolvimento de Produtos e Inovação:** investir em pesquisa e desenvolvimento para lançar novos produtos e serviços que atendam às necessidades emergentes dos clientes e se destacar da concorrência.
- **Gestão da Cadeia de Suprimentos:** aprimorar a colaboração com fornecedores e adotar práticas de gestão de estoques mais eficientes para garantir uma cadeia de suprimentos ágil e responsiva.
- **Cultura Organizacional e Capacitação de Pessoas:** promover uma cultura de inovação e aprendizagem contínua entre os colaboradores, incentivando a criatividade, o trabalho em equipe e a resolução de problemas de forma proativa.

A capacidade de uma empresa para se adaptar às mudanças no mercado é crucial para sua sustentabilidade a longo prazo. Isso envolve monitorar tendências do setor, antecipar mudanças nas preferências dos consumidores e estar pronto para ajustar estratégias e operações conforme necessário. A flexibilidade e a agilidade são essenciais para responder rapidamente a novas oportunidades e desafios competitivos.

Ao incluir uma visão clara sobre os próximos passos de melhoria contínua, uma empresa não apenas demonstra seu compromisso com a excelência operacional e inovação, mas também se posiciona estrategicamente para enfrentar os desafios futuros e aproveitar as oportunidades de crescimento. A melhoria contínua não é apenas um objetivo, mas um caminho contínuo para o sucesso empresarial sustentável e competitivo.

REFERÊNCIAS

Akeem L. B. (2017). Effect of cost control and cost reduction techniques in organizational performance. *International Business and Management*, 14(3), 19-26 <http://dx.doi.org/10.3968/9686>

Bateman, T. S. & Smell, S. (2011). *A Administração – Novo Cenário Competitivo* (tradução da Sexta Edição Norte-Americana); 2ª edição, São Paulo, Editora Atlas.

Bateman, T. S. (2012). *Administração*; 2ª edição, Porto Alegre AMGH.

Bevilacqua, M., Braglia, M., & Gabrielli, R. (2000). Monte Carlo Simulation approach for a modified FMECA in a power plant. *Quality and Reliability Engineering International*, 16, 313-324. [https://doi.org/10.1002/1099-1638\(200007/08\)16:4%3C313::AID-QRE434%3E3.0.CO;2-U](https://doi.org/10.1002/1099-1638(200007/08)16:4%3C313::AID-QRE434%3E3.0.CO;2-U)

- Bornia, A. C. (1995). *Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina.
- Bresser-Pereira, L. C. (1996). *Privatização no Brasil: Fundamentos e Resultados*. São Paulo: Editora 34.
- Cardoso, F. H. (2004). *A industrialização no Brasil: Aspectos econômicos e sociais*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Chavez, L. M. C. G. & Medeiros, F. E., de. (1998). *Engenharia de manutenção: fator de mudança*. In: 13º Congresso Brasileiro de Manutenção. 1998, Salvador. Anais... Rio de Janeiro: ABRAMAN.
- D'araujo, M. C. (1992). *A era Vargas: Desenvolvimento e Revolução*. Rio de Janeiro: Zahar.
- Deshpande, V. S. & Modak, J. P. (2002). Application of RMC to a médium scale industry. *Reliability Engineering & System Safety*, 77(1), 31-43.
- Francisco, E. (1999). *História da Siderurgia no Brasil: Da era colonial ao século XXI*. São Paulo: FGV.
- Hammer, M. & Champy, J. (1993). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. Harper Business.
- Higgins, R.: *Maintenance Engineering Handbook*, McGraw Hill, New York, 1995.
- Kardec, A. & Nascif, J. (2013). *Manutenção: Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymak, 4ª ed.
- Krajewski, L., Ritzman, L., & Malhotra, M. (2014). *Administração de Produção e Operações*. 8ª edição, São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Lafracia, J. R. B. (2001). *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymak.
- Monden, Y. (1999). *Sistemas de redução de custos: custo-alvo e custo Kaizen*. Porto Alegre: Bookman.
- Moreira, J. E. (1989). *A evolução da indústria siderúrgica no Brasil*. Rio de Janeiro: Paz e Terra.
- Monchy, F. (1989). *A função manutenção*. São Paulo: EBRAS/DURBAN.
- Narloch, L. (2015). *Guia politicamente incorreto da História do Brasil*. São Paulo: Leya.
- Niu, G., Young, B., Petch, M. (2010). Development of an optmized condition-based maintence system by data fusion and reability-centered maintenance. *Reliability Engeneering and System Safety*, 95(7), 786-796.
- Oliveira, L. F. S. & Diniz, F. L. B. (2001). *Apostila do curso manutenção centradaem confiabilidade – DNV Principia*, Foz do Iguaçu, abr. 102p.
- Pilon, J. A. (2007). *Manutenção preventiva sistemática de pneus em uma empresa de transporte público na cidade de Vitória-ES*. São Paulo: XIV Simpósio de Engenharia de Produção. https://simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=1
- Pinheiro, A. (2003). *A siderurgia brasileira no século XXI: Desafios e oportunidades*. São Paulo: Senai.
- Santos, W. B., Colosimo, E. A., & Motta, S. B. (2007). Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. *Revista Gestão e Produção*, 14(1), 193-202.
- Shingo, S. (1996). *O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre: Bookman.
- Siqueira, I. P., de. (2005). *Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação*. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark. 408 p.
- Slack, N., Johnston, R., & Chambers, S. (2008). *Administração da Produção*: 4ª Ed. São Paulo: Atlas.
- Silva, E. L., da & Menezes, E. M. (2005). *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 4 ed. Florianópolis, Editora UFSC.
- Silva, R. A. (2000). *História econômica do Brasil: da colonização a globalização*. São Paulo: Atlas.
- Aguiar, M. C. (2014). *Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação*. dissertação (mestrado) – PUC-RJ, Departamento de Engenharia Industrial.
- Junior, E. L. C. (2008). *Gestão em processos produtivos*, Curitiba: Ibpx.
- Takahashi, Y. & Osada, T. (1993). *Manutenção Produtiva Total*. São Paulo: Instituto Iman. 322p.
- Vallourec, Vallourec in Brazil . (2024). Recuperado de <https://brazil.vallourec.com>
- Womack, J. P. & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon & Schuster.