



MELHORIA CONTÍNUA NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO *LEAN MANUFACTURING*

CONTINUOUS IMPROVEMENT IN THE MANUFACTURE OF ENERGY GENERATION EQUIPMENT USING LEAN MANUFACTURING

Carlos Athayde Pinheiro^I
Clésio Aparecido Marinho^{II}

RESUMO

A aplicação dos princípios de Lean Manufacturing resultou em melhorias significativas na fabricação de servomotores. O estudo demonstrou a importância da identificação e resolução de gargalos no processo produtivo, utilizando ferramentas analíticas eficazes. A redução do tempo de produção, custo e eliminação de acidentes reforça a eficácia das melhorias implementadas. Além disso, as análises estatísticas validam os ganhos obtidos, destacando a importância da melhoria contínua e da aplicação de práticas de Lean Manufacturing. Esses resultados não apenas corroboram a eficácia do Lean como uma abordagem robusta para otimização de processos industriais, mas também ressaltam a necessidade contínua de aprimoramento e inovação para permanecer competitivo no mercado em constante evolução. Através da aplicação consistente dos princípios do Lean e da adoção de uma mentalidade de melhoria contínua, as empresas podem não apenas enfrentar os desafios atuais, mas também se preparar para os desafios futuros, garantindo sua posição de liderança e excelência operacional.

Palavras-chave: lean manufacturing; melhoria contínua; geração de energia.

ABSTRACT

The application of Lean Manufacturing principles has resulted in significant improvements in servo motor manufacturing. The study demonstrated the importance of identifying and resolving bottlenecks in the production process, using effective analytical tools. The reduction of production time, cost and elimination of accidents reinforces the effectiveness of the improvements implemented. In addition, statistical analyses validate the gains obtained, highlighting the importance of continuous improvement and the application of Lean Manufacturing practices. These results not only corroborate the effectiveness of Lean as a robust approach to industrial process optimization, but also underscore the ongoing need for improvement and innovation to remain competitive in the ever-evolving marketplace. Through the consistent application of Lean principles and the adoption of a continuous improvement mindset, companies can not only address current challenges but also prepare for future challenges, ensuring their leadership position and operational excellence.

Keywords: lean manufacturing; continuous improvement; energy generation.

^I Graduando no curso de Gestão de Produção Industrial na Fatec Deputado Waldyr Alceu Trigo, Sertãozinho SP, Brasil. E-mail: carlos.pinheiro@fatec.sp.gov.br

^{II} Professor Mestre do curso de Gestão da Produção Industrial, Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho (Fatec Sertãozinho), Sertãozinho SP, Brasil. E-mail: clesio.marinho@fatec.sp.gov.br



Data de submissão do artigo: 29/06/2024.

Data de aprovação do artigo: 23/10/2024.

DOI: 10.33635/sitefa.v7i1.295

1 INTRODUÇÃO

A melhoria contínua é um dos fundamentos essenciais da filosofia Lean Manufacturing, focada na otimização dos processos produtivos e na redução de desperdícios. O presente artigo tem como objetivo analisar e solucionar um gargalo identificado na produção de Servomotores, com ênfase na complexidade da peça estudada e na conformidade com os rigorosos parâmetros de projeto, como tolerâncias de forma e posição. A resolução de problemas desse tipo é crucial para evitar impactos negativos na qualidade do produto e minimizar perdas financeiras. Por isso, a busca por eficiência não deve se limitar à resolução de problemas imediatos, mas deve também promover o desenvolvimento de uma cultura organizacional de melhoria contínua e inovação.

Neste estudo, ferramentas importantes como a Teoria das Restrições (*Theory of Constraints* - TOC), o diagrama de causa e efeito Ishikawa e a metodologia 5W2H foram utilizadas para analisar e resolver o problema. A Teoria das Restrições auxiliou na identificação do principal gargalo no processo de produção, ou seja, o fator que mais restringe a capacidade de produção eficiente. A seguir, o diagrama de Ishikawa foi empregado para mapear e compreender as causas potenciais do problema, proporcionando uma análise aprofundada dos fatores críticos. Além disso, a ferramenta 5W2H foi aplicada para detalhar as ações necessárias para a implementação das melhorias, garantindo que cada etapa fosse clara e bem estruturada.

Para demonstrar os resultados alcançados após a implementação das melhorias, foram utilizados gráficos, baseados em dados coletados diretamente no chão de fábrica. Esses gráficos facilitaram a visualização dos ganhos obtidos, permitindo uma análise clara e objetiva do impacto das mudanças realizadas. A escolha dos gráficos de barras se mostrou eficaz para destacar a evolução dos indicadores de desempenho, tornando os resultados facilmente compreensíveis tanto pela equipe quanto pelos gestores da empresa.

Adicionalmente, o uso de fórmulas estatísticas permitiu a validação dos dados, confirmando que as melhorias observadas não foram causadas por flutuações aleatórias, mas por mudanças efetivas no processo produtivo. A aplicação de estatísticas possibilitou também que os resultados fossem analisados de forma precisa, assegurando a confiabilidade das conclusões e viabilizando que as decisões fossem baseadas em evidências sólidas, conforme os princípios do Lean Manufacturing.

Por fim, os resultados demonstram que a utilização combinada de ferramentas qualitativas e quantitativas, aliada ao compromisso com a melhoria contínua, trouxe benefícios significativos para a produtividade e a qualidade do produto. A eliminação do gargalo identificado contribuiu não apenas para o aumento da eficiência, mas também para o fortalecimento de uma cultura de excelência organizacional, promovendo o crescimento sustentável da empresa e aumentando a satisfação dos clientes. Este estudo, portanto, apresenta uma contribuição relevante para a literatura sobre melhoria contínua, ao integrar diversas ferramentas de gestão e análise de processos em um contexto real de produção industrial.

A empresa em questão, situada em Sertãozinho, no estado de São Paulo, é especializada na fabricação de equipamentos para geração de energia. A análise revelou um gargalo



significativo na fabricação de servomotores, devido à complexidade da peça e às exigências rigorosas de precisão e segurança operacional. Nesse sentido, a introdução de metodologias Lean se torna crucial, pois elas são aplicáveis em todos os setores para otimizar operações, processos e logística associada (Bardhan, Thouin, 2013 *apud* Tigusa, 2023).

Nesse contexto, muitas empresas têm adotado sistemas Kaizen Lean para mapear a cadeia de valor e, por meio de técnicas de melhoria contínua, eliminar atividades que não agregam valor ao cliente (Santos, 2014 *apud* Tigusa, 2023).

Ao aplicar os princípios do Lean Manufacturing, a empresa busca não apenas resolver os gargalos identificados na fabricação dos servomotores, mas também fortalecer sua posição no mercado, oferecendo produtos de alta qualidade de forma mais eficiente e econômica.

2 DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA

O cenário industrial atual exige melhorias constantes nos processos de produção para assegurar competitividade e eficiência. Nesse sentido, a combinação de metodologias como Lean Manufacturing, Teoria das Restrições e ferramentas de análise, como o Diagrama de Ishikawa e o método 5W2H, tem papel crucial na busca pela excelência operacional.

Lean é uma ferramenta de melhoria da qualidade capaz de reduzir os atrasos entre as fases do processo, evidenciando o “rastros” de evidências causais; e para que os problemas de qualidade não fiquem desordenados e confusos (Nicholas, 2018 *apud* Botelho; Oliveira, 2023). O uso dessa ferramenta oferece uma abordagem sistemática que transforma não apenas processos produtivos, mas também a cultura organizacional. Ao fomentar uma mentalidade de melhoria contínua e adaptação, o Lean promove uma dinâmica de inovação que impulsiona o progresso das empresas.

Goldratt e Cox (2014) afirmam que restrição é algo que não temos o suficiente a ponto de limitar o desempenho de toda a empresa. Ao identificar e gerenciar essas restrições, as empresas não apenas superam esses desafios, mas também os transformam em oportunidades para o crescimento e a sustentabilidade.

Na resolução de problemas, ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e o método 5W2H, são utilizados como forma de diagnosticar e ampliar a visão no momento de solucionar problemas. A respeito do 5W2H, (Polacinski, *et al.* (2012) *apud* Botelho; Oliveira, 2023) descrevem que a ferramenta consiste em um plano de ação para atividades pré-estabelecidas que precisam ser desenvolvidas com a maior clareza possível e um mapeamento delas, através do objetivo central da ferramenta 5W2H, que é responder a sete questões básicas e organizá-las.

Ao longo do estudo, fica evidente que a integração dessas metodologias não só aprimora a otimização industrial, mas também estabelece uma base sólida para a inovação e o crescimento sustentável, assegurando a competitividade das empresas em um mercado em rápida evolução.

Neste artigo, serão aplicadas essas metodologias para demonstrar resultados práticos. Através da integração do Lean Manufacturing, da Teoria das Restrições e de ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e o método 5W2H, buscaremos identificar oportunidades de melhoria nos processos e propor soluções eficazes e mensuráveis. Essa abordagem holística permitirá não apenas compreender os desafios enfrentados pelas empresas, mas também oferecer soluções valiosas para impulsionar o desempenho e a segurança no ambiente industrial.



3 EXPERIÊNCIA PRÁTICA

A análise prática realizada se fundamenta em uma observação minuciosa dos gargalos e na aplicação dos princípios do Lean Manufacturing para atualização do processo de produção dos servomotores. identificar e resolver esses gargalos aprimoram a eficiência operacional, reduzem o tempo de ciclo, aumentam a produtividade e melhoram a qualidade do produto. Ao adotar uma abordagem Lean, a organização não apenas atende às exigências do mercado de maneira mais eficaz, mas também fomenta uma cultura de excelência e inovação que sustenta o crescimento a longo prazo. Conforme observado por Womack e Jones (2003), “a essência do Lean Manufacturing reside em identificar e eliminar desperdícios, ao mesmo tempo que promove a melhoria contínua e a criação de valor para o cliente”.

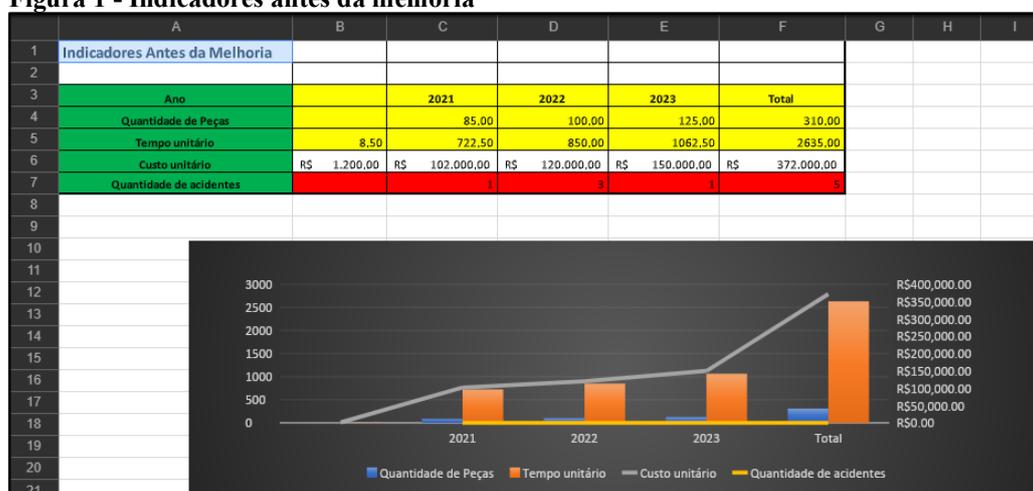
3.1. Identificação do problema

Foi observada uma vulnerabilidade na fixação da peça na placa do torno, o que impactava negativamente a segurança e a eficiência do processo. A peça necessitava de muitas horas de execução para atender às tolerâncias de forma e posição exigidas pelo projeto (ISO 1101:2017).

3.2. Desenvolvimento do dispositivo de fixação

Para resolver o problema, foi desenvolvido um dispositivo especial para melhorar a fixação da peça no torno. Esse dispositivo aumentou a segurança operacional, reduziu o tempo de produção e diminuiu a necessidade de postos de trabalho, conforme demonstrado na Figura 1 e na Figura 2. Além disso, a implementação desse dispositivo resultou em uma significativa melhoria na qualidade das peças usinadas, uma vez que a fixação mais robusta reduziu a ocorrência de desvios dimensionais e defeitos superficiais.

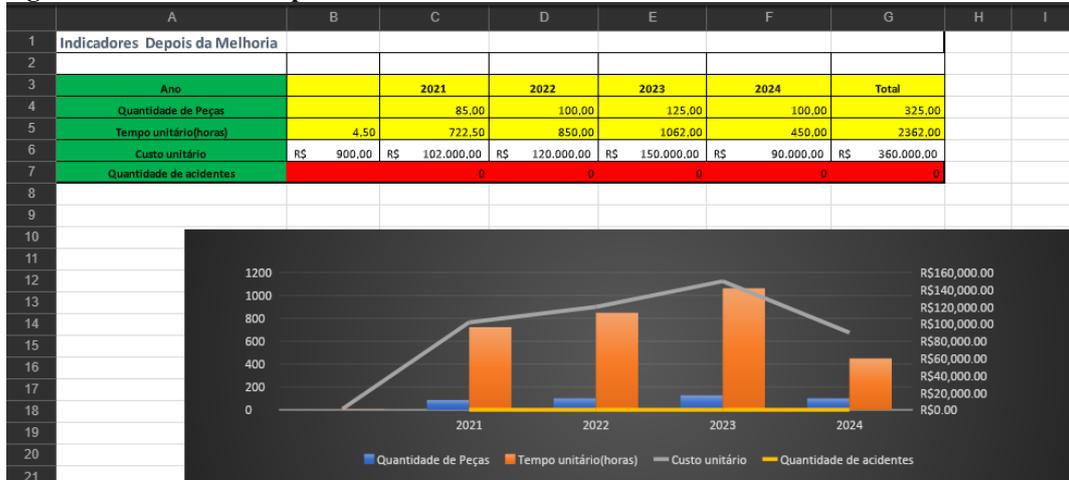
Figura 1 - Indicadores antes da melhoria



Fonte: autoria própria (2024)



Figura 2 - Indicadores depois da melhoria



Fonte: autoria própria (2024)

3.3. Análise do gargalo

Uma análise detalhada dos gargalos revelou que a principal limitação estava na fixação fundamentada da peça no torno, o que causava imprecisões e aumentava o risco de acidentes (Figura 3). Essa constatação destaca a importância de uma abordagem sistemática para identificar e resolver os pontos críticos nos processos industriais. Compreender a raiz do problema permite implementar melhorias direcionadas que não apenas corrigem as falhas existentes, mas também fortalecem o sistema como um todo. Segundo Goldratt (2003), “a identificação e gestão das restrições é essencial para melhorar o desempenho do sistema como um todo, alterando configurações em oportunidades.

Figura 3 - Fixação das peças antes da melhoria



Fonte: autoria própria (2024)



3.4. Implementação de melhorias

A implementação do novo dispositivo de fixação (Figura 4) trouxe melhorias expressivas em segurança, eficiência e redução de custos. Ao garantir uma fixação mais segura da peça, minimizando acidentes e falhas, o dispositivo também aumentou a eficiência operacional, viabilizando um processo produtivo mais ágil e confiável. Essas mudanças não apenas reduziram o tempo de ciclo, mas também elevaram a produtividade, gerando impactos positivos nos custos e promovendo uma economia relevante de recursos. Assim, a solução adotada não apenas resolveu o problema inicial, como também agregou valor ao processo produtivo (Cauchick, 2021).

A Tabela 1 ilustra os ganhos obtidos após a implementação das melhorias.

Tabela 1 - Comparação dos indicadores antes e depois das melhorias.

Indicadores	Antes da melhoria	Depois da melhora
Tempo de produção(horas)	8,5	4,5
Custo de produção (R\$)	1.200,00	900,00
Número de acidentes (anual)	5	0

Fonte: autoria própria (2024)

Figura 4 - Dispositivo desenvolvido



Fonte: autoria própria (2024)

3.5. Melhoria de segurança operacional

A introdução do novo dispositivo de fixação (Figura 5 e Figura 6) assegurou o cumprimento das normas de segurança, eliminando acidentes no processo de usinagem. A maior estabilidade proporcionada pela nova fixação também reduziu significativamente falhas

e paradas imprevistas, o que aumentou tanto a confiabilidade do processo quanto a segurança do ambiente, a eficiência da produção e a saúde dos trabalhadores (Lima; Duarte, 2000).

Figura 5 - Dispositivo preso na placa do torno



Fonte: autoria Própria (2024)

Figura 6 - Peça presa no dispositivo desenvolvido



Fonte: autoria própria (2024)



3.6. Análise estatística

As análises estatísticas foram conduzidas para verificar os benefícios das melhorias implementadas. Entre os cálculos utilizados estão a média, desvio padrão, coeficiente de variação e a redução percentual. A aplicação dessas fórmulas aos dados obtidos antes e após a implementação evidenciou de maneira objetiva os ganhos. A Tabela 2 apresenta os resultados das análises em termos percentuais, oferecendo uma visualização clara das melhorias em cada critério avaliado.

Tabela 2 - Análise estatística dos indicadores.

Indicadores	Antes da melhoria	Depois da melhora	Redução (%)
Tempo de produção(horas)	8,5	4,5	47.06
Custo de produção (R\$)	1.200,00	900,00	25
Número de acidentes (anual)	5	0	100

Fonte: autoria Própria (2024)

4. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE ANÁLISE

Essa seção destina-se à apresentação das ferramentas de análise.

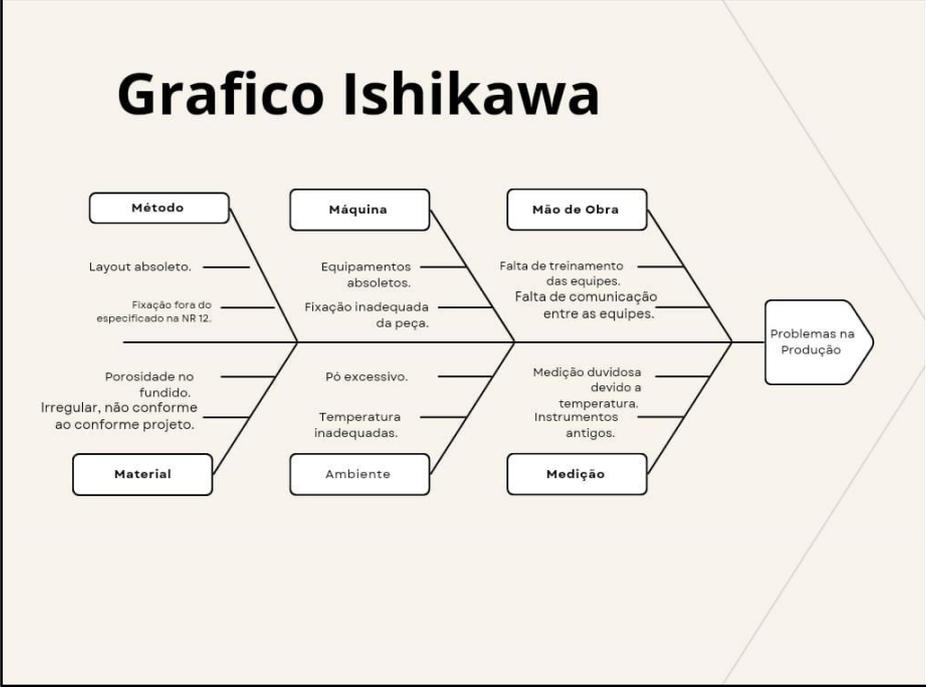
4.1. Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa (Figura 7) foi utilizado para identificar as causas raízes dos problemas no processo de fabricação dos servomotores. Essa ferramenta proporcionou uma abordagem estruturada para analisar os diversos fatores que podem influenciar na qualidade e eficiência do processo

a elaboração do diagrama de Ishikawa parte da análise de todos os fatores da cadeia produtiva de uma indústria, esses fatores normalmente são denominados de “os seis M”, que abrangem: método, mão-de-obra, meio ambiente, matéria-prima, máquinas e medidas. Esses seis fatores são os responsáveis por estabelecer a variabilidade dos processos (Ballester, 2001 *apud* Carneiro, 2020).

O diagrama incluiu uma análise abrangente e sistemática dos problemas enfrentados no processo de fabricação de servomotores, contribuindo para a implementação de soluções direcionadas e a melhoria contínua da qualidade e desempenho do produto.

Figura 7 - Diagrama de Ishikawa



Fonte: autoria própria (2024)

4.2. Método 5W2H

O método 5W2H (Figura 8) foi utilizado para planejar a implementação das melhorias. Por meio dessa metodologia, foram estabelecidas respostas claras para questões fundamentais propostas pelo método. Como apresentado por Wong e Leung (2023), o método 5W2H oferece uma abordagem estruturada para resolver problemas complexos e ações planejadas de forma detalhada e eficaz. As respostas para as questões trazidas pela utilização do método forneceram uma estrutura abrangente para o planejamento e a execução das ações de melhoria, garantindo que todas as etapas do processo fossem cuidadosamente consideradas e implementadas de maneira eficiente.



Figura 8 -Plano de Ação 5W2H



Fonte: autoria própria (2024)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos princípios de Lean Manufacturing resultou em melhorias significativas na fabricação de servomotores. O estudo demonstrou a importância da identificação e resolução de gargalos no processo produtivo, utilizando ferramentas analíticas eficazes. A redução do tempo de produção, custo e eliminação de acidentes reforça a eficácia das melhorias implementadas. Além disso, as análises estatísticas validam os ganhos alcançados, enfatizando a importância da melhoria contínua e da implementação de práticas de Lean Manufacturing. Como afirmam Womack e Jones (1998) *apud* Papandrea *et al.* (2020), trata-se de "produzir mais e mais com cada vez menos" (menos esforços humanos, menores tempos, utilização de menos recursos etc.).

Esses resultados não apenas corroboram a eficácia do Lean como uma abordagem robusta para otimização de processos industriais, mas também ressaltam a necessidade contínua de aprimoramento e inovação para permanecer competitivo no mercado em constante evolução. Através da aplicação consistente dos princípios do Lean e da adoção de uma mentalidade de melhoria contínua, as empresas podem não apenas enfrentar os desafios atuais, mas também se preparar para os desafios futuros, garantindo sua posição de liderança e excelência operacional.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, Lina Reis; OLIVEIRA, Livia da Silva. **Gestão de produção industrial em tópicos**. v. 2. Belo Horizonte - MG: Poisson, 2023.

CAUCHICK, Miguel, Paulo. **Melhoria contínua e inovação**. São Paulo: Editora XYZ, 2021.



CARNEIRO, Eduardo Mazini. A importância da Gestão de qualidade e de suas ferramentas na atuação da engenharia de produção: uma revisão bibliográfica. **ConBRepro**, edição número 10, 2020. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/09262020_180932_5f6fb7e4ed48e.pdf. Acesso em: 10 ago. 2024.

LIMA, Francisco; DUARTE, Franciso. Integrando a ergonomia ao projeto de engenharia: especificações ergonômicas e configurações de uso. **Gest. Prod. São Carlos**, v. 21, n. 4, p. 679-690, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/bcQzTPvBLqKrBX6yWVp68gB/?lang=pt>. Acesso em: 10 ago. 2024.

GOLDRATT, Eliyahu; COX, Jeff. **A Meta**: um processo de melhoria contínua. 2. Edição. São Paulo: Nobel, 2014.

GOLDRATT, Eliyahu M. **A Meta de: Um Processo de Melhoria Contínua**. São Paulo: Editora Nobel, 2003.

ISO 1101:2017. **Geometrical product specifications (GPS)** — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. 2017.

PAPANDREA, Pedro Jose *et al.* Lean Manufacturing: redução de desperdícios e a padronização do processo. **Journal of open research**, Itajubá, v. 1, n.1. 2020. Disponível em: <https://stellata.com.br/journals/jor/article/view/4>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SILVA, Anderson Soares; ALVES, Luiz Claudio Otranto; COGAN, Samuel. Integrando o custeio baseado em atividades integrando a teoria das restrições: a aplicação do ABC operacional em uma odontoclínica. **RAM**. Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 81 -102, 2007. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/RAM/article/view/140>. Acesso em: 10 ago. 2024.

TIGUSA, Pedro Eiji. **Metodologia Kaizen na linha de produção**: Retrofit e cronoanálise nos processos de produção de HVAC. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, São Paulo. 2023.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. Lean Thinking: **Banish waste and create wealth in your corporation**. 2003. New York: Free Press.