



**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

PEDRO EIJI TIGUSA

METODOLOGIA KAIZEN NA LINHA DE PRODUÇÃO:
Retrofit e cronoanálise nos processos de produção de HVAC

CAMPINAS

2023

PEDRO EIJI TIGUSA

METODOLOGIA KAIZEN NA LINHA DE PRODUÇÃO:

Retrofit e cronoanálise nos processos de produção de HVAC

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à PUC-Campinas como parte
dos requisitos para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Controle e
Automação

Orientador: Prof. Dr. Everton Dias de Oliveira

CAMPINAS

2023

Ficha catalográfica elaborada por Adriane Elane Borges de Carvalho CRB 8/9313
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

620 T658m	<p>Tigusa, Pedro Eiji</p> <p>Metodologia Kaizen na linha de produção: retrofit e cronoanálise nos processos de produção de HVAC / Pedro Eiji Tigusa. - Campinas: PUC-Campinas, 2023.</p> <p>156 f.: il.</p> <p>Orientador: Everton Dias de Oliveira.</p> <p>TCC (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Faculdade de Engenharia de Controle e Automação, Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2023. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Engenharia de Controle - Kaizen. 2. Processo - Melhoria contínua. 3. Produtividade - Cronoanálise. I. Oliveira, Everton Dias de. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola Politécnica. Faculdade de Engenharia de Controle e Automação. III. Título.</p> <p>23. ed. CDD 620</p>
--------------	---

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço meus familiares, principalmente, meus pais e irmão, Denise Yoshiko Oda Tigusa, Milton Ueno Tigusa e Guilherme Tetsuo Tigusa, que me apoiaram e me encorajaram em todos os momentos. Seus incentivos e conselhos foram essenciais para que eu pudesse dedicar-me a este trabalho.

Ademais, agradeço ao meu orientador, Everton Dias de Oliveira, pela dedicação, paciência e orientação em todas as etapas do trabalho. As suas críticas construtivas e sugestões foram importantes para o aprimoramento deste trabalho.

Também gostaria de agradecer aos professores da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, que me proporcionaram uma formação sólida e contribuíram significativamente para o desenvolvimento das minhas habilidades de pesquisa e análise.

Agradeço ainda meus amigos e colegas de faculdade, que me apoiaram e me encorajaram em todos os momentos. Seus conselhos e incentivos foram fundamentais para que eu pudesse realizar e concluir este trabalho.

Finalmente, expresso minha gratidão à empresa Valeo (Itatiba-SP) e aos profissionais envolvidos, em especial ao colaborador Marcio Pires de Moraes, que gentilmente me orientou e ajudou na realização deste trabalho. Suas percepções, experiências e sugestões foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a relação entre o termo Kaizen e cronoanálise na busca por melhoria contínua de processos. O objetivo foi analisar a aplicação dessas ferramentas em uma fábrica de peças automotivas (evaporador, radiador, condensador e sistemas de ar-condicionado), identificando os principais resultados e benefícios alcançados. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos de Kaizen e cronoanálise, bem como sua aplicação em processos produtivos. A partir da análise do estudo de caso, foi possível identificar a importância da utilização das ferramentas em conjunto, uma vez que a cronoanálise auxilia na identificação de oportunidades de melhoria e o Kaizen na implementação das soluções. Além disso, foram identificados benefícios como redução de tempo de produção, aumento da produtividade e melhoria da qualidade do produto. Em suma, pode-se concluir que a utilização das ferramentas Kaizen e cronoanálise pode contribuir significativamente para a melhoria contínua de processos, identificar oportunidades de melhoria em processos produtivos e pode contribuir para a competitividade das empresas.

Palavras-chaves: Kaizen. Cronoanálise. Processo. Melhoria contínua. Produtividade.

ABSTRACT

This Final Paper presents a study on the relationship between the term Kaizen and chronoanalysis in the search for continuous process improvement. The objective was to analyze the application of these tools in the automotive parts industry (evaporator, radiator, condenser and air-conditioning systems), identifying the main results and benefits achieved. For this, a bibliographic review was carried out on the concepts of Kaizen and chronoanalysis, as well as its application in production processes. From the analysis of the case study, it was possible to identify the importance of using the tools together, since chronoanalysis helps in the identification of opportunities for improvement and Kaizen in the implementation of solutions. In addition, benefits such as reduced production time, increased productivity and improved product quality were identified. In short, it can be concluded that the use of Kaizen tools and chronoanalysis can contribute significantly to the continuous improvement of processes, identify opportunities for improvement in production processes and can contribute to the competitiveness of companies.

Keywords: Kaizen. Chronoanalysis. Process. Continuous improvement. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Filosofia Kaizen.....	13
Figura 2. Diagrama tempo padrão.....	50
Figura 3. Cálculo do tempo padrão da operação.....	50
Figura 4. Poli x Poli	51
Figura 5. Fluxograma de treinamento para operadores em linha I	53
Figura 6. Questionário disponibilizado para os funcionários.....	56
Figura 7. Dados de entrada do questionário	56
Figura 8. Dados de identificação do posto de trabalho	57
Figura 9. Quantidade de melhoria por posto de trabalho.....	62
Figura 10. Tomada das bandejas.....	64
Figura 11. Relação de sensores para cada posto de montagem.....	65
Figura 12. Monitores modelo Dell.....	66
Figura 13. IHM modelo KTP700 6AV21232GB030AX0 da Siemens	66
Figura 14. Layout da linha sem a máquina de crimpagem	68
Figura 15. Estrutura do planejamento do Project Model Canvas	71
Figura 16. PMBOK x Project Model Canvas.....	72
Figura 17. Project Model Canvas do projeto	73
Figura 18. Fluxograma da linha de produção	80
Figura 19. Posto 1 da linha de montagem.....	81
Figura 20. Posto 10 (Cabine 1)	96
Figura 21. Posto 10 e 11 (Cabine 1 e 2).....	97
Figura 22. Robô KUKA R1100 na cabine 2 (Posto 11).....	98
Figura 23. Foto tirada pelo robô KUKA	99
Figura 24. Green card da linha de produção	103
Figura 25. Novo posto 1 da linha de produção	107
Figura 26. Máquina de crimpagem que estava localizada no posto 7	108
Figura 27. Parâmetros máquina de crimpagem do radiador.....	109
Figura 28. Imagem da câmera da máquina de crimpagem.....	110
Figura 29. Novo posto para montagem do radiador	110
Figura 30. Posto com a embalagem do tipo “caixa” para os GMV’s	120
Figura 31. Controle da presença do anel de vedação no tubo do radiador.....	124
Figura 32. Novo layout da linha de produção	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tabela com a síntese do 1º artigo selecionado	31
Quadro 2. Tabela com a síntese do 2º artigo selecionado	32
Quadro 3. Tabela com a síntese do 3º artigo selecionado	33
Quadro 4. Tabela com a síntese do 4º artigo selecionado	34
Quadro 5. Tabela com a síntese do 5º artigo selecionado	35
Quadro 6. Tabela com a síntese do 6º artigo selecionado	36
Quadro 7. Tabela com a síntese do 7º artigo selecionado	37
Quadro 8. Tabela com a síntese do 8º artigo selecionado	38
Quadro 9. Tabela com a síntese do 9º artigo selecionado	39
Quadro 10. Tabela com a síntese do 10º artigo selecionado	40
Quadro 11. Respostas do questionário	58
Quadro 12. Descrição/identificação dos processos do posto 1	82
Quadro 13. Descrição/identificação dos processos do posto 2	84
Quadro 14. Descrição/identificação dos processos do posto 3	86
Quadro 15. Descrição/identificação dos processos do posto 4	87
Quadro 16. Descrição/identificação dos processos do posto 5	88
Quadro 17. Descrição/identificação dos processos do posto 6	90
Quadro 18. Descrição/identificação dos processos do posto 7	91
Quadro 19. Descrição/identificação dos processos do posto 8	93
Quadro 20. Descrição/identificação dos processos do posto 9	94
Quadro 21. Descrição/identificação dos processos do posto 12	99
Quadro 22. Novo processo de montagem do posto 2 e cronometragem	130
Quadro 23. Novo processo de montagem do posto 3 e cronometragem	132
Quadro 24. Novo processo de montagem do posto 4 e cronometragem	133
Quadro 25. Novo processo de montagem do posto 5 e cronometragem	134
Quadro 26. Novo processo de montagem do posto 6 e cronometragem	135
Quadro 27. Novo processo de montagem do posto 7 e cronometragem	137
Quadro 28. Novo processo de montagem do posto 8 e cronometragem	138
Quadro 29. Novo processo de montagem do posto 9 e cronometragem	139
Quadro 30. Novo processo de montagem do posto 10 e cronometragem	140
Quadro 31. Novo processo de montagem do posto 12 e cronometragem	142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tempo de montagem e quantidade de componentes de cada posto.....	101
Tabela 2. Novos tempos de montagem e quantidade de componentes de cada posto	144
Tabela 3. Comparação dos tempos de cada posto	145

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativas	17
1.2 Objetivo Geral	17
1.3 Objetivos específicos	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Conceito técnico da teoria do problema a ser estudado.	20
2.2 Conceito técnico e evolução do conceito	22
2.3 Exemplos de aplicação da tecnologia estudada em intersecção com a resolução do problema de pesquisa	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Classificação da pesquisa quanto aos objetivos	46
3.2 Natureza da pesquisa	46
3.3 Classificação da pesquisa quanto aos seus procedimentos técnicos utilizados	48
3.4 Técnicas e instrumentos para obtenção de informações e dados	55
3.5 Descrição do ambiente de simulação e seus requisitos	62
3.6 Lista de materiais	63
3.7 Lista das provas de conceitos a serem realizadas para validação da solução do projeto do TCC	69
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
4.1 Termo de Abertura de um Projeto (TAP)	70
4.2 Mapeamento do processo/Cenário problema	79
4.3 Realização do diagnóstico	103
4.4 Implementação do projeto	106
4.5 Análise do questionário	112

4.6	Novo balanceamento de componentes e resultados	128
4.7	Resultados da cronoanálise.	145
5.	CONCLUSÃO	147
6.	REFERÊNCIAS	153

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

STP	<i>Sistema Toyota de Produção</i>
PIB	<i>Produto Interno Bruto</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
TFM	<i>Total Flow Management</i>
KMS	<i>Kaizen Management System</i>
WCP	<i>World Class Performance</i>
KCM	<i>Kaizen Change Model</i>
SDCA	<i>Standart Do Check Act</i>
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>
TQM	<i>Total Quality Management</i>
TSM	<i>Total Service Management</i>
IDM	<i>Innovation and Development Management</i>
TC	<i>Tempo de ciclo</i>
TPM	<i>Total Production Management</i>
QRM	<i>Quick Response Manufacturing</i>
L-PBF	<i>Laser Powder Bed Fusion</i>
NVA	<i>Non-value adding</i>
VA	<i>Value-adding</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
QR	<i>Quick Response</i>
EOL	<i>End of Line</i>
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i>
GMV	<i>Grupo Motoventilador</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DH	<i>Distribution House</i>
SMART	<i>Specific Measurable Achievable Realistic Time based</i>
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PM	<i>Project Model</i>
TK	<i>Target Kosu</i>

OST	<i>Operational Standard Time</i>
TRP	<i>Target Rating Point</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>

1. INTRODUÇÃO

O termo "Kaizen" foi introduzido na América em 1986 com a publicação do livro de Masaaki Imai, intitulado "Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success". Desde então, ele se tornou amplamente reconhecido e aceito por gestores de indústrias e empresas que adotam essa filosofia. Segundo Imai (2012), na língua japonesa, "Kaizen" significa "melhoria contínua", e na prática, busca envolver todos os participantes no processo em análise, a um custo relativamente baixo para a empresa (VIVAN, ORTIZ, PALLARI, 2016).

Figura 1. Filosofia Kaizen



Fonte: (CRW, 2023)

Conforme descrito por Womach (1992), em 1950, um jovem engenheiro japonês chamado Eiji Toyoda passou três meses nos Estados Unidos, visitando as instalações da Ford em Rouge-Detroit. Seu objetivo era estudar a possibilidade de implementar o sistema de produção em massa da Ford na fábrica da Toyota no Japão. Para entender a diferença de produção, em 1950, a Toyota havia produzido apenas 2.685 carros após treze anos de trabalho, enquanto a Ford produzia 7.000 veículos por dia (BRIALES, FERRAZ, 2019).

Após uma análise detalhada das instalações da Ford nos Estados Unidos, Eiji Toyoda concluiu que copiar ou melhorar o sistema de produção da Ford era praticamente impossível. Como resultado, ele e seu gerente de produção, Taiichi

Ohno, perceberam que era necessário criar um novo sistema de produção adequado à Toyota e ao Japão (BRIALES, FERRAZ, 2019).

De volta ao Japão, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno começaram a desenvolver um novo sistema de produção que se tornaria conhecido como o Sistema Toyota de Produção (STP) ou Produção Enxuta (Lean Production). É importante destacar que o desenvolvimento desse sistema foi baseado em tentativa e erro, totalmente empírico (BRIALES, FERRAZ, 2019).

Ohno (1997) acreditava que "a necessidade é a mãe da invenção" e aplicou esse princípio à necessidade de criar um novo sistema de produção. Até os dias de hoje, as melhorias nas fábricas da Toyota são impulsionadas pela busca contínua de aprimoramento. Ele enfatizava que a chave para o progresso das melhorias estava em permitir que os funcionários da fábrica sentissem essa necessidade (BRIALES, FERRAZ, 2019).

O principal objetivo da cronoanálise consiste em analisar as atividades realizadas durante a fabricação de produtos e peças, a fim de determinar com precisão a quantidade de tempo dedicada a tarefas que verdadeiramente acrescentam valor ao processo (SOTSEK, BONDUELLE, 2016).

Essa definição ressalta a importância significativa da cronoanálise, uma vez que ela desempenha um papel fundamental na capacidade de equilibrar linhas de montagem ou de produção. Isso é alcançado por meio da medição dos tempos necessários para executar cada uma das atividades integrantes do processo (CRONOANÁLISE INDUSTRIAL, 2016).

A indústria automobilística no Brasil representa um dos pilares fundamentais da economia nacional. Em 2019, esse setor desempenhou um papel significativo, contribuindo com 2,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e abarcando 20% do PIB da indústria de transformação. Além disso, gerou um impressionante faturamento de US\$ 59 bilhões e proporcionou mais de 1,3 milhão de empregos diretos e indiretos (ANFAVEA, 2022).

No ano subsequente, em 2020, o Brasil consolidou sua posição como o 8º maior produtor de veículos leves e comerciais leves do mundo, fabricando um total de 1,9 milhões de unidades. Nessa categoria, o país ficou atrás somente de gigantes como China, Estados Unidos, Japão, Alemanha, Coreia do Sul, Índia e México, demonstrando sua relevância no cenário global (HOMRICH, 2023).

Além disso, o Brasil se destaca como o sétimo maior mercado consumidor e figura como o oitavo maior produtor de veículos, consolidando uma posição de destaque internacional. A maioria das empresas que operam nesse setor tem origem multinacional e desempenham funções cruciais, incluindo a montagem de veículos. No entanto, o investimento estrangeiro também desempenha um papel significativo em várias etapas do processo produtivo, como o fornecimento de peças e conjuntos mecânicos e elétricos. Empresas de origem nacional predominam como fornecedores, embora tenham uma presença mais limitada na montagem de veículos (HOMRICH, 2023).

A aplicação do Kaizen e da cronoanálise na indústria automotiva representa uma estratégia fundamental para impulsionar a eficiência operacional e otimizar a produção de peças automotivas. Essas metodologias têm demonstrado impactos significativos, refletindo-se em melhorias tangíveis em diversos aspectos do processo produtivo.

Em termos de eficiência, a filosofia do Kaizen, ao promover uma cultura de melhoria contínua, proporciona um ambiente em que os colaboradores são incentivados a identificar e eliminar desperdícios, redundâncias e ineficiências em suas atividades diárias. A aplicação prática desses princípios pode resultar em fluxos de trabalho mais leves, redução de tempos e aumento da produtividade, contribuindo para a otimização geral da produção de peças automotivas.

A cronoanálise, por sua vez, desempenha um papel crucial na gestão eficiente do tempo. Ao desmembrar as operações em elementos menores e cronometrar cada etapa, essa metodologia proporciona uma compreensão detalhada do tempo gasto em cada atividade. Isso não apenas permite identificar gargalos e oportunidades de otimização, mas também viabiliza uma distribuição mais eficaz dos recursos, resultando em processos mais enxutos e tempos de produção reduzidos.

No contexto da produção de peças automotivas, essas melhorias têm um impacto direto na qualidade do produto final. A redução de desperdícios e a otimização dos processos resultam em produtos mais consistentes e com menor incidência de defeitos. Logo, isso não apenas aumenta a satisfação do cliente, mas também contribui para a conformidade com padrões rigorosos de qualidade na indústria automotiva.

Ademais, os benefícios econômicos da aplicação do Kaizen e da cronoanálise são notáveis. A redução de custos operacionais, o aumento da eficiência e a melhoria na qualidade dos produtos podem resultar em uma vantagem competitiva significativa para as empresas no setor automotivo. Essa vantagem é essencial em um mercado global altamente competitivo, em que a eficiência operacional é um diferencial estratégico.

Portanto, os resultados alcançados com a aplicação do Kaizen e da cronoanálise têm o potencial de transformar positivamente a indústria automotiva. Ao promover uma cultura de melhoria contínua e otimização de processos, essas metodologias não apenas impactam a eficiência operacional, mas também elevam a qualidade dos produtos fabricados e conferem vantagens competitivas no cenário industrial contemporâneo. Essa abordagem, respaldada por práticas comprovadas e embasada em uma sólida fundamentação teórica, destaca-se como uma contribuição valiosa para a excelência na produção de peças automotivas.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como proposta apresentar um estudo de caso de uma cronoanálise realizada em uma linha de produção, relacionando os termos Kaizen e cronoanálise. Além disso, será mostrada uma pesquisa sobre a origem do termo Kaizen, desde sua criação no Japão até na disseminação e aplicação em todo o mundo. Ademais, serão abordados os principais fundamentos dessa filosofia de gestão, bem como sua importância para a melhoria contínua de processos e produtos. Serão utilizadas diversas fontes para embasar a pesquisa, incluindo livros e artigos. O trabalho também terá como propósito apresentar exemplos práticos de aplicação do Kaizen em empresas e como essa filosofia pode contribuir para a competitividade e sucesso das organizações.

A escolha do Kaizen e da cronoanálise como foco deste estudo foi motivada por sua significativa relevância e eficácia na melhoria contínua e otimização de processos industriais, especialmente na fabricação de peças automotivas. Essas metodologias têm sido amplamente reconhecidas por proporcionarem ganhos substanciais em eficiência, qualidade e produtividade. Ademais, a empresa utilizou essas duas metodologias em projetos anteriores que alcançaram resultados expressivos, logo, optou-se por novamente utilizar essas duas ferramentas no projeto.

Em suma, nesse estudo de final de curso serão apresentados os resultados da cronoanálise, bem como as principais mudanças implementadas a partir dos dados coletados, destacando os benefícios obtidos com a aplicação da técnica.

1.1 Justificativas

A cronoanálise é uma técnica de análise de tempo utilizada para identificar oportunidades de melhoria em processos produtivos. Esse tema é importante porque a eficiência e qualidade dos processos são fatores essenciais para a competitividade das empresas. Além disso, a cronoanálise é uma das ferramentas mais utilizadas no Kaizen, uma filosofia de gestão japonesa que tem sido aplicada em empresas de todo o mundo.

A escolha do Kaizen e da cronoanálise como foco deste estudo foi influenciada por experiências em projetos anteriores dessa empresa, em que essas metodologias foram aplicadas com sucesso para abordar desafios específicos e alcançar resultados positivos.

Em suma, o trabalho analisado e desenvolvido teve como finalidade aumentar o número de peças produzidas em uma linha de produção de sistema de ar-condicionado para automóveis, na qual foram utilizadas as ferramentas Kaizen e cronoanálise para atingir uma nova demanda de produção.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é analisar a aplicação das ferramentas Kaizen e cronoanálise em processos produtivos de uma indústria de peças automotivas, mais especificadamente, em uma linha de produção do sistema de ar-condicionado de um carro. O estudo tem como objetivo identificar como essas ferramentas podem contribuir para a melhoria contínua dos processos produtivos, aumentando a eficiência e reduzindo o tempo de produção.

1.3 Objetivos específicos

O objetivo específico é identificar e analisar os benefícios alcançados com a utilização das ferramentas Kaizen e cronoanálise na linha de produção, tais como aumento da produtividade e redução do tempo de produção.

Para isso, serão realizadas análises dos processos produtivos, identificando gargalos e desperdícios de tempo. A partir de então, serão propostas soluções para otimizar a linha de produção e aumentar a produtividade. Portanto, o objetivo é demonstrar como a aplicação das ferramentas Kaizen e cronoanálise podem contribuir para a redução do tempo de produção.

Lista de tarefas para atingir o objetivo do projeto:

- 1) Cronometrar cada posto da linha de produção;
- 2) Questionário para levantar possíveis pontos de melhorias em cada posto da linha de produção;
- 3) Criação de propostas, utilizando como base o orçamento disponível, com a equipe para atingir o número de peças;
- 4) Implementação da proposta e melhorias;
- 5) Novo balanceamento dos componentes da linha de produção;
- 6) Nova cronometragem para verificar o número de peças produzidas após a implementação da proposta e melhorias;

Os objetivos específicos do estudo, centrados na identificação de benefícios e na análise da aplicação das ferramentas Kaizen e cronoanálise em uma linha de produção específica que produz sistemas de ar-condicionado automotivo, estão intrinsecamente alinhados ao objetivo geral da melhoria contínua.

O objetivo geral destaca a intenção de analisar como as ferramentas Kaizen e cronoanálise podem contribuir para a melhoria contínua dos processos produtivos, com foco específico na eficiência e no tempo de produção. Os objetivos específicos, por sua vez, desdobram essa visão mais ampla em tarefas mensuráveis e concretas, centradas na identificação de benefícios e na análise da aplicação dessas ferramentas na linha de produção.

A análise dos benefícios, aborda a necessidade de identificar melhorias tangíveis decorrentes da aplicação do Kaizen e da cronoanálise. Esse alinhamento é respaldado por autores como Masaaki Imai, cujas obras destacam a importância de mensurar e quantificar os benefícios alcançados por meio dessas ferramentas de melhoria contínua.

A identificação de benefícios, no contexto do estudo, envolve a análise dos processos produtivos, a identificação de gargalos e desperdícios de tempo, além da proposição de soluções para otimizar a linha de produção. Essa abordagem está em

consonância com a literatura sobre melhoria contínua na indústria, que enfatiza a necessidade de uma abordagem sistemática e baseada em dados para efetivamente reduzir tempos de produção e aumentar a eficiência.

A lista de tarefas detalhadas para atingir os objetivos do projeto, como a cronometragem de cada posto da linha de produção, a aplicação de questionários e a implementação de propostas de melhoria, reflete a abordagem prática e orientada para resultados proposta pelos princípios do Kaizen. Esse método, quando integrado à cronoanálise, proporciona uma compreensão detalhada dos processos e direciona a implementação de melhorias específicas.

Assim, os objetivos específicos convergem para o objetivo geral ao proporcionar uma pesquisa detalhada e prática sobre como as ferramentas Kaizen e cronoanálise podem contribuir para a melhoria contínua na linha de produção de peças automotivas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito técnico da teoria do problema a ser estudado.

O termo Kaizen, de origem japonesa, traduz-se como "melhoria contínua" e representa uma filosofia que busca aprimorar constantemente. É formado pela combinação das palavras "Kai," que significa "mudança," e "Zen," que significa "melhor." Essa abordagem promove a prática diária da melhoria contínua, envolvendo todos os colaboradores e aplicando-a em todas as áreas da organização (DINIS, 2016).

O principal enfoque do Instituto Kaizen reside em capacitar as empresas a se tornarem autossuficientes na busca da melhoria contínua, fornecendo-lhes todo o conhecimento necessário para aprimorar seus processos. Esse objetivo é alcançado por meio da formação dos funcionários existentes, estabelecendo uma base de apoio para várias estratégias de crescimento. Isso prepara as equipes para competir em um mercado global sem a necessidade de investimentos significativos. Essa abordagem valoriza o engajamento e a criatividade dos próprios colaboradores (DINIS, 2016).

O conceito Kaizen tem como meta identificar as causas raiz dos problemas e resolvê-los por meio de abordagens lógicas, adotando o lema "questionar tudo, sem preconceitos!" (DINIS, 2016).

Há algum tempo, as empresas começaram a perceber a necessidade de aprimorar sua capacidade de atender às demandas dos consumidores e reduzir o desperdício, além de aumentar a produtividade e eficiência (WARING, BISHOP, 2010).

Para alcançar esses objetivos, não basta apenas planejar a produção, mas também organizar o fluxo de trabalho. A combinação desses fatores é essencial para a redução do desperdício (BRITO, 2014). Nesse contexto, 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).

O termo "Lean" deriva da ideia de ser "magro", "sem desperdício" e representa uma adaptação do Sistema de Produção Toyota (TPS), originalmente desenvolvido por Taiichi Ohno nas linhas de produção da Toyota (BURCH, 2008).

Após a implementação da filosofia Lean na Toyota, ela se tornou amplamente aceita e bem-sucedida, ajudando a revitalizar a economia japonesa. A metodologia

Lean permitiu um crescimento constante e lucrativo da Toyota, transformando-a de uma pequena empresa em um dos maiores fabricantes de automóveis do mundo. Esse sucesso continuou a atrair a atenção de várias empresas que buscavam atingir objetivos semelhantes (IMAI, 1986).

Embora se acredite que essas técnicas tenham sido usadas antes da Segunda Guerra Mundial, sua verdadeira potencialidade só foi percebida quando Taiichi Ohno aplicou o sistema Just in Time (JIT) nas linhas de montagem da Toyota na década de 1970. O interesse pela filosofia Lean no Ocidente surgiu em 1990, com a publicação do livro "The Machine That Changed The World," escrito por James Womack e Daniel Jones. Foi a partir desse momento que o Ocidente passou a demonstrar interesse e curiosidade em relação à filosofia Lean, uma metodologia derivada do Sistema de Produção Toyota (TPS) (IMAI, 1986).

A filosofia Lean é amplamente procurada por empresas que buscam aumentar a produtividade e a flexibilidade, ao mesmo tempo em que garantem excelência no atendimento ao cliente (AQUILANO *et al.*, 2008). Essa filosofia possibilita a criação de fluxos eficientes na cadeia de valor, um elemento essencial para melhorar a competitividade das empresas (WOMACK, JONES, 2003).

Portanto, o principal objetivo da filosofia Lean é maximizar a produtividade por meio da eliminação do desperdício, apoiada na melhoria estrutural dos processos. A metodologia mais comum para alcançar esse objetivo é o Kaizen, que enfatiza a melhoria contínua (BRITO, 2014).

Kaizen é um termo de origem japonesa, que carrega o significado de "melhoria contínua." Essa filosofia se estende a todas as áreas da vida, abrangendo o âmbito pessoal, familiar, social e profissional. O Kaizen adota um lema característico: "Hoje melhor do que ontem, amanhã melhor do que hoje," destacando a ideia de aprimoramento constante (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

No contexto empresarial, o Kaizen é uma metodologia que visa a redução de custos e o aumento da produtividade. É atribuída particular importância ao conceito de "Gemba" (um termo japonês que se traduz como "local real"), que se refere ao local de trabalho onde o valor real é criado. Além disso, a participação de todos os colaboradores da empresa é fundamental no Kaizen. Hoje, o Kaizen é reconhecido internacionalmente e amplamente adotado por grandes indústrias, tornando-se um

pilar essencial na estratégia de competitividade a longo prazo para as organizações (IMAI, 1986).

A prática do Kaizen tem como objetivo não apenas o benefício da empresa, mas também o bem-estar daqueles que nela trabalham. Ela parte do pressuposto de que o tempo é o indicador mais significativo de competitividade. Além disso, o Kaizen atua na identificação e eliminação de desperdícios em todos os aspectos da empresa, seja nos processos de produção, na manutenção de máquinas ou em processos administrativos (IMAI, 1986).

Na metodologia Kaizen, sempre há espaço para melhorias, e nenhum dia deve passar sem que alguma melhoria seja implementada, seja no contexto da empresa ou no desenvolvimento pessoal, com o propósito de reduzir custos e aumentar a produtividade (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

É importante destacar que as mudanças introduzidas devem ser graduais e não bruscas, a fim de não perturbar o equilíbrio da estrutura organizacional. Essa metodologia requer que o trabalho seja realizado de maneira equilibrada e satisfatória, considerando a estabilidade financeira e emocional dos funcionários, um ambiente organizacional agradável e um local de trabalho simples e funcional (SANTOS, 2014).

2.2 Conceito técnico e evolução do conceito

O Kaizen é fundamentado em dez princípios que devem ser rigorosamente seguidos para uma aplicação eficaz. Esses são os "Dez Mandamentos do Kaizen" (INSTITUTO KAIZEN, 2012):

- 1) Eliminar todos os tipos de desperdício;
- 2) Envolver todos os colaboradores no processo de melhoria;
- 3) Priorizar o aumento da produtividade por meio de ações que não demandem altos investimentos financeiros;
- 4) Ser aplicável em qualquer local ou empresa;
- 5) Divulgar as melhorias alcançadas, promovendo uma comunicação transparente;
- 6) Focar as ações no local com a maior necessidade de melhoria;
- 7) Direcionar o Kaizen exclusivamente para a melhoria de processos;
- 8) Priorizar a melhoria das competências e habilidades das pessoas;
- 9) Colocar ênfase na aprendizagem prática;

10) Reconhecer que as estratégias Kaizen são infinitas.

Para simplificar a compreensão prática dessa metodologia e seu principal objetivo, foram delineados dez passos que auxiliam os colaboradores a compreender o propósito subjacente ao Kaizen. Esses passos, chamados de "Dez Passos para a Aplicação do Kaizen," foram criados para desmistificar o processo e facilitar a compreensão prática do que se busca alcançar com essa metodologia (INSTITUTO KAIZEN, 2012):

- 1) Abandonar ideias fixas e convencionais;
- 2) Enfocar em como fazer em vez de como as coisas devem ser feitas;
- 3) Evitar desculpas e questionar as práticas convencionais;
- 4) Não esperar pela perfeição; começar mesmo que a melhoria seja parcial;
- 5) Corrigir erros imediatamente quando ocorrem;
- 6) Valorizar a sabedoria sobre o gasto excessivo financeiro na melhoria contínua;
- 7) Reconhecer que a sabedoria também surge em situações adversas;
- 8) Perguntar "por quê?" repetidamente e buscar as causas profundas;
- 9) Preferir a sabedoria coletiva de várias pessoas em vez do conhecimento de apenas uma;
- 10) Reconhecer que as estratégias Kaizen são infinitas.

O Instituto Kaizen, uma consultora multinacional fundada em 1985 com sede em Zug, Suíça, é amplamente reconhecido por sua expertise em Lean e melhoria contínua. Seu fundador, Masaaki Imai, é uma figura de destaque nessa área e autor de várias obras, incluindo "Gemba Kaizen," "TFM (Total Flow Management)" e "Gemba Kaizen 2" (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

Reconhecido como uma das principais empresas de consultoria em desenho e implementação de metodologias de melhoria contínua, o Instituto Kaizen busca capacitar suas clientes a aplicar essas metodologias de forma autônoma. Sua abordagem se concentra na melhoria dos processos para elevar a qualidade dos produtos e serviços, resultando em maior produtividade e motivação dos colaboradores. Ao auxiliar os líderes das organizações na implementação de práticas sustentáveis de melhoria contínua, o Instituto Kaizen contribui para a excelência operacional (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

A missão do Instituto Kaizen é auxiliar seus clientes a aprimorar suas organizações e capacitá-los a sustentar melhorias contínuas. Atualmente, a presença

do Instituto Kaizen se estende por mais de 30 países nos cinco continentes do mundo. (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

A busca pela otimização do Kaizen envolve atingir a excelência operacional por meio da melhoria contínua de processos em diversos setores, incluindo indústria e serviços. Isso resulta no aumento da produtividade das organizações, impulsionado pela colaboração de todos os envolvidos. Essa abordagem visa proporcionar ganhos de competitividade aos clientes, aproveitando os recursos de forma eficiente, reduzindo o desperdício e aprimorando a eficiência dos equipamentos (IMAI, 2012).

De acordo com o fundador do Instituto Kaizen, essa metodologia está presente em todos os lugares, em todas as áreas, e envolve todos os colaboradores em seu processo de melhoria contínua, ocorrendo diariamente (IMAI, 1986).

Devido à crescente pressão competitiva enfrentada pelas empresas, tornou-se cada vez mais crucial adotar medidas de aprimoramento que visem aumentar a capacidade produtiva, possibilitando uma maior eficiência na utilização dos recursos disponíveis (SANTOS, 2014).

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).

Atualmente, as empresas desenvolvem iniciativas Kaizen e estabelecem modelos de gestão para promover o contínuo aprimoramento, alinhadas com o princípio do Kaizen de "mudar para melhor". Um dos principais objetivos da melhoria contínua é instigar o interesse de cada colaborador em buscar melhorias em seus métodos de trabalho, seguindo o espírito Kaizen (BRITO, 2014).

Recentemente, o Instituto Kaizen tem desenvolvido um modelo de melhoria contínua denominado Kaizen Management System (KMS). Esse modelo é utilizado na implementação e desenvolvimento de melhorias em diversas empresas (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

O Kaizen Management System (KMS) representa o sistema de gestão que serve como alicerce da filosofia Kaizen. Seu propósito é proporcionar aos clientes da empresa o mesmo nível de desempenho que se exige de seus fornecedores, o que se denomina "World Class Performance" (WCP), ou seja, excelência de nível mundial. Para alcançar essa excelência, o KMS emprega as metodologias de transformação Kaizen Lean. Por meio dessas metodologias, busca-se aprimorar os processos,

promover o crescimento profissional e pessoal dos colaboradores e gerar valor adicional para o cliente, contribuindo para o seu sucesso (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

A implementação desse sistema de gestão também almeja a melhoria contínua, a redução de custos e aprimoramento do atendimento ao cliente, sem comprometer a qualidade dos produtos/serviços e os resultados financeiros (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

Esse modelo incorpora ferramentas de melhoria contínua nos fluxos de produção, na manutenção de equipamentos, no controle de qualidade dos produtos e na prestação de serviços (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

1ª Etapa - Princípios Fundamentais do Kaizen

Os princípios fundamentais do Kaizen constituem o primeiro alicerce do sistema de gestão (KMS), nos quais estão definidos cinco fundamentos essenciais (INSTITUTO KAIZEN, 2012):

Criação de Valor para o Cliente: Priorizar o cliente, posicionando-o no topo das preocupações. Valor é definido como a diferença entre a utilidade de um produto ou serviço e o preço que o cliente está disposto a pagar. Garantir a eficiente entrega do produto em cada etapa da cadeia de produção, antecipando a detecção de possíveis problemas. Estabelecer metas claras e identificar operações que agregam valor ao cliente, com foco na qualidade e segurança.

Eliminação do Desperdício (Muda): A palavra japonesa "Muda" traduz-se como desperdício. Eliminar esse desperdício é fundamental para a criação de valor, otimização dos tempos de resposta ao cliente, liberação de recursos financeiros e aprimoramento da qualidade do trabalho. Segundo Taichi Ohno, "Muda" compreende todas as atividades que o cliente não deseja pagar. A filosofia Kaizen identifica sete tipos de desperdício (INSTITUTO KAIZEN, 2012):

a. **Transporte de Material e Informação:** Deslocamento de material e informação entre diferentes fases do processo, sem adicionar valor, acarretando custos, perda de tempo e informações (por exemplo, transporte de correio entre departamentos, transporte entre funções de produção e administração, distância excessiva, falta de disponibilidade de materiais).

b. **Pessoas Ociosas:** Tempo de espera que aumenta o tempo de processamento e os custos associados, prejudicando a eficiência (por exemplo,

espera por matéria-prima, caixas vazias, tempo de espera por reparos de máquinas, lentidão na resposta do computador).

c. **Movimentação de Pessoas:** Movimentação excessiva devido à má organização do layout ou à falta de informações, materiais e equipamentos no local, causando desgaste e prolongando o tempo de trânsito do produto.

d. **Informação em Excesso:** Informação excessiva que não agrega valor ao produto, mas aumenta o tempo de processamento e pode resultar em excesso de informações (por exemplo, distribuição de informações a pessoas não interessadas, estatísticas inadequadas, relatórios excessivamente detalhados).

e. **Erros:** Erros que geram perdas e retrabalho, reduzindo a produtividade e aumentando os custos.

f. **Materiais/Informação Desnecessários:** Documentos ou equipamentos armazenados, mas nunca utilizados, ou materiais obsoletos.

g. **Processos Complexos:** Atividades que consomem mais recursos do que o necessário, gerando desmotivação e ineficiência, como instruções de trabalho inadequadas ou ausentes, armazenamento inadequado de informações/materiais e tarefas desnecessárias para atender aos requisitos do cliente.

- **Envolvimento das Pessoas:** Em vez de buscar culpados quando se deseja corrigir um conjunto de situações que prejudicam o funcionamento adequado de uma organização, adotar a filosofia de "não culpar, não julgar" é mais apropriado. Isso permite que os colaboradores não se sintam culpados, não ocultem erros e, em vez disso, contribuam com sugestões para melhorar os processos. A base desse princípio é envolver as pessoas na busca constante pela melhoria dos processos. Conforme as mudanças são implementadas ao longo do processo, é essencial que as pessoas compreendam que essas alterações visam criar valor para o cliente, tornando o envolvimento delas fundamental. Para garantir o sucesso na implementação dessas mudanças, é importante envolver as pessoas afetadas pela transformação e contar com a cooperação delas.
- **Ir para o Gemba:** A palavra "Gemba", de origem japonesa, significa o "local de trabalho", onde o valor real é acrescentado ao produto. Estar presente no Gemba é de extrema importância, pois torna visível a atividade, envolvendo as pessoas e mostrando que o trabalho tem significado e utilidade. Os processos

executados no Gemba devem ser analisados em busca de oportunidades de melhoria contínua. As pessoas responsáveis devem visitar regularmente o Gemba para examinar as causas de problemas de qualidade e anomalias em equipamentos. Quando ocorre uma anomalia, os líderes têm a responsabilidade de agir imediatamente e solucionar o problema. Além disso, é crucial padronizar as soluções para garantir que, se o mesmo problema ocorrer novamente, a solução apropriada seja aplicada.

- **Gestão Visual:** Tornar todos os desperdícios visíveis é uma estratégia importante. Como os seres humanos obtêm 83% das informações por meio da visão, a comunicação visual é a maneira mais eficaz de transmitir informações. Isso implica tornar visíveis as oportunidades de melhoria e as anomalias para todos os envolvidos, por meio de normas visuais. Isso facilita a normalização das tarefas diárias e uniformiza essas atividades para todos os operadores. Ao visualizar os processos e os desperdícios, a gestão se torna intuitiva, aumentando a produtividade e permitindo uma compreensão mais clara de onde ocorrem defeitos e, assim, eliminando suas causas.

Por meio da implementação das metodologias Lean e do uso das ferramentas Kaizen, é possível eliminar os sete tipos de desperdício (Muda) (IMAI, 2012).

2º Etapa – Gestão de Mudança Kaizen (KCM)

Na segunda etapa, encontra-se a Gestão de Mudança Kaizen (KCM). De acordo com o fundador do Instituto Kaizen, essa é a metodologia mais complexa na implementação de um modelo de melhoria contínua, devido à dificuldade de alterar hábitos e paradigmas que se desenvolveram ao longo dos anos de trabalho e das rotinas estabelecidas. Em outras palavras, o desafio na implementação do KCM reside na modificação dos hábitos, rotinas e métodos de trabalho dos operadores, uma vez que esses profissionais tendem a se acomodar em suas rotinas. Quando a necessidade de mudança surge, a resistência inicial é comum (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

Na maioria dos casos, os trabalhadores preferem permanecer em suas zonas de conforto e relutam em alterar as tarefas e atividades às quais estão acostumados. No entanto, é essencial criar uma conscientização para a mudança, pois esse é um dos passos fundamentais para transformar a cultura e a organização (SANTOS, 2014).

O Modelo de Gestão de Mudança Kaizen (KCM) proporciona estabilidade e conscientização, com o objetivo de apoiar a transição para uma organização comum, que adota os princípios Kaizen Lean (SANTOS, 2014).

O Kaizen Change Management (KCM) – Modelo de Gestão de Mudança – é uma metodologia que aplica as ferramentas necessárias para gerenciar a transformação na organização (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

- 1) Kaizen Diário é uma ferramenta de quatro níveis que organiza equipes de trabalho, otimiza os espaços de trabalho, promove a padronização das melhores práticas (SDCA) e busca continuamente melhorias (PDCA). Essa ferramenta será discutida em detalhes posteriormente.
- 2) Kaizen Projeto consiste na implementação de ferramentas Kaizen na organização, visando a obtenção de ganhos rápidos por meio da eliminação do desperdício. O Mizusumashi faz parte dessa ferramenta e será abordado mais adiante.
- 3) Kaizen Suporte envolve reuniões entre a equipe Kaizen e os gestores de alto escalão para identificar sugestões de melhoria e resolver problemas. Isso permite que as ideias e sugestões das equipes sejam consideradas e promove o acompanhamento do trabalho diário das equipes.

3ª Etapa - Pilares do Kaizen

Os cinco pilares que sustentam o Sistema de Gestão Kaizen (KMS):

- 1) Total Quality Management (TQM) tem como objetivo principal garantir a qualidade na produção, permitindo que os operadores se concentrem nas atividades que agregam valor a cada processo. Esse pilar visa evitar que defeitos cheguem aos clientes, minimizando os custos associados a retrabalho, correção de erros e desperdício de tempo, materiais e esforço (INSTITUTO KAIZEN, 2012).
- 2) Total Service Management (TSM) é um processo que envolve o mapeamento de toda a cadeia de valor, a fim de identificar principais desperdícios e oportunidades de melhoria. Ao aplicar esse modelo, é possível eliminar os sete tipos de desperdícios administrativos, como excesso de informação, transporte de informação, informações ociosas, movimentação desnecessária de pessoal, pessoal ocioso, processos complexos e erros. Isso resulta na otimização de

fluxos, gestão e qualidade das informações e serviços (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

- 3) Innovation and Development Management (IDM) é um pilar dedicado ao desenvolvimento de novos métodos de melhoria contínua. Ele oferece a vantagem de aplicar esses métodos desde o início de qualquer processo ou projeto (INSTITUTO KAIZEN, 2012).
- 4) Total Flow Management (TFM) fornece ferramentas para otimizar o fluxo de materiais e informações ao longo da cadeia de suprimentos. O objetivo é criar fluxos eficientes em toda a cadeia, medidos pelo tempo de ciclo (TC) - o tempo desde o início até a conclusão do processo. Reduzir o TC, eliminando os sete tipos de desperdício, melhora o atendimento ao cliente, reduz o capital imobilizado, a dívida de clientes e fornecedores, resultando em maior produtividade. A implementação do TFM visa a redução dos TCs e dos níveis de estoque de produtos, aproximando-se de um sistema Just in Time (JIT), em que nada deve ser armazenado, transportado ou produzido antes do momento apropriado (INSTITUTO KAIZEN, 2012).
- 5) Total Productive Maintenance (TPM) é um pilar focado na manutenção eficiente de equipamentos, visando maximizar sua eficiência ao longo de sua vida útil. O objetivo é maximizar a eficiência de todas as máquinas, instalações e processos, reduzindo ou eliminando perdas devido a falhas, micro-paradas, defeitos de qualidade, tempos de troca ou referência. O TPM incentiva os operadores a identificar e eliminar anomalias em equipamentos, melhorar as condições de trabalho e segurança. O objetivo principal é a redução significativa de falhas, acidentes e problemas de equipamento. Para isso, é essencial que os colaboradores realizem manutenção básica, incluindo limpeza, lubrificação e inspeções aos equipamentos, permitindo que a equipe de manutenção se concentre em atividades de valor agregado, como manutenção preventiva e planejada. É importante destacar que o pilar TPM é baseado nos 5S, que serão abordados posteriormente (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

4ª Etapa – Missão e Visão

A última etapa, representada no topo do KMS, como ilustrado na Figura 9, trata da missão e visão. Essa etapa é resultado da implementação das etapas anteriores,

visando estabelecer uma base sólida. Estabelece uma relação entre fornecedores, a empresa e os clientes, com ênfase em cinco objetivos: o desenvolvimento das pessoas, o sucesso financeiro, a criação de valor para o cliente e a melhoria dos processos, culminando em uma transformação contínua Kaizen Lean (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

Esses pilares e metodologias permitem que as organizações alcancem os resultados desejados e atinjam as metas estabelecidas. O principal objetivo do KMS é proporcionar a World Class Performance (WCP) às organizações, um estado alcançado somente por meio da criação de valor para o cliente, melhoria dos processos, desenvolvimento das pessoas e do estabelecimento de parcerias sólidas com fornecedores e clientes, resultando em sucesso financeiro (INSTITUTO KAIZEN, 2012).

2.3 Exemplos de aplicação da tecnologia estudada em intersecção com a resolução do problema de pesquisa

Na busca por artigos, utilizou-se cinco palavras-chave específicas no Science Direct: "kaizen", "project", "time analysis", "improvement" e "productivity". O escopo temporal da seleção dos arquivos foi limitado a 1 ano (2022), com exceção ao primeiro artigo, publicado em 2013, e do segundo e quarto artigo, que foram publicados no ano de 2021. Para a seleção de artigos, realizou-se uma busca por artigos de pesquisa nos idiomas inglês e português brasileiro. A área temática considerada foi a Engenharia e o acesso se restringiu a artigos de acesso aberto e arquivos abertos. Esses critérios resultaram em uma seleção de artigos atualizados e relevantes para a pesquisa sobre kaizen, análise de tempo, projetos, melhoria e produtividade na área de Engenharia.

Quadro 1. Tabela com a síntese do 1º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
Melhorias operacionais de processos contínuos acompanhadas por ferramentas da produção enxuta – estudo de caso em uma petroquímica brasileira	2013	Francisco Uchoa Passos e Irlam Reis Aragão	REGE	Este estudo examina melhorias operacionais implementadas em uma planta petroquímica da empresa brasileira Braskem que adotou abordagens da produção enxuta para aprimorar seus processos. Durante a implementação dessas técnicas, notaram-se melhorias significativas na eficiência da planta em áreas cruciais, como a redução de perdas físicas de produtos, o aumento da eficiência energética e o aprimoramento da taxa de utilização de ativos. Os testes estatísticos confirmaram a importância dessas melhorias, indicando redução das perdas e melhorias na eficiência energética. Embora a taxa de utilização de ativos também tenha melhorado, ainda não atingiu o desempenho ideal. O estudo ressalta a aplicabilidade das ferramentas da Produção Enxuta em processos contínuos, independentemente da natureza da atividade produtiva, enfatizando a otimização dos processos como uma abordagem geral.

Fonte: Autor

Quadro 2. Tabela com a síntese do 2º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
<p>The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits</p>	<p>2021</p>	<p>E.N. Shaqour</p>	<p>Elsevier</p>	<p>Este estudo destaca os desafios de gestão enfrentados pelo setor da construção no Egito, caracterizado como um grande gerador de resíduos prejudiciais à economia e ao meio ambiente. O estudo argumenta que a adoção de abordagens de construção enxuta é crucial para reduzir o desperdício e aprimorar o desempenho do setor de construção no país. Os dados coletados de 162 profissionais da construção na nova capital do Egito indicam que a aplicação de ferramentas enxutas tem impactos positivos nas áreas de tempo, custo, qualidade, segurança, meio ambiente e relacionamentos, melhorando a eficiência e o valor dos recursos. No entanto, o estudo também revela que o conhecimento dessas abordagens é menor do que sua adoção efetiva. Entre os principais benefícios da construção enxuta estão a melhoria no controle de processos, no planejamento, no gerenciamento de materiais e a redução do tempo.</p>

Fonte: Autor

Quadro 3. Tabela com a síntese do 3º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
Applying the fundamentals of TPS to realize a resilient and responsive manufacturing system	2022	Eivind Reke, Daryl Powell e Maria Flavia Mogos	Elsevier	Este artigo explora a aplicação de conceitos como o Sistema de Produção Toyota (TPS) e Manufatura de Resposta Rápida (QRM) em empresas de fabricação norueguesas, destacando a necessidade de abordagens flexíveis em um ambiente de produção de massa personalizada, caracterizado por altos volumes e ampla variabilidade de produtos. Em vez de aderir rigidamente a melhores práticas predefinidas, essas empresas estão buscando soluções que combinam eficiência e capacidade de resposta, adotando o TPS para criar sistemas de fabricação resilientes por meio de aprendizado prático e envolvimento de todos os envolvidos, com ênfase na melhoria da qualidade, flexibilidade e redução de prazos de entrega.

Fonte: Autor

Quadro 4. Tabela com a síntese do 4º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
Aggregate production planning considering organizational learning with case based analysis	2021	El-Awady Attia , Ashraf Megahed, Ali AlArjani, Ahmed Elbetar e Philippe Duquenne.	Elsevier	O artigo destaca a importância de atender prontamente às demandas dos clientes nas organizações industriais para sobreviver em um mercado competitivo. Ele propõe um modelo de planejamento de produção de médio prazo que otimiza os custos totais, considerando a dinâmica da produtividade da mão de obra, o treinamento no trabalho e o aprendizado organizacional. O modelo é baseado em práticas da indústria real, validado com dados de uma fábrica egípcia de motores elétricos e resultou em uma redução de custos de 6,3% em comparação com o método anterior. O estudo também explora o impacto das taxas de aprendizado nos custos de produção e aborda aspectos de gerenciamento.

Fonte: Autor

Quadro 5. Tabela com a síntese do 5º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
Provide a Lean and Agile Strategy for an Antifragile Sustainable Supply Chain in the Construction Industry(residential complex)	2022	Soheil Sadeghi, Abbas Akbarpour e Hamidreza Abbasianjahromi.	Elsevier	A gestão da cadeia de suprimentos na indústria da construção é essencial para enfrentar desafios como sanções, corrupção, a pandemia de Covid-19 e inflação, que criam situações caóticas para as empresas iranianas. Este estudo se concentra em encontrar a estratégia mais apropriada entre as abordagens enxutas e ágeis para a gestão sustentável da cadeia de suprimentos da Empresa Didas, visando manter e melhorar sua competitividade e critérios funcionais e ambientais. Os resultados indicam que o desempenho econômico tem a maior prioridade, seguido pelo desempenho operacional e social, e, em terceiro lugar, o desempenho ambiental. A estratégia Ágil-Enxuta, baseada na liderança sustentável da cadeia de suprimentos, é recomendada como a mais adequada para melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos da Empresa Didas, devido ao seu potencial para lidar com situações caóticas e insustentáveis.

Fonte: Autor

Quadro 6. Tabela com a síntese do 6º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
<p>Concept for the reduction of non-value-adding operations in Laser Powder Bed Fusion (L-PBF)</p>	<p>2022</p>	<p>Hajo Groneberg, Rainer Horstkotte, Marcel Pruemmer, Thomas Bergs e Frank Döpfer</p>	<p>Elsevier</p>	<p>Neste estudo, a tecnologia de Fusão a Laser em Leito de Pó (L-PBF) é explorada na fabricação aditiva de material metálico, permitindo a produção camada por camada de peças complexas e personalizadas sem a necessidade de ferramentas. O foco da pesquisa está na análise da cadeia de processos da L-PBF, identificando operações que não agregam valor (NVA) e propondo medidas para eliminá-las, aumentando a eficiência das operações que agregam valor (VA). Uma metodologia é apresentada para identificar operações VA e NVA em toda a cadeia de processos, subdividindo as etapas em sub tarefas para análise do nível de automação. A otimização se baseia em princípios de produção enxuta, com ênfase na automação, visando aumentar as operações VA. O estudo destaca o potencial de aumentar significativamente a produtividade na cadeia de processos de manufatura aditiva, mantendo a flexibilidade para incorporar outras estratégias de otimização, como digitalização e interconexão.</p>

Fonte: Autor

Quadro 7. Tabela com a síntese do 7º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
Implications of Lean 4.0 Methods on Relevant Target Dimensions: Time, Cost, Quality, Employee Involvement, and Flexibility	2022	Fabian Dillinger, Julia Bergermeier e Gunther Reinhart	Elsevier	A Indústria 4.0 é vista como uma resposta às crescentes dinâmicas e complexidades do mercado na indústria de manufatura altamente competitiva. A integração da abordagem da Produção Enxuta e da Indústria 4.0, conhecida como Lean 4.0, é um tópico em destaque na academia e na indústria. Este estudo se concentra na avaliação das implicações do Lean 4.0 nas dimensões-alvo de um sistema de manufatura. Utilizando casos de uso baseados na literatura, especialistas são consultados para avaliar como as tecnologias Lean 4.0 afetam essas dimensões-alvo. Os resultados destacam a importância de alinhar os métodos de Produção Enxuta com as tecnologias da Indústria 4.0 aos objetivos do fabricante e considerar possíveis trocas e compensações.

Fonte: Autor

Quadro 8. Tabela com a síntese do 8º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
The resilience of on-time delivery to capacity and material shortages: Na empirical investigation in the automotive supply chain	2022	Helena Carvalho, Bardia Naghshineh, Kannan Govindan e Virgílio Cruz-Machado	Elsevier	Cadeias de suprimentos globais frequentemente sofrem perturbações que prejudicam seu desempenho e capacidade de cumprir prazos. Nesse contexto, este estudo busca criar um índice para avaliar a resiliência da entrega pontual nas cadeias de suprimentos com base nas práticas de resiliência implementadas. O estudo desenvolve o índice após analisar dados de estudo de caso e literatura, considerando os modos de falha e práticas de resiliência. Os resultados de um caso na cadeia de suprimentos automotiva indicam alta resiliência na entrega pontual, principalmente devido ao alto custo da paralisação da produção na indústria automotiva, e identificam capacidades e práticas que podem ser controladas para aprimorar a resiliência da cadeia de suprimentos.

Fonte: Autor

Quadro 9. Tabela com a síntese do 9º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
The redesign of blue- and white-collar work triggered by digitalization: collar matters	2022	S. Waschull, J.A.C. Bokhorst, J.C. Wortmann e E. Molleman	Elsevier	<p>A introdução das tecnologias digitais na Indústria 4.0 tem impactos significativos tanto nos trabalhadores da linha de produção quanto nos profissionais de escritório, mas os efeitos simultâneos nesses grupos e no processo de (re)design do trabalho humano são menos compreendidos. Este estudo de caso destaca esses impactos e enfatiza a importância de considerar fatores humanos durante o processo de design e implementação. A motivação dos designers do sistema é essencial para obter um design de trabalho favorável, enquanto a participação precoce dos usuários do sistema e a inclusão de indicadores de desempenho social, além dos operacionais, são cruciais em nível organizacional. Essas descobertas contribuem para o desenvolvimento de modelos e teorias centrados no ser humano, abordando os desafios e oportunidades decorrentes da adoção de tecnologias digitais por trabalhadores da linha de produção e profissionais de escritório.</p>

Fonte: Autor

Quadro 10. Tabela com a síntese do 10º artigo selecionado

Nome do artigo	Ano da publicação	Nome dos autores	Nome da revista da publicação	Principal contribuição do artigo (síntese)
An Approach to Determining the Need for Integrating Quality Management into industrial PLM Implementation	2022	Valentine Zhu, Muni Prasad Giddaluru, Mohammed Elsour e James Gao	Elsevier	Na prática, as empresas utilizam várias ferramentas para gerenciar a qualidade de produtos e processos, muitas vezes desconectadas de sistemas de gerenciamento de dados. Isso pode levar a problemas recorrentes, dificultando a investigação das causas subjacentes e resultando em resoluções inconsistentes. Este artigo apresenta uma solução abrangente na plataforma PLM que integra qualidade ao design de produtos, planejamento de fabricação e processos críticos, fornecendo capacidades poderosas para identificar riscos, melhorar a qualidade e garantir conformidade com regulamentações.

Fonte: Autor

No primeiro artigo, a contribuição está na implementação bem-sucedida de abordagens de produção enxuta em uma planta petroquímica, resultando em melhorias significativas na eficiência, com foco na redução de perdas, eficiência energética e uso de ativos. Não foram mencionados recursos tecnológicos específicos usados na pesquisa, mas é provável que dados operacionais da planta e ferramentas de análise estatística tenham sido empregados.

O segundo artigo destaca os desafios na gestão da construção no Egito e argumenta que a construção enxuta pode melhorar o desempenho do setor. A pesquisa coletou dados de profissionais da construção na nova capital do Egito e não menciona recursos tecnológicos específicos, mas pesquisas e análises de dados provavelmente desempenharam um papel.

O terceiro artigo explora a aplicação do Sistema de Produção Toyota (TPS) e Manufatura de Resposta Rápida (QRM) em empresas de fabricação na Noruega. A pesquisa destaca a necessidade de abordagens flexíveis e recursos humanos na produção de massa personalizada. Embora não especifique recursos tecnológicos, o estudo provavelmente usou dados operacionais e análises para obter seus resultados.

O quarto artigo contribui apresentando um modelo matemático para o planejamento de produção de médio prazo, enfatizando a otimização de custos de produção. Dados reais de uma fábrica de motores elétricos no Egito foram usados para validar o modelo, e análises matemáticas provavelmente desempenharam um papel importante.

O quinto artigo foca na gestão da cadeia de suprimentos na indústria da construção no Irã e recomenda a estratégia Ágil-Enxuta. O estudo se baseia na análise de dados e critérios econômicos e operacionais, mas não menciona recursos tecnológicos específicos.

O sexto artigo examina a Fusão a Laser em Leito de Pó (L-PBF) na manufatura aditiva de material metálico. A pesquisa identifica operações não agregadoras de valor e propõe medidas de otimização usando métodos de produção enxuta e automação. Ferramentas de análise e modelagem provavelmente foram utilizadas.

No sétimo artigo, a Indústria 4.0 é explorada, com foco na integração da Produção Enxuta e da Indústria 4.0 (Lean 4.0). A pesquisa inclui análises de casos de uso baseados na literatura e entrevistas com especialistas, sugerindo que análises de

dados e pesquisas de mercado provavelmente desempenharam um papel na coleta de informações.

O oitavo artigo apresenta um índice para avaliar a resiliência da entrega pontual nas cadeias de suprimentos, com base nas práticas de resiliência. O estudo envolveu a análise de dados de estudo de caso e avaliação de especialistas, sem mencionar recursos tecnológicos específicos.

No nono artigo, a pesquisa analisa os impactos da digitalização na Indústria 4.0 sobre trabalhadores de linha de produção e profissionais de escritório. Embora não especifique recursos tecnológicos, pesquisas qualitativas provavelmente foram realizadas para coletar dados.

O décimo artigo propõe uma solução abrangente na plataforma PLM para integrar a qualidade ao design de produtos, planejamento de fabricação e processos críticos. A pesquisa provavelmente envolveu o uso de ferramentas de PLM e análise de dados para desenvolver a solução.

A análise dos dez resumos ressalta a crescente importância do Kaizen (melhoria contínua) nas práticas industriais, especialmente quando integrado às inovações tecnológicas emergentes. Um dos achados notáveis é a aplicação bem-sucedida das ferramentas da Produção Enxuta em contextos diversos, desde a indústria petroquímica até a construção e a manufatura aditiva. Essas aplicações demonstram que os princípios do Kaizen, centrados na eficiência, redução de desperdícios e melhoria contínua, são universalmente aplicáveis e oferecem soluções para uma variedade de desafios industriais.

Em particular, o estudo sobre a indústria petroquímica brasileira destaca o impacto positivo da Produção Enxuta, com melhorias significativas na eficiência operacional, redução de perdas e aumento da eficiência energética. No entanto, mesmo com essas melhorias, o estudo sugere que ainda há espaço para otimização, indicando que a busca pela excelência operacional é contínua.

O setor da construção no Egito, por sua vez, enfrenta desafios complexos que vão desde o controle do desperdício até a melhoria das práticas de gestão. A implementação de abordagens enxutas neste contexto destaca não apenas a necessidade de melhorar a eficiência, mas também a importância de garantir que o conhecimento dessas práticas seja disseminado e aplicado de forma eficaz. O estudo sublinha que, além da eficiência operacional, a construção enxuta também aprimora

o controle de processos e a gestão de materiais, realçando a relevância de um gerenciamento integrado para obter resultados holísticos.

A aplicação do Sistema de Produção Toyota (TPS) e Manufatura de Resposta Rápida (QRM) em empresas de fabricação na Noruega destaca a necessidade de flexibilidade em ambientes de produção com alta variabilidade de produtos. Isso ressalta a importância da adaptação das práticas do Kaizen às demandas específicas de diferentes setores e contextos industriais.

Além disso, o estudo sobre a gestão da cadeia de suprimentos em meio a desafios econômicos e sociais no Irã destaca a estratégia Ágil-Enxuta como uma abordagem eficaz para enfrentar situações caóticas e insustentáveis. Isso enfatiza a capacidade do Kaizen não apenas em melhorar a eficiência operacional, mas também em promover a resiliência e a adaptabilidade em face de condições adversas.

No contexto da manufatura aditiva, a Fusão a Laser em Leito de Pó (L-PBF) emerge como uma técnica promissora. O estudo sobre a L-PBF mostra como a aplicação dos princípios do Kaizen, incluindo a identificação e eliminação de operações não agregadoras de valor, pode aumentar significativamente a produtividade na cadeia de processos de manufatura aditiva. Além disso, ele destaca a necessidade de manter a flexibilidade para integrar outras tecnologias emergentes, como digitalização e automação.

A integração da Produção Enxuta e da Indústria 4.0, conhecida como Lean 4.0, é crucial em um mercado altamente competitivo e dinâmico. Este estudo enfatiza a necessidade de alinhar as práticas do Kaizen com as tecnologias da Indústria 4.0, mostrando que a interseção entre melhoria contínua e inovação tecnológica é essencial para o sucesso a longo prazo das organizações industriais.

Por fim, o estudo sobre a integração da qualidade aos processos de PLM (Product Lifecycle Management) destaca como a abordagem Kaizen pode ser incorporada às tecnologias de gerenciamento de produtos. Ao integrar métodos Lean nos sistemas PLM, as empresas podem identificar riscos, melhorar a qualidade e garantir a conformidade regulatória de maneira mais eficaz, realçando a aplicabilidade contínua dos princípios do Kaizen em cenários tecnologicamente avançados.

Em suma, os achados desses estudos indicam que o Kaizen não apenas permanece relevante na era da tecnologia digital, mas também se fortalece quando combinado com inovações tecnológicas. As tendências emergentes destacam não

apenas a necessidade de eficiência operacional, mas também a importância de promover uma cultura de melhoria contínua e adaptabilidade em resposta aos desafios industriais em constante evolução. O Kaizen continua a ser não apenas uma filosofia.

Os estudos analisados fornecem uma visão abrangente do Kaizen, revelando sua notável aplicabilidade e influência em diversos setores. Essa abordagem de melhoria contínua tem se mostrado universalmente relevante, independentemente da natureza da atividade produtiva. Ela abrange desde a indústria petroquímica até a manufatura aditiva, adaptando-se ao contexto e às necessidades específicas de cada setor.

Os resultados desses estudos destacam a eficácia do Kaizen na busca da eficiência operacional. As melhorias significativas são evidentes em várias áreas, incluindo a redução de perdas físicas de produtos, aumento da eficiência energética e otimização do uso de ativos. As práticas de melhoria contínua não apenas reduzem custos, mas também criam resiliência nas operações. A capacidade de adaptar o Kaizen a diferentes contextos, combinando-o com abordagens flexíveis, é um indicativo de sua versatilidade e durabilidade como estratégia de otimização.

Além disso, a integração do Kaizen com as mais recentes tecnologias, como a Indústria 4.0 (conhecida como Lean 4.0), está emergindo como uma tendência crucial. Essa integração realça a importância de alinhar a melhoria contínua com inovações tecnológicas, resultando em melhorias na eficiência e flexibilidade.

Outro aspecto enfatizado nos estudos é a necessidade de considerar os fatores humanos. A introdução de tecnologias digitais no ambiente de trabalho afeta os trabalhadores e o design de seus empregos. A motivação dos designers e a participação dos usuários desempenham um papel importante em garantir um design de trabalho favorável e produtivo.

A qualidade é uma preocupação crescente, e a integração de práticas de qualidade no design de produtos e processos é uma tendência notável. Isso não apenas melhora a qualidade, mas também identifica riscos e garante a conformidade com regulamentações.

Além disso, a gestão de cadeia de suprimentos sustentável é um desafio atual. A combinação de abordagens enxutas e ágeis, como o Kaizen, é vista como a

estratégia mais adequada para garantir a competitividade e atender a critérios funcionais e ambientais.

A criação de índices para avaliar a resiliência nas cadeias de suprimentos também é uma tendência notável, focando em melhorar o desempenho e a capacidade de cumprir prazos, especialmente em situações desafiadoras.

Logo, o Kaizen continua sendo uma abordagem vital para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e promover resiliência em ambientes operacionais diversos. À medida que a indústria evolui, a integração do Kaizen com inovações tecnológicas e a atenção aos fatores humanos tornam-se essenciais. Esta ênfase contínua na melhoria pode ser um tema de pesquisa altamente relevante e atual, especialmente em um cenário industrial em constante mudança.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Classificação da pesquisa quanto aos objetivos

Para este trabalho, foi utilizada a pesquisa descritiva. Esse tipo de pesquisa tem como finalidade a caracterização de populações e fenômenos específicos. Seu propósito principal é observar, questionar, coletar, analisar, registrar e interpretar a realidade estudada, sem que haja interferência por parte do pesquisador. Além disso, as pesquisas descritivas podem ser conduzidas com o intuito de identificar eventuais relações entre variáveis. (GIL, 2010; CAMPOS, 2008).

As pesquisas descritivas incluem levantamentos de campo ("surveys") e estudos de caso como procedimentos comuns. Em ambos os tipos de pesquisa, diversas técnicas de coleta de dados podem ser empregadas, com destaque para questionários, entrevistas, observações e pesquisa documental.

Na prática, vários tipos de pesquisa se enquadram nessa categoria, incluindo:

- Pesquisas de opinião: Estas buscam capturar as preferências, perspectivas e atitudes das pessoas em relação a um fenômeno específico, com o objetivo de identificar pontos fortes e fracos, descobrir tendências ou descrever procedimentos. Por exemplo, pesquisas eleitorais se enquadram nessa categoria, pois visam entender a opinião do eleitorado.
- Pesquisas de Mercado: Esse tipo de pesquisa visa compreender as razões que levam os consumidores a escolher um produto específico.
- Levantamentos Socioeconômicos e Psicossociais: Nesse tipo de pesquisa, são analisadas as características de um grupo, coletando informações sobre sexo, nível de educação, faixa etária e outros fatores.

Portanto, levando em consideração todos os aspectos citados, a classificação da pesquisa quanto aos objetivos foi uma pesquisa descritiva, uma vez que foram utilizados questionários e pesquisas documentais para realizar o trabalho.

3.2 Natureza da pesquisa

Em relação à natureza da pesquisa, optou-se pela abordagem mista, denominada "quanti-quanti", com o propósito de analisar os dados coletados. Conforme o próprio nome sugere, a abordagem mista faz uso tanto da abordagem quantitativa quanto da qualitativa para conduzir a pesquisa.

Em resumo, Marconi e Lakatos (2002) estabelecem que a abordagem qualitativa diz respeito a entender "como" um fenômeno ou grupo em análise se comporta ou ocorre. Enquanto isso, a abordagem quantitativa aborda as questões de pesquisa relacionadas a "quanto" foi identificado ou quantificado ao coletar dados de um ponto específico em análise.

Portanto, a abordagem mista, que integra aspectos da abordagem quantitativa e qualitativa em seu desenvolvimento, se destaca por sua capacidade de oferecer uma resposta precisa e formal à pesquisa. Essa abordagem não se limita a análises puramente generalistas, mas se dedica a identificar detalhes específicos em processos, utilização de produtos e adesão a tecnologias por parte de grupos de indivíduos, seja na sociedade em geral ou em equipes de colaboradores de uma empresa (SAMPIERI *et al.*, 2013).

No âmbito acadêmico e empresarial têm ocorrido um crescente interesse e aplicação de pesquisas e projetos com abordagem mista. Isso ocorre porque os pesquisadores buscam, cada vez mais, identificar, diagnosticar e desenvolver soluções, em oposição a meramente quantificar, por exemplo, a ocorrência de falhas em um processo produtivo. Nesse contexto, a coleta de dados não se restringe apenas à tabulação, mas é combinada com a interpretação do comportamento de um público-alvo de maneira precisa e específica (GALVÃO *et al.*, 2017).

A abordagem mista é realizada por meio da combinação de técnicas de coleta tanto quantitativas quanto qualitativas. Como mencionado previamente, na coleta de dados de pesquisas quantitativas, são empregados questionários estruturados, entrevistas estruturadas, análise de bases de dados, entre outras abordagens. Por sua vez, nas pesquisas qualitativas, os dados são obtidos por meio de entrevistas semiestruturadas ou não estruturadas, observação participante ou não participante, além da análise de documentos.

No que diz respeito aos tipos de pesquisas e projetos que empregam uma abordagem mista, eles podem ser categorizados de três formas (CRESWELL, CLARK, 2010):

- **Quanti-Quali:** Esta modalidade inicia com procedimentos quantitativos, seguidos por etapas qualitativas. Nesse caso, os dados obtidos na análise quantitativa são combinados com interpretação qualitativa, a fim de identificar comportamentos ou fenômenos relacionados aos dados quantitativos.

- **Quali-Quant:** Essa modalidade começa com a etapa qualitativa e é seguida por uma etapa quantitativa, com o foco na utilização da abordagem quantitativa dos dados para apoiar e reforçar a análise dos dados qualitativos.
- **Quanti+Quali:** Nessa modalidade, a pesquisa é caracterizada pela simultaneidade na coleta, observação e tratamento dos dados/fenômenos em análise, com o objetivo de obter uma compreensão mais abrangente dos acontecimentos.

Em suma, considerando todas as informações mencionadas anteriormente, a natureza da pesquisa adotada foi a abordagem mista, dado que tanto dados qualitativos quanto quantitativos foram coletados. Além disso, conforme mencionado, esses dados podem ser classificados como "Quanti+Quali", uma vez que incluem informações de questionários (qualitativos) e tempos de cronometragem (quantitativos) para a condução deste projeto.

3.3 Classificação da pesquisa quanto aos seus procedimentos técnicos utilizados

Na pesquisa científica, é importante fazer uma descrição detalhada dos métodos de aquisição de dados, juntamente com os procedimentos empregados na sua análise e interpretação. Dentre os procedimentos técnicos utilizados em trabalhos de conclusão de curso, podem-se citar: Mapeamento Sistemático, Revisão Sistemática da Literatura, Pesquisa Experimental, Levantamento de Campo (Survey), Estudo de Caso (único ou múltiplos casos), Pesquisa Participante, Pesquisa-ação, Implementação de Algoritmo de Machine Learning. (GIL, 2017).

No caso desse trabalho, os dados foram obtidos a partir do Levantamento de Campo (Survey). O levantamento em campo, também conhecido como "surveys", é uma metodologia de pesquisa de marketing que envolve a coleta de dados primários diretamente de pessoas, geralmente por meio de questionários, entrevistas ou observações. Essa técnica é amplamente utilizada para obter informações quantitativas e qualitativas sobre as opiniões, atitudes, preferências e comportamentos dos respondentes em relação a um produto, serviço ou tópico de interesse (MALHOTRA, 2019).

Os levantamentos em campo podem ser conduzidos de várias maneiras, como entrevistas pessoais, entrevistas por telefone, questionários on-line, entrevistas por e-

mail, entre outros. A escolha da metodologia depende do objetivo da pesquisa, do público-alvo e dos recursos disponíveis. Portanto, levando em consideração todos os aspectos citados, as técnicas usadas para coleta de dados foram: questionários e observações em campo (MALHOTRA, 2019).

Os dados que precisavam ser obtidos eram os tempos de trabalho de cada posto, ou seja, um dado quantitativo. Após a cronometragem de cada posto seria viável conduzir uma análise da linha de produção para identificar tanto os postos mais demorados quanto os mais rápidos. Ademais, dado que esses dados seriam adquiridos no próprio local, haveria a oportunidade de identificar oportunidades de aprimoramento e de antecipar possíveis obstáculos que poderiam afetar o desempenho dos operadores na linha de montagem.

A cronoanálise representa uma abordagem com a finalidade de investigar os tempos envolvidos em uma operação, sendo também empregada como uma ferramenta avançada de gestão da qualidade voltada para o estudo de tempos e movimentos em linhas de produção ou atividades logísticas, visando aprimorar os processos. Ela tem sua origem atribuídas a duas pessoas: Frederick Taylor, responsável pelas análises de tempo, e Bunker Gilbreth, que se destacou na análise dos movimentos. Além disso, esse método é amplamente empregado para estabelecer o tempo padrão, definir metas produtivas, avaliar a capacidade de produção e determinar os custos relacionados à mão de obra (Pesquisa documental, 2020).

O tempo padrão refere-se à quantidade de tempo que uma pessoa devidamente qualificada e bem treinada levaria para concluir uma tarefa específica em seu ritmo normal de trabalho. Este cálculo também deve incorporar os intervalos de tempo inevitáveis relacionados às interrupções que fazem parte do tempo total de trabalho. Portanto, para realizar uma cronoanálise eficaz, é essencial que o indivíduo encarregado da execução do processo tenha experiência, a fim de minimizar erros ao longo da produção, evitando, assim, qualquer comprometimento da análise de tempo. Portanto, para realizar a cronoanálise é necessário seguir os seguintes fluxogramas:

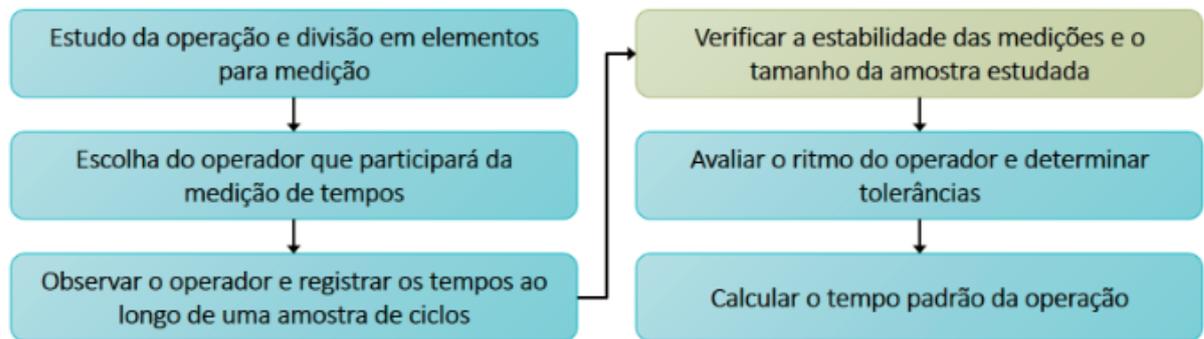
Figura 2. Diagrama tempo padrão



Fonte: Pesquisa documental

Nesse fluxograma é apresentado mostra que as medições de tempo é o tempo observado da operação. Após a coleta dos dados de tempo, é necessário realizar uma avaliação do ritmo, expressa como um valor em porcentagem, a fim de calcular o tempo normal. Posteriormente, é preciso determinar um valor de tolerância em porcentagem, uma vez que medidas de tempo extremamente discrepantes podem afetar a duração do processo no posto de montagem, essa abordagem é adotada para prevenir tempos excessivamente prolongados ou muito curtos.

Figura 3. Cálculo do tempo padrão da operação



Fonte: Pesquisa documental

Para realizar o cálculo do tempo padrão da operação, ou seja, tempo de cada posto de montagem, é necessário seguir o fluxograma acima:

- 1) Estudo da operação e divisão em elementos para medição: Estudar e compreender a operação que será cronometrada é fundamental, uma vez que isso permite estabelecer claramente o ponto de partida e de término da atividade. Essa definição é crucial, pois ao determinar o início e o fim da operação, garante-se que todos os tempos medidos permanecerão

consistentes, uma vez que o cronômetro é acionado e desligado de forma uniforme em todos os registros de tempo.

- Escolha do operador que participará da medição de tempos: A seleção do operador é um aspecto crítico a ser considerado, uma vez que o tempo necessário para a execução da tarefa pode variar significativamente entre um operador experiente e um iniciante. Operadores experientes tendem a ter um conhecimento mais profundo do processo de montagem no posto e, como resultado, são capazes de realizar a tarefa de maneira mais eficiente e rápida.

Na empresa existe um documento denominado "Poli x Poli," o qual lista os nomes dos operadores e sua polivalência em cada posto na linha de montagem, conforme imagem abaixo:

Figura 4. Poli x Poli

Membro Destacado do Posto	80%	Objetivo Polivalência	POLIVALÊNCIA																				
	56%	% Polivalentes no Time	Posto 1	Posto 2	Posto 3	Posto 4	Posto 5	Posto 6	Posto 7	Posto 8	Posto 9	Posto 10	CABINE 01	CABINE 02	Posto 13	POSTO 14	SUPER CONTROLE						
	FUNCIONÁRIO																						
	Habilidade Crítica																						
M1	Operador 1																						
	Operador 2																						
	Operador 3																						
	Operador 4																						
	Operador 5																						
	Operador 6																						
	Operador 7																						
M2	Operador 8																						
	Operador 9																						
	Operador 10																						
	Operador 11																						
	Operador 12																						
	Operador 13																						
	Operador 14																						
	Operador 15																						
	Operador 16																						
	Operador 17																						
	Operador 18																						
	Operador 19																						
	Operador 20																						
	Operador 21																						
	Operador 22																						
	Operador 23																						
	Operador 24																						
	Operador 25																						

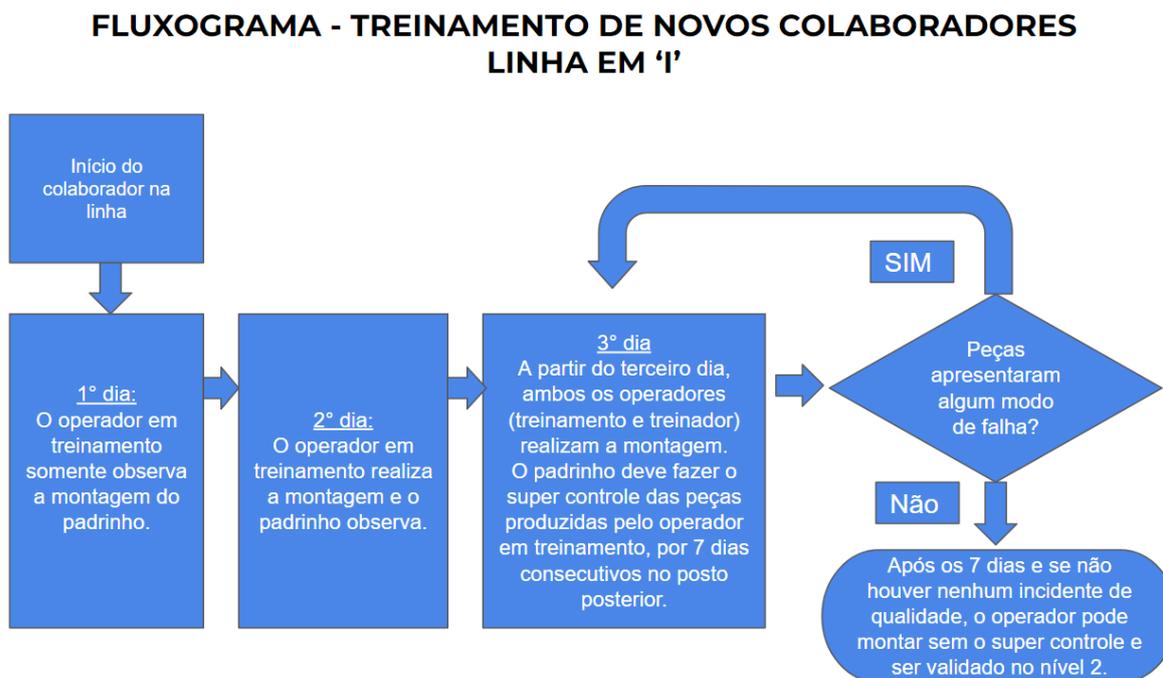
Fonte: Pesquisa documental

No referido documento, os nomes dos operadores são dispostos nas linhas, e nas colunas, estão listados os números dos postos da linha de produção. O número de quadrados verdes em cada célula indica a polivalência do operador no posto correspondente, ou seja, quanto mais quadrados verdes, maior é a habilidade do operador naquele posto. A polivalência do operador é validada pelo seu supervisor de produção e para se obter um quadrado de polivalência, o operador deve seguir as seguintes premissas:

- Nível 1 (operador executa tarefas): Operador deverá ser treinado baseado nas instruções de segurança, qualidade e produção do posto de trabalho. Nesta fase, o operador trabalha sob a supervisão de um instrutor, um operador experiente. A identificação visual deve ser respeitada até atingir o nível 2.
- Nível 2 (operador assegura qualidade): Operador garante qualidade de acordo com os padrões de trabalho. Nesta etapa, o operador ainda trabalha sob a supervisão de um instrutor, mas não necessita utilizar uma identificação visual. Ele é capaz de realizar de forma adequada todas as normas de trabalho, incluindo todos os procedimentos padrão de reatividade.
- Nível 3 (operador assegura qualidade): O operador pode trabalhar sozinho, ou seja, garante tempo padrão em todos os postos de trabalho.
- Nível 4 (operador capaz de ensinar): O operador deve treinar outro operador com base nas instruções de trabalho do posto, até que o mesmo atinja nível 2 de polivalência.

Na empresa, existem dois tipos de linhas de produção: a linha em “U” e a linha em “I”. A linha em “U” é caracterizada por possibilitar que o operador se mova de posto em posto, de forma progressiva, usando um carrinho para efetuar a montagem completa do produto sobre o mesmo, ou seja, o operador realiza a montagem do produto inteiro nessa linha de produção. Em contrapartida, o conceito da linha “I” envolve uma linha de produção na qual os operadores não se deslocam, em outras palavras, cada operador permanece estático em sua estação de trabalho, executando exclusivamente as tarefas relacionadas ao seu posto de montagem. No caso, o projeto será realizado em uma linha de produção do tipo linha em “I”, portanto, segue um fluxograma com o prazo estabelecido para treinar os operadores em linha “I”:

Figura 5. Fluxograma de treinamento para operadores em linha I



Fonte: Pesquisa documental

Conforme o fluxograma, no primeiro dia de trabalho de um operador, ele deve acompanhar e observar o processo de montagem de um padrinho, um operador experiente. No segundo dia, o operador pode executar os processos de montagem sob a orientação do seu mentor, responsável por fornecer instruções e assistência durante a produção do produto. No terceiro dia, os dois operadores (iniciante e treinador) realizam a montagem, no entanto, o treinador deve realizar o super controle da peça produzida do operador iniciante, ou seja, identificar eventuais equívocos e problemas de qualidade no produto. O operador experiente, deve fazer esse processo durante uma semana no posto posterior ao operador iniciante.

Após esse período, se as peças produzidas pelo operador iniciante apresentarem qualquer tipo de falha, seja relacionada à montagem ou à qualidade, o operador deve revisar as instruções do terceiro dia de trabalho, ou seja, um treinador deve ser colocado no posto posterior para verificar possíveis erros de processo ou qualidade. Por outro lado, se o operador não tiver nenhum incidente de qualidade ao longo de uma semana, ele poderá realizar a montagem do produto sem a assistência de um treinador e alcançar a validação no nível 2.

Como diretriz, a empresa instituiu uma regra que demanda a escolha de um operador com, no mínimo, polivalência 2, ou seja, uma pessoa que assegura qualidade no produto, para realizar a cronometragem de um posto.

- 3) Observar o operador e registrar os tempos ao longo de uma amostra de ciclos: Nessa etapa, o registro de tempo para cada posto é iniciado, e, como tal, o engenheiro de processo deve definir um mínimo de 20 amostras a serem coletadas.
- 4) Verificar a estabilidade das medições e o tamanho da amostra estudada: Nem todos os tempos medidos serão confiáveis, uma vez que durante o processo de cronometragem podem surgir problemas na linha de montagem, afetando diretamente a precisão da cronoanálise. Dessa forma, é preciso descartar esses tempos afetados por interferências. Além disso, o engenheiro deve avaliar se a quantidade de amostra será suficiente para a cronoanálise, visto que uma quantidade insuficiente de amostras pode levar a decisões inadequadas. Ao avaliar se a quantidade de amostras é suficiente, o engenheiro pode garantir que as informações obtidas a partir da cronoanálise sejam robustas o suficiente para embasar decisões de otimização de processo.
- 5) Avaliar o ritmo do operador e determinar tolerâncias: Avaliar a cadência do operador é um outro aspecto crucial na condução da cronoanálise, pois é essencial verificar se existem variações significativas nos tempos dentro da amostra predefinida. Quando se observam tempos muito divergentes, é aconselhável repetir a cronometragem. Além disso, pode ser necessário introduzir uma margem de tolerância, particularmente em situações em os processos são variáveis.
- 6) Calcular o tempo padrão da operação: Após verificar os valores medidos, é necessário fazer uma média aritmética, ou seja, realizar a soma de todos os tempos medidos do posto dividido pelo número total de amostras. Ademais, é preciso introduzir um valor de margem em porcentagem, uma vez que na linha de produção, diversos fatores, como quedas de energia, problemas de equipamentos e questões relacionadas à qualidade, podem impactar diariamente a produção. Portanto, para determinar o tempo padrão, a inclusão de um valor de tolerância é essencial, levando em consideração os problemas

mencionados. Após realizar esses procedimentos, o tempo padrão da operação está definido.

Apesar da cronoanálise ser uma maneira eficiente para definir padrões e metas de produtividade, esse método também tem seus pontos negativos e deve ser aplicada com ponderação, pois, a medição do tempo e esforço exatos das tarefas do processo de montagem deve considerar o fator humano, que nem sempre é totalmente contemplado pela taxa de tolerância.

Para os críticos da ferramenta, a cronoanálise pode levar à mecanização do trabalho e queda do engajamento dos colaboradores, uma vez que estabelece parâmetros com base em um único funcionário (operador de produção) e não considera todas as variáveis envolvidas em uma equipe.

Além disso, outro risco desse modo de análise é determinar metas ambiciosas demais, gerando ansiedade nos trabalhadores para alcançar um tempo de produção específico. No entanto, é possível aplicar essa metodologia para ter uma visão mais ampla da produção, sem necessariamente, levar os resultados ao extremo.

Em suma, o importante é considerar o objetivo principal da ferramenta: melhorar a execução das operações e estabelecer parâmetros confiáveis. Além disso, de forma simultânea, não se esquecer que os operadores têm suas necessidades e variáveis humanas, ou seja, esses fatores devem ser avaliados acima dos números finais.

3.4 Técnicas e instrumentos para obtenção de informações e dados

As técnicas utilizadas para obtenção de informações e dados foram a pesquisa documental, observação não estruturada e observação disfarçada.

Durante o ano passado, foi realizado um questionário para funcionários da empresa, com o intuito de coletar possíveis pontos de melhoria nas linhas de produção. Portanto, foram distribuídos diversos cartazes contendo um QR Code (Quick Response Code) nas linhas de produção de HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), permitindo que todos os trabalhadores do setor tivessem acesso para responder ao questionário:

Figura 6. Questionário disponibilizado para os funcionários



Fonte: Autor

Ao realizar a leitura do QR Code, a seguinte tela iria aparecer no celular das pessoas:

Figura 7. Dados de entrada do questionário

A screenshot of a mobile questionnaire form. The title is "Workshop Produtividade Linhas TCC - 2023". Below the title is a link for "Alternar conta" and a cloud icon. A red asterisk indicates that a question is mandatory. The form has three input fields: "E-mail *", "Nome completo *", and "Setor *", each with a "Sua resposta" label. The final section is titled "Selecione a Linha *" and contains a list of radio button options: Linha Trucks, Linha AI9x, Linha X52, Linha CMFB, Linha NF, Linha MQB, Linha GEM, GMV 1, GMV 2, GMV 3, and GMV 4.

Fonte: Autor

Os dados mencionados acima, incluindo o endereço de e-mail, nome completo, setor e linha de produção, eram necessários para fins de verificação da autenticidade das questões abordadas, visando evitar qualquer tentativa mal-intencionada de comprometer a integridade do questionário. Ademais, em caso de dúvidas acerca de algum ponto do questionário, a coleta dessas informações permitiria abordar a pessoa responsável para uma melhor compreensão das melhorias propostas, contribuindo assim, para uma compreensão mais aprofundada da proposta em questão.

Após o preenchimento dos dados, seria apresentada as seguintes questões:

Figura 8. Dados de identificação do posto de trabalho

Postos de Trabalho

Selecione o Posto *

- P01 - Montagem componentes
- P02 - Montagem componentes
- P03 - Montagem componentes
- P04 - Montagem componentes
- P05 - Montagem componentes
- P06 - Montagem componentes
- P07 - Montagem componentes / Cabine de Teste
- P08 - Montagem componentes
- P09 - Montagem componentes
- P10 - Montagem componentes / Cabine de Teste
- P11 - Montagem componentes / Cabine de Teste
- P12 - Montagem componentes
- P13 - Montagem componentes / Cabine de Teste
- P14 - Montagem componentes / Cabine de Teste
- P15 - Montagem componentes / Cabine de Teste

Descreva a proposta de melhoria *

Sua resposta _____

Valor investimento em BRL

Sua resposta _____

Valor de retorno

Sua resposta _____

Payback (em anos)

Sua resposta _____

Fonte: Autor

As informações mencionadas anteriormente, que incluem o número do posto de trabalho, a proposta de melhoria, eram importantes para identificar a localização da sugestão de aprimoramento, bem como compreender o motivo e a essência da proposta. No entanto, questões relacionadas aos valores de investimento, como o valor de investimento, o valor de retorno e o payback, um indicador para avaliar o tempo necessário para recuperar um investimento, não eram de resposta obrigatória.

A finalidade principal do questionário era coletar o maior número possível de ideias, não necessariamente para obter os detalhes financeiros associados a cada sugestão. No entanto, esses campos foram incluídos como opcionais, permitindo que os participantes os preencham caso tenham conhecimento, o que também facilitaria a avaliação das propostas, uma vez que valores de investimento alto poderiam influenciar a seleção das ideias.

Quadro 11. Respostas do questionário

Número do posto	Descrição da proposta de melhoria
P01	Opção de posicionar o pedal de finalização de montagem para todos os postos. Atualmente o mesmo está fixo do lado direito.
P01	Altura da rampa: diminuir a altura da rampa para melhorar a ergonomia do operador.
P01	Retirar o aviso sonoro do componente e somente deixar o sensor de visão verde.
P02	- Parafusar a caixa de distribuição por completo, aumentar de 5 para 6 parafusos. - Na versão T70168B, acrescentar a cinemática para colocar no final do processo de montagem
P03	Substituição do sensor de visão responsável pela leitura do micromotor e reposicionamento dos micromotores na rampa, a fim de agrupá-los e aproximá-los da câmera para facilitar a leitura.
P03	Trocar os sensores de visão, de Sick para Keyence.
P03	- Colocar sensor de pega na cinemática do manual. - Trocar o tampão de parafuso, pois, o atual tem risco de cair durante o processo de parafusamento. - Na versão T70168B, acrescentar o parafuso do micromotor para reduzir o tempo do posto seguinte.
P03	Melhorar o leitor do micromotor, pois o mesmo demora muito para realizar o processo de leitura do QR Code.

Número do posto	Descrição da proposta de melhoria
P04	Troca dos leitores Sick, há uma considerável ineficiência na leitura do tempo.
P04	Criar um novo tampão de parafuso que consiga tampar ao mesmo tempo 2 furos. Atualmente, existem 2 tampões para cobrir 2 furos diferentes.
P04	Inserir um suporte para o evaporador já montado, ou seja, dar a oportunidade de o operador montar mais evaporadores para atender o próximo posto.
P04	Reajustar processo de evaporador.
P04	Trazer a caixa de distribuição montada.
P04	<ul style="list-style-type: none"> - Modificar a posição do sensor do duto para aumentar a visibilidade após a montagem do evaporador. - Desabilitar a leitura do evaporador, uma vez que há apenas uma versão disponível. - Instalar um sensor de pega no chicote de montagem em vez de usar a leitura do QR Code. - Reduzir a frequência de acionamento do dispositivo bimanual durante a montagem do evaporador, mantendo o cilindro que prende o evaporador acionado previamente para evitar desalinhamentos - Colocar um suporte para colocar o evaporador montado.
P04	<ul style="list-style-type: none"> - Criar um único tampão que abrange tanto a entrada do duto quanto a entrada do radiador ao ser parafusado. - Melhorar as mensagens de erro do DH e incluir um alerta sonoro que soe quando ocorrer um erro, tornando mais simples identificar o momento em que isso acontecer.
P05	Sistema de parafusamento automático com alimentação automática de parafusos, dispensando a intervenção do operador para pegar os parafusos.
P05	Alterações na embalagem do GMV, passando de embalagem tipo arara para caixa, com ampliação do sistema de Kanban automatizado.
P05	Aprimorar o suporte da segunda metade da caixa cold block, que atualmente está pendurada à esquerda, dificultando a sequência de montagem. Seria benéfico relocar o suporte para a direita ou até mesmo revestir a rampa com material emborrachado para posicionar a caixa à frente do operador e facilitar o processo de montagem.
P05	<ul style="list-style-type: none"> - Acrescentar a resistência no processo, permitindo seu encaixe nesse posto, o que resultará em uma redução do tempo necessário no posto 7. - Adicionalmente, implementar o teste de verificação do dreno para ser realizado na injetora.
P06	Posicionar o GMV diretamente na rampa de abastecimento, economizando tempo para o operador

Número do posto	Descrição da proposta de melhoria
P06	Viabilizar que o operador tenha a opção de adiantar a montagem (dentro da legalidade) ou realizar a pré-montagem no posto anterior ou posterior.
P06	Substituir os leitores de códigos de barras por leitores mais rápidos. Fazer isso nos outros postos também.
P06	Remoção do pedal de liberação, de modo que a peça seja liberada automaticamente assim que o processo de montagem estiver concluído, após a desativação do último sensor.
P06	Substituir a chave de reset por um botão. Frequentemente, precisamos interromper a linha e deslocar-nos até o local indicado para reiniciar o posto ou a linha de produção.
P06	Colocar um sensor de pega o chicote em vez de usar a leitura do QR Code, já que o leitor de QR Code apresenta uma demora considerável na leitura.
P07	Entrega do radiador montado à linha de montagem. Criar um subposto para a máquina de crimping.
P07	Entrega do radiador montado no posto.
P07	Braço pantógrafo para as parafusadeiras laterais.
P07	Desvincular a sincronização entre o posto e a máquina de crimpagem. No crimping, acionar o botão de montagem do tubo somente quando o anel de vedação estiver presente, evitando montagens sem ele.
P07	Substituir o tampão do duto de forma que ele fique inserido dentro da peça, em vez de ao redor dela, evitando que se desprenda durante o processo de parafusamento.
P08	Realocar a parte da conexão elétrica da máquina de crimpagem e do teste de DH para a calha central da linha, resultando em mais espaço para ampliar a autonomia das caixas Coldblock e racks do GMV, aprimorando o fluxo de entrada e saída dos racks
P08	Instalar um balancim melhor para a pistola de estanqueidade, atendendo à solicitação do operador que se queixava do peso da pistola.
P09	<ul style="list-style-type: none"> - Remover sensores não utilizados no posto. - Atualizar as mensagens exibidas na IHM da cabine para tornar a identificação de erros durante o teste mais fácil. - Reduzir o tempo de duração do teste na cabine.
P10	Reduzir a duração do teste de fim de linha (EOL) na cabine. Após a chegada da bandeja à cabine, iniciar a verificação de presença de componentes, versões, posição dos flaps, e, após o fechamento da cabine, realizar a avaliação do sistema SAVAS, ruído, vibração, entre outros.
P10	Minimizar a necessidade de reteste manual pelo operador do posto anterior, automatizando o processo (pelo menos uma vez).
P11	Realizar dois retestes automáticos na imagem capturada pelo robô antes de considerar a peça como defeituosa.

Número do posto	Descrição da proposta de melhoria
P12	<ul style="list-style-type: none"> - Aproximar o rack de peças do operador. - Substituir o leitor de QR Code por um de gatilho para evitar travamentos recorrentes. - Adicionar a opção de “iniciar” o posto quando houver interrupções na leitura de etiquetas.
P15	Desenvolver uma tela na Interface Homem-Máquina (IHM) que reúna o monitoramento de todos os sinais eletrônicos em forma de mapa, com o objetivo de proporcionar uma gestão visual simplificada e agilizar as ações de manutenção corretiva. Isso resultará em uma redução do tempo de parada da linha para identificar e resolver problemas.

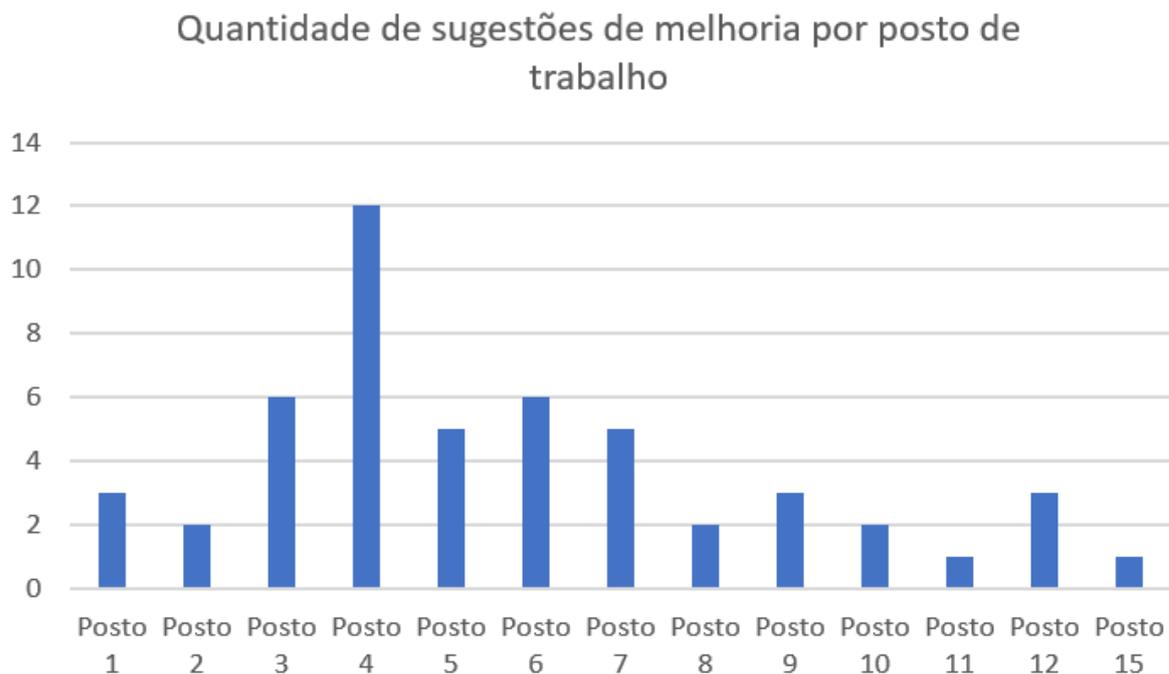
Fonte: Autor

No quadro acima, é possível afirmar que um total de 38 respostas foram submetidas, porém, foram recebidas 51 sugestões de melhoria, uma vez que as pessoas optaram por incluir mais sugestões em suas respostas. Dentre essas melhorias, após uma análise preliminar, observou-se o seguinte número de sugestões para cada posto:

- 3 melhorias para o posto 1;
- 2 melhorias para o posto 2;
- 6 melhorias para o posto 3;
- 12 melhorias para o posto 4;
- 5 melhorias para o posto 5;
- 6 melhorias para o posto 6;
- 5 melhorias para o posto 7;
- 2 melhorias para o posto 8;
- 3 melhorias para o posto 9;
- 2 melhorias para o posto 10;
- 1 melhoria para o posto 11;
- 3 melhorias para o posto 12;
- 1 melhoria para todos os postos (posto 15);

A visualização mais clara desses dados pode ser obtida no gráfico a seguir:

Figura 9. Quantidade de melhoria por posto de trabalho



Fonte: Autor

Por uma análise de numérica, ou seja, levando em consideração somente os números, por meio desse gráfico, pode-se concluir que o posto com o maior número de sugestões de melhoria é o posto 4, sendo assim, possui um elevado potencial para aprimoramentos, uma vez que recebeu o maior volume de sugestões. Os postos 3 e 6 também demonstram potencial para melhorias, já que receberam um número significativo de sugestões. No entanto, os postos 2, 8 e 11 necessitam de uma análise mais minuciosa para identificar oportunidades de aprimoramento, devido ao baixo número de sugestões recebidas.

3.5 Descrição do ambiente de simulação e seus requisitos

O trabalho foi realizado em uma linha de produção de uma fábrica de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (Heating, Ventilating and Air Conditioning - HVAC) para automóveis, situada em Itatiba, São Paulo. O projeto consistia em realizar uma cronoanálise juntamente com melhorias no processo de produção, utilizando a filosofia de melhoria contínua (Kaizen), uma vez que o cliente dessa empresa sinalizou que a demanda do produto iria aumentar. Portanto, essa

linha de produção deve atingir a produção de 1200 peças por dia para atender a demanda do cliente.

3.6 Lista de materiais

A lista de materiais para esse projeto foi extensa, uma vez que houve a criação de um novo posto de trabalho para realizar os processos dos antigos postos 1 e 2. Nesse caso, não há um número exato de materiais que foram usados. Adicionalmente, foi indispensável efetuar modificações no software da linha, as quais foram executadas por um fornecedor que teve de atender a determinados requisitos do projeto. Logo, os produtos e serviços fornecidos pelo provedor foram os seguintes:

1) Cabine de teste elétrico + novo sistema de contato elétrico (Posto 10):

O fornecedor terá a responsabilidade de diminuir o ciclo de teste elétrico, permitindo a produção de 90 peças por hora sem a necessidade de retrabalho, tanto para as versões manuais quanto automáticas. Além disso, o fornecedor deverá reformular o programa de teste elétrico de modo a possibilitar a realização de testes simultâneos, com o intuito de reduzir o tempo do ciclo de teste.

Além disso, o fornecedor terá a responsabilidade de reformular o projeto das conexões elétricas entre o produto e o equipamento de teste elétrico, visando eliminar quaisquer variáveis relacionadas a problemas de conexão para os seguintes aspectos:

- Eliminar as tomadas, substituindo-as por sistemas de contatos elétricos independentes para a alimentação de energia (GMV) e os comandos dos movimentos (micromotores), com base nas experiências dos fornecedores Valeo (MZ e Caboteste).

Figura 10. Tomada das bandejas



Fonte: Pesquisa documental.

- Projetar um sistema pneumático capaz de estabelecer as conexões elétricas automaticamente entre o produto (bandeja) e o teste elétrico, com a necessidade de ajustes nas partes mecânicas nos três eixos, garantindo facilidade de ajuste com o auxílio de guias lineares.
- Criar um sistema de conexão elétrica nas 16 bandejas, com o objetivo de permitir uma ligação prática e resistente dos chicotes dos produtos.
- Assegurar uma conexão elétrica precisa entre o sistema fixo da cabine e as bandejas, considerando potenciais variações de altura entre as partes, compreendendo uma parte fixa e 16 bandejas.
- Criar um modo Manual que permita a execução de teste elétrico nas diferentes versões, independentemente do sequenciamento em andamento na linha de montagem, com uma programação e interface homem-máquina (IHM) de fácil utilização.

Portanto, foram efetuadas alterações de software no posto 10, assim como retrabalho mecânico e elétrico nas 16 bandejas da linha de produção.

2) Troca de leitores de códigos de barras (Posto 4, 5, 7, 9 e 13):

O fornecedor terá a responsabilidade de substituir os leitores de códigos de barras da marca Sick por leitores de códigos de barras da Keyence, com o objetivo de aprimorar a velocidade de leitura nos postos de trabalho. Além disso, o fornecedor ficará encarregado de reprogramar a leitura em função da troca de modelos. Todas

as necessidades de suporte mecânico relacionadas à substituição dos leitores são de responsabilidade do fornecedor.

Figura 11. Relação de sensores para cada posto de montagem

Leitores	SR 1000	HR 100		SR 1000			SR 1000	HR 100
Postos	P4	P5		P7			P9	P13
Componentes	Micromotor (2x)	Chicote	Evaporador	Chiocte	PWM	GMV	Micromotor	Código Valeo Etiqueta
Produto								
T70162B			X	X	X	X	X	X
T70163B			X	X	X	X	X	X
T70168B	X	X	X		X	X	X	X
T69970C			X	X	X	X	X	X
T69967C			X	X	X	X	X	X

Fonte: Pesquisa documental

A figura acima contém linhas que indicam os sensores e os postos específicos onde esses sensores devem ser instalados, bem como os componentes que eles devem ler. Por outro lado, na coluna estão listados todos os produtos fabricados na linha. As células marcadas com um "X" representam quais versões dos produtos devem utilizar determinado sensor de visão para ler o código do produto.

Portanto, serão empregados três leitores SR1000 e dois leitores HR100, ambos do fornecedor Keyence, juntamente com os acessórios necessários para sua instalação. Adicionalmente, é mandatória a comunicação dos sensores por meio de Ethernet IP.

3) Reprogramação nos postos de trabalho:

Em cada estação de trabalho, há um monitor equipado com uma CPU do modelo Dell. Esses monitores apresentam vídeos do processo de montagem correspondente a cada estação, no entanto, estão com versões desatualizadas. Além disso, os monitores exibem as folhas de processo em formato digital. As folhas de processo são documentos que detalham o procedimento passo a passo para a montagem do produto em cada estação, incluindo imagens ilustrativas para auxiliar no processo. Os monitores utilizados nas estações de trabalho são como ilustrado na imagem a seguir:

Figura 12. Monitores modelo Dell



Fonte: Pesquisa documental

Os monitores acima deverão ser trocados por IHMs modelo gráfica KTP700 PN touch color 2º geração Siemens 6AV21232GB030AX0, conforme modelo abaixo:

Figura 13. IHM modelo KTP700 6AV21232GB030AX0 da Siemens



Fonte: Pesquisa documental

Essa medida foi tomada devido à falta de utilidade dos monitores na linha de produção, uma vez que seus vídeos estavam desatualizados. A instalação de uma Interface Homem-Máquina (IHM) possibilitaria a inclusão de instruções e texto indicando qual sensor de pega está ativo, proporcionando assim auxílio ao operador.

Dessa forma, o fornecedor será responsável pela revisão do software em cada posto criando acesso via IHM para os seguintes aspectos:

- Troca de receitas em cada posto;
- Exibição dos valores dos sensores em cada etapa de operação, em cada posto;
- Implementação de um modo manual com controle pneumático em cada posto;
- Desenvolvimento de uma tela de diagnóstico para o sensoriamento em cada posto.
- Melhorar as mensagens de operação existentes em cada posto.
- Revisão e aprimoramento dos textos nas Interfaces Homem-Máquina (IHMs) em todos os postos da linha.

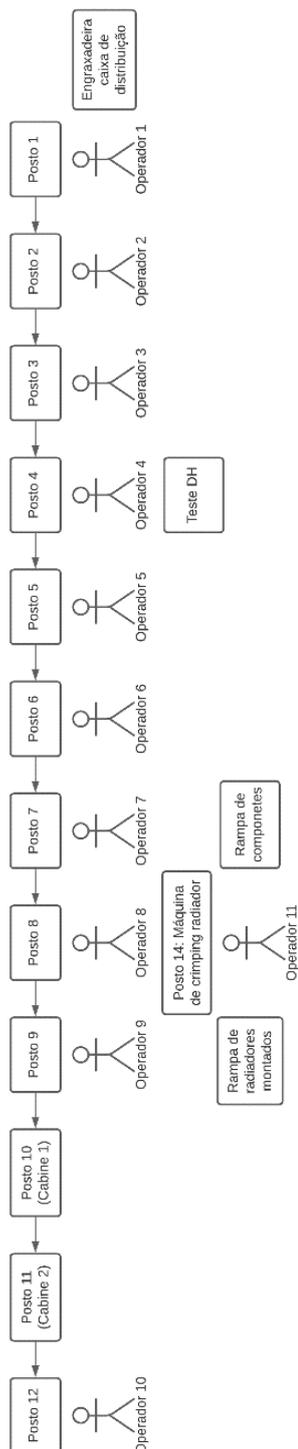
Além disso, o fornecedor assumirá a responsabilidade de assegurar os cabos de comunicação entre a rede Ethernet e as Interfaces Homem-Máquina (IHMs), incluindo a substituição, se necessário. Ademais, também será encarregado de fornecer o suporte mecânico e as caixas de armazenamento para cada IHM, em cada posto, além de realizar o reposicionamento dos sensores de presença nas bandejas de trabalho.

Portanto, serão necessárias oito IHMs do modelo KTP700 6AV21232GB030AX0 da Siemens para os postos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8. No entanto, vale destacar que os postos 9 e 12 já possuem IHMs instaladas, e nos postos 10 e 11, que realizam testes automáticos com o uso de CPUs, não será necessário adquirir IHMs adicionais.

4) Submontagem da crimpagem do radiador:

Anteriormente, a montagem do radiador era realizada em conjunto com os processos do posto 7, o que significava que o operador não apenas executava as tarefas do posto 7, mas também montava o radiador por completo. Essa sobrecarga de trabalho para o operador do posto 7 levou à decisão de remover a máquina de crimpagem, que é responsável pela montagem completa do radiador, da linha de produção. Como resultado, o layout da linha de produção foi reconfigurado da seguinte forma:

Figura 14. Layout da linha sem a máquina de crimpagem



Fonte: Autor

Conseqüentemente, foi criada uma nova estação de trabalho, denominada posto 14, dedicada à montagem completa do radiador. Além disso, uma nova rampa

de abastecimento foi implementada para fornecer os componentes necessários para a montagem do radiador. Isso resultou no envio do radiador à linha de montagem já montado, o que resultou em economia de tempo.

Para que essa transição ocorresse, o fornecedor assumirá as seguintes obrigações:

- Revisão do software, eliminando o intertravamento entre a máquina de crimpagem, o posto 7 e o posto 8 na linha de produção;
- Readequação do layout da máquina de crimpagem;
- Fabricação de um rack metálico para o abastecimento de radiadores montados, com capacidade para 70 peças;
- Realocação do equipamento DH Test do posto 4 para o posto 2 ou 1, de acordo com o rebalanceamento da linha (software, elétrica e hardware);
- Realocação da parafusadeira eletrônica do posto 7 para o posto 4 ou 3, também em função do rebalanceamento da linha (software, elétrica e hardware);

Logo, será indispensável realizar alterações tanto físicas quanto elétricas para viabilizar essa transição. Além disso, será necessário fornecer um rack destinado ao abastecimento de radiadores já montados, com a capacidade de acomodar até 70 peças.

3.7 Lista das provas de conceitos a serem realizadas para validação da solução do projeto do TCC

As avaliações necessárias para validar a solução proposta no projeto de TCC incluirão:

- 1) Verificar se a cronoanálise, juntamente com o rebalanceamento, é capaz de alcançar a meta de produção de 1200 peças por dia.
- 2) Avaliar se as melhorias implementadas resultaram nos efeitos esperados.
- 3) Determinar se a aplicação dos recursos, incluindo as melhorias, a cronoanálise e o rebalanceamento, permitiu alcançar o objetivo de 1200 peças por dia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Termo de Abertura de um Projeto (TAP)

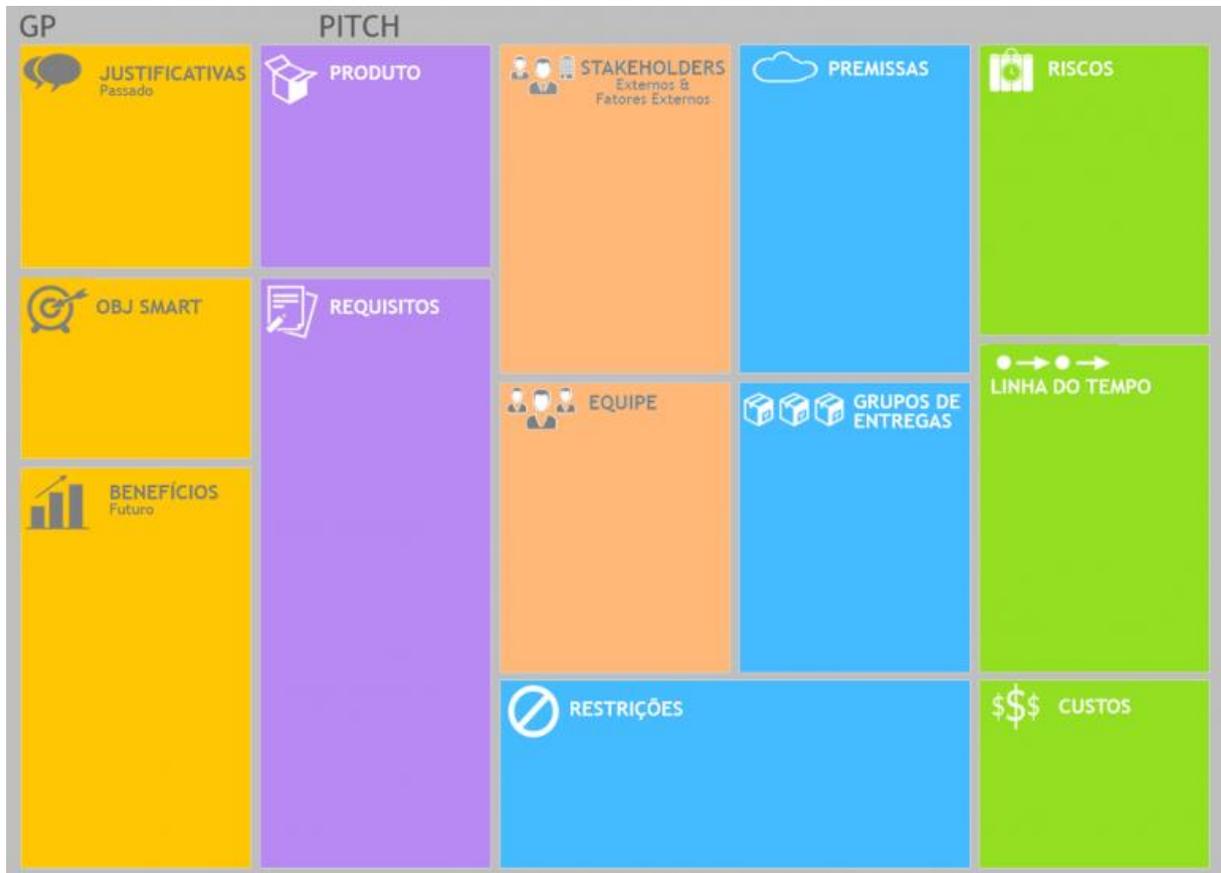
A principal proposta do Project Model Canvas é simplificar e desburocratizar o processo de elaboração do plano de gerenciamento do projeto. Inspirado no Business Model Generation, esse modelo visual proporciona uma abordagem clara e de fácil compreensão para a criação de um plano de projeto (SILVA, SILVA, SALES, FERNANDES, SALES, 2015).

Conforme definido por Finocchio Júnior (2013), o Project Model Canvas é uma abordagem ágil para conceber a lógica de um projeto, permitindo a construção de um modelo mental do mesmo. O objetivo fundamental deste modelo é promover o entendimento das interações entre os diferentes elementos do projeto. Para isso, utiliza um painel no formato de papel A1, onde são afixados post-its contendo informações concisas e diretas em treze áreas distintas que compõem o modelo. Cada área é organizada em conformidade com os princípios dos 5W2H, com exceção do elemento "where" (SILVA, SILVA, SALES, FERNANDES, SALES, 2015):

- Por quê? Neste conjunto de informações, busca-se entender a motivação real para a melhoria da situação que o projeto se propõe a abordar. As áreas correspondem a Justificativa, Objetivos SMART e Benefícios.
- O que? Qualquer projeto é executado com o propósito de gerar resultados, serviços ou produtos específicos. Nesta seção, o foco é explicitar qual será a “saída” desejada e seus atributos após a conclusão do projeto. As áreas abordadas incluem o Produto e os Requisitos.
- Quem? Com base nas seções anteriores, já temos uma compreensão do problema atual da organização, seus objetivos futuros, o produto a ser entregue e suas características. Portanto, para alcançar os resultados desejados, o projeto é executado por indivíduos que o influenciam de maneira direta ou indiretamente. Logo, as áreas são: os Stakeholders externos, Fatores externos e a Equipe.
- Como? Neste conjunto de informações, responde-se à pergunta: como o trabalho será entregue no projeto? Os produtos são as entregas realizadas pela equipe que contribuem para um bem comum. Portanto, três áreas compõem este grupo para compreender as Premissas, Entregas e Restrições.

- Quando e Quanto? Quando o projeto será concluído e quanto custará? Esta pergunta do último grupo do canvas é respondida com a utilização de post-its nas áreas de Riscos, Linha do tempo e Custos.

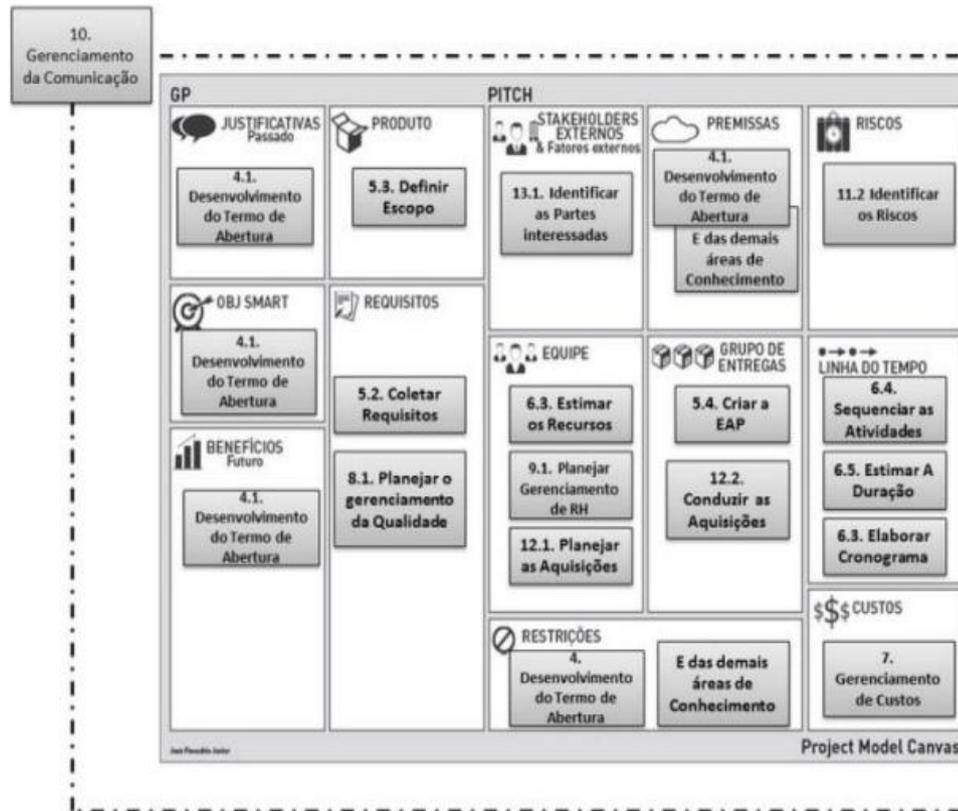
Figura 15. Estrutura do planejamento do Project Model Canvas



Fonte: Flowup (2020)

O Project Model Canvas possui uma forte relação com os documentos de Termo de Abertura do Projeto e Plano de Gerenciamento do Projeto, ambos recomendados pelo Guia PMBOK. O diagrama apresentado na figura abaixo destaca, sobretudo, os processos de iniciação e planejamento do projeto, cujas saídas possibilitam o desenvolvimento dos mencionados documentos de integração (ABDOLLAHYAN, 2013).

Figura 16. PMBOK x Project Model Canvas



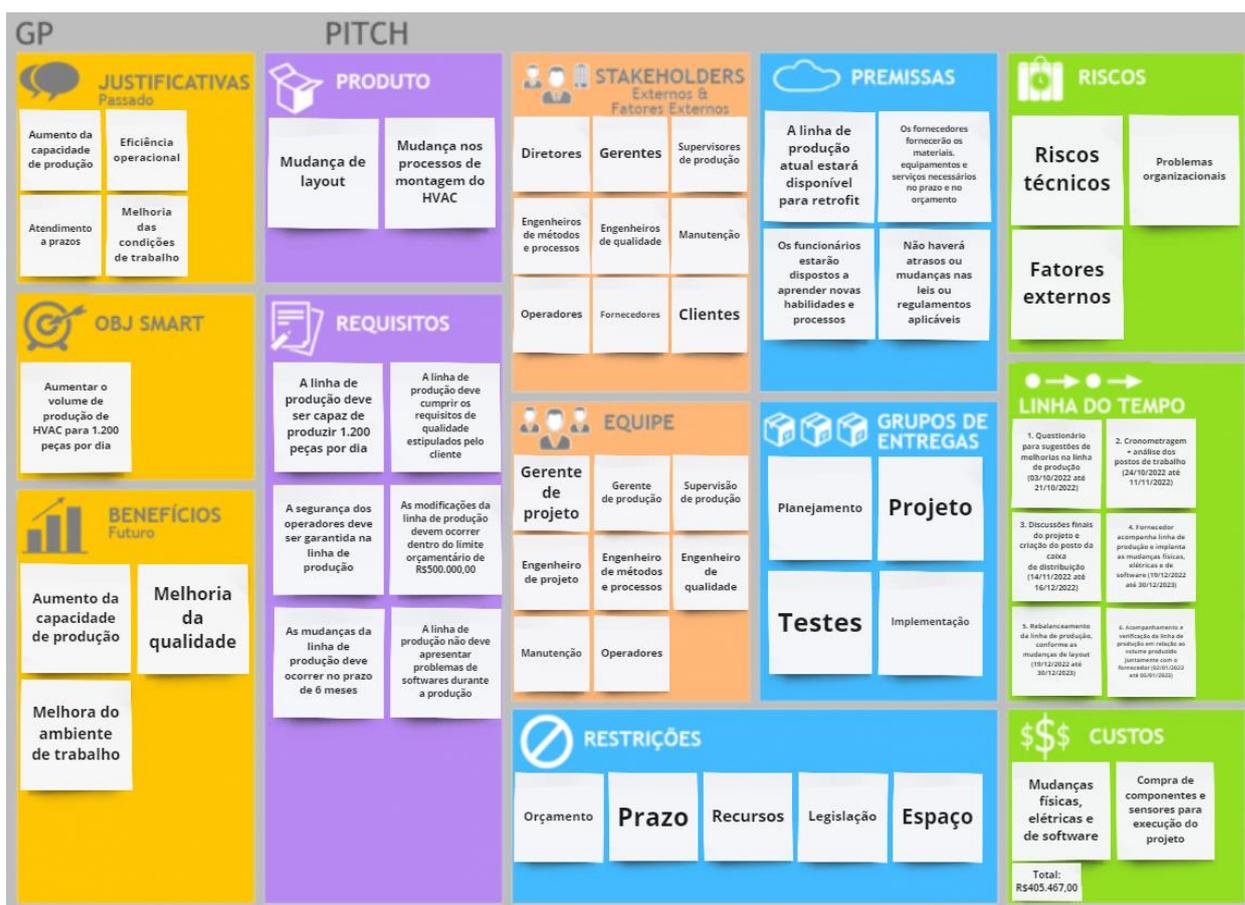
Fonte: Abdollahyan (2013)

O Project Model Canvas é dividido em várias etapas, como descrito por Finocchio Júnior (2013):

- Etapa de Conceber: Nesta fase, respondem-se às seis perguntas fundamentais (Por quê? O quê? Quem? Como? Quando e quanto?).
- Etapa de Integrar: Durante essa etapa, assegura-se a consistência entre os blocos e estabelece-se a integração entre os componentes.
- Etapa de Resolver: Nesse estágio, identificam-se os pontos problemáticos, como indefinições, falta de informação ou contradições, na elaboração do canvas.
- Etapa de Comunicar/Compartilhar: O canvas serve como base para gerar outros documentos importantes para o projeto.

Com base nas definições fornecidas anteriormente, o quadro PM Canvas para o projeto de retrofit, que se refere ao processo de modernização de equipamentos ou estruturas já existentes, está representado na imagem abaixo:

Figura 17. Project Model Canvas do projeto



Fonte: Autor.

Dentre as várias justificativas para a realização do projeto de retrofit em uma linha de produção de ar condicionado. Essas justificativas podem incluir:

- **Aumento da capacidade de produção:** O aumento do volume de produção para 1200 peças por dia é uma resposta às necessidades do mercado, previamente alinhada com o departamento de vendas da organização.
- **Eficiência Operacional:** O retrofit da linha de produção visa melhorar a eficiência, reduzindo os tempos de ciclo, minimizando desperdícios e otimizando os processos. Isso pode levar a custos operacionais mais baixos e margens de lucro mais altas.
- **Atendimento a Prazos:** Aumentar a capacidade de produção pode ajudar a atender prazos de entrega mais curtos, o que é importante para atender às expectativas dos clientes.

- **Melhoria das Condições de Trabalho:** Ao redesenhar a linha de produção, você pode criar condições de trabalho mais ergonômicas e seguras para seus funcionários, o que pode aumentar a satisfação e a produtividade da equipe.

O objetivo SMART deste projeto consiste em elevar a produção diária de HVAC para 1.200 unidades, com aderência a um orçamento máximo de 500.000 reais (payback de 1,8 anos), por meio de uma cronoanálise da linha de produção. Isso implicará na reconfiguração da linha, incluindo a eliminação de alguns postos de trabalho e a criação de subpostos de montagem externos, com prazo final estabelecido até a primeira semana de janeiro de 2023.

Os benefícios de um projeto de retrofit em uma linha de produção de ar condicionado incluem:

- **Aumento da capacidade de produção:** O objetivo do projeto é aumentar o volume de produção para 1.200 peças por dia. Isso significa que a empresa poderá atender a uma demanda maior ou produzir mais unidades para estoque.
- **Melhoria da qualidade:** A análise da linha de produção atual pode identificar oportunidades de melhoria da qualidade. Isso pode levar a uma redução de defeitos e a um aumento da satisfação dos clientes.
- **Melhora do ambiente de trabalho:** A remoção de alguns postos de trabalho na linha de produção pode melhorar o ambiente de trabalho para os operadores. Isso pode levar a um aumento da produtividade e da satisfação dos funcionários.

Sob o ponto de vista do PM Canvas, o produto de um projeto de retrofit em uma linha de produção de ar condicionado seria a própria linha de produção. O objetivo do projeto é melhorar a linha de produção, tornando-a mais eficiente, eficaz e sustentável. Nesse caso, O produto do projeto pode ser dividido em dois componentes principais:

- **Mudança de layout:** As mudanças físicas que serão feitas na linha de produção, como a remoção de alguns postos de trabalho (Posto 1, 2 e máquina de crimpagem do radiador) e a criação de subpostos de montagem fora da linha de produção.
- **Mudança nos processos de montagem do HVAC:** As mudanças nos processos de produção, como a padronização das tarefas e a implementação de métodos de trabalho mais eficientes.

Os requisitos de um projeto de retrofit em uma linha de produção de ar condicionado seriam as condições ou características que o produto do projeto deve atender. No caso do projeto de retrofit em uma linha de produção de ar condicionado, alguns exemplos de requisitos funcionais incluem:

- A linha de produção deve ser capaz de produzir 1.200 peças por dia.
- A linha de produção deve cumprir os requisitos de qualidade estipulados pelo cliente.
- A segurança dos operadores deve ser garantida na linha de produção.

Além disso, os requisitos não-funcionais incluem:

- As modificações da linha de produção devem ocorrer dentro do limite orçamentário de R\$500.000,00 (payback de 1,8 anos).

A análise financeira do projeto de retrofit na produção diária de peças automotivas, considerando um orçamento de 500.000 reais, é um aspecto importante para avaliar a viabilidade econômica da implementação. A decisão de realizar retrofit, que envolve a modernização ou atualização de equipamentos e sistemas, pode impactar significativamente a produção diária, mas a determinação do período de payback é essencial para uma tomada de decisão informada.

A alocação do orçamento de 500.000 reais para o projeto de retrofit deve ser estrategicamente distribuída, visando otimizar a produção, reduzir custos operacionais ou melhorar a eficiência geral.

O período de payback, neste contexto, representa o tempo necessário para recuperar o investimento inicial a partir das economias geradas pelo projeto. O fato de o período de payback ser de 1,8 anos, como mencionado, sugere que os benefícios financeiros do projeto começariam a compensar o investimento em um período relativamente curto, em comparação a outros projetos da empresa.

No entanto, não se sabe se o período de payback foi uma consideração crítica na decisão de implementação. Portanto, isso sugere que outros fatores, como melhorias operacionais, aumento da qualidade do produto e exigências do mercado, podem ter sido determinantes na decisão de realizar o retrofit.

A literatura de gestão, exemplificada por Kotter (1996) em "Leading Change", destaca que decisões estratégicas devem levar em consideração uma análise abrangente, considerando não apenas aspectos financeiros, mas também culturais, operacionais e estratégicos. Portanto, a decisão de implementar o projeto pode ter

sido influenciada por uma combinação de fatores, indo além do simples período de payback.

Além disso, é evidente que o projeto de retrofit teve um impacto financeiro significativo na produção diária de peças. Como resultado, a linha de produção experimentou um aumento de aproximadamente 29,3% em relação à produção diária anterior ao projeto. Adicionalmente, ocorreu melhorias na eficiência e qualidade do produto que justificaram o investimento.

Logo, a análise financeira, incluindo o período de payback, é uma parte essencial da avaliação de projetos de retrofit. No entanto, é crucial considerar outros fatores que podem ter influenciado a decisão de implementação, garantindo uma abordagem completa para otimizar a produção diária de peças automotivas.

- As mudanças da linha de produção devem ocorrer no prazo de 6 meses
- A linha de produção não deve apresentar problemas de softwares, mecânicos ou elétricos durante a produção.

Os stakeholders em um projeto de atualização em uma linha de produção de sistemas de ar condicionado são indivíduos ou entidades que demonstram interesse no projeto. Esses stakeholders podem estar vinculados à empresa internamente ou ser externos a ela. Para esse projeto, pode-se citar: diretores, gerentes, supervisores de produção, engenheiros de métodos e processos, engenheiros de qualidade, manutenção, operadores, fornecedores e clientes.

A equipe de um projeto de modernização em uma linha de produção representa o conjunto de profissionais encarregados de efetuar a implementação do projeto. Essa equipe pode ser constituída por colaboradores internos da organização ou por especialistas externos contratados para a tarefa. Neste contexto, a equipe responsável pela execução do projeto são: gerente de projetos, gerente de produção, supervisão de produção, engenheiro de projetos, engenheiro de métodos e processos, engenheiro de qualidade, manutenção e operadores.

As premissas de um projeto de retrofit em uma linha de produção representam as pressuposições feitas em relação ao projeto. Dentre as premissas consideradas no projeto estão:

- A linha de produção atual estará disponível para retrofit.
- Os fornecedores fornecerão os materiais, equipamentos e serviços necessários no prazo e no orçamento.

- Os funcionários estarão dispostos a aprender novas habilidades e processos.
- Não haverá atrasos ou mudanças nas leis ou regulamentos aplicáveis.

Os grupos de entrega em um projeto de modernização em uma linha de produção referem-se às principais etapas ou fases do projeto. Os grupos de entrega para esse projeto são:

- Planejamento: Esta fase do projeto envolve a definição do escopo, do cronograma, do orçamento e da equipe do projeto.
- Projeto: Nesta etapa do projeto, ocorre o planejamento e a execução das alterações na linha de produção
- Testes: Durante essa fase do projeto, é realizada a validação das alterações na linha de produção, se elas estão operando conforme o planejado.
- Implementação: Nesta fase do projeto, ocorre a implementação das mudanças na linha de produção em operação.

As restrições em um projeto de retrofit em uma linha de produção são os elementos que restringem as escolhas da equipe de gerenciamento do projeto. Para esse projeto, podem ser citadas as seguintes restrições:

- Orçamento: O projeto deve ser implementado dentro do orçamento definido.
- Prazo: É essencial que o projeto seja finalizado no período de tempo estipulado.
- Recursos: O projeto deve ter disponibilidade dos recursos essenciais, funcionários, equipamentos e materiais.
- Legislação: O projeto deve obedecer às leis e regulamentos pertinentes.
- Espaço: O projeto deve ser executado dentro de um limite de espaço.

Os riscos em um projeto de atualização em uma linha de produção são situações ou eventos que têm o potencial de obstruir o sucesso do projeto. Para o projeto, foram considerados os seguintes riscos:

- Riscos técnicos: Os riscos técnicos incluem problemas com o design, a implementação ou o desempenho das mudanças na linha de produção.
- Problemas organizacionais: Esses problemas envolvem a comunicação, o treinamento ou a mudança organizacional.
- Fatores externos: Os fatores externos incluem mudanças nas leis ou regulamentos, problemas com os fornecedores ou eventos naturais.

A linha do tempo, sob o ponto de vista do PM Canvas, de um projeto de modernização em uma linha de produção é o cronograma que descreve quando cada grupo de entrega deve ser concluído. A linha do tempo do projeto usada pelo projeto foi:

- Questionário para sugestões de melhorias na linha de produção (03/10/2022 até 21/10/2022): Um questionário foi criado para funcionários da empresa, com o intuito de coletar possíveis pontos de melhoria na linha de produção. Para que determinadas melhorias fossem incluídas no orçamento do projeto.
- Cronometragem + análise dos postos de trabalho (24/10/2022 até 11/11/2022): Esse período envolveu a coleta de dados, a fim de preparar a reconfiguração do layout, que inclui a criação de um novo posto para a montagem da caixa de distribuição, ou seja, a remoção dos postos 1 e 2 na linha de montagem e a criação de um posto para a montagem completa do radiador.
- Discussões finais do projeto e criação do posto da caixa de distribuição (14/11/2022 até 16/12/2022): Essa fase do projeto serviria para efetuar levantamentos finais relacionados ao projeto. Além disso, durante esse período, foram identificados alguns problemas que necessitavam de correção por parte do fornecedor. Ademais, durante essa fase, o novo posto de montagem da caixa de distribuição foi estabelecido, o que acarretou na eliminação dos postos 1 e 2 na linha de produção.
- Fornecedor acompanha linha de produção e implanta as mudanças físicas, elétricas e de software (19/12/2022 até 30/12/2023): Conforme mencionado no capítulo 3.3, o fornecedor era responsável por realizar as seguintes tarefas: Refazer a programação da cabine de teste elétrico + novo sistema de contato elétrico (Posto 10), troca de leitores de códigos de barras (Posto 4, 5, 7, 9 e 13), reprogramação nos postos de trabalho e criação do posto 14 (remover a máquina de crimpagem do radiador do posto 7 resultando na montagem do radiador fora da linha de produção).
- Rebalanceamento da linha de produção, conforme as mudanças de layout (19/12/2022 até 30/12/2023): Durante a presença do fornecedor, foi realizado o rebalanceamento dos componentes da linha de produção, ou seja, alguns componentes seriam realocados para outro posto de montagem. Essa ação tornou-se possível devido à retirada dos componentes dos postos 1 e 2, bem

como da máquina de crimpagem da linha de montagem. Como resultado, foi viável utilizar o espaço que anteriormente acomodava os componentes do antigo posto 1 e 2 para realocar determinados processos para outros postos de trabalho.

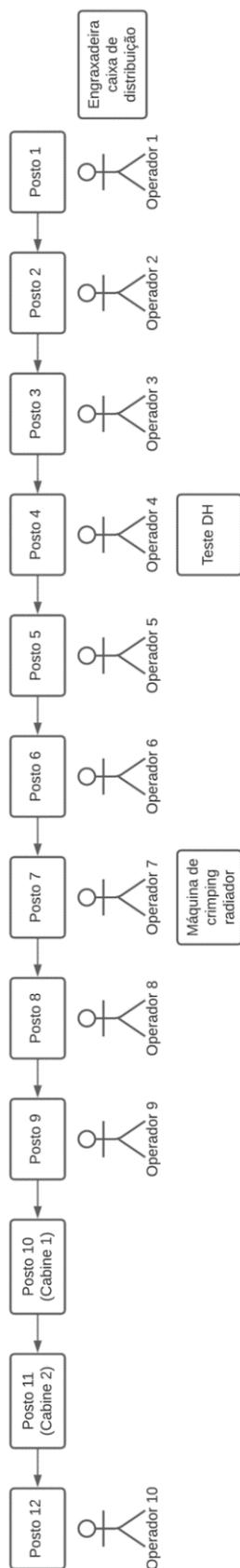
- Acompanhamento e verificação da linha de produção em relação ao volume produzido juntamente com o fornecedor (02/01/2023 até 05/01/2023): Esse intervalo de tempo foi empregado para realizar ajustes finais na linha de produção e também para verificar a viabilidade de alcançar a meta de 1200 peças por dia.

Os custos relacionados a um projeto de retrofit de uma linha de produção de sistemas de ar condicionado representam os recursos financeiros requeridos para a conclusão do projeto. Nesse caso, foi necessário contratar um fornecedor externo para efetuar as modificações físicas, elétricas e de software. Além disso, aquisições de componentes e sensores foram realizadas para a implementação do projeto. No final, os custos totalizaram aproximadamente R\$405.467,00.

4.2 Mapeamento do processo/Cenário problema

A linha de produção onde o projeto foi realizado consistia em uma produção em série estática, ou seja, os operadores não se deslocam, somente realizam o processo de montagem de seu respectivo posto. Esse processo de fabricação, abrange 12 postos de montagem. Destes, 10 postos são gerenciados por operadores, enquanto os postos 10 e 11 são cabines de teste sem processos manuais, logo, não há operadores de produção nesses locais. O layout da linha de produção pode ser observado na figura a seguir:

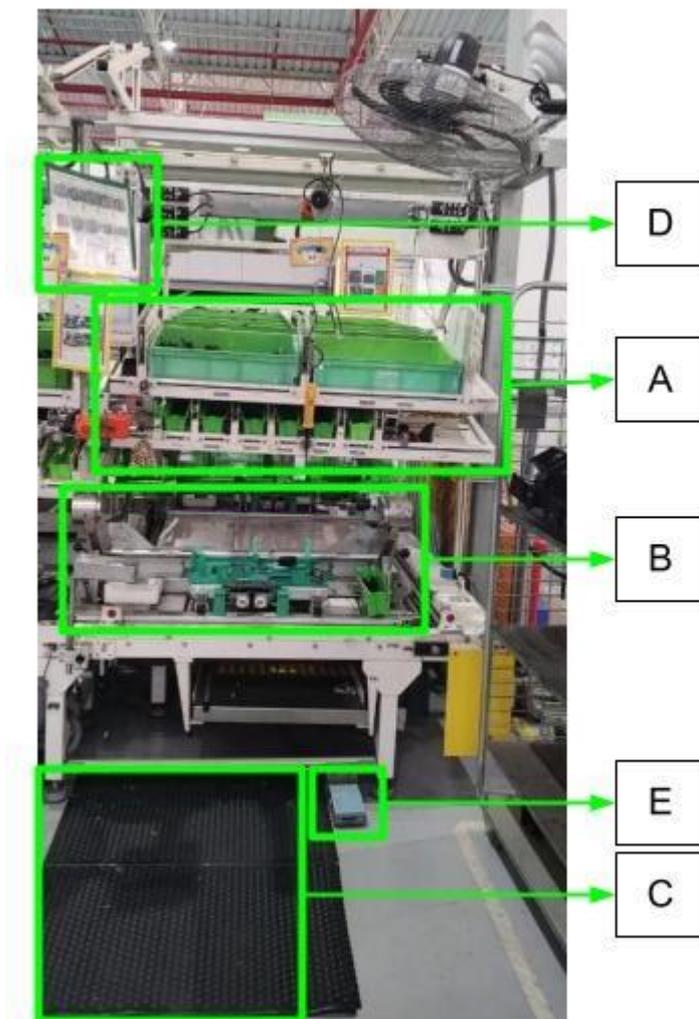
Figura 18. Fluxograma da linha de produção



Fonte: Autor

Como dito anteriormente, todos os postos de montagem dessa linha de produção são estáticos, seguindo o seguinte padrão:

Figura 19. Posto 1 da linha de montagem



Fonte: Autor

Cada posto de trabalho é operado por um operador encarregado de conduzir os procedimentos de montagem do produto. Adicionalmente, cada estação está equipada com uma rampa (A) que armazena os componentes do produto, uma bandeja (B) onde o operador realiza a montagem, um tapete ergonômico (C), uma folha de processo (D) contendo as instruções de montagem e um pedal (E) que o operador aciona para sinalizar a conclusão da montagem na estação. Após a conclusão dos processos de montagem, a bandeja é transferida para a estação

seguinte por meio de uma esteira que percorre toda a linha de montagem, localizada abaixo da bandeja.

Neste sistema de montagem, estão incorporados dispositivos à prova de erros, que impedem que o operador cometa equívocos durante o processo de montagem do produto. Estes incluem sensores visuais e sensores indutivos. Na rampa de abastecimento de peças, encontram-se sensores conhecidos na produção como sensores de pega, que indicam qual componente o operador deve pegar e montar no produto, com o intuito de minimizar equívocos durante a montagem. Adicionalmente, caso o operador não siga rigorosamente os procedimentos de montagem, a bandeja não é liberada até que todos os passos sejam seguidos, mesmo que o pedal seja pressionado.

Um fato importante a ser relatado é que nessa linha de produção, qualquer problema que ocorra em um dos postos de trabalho resulta na paralisação completa da linha de produção. Isso ocorre devido à impossibilidade de prosseguir com os processos de montagem, uma vez que uma bandeja está posicionada no próximo posto.

Ademais, a folha de processo é um documento que deve ser rigorosamente seguido pelo operador, pois é uma diretriz que descreve o processo de montagem do produto na estação de trabalho específica.

Para determinar o tempo real de produção na linha de montagem, efetuou-se a cronometragem de todos os processos em cada posto da linha, conforme explicado no capítulo 3.3, e seguindo as operações especificadas nas folhas de processo de cada posto. Desse modo, foram obtidos os seguintes resultados:

Quadro 12. Descrição/identificação dos processos do posto 1

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Transferência da bandeja		4,0
2	Pegar caixas de distribuição direita e esquerda e posicioná-las no dispositivo de engraxe, encaixando corretamente para o acionamento do sistema	T98008A T89785A	5,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
3	Pegar caixa direita e encaixar o flap ventilação e posicionar no berço da bandeja	T89857A	4,0
4	Pegar flap pés e montar na caixa de distribuição direita	T89851A	4,0
5	Pegar defletor pé direito e montar na caixa de distribuição direita seguindo seu guia de encaixe (Flaps e cordão da caixa de distribuição)	T90061A	4,0
6	Pegar baffle direito do bin da bandeja ao lado esquerdo e montar na caixa de distribuição seguindo seus guias de encaixe, cordão da caixa distribuição	T89806A	3,0
7	Pegar defletor central e montar na caixa de distribuição direita	T90040A	3,0
8	Pegar flap defrost e montar na caixa de distribuição direita	T89846A	3,0
9	Pegar caixa esquerda e encaixar o flap ventilação e posicionar no berço de montagem do posto	T89857A	4,0
10	Pegar flap pés e montar na caixa de distribuição esquerda	T89851A	4,0
11	Pegar defletor pé esquerdo e montar na caixa de distribuição direita seguindo seus guias de encaixe (Flaps e cordão da caixa de distribuição)	T90064A	5,0
12	Pegar baffle esquerdo do bin da bandeja ao lado esquerdo e montar na caixa de distribuição seguindo seus guias de encaixe, cordão da caixa distribuição	T89807A	3,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro acima apresenta os procedimentos iniciais de montagem das caixas de distribuição do HVAC. O quadro foi elaborado com base na folha de processo (FP10701) e inclui informações sobre as operações a serem realizadas, as descrições das operações, as referências e os tempos de cronometrados, conforme o capítulo 3.3.

Este quadro é subdividido em quatro colunas distintas: operação, descrição da operação, referências e tempo em segundos. A coluna de operação tem a função de identificar a ordem do processo de montagem. A coluna de descrição da operação informa uma breve explicação da etapa de montagem em questão. Enquanto isso, a coluna de referência fornece o código do item que será montado durante essa operação e o tempo representa a medição cronometrada de cada operação nesse posto. Além disso, todos os quadros de cada posto seguirão essa mesma configuração.

Após a cronometragem desse posto e uma análise puramente numérica, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 44 segundos.
- As operações mais demoradas são a operação 2 e 5, cada uma com duração de 5 segundos.

Quadro 13. Descrição/identificação dos processos do posto 2

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar flap temperatura frio 1 e pegar flap temperatura quente 2	T89865A T89863A	2,0
2	Pegar biela azul e fazer a junção dos flaps temperatura frio e quente, montar na caixa de distribuição direita	T89864A	6,0
3	Pegar eixo (pino) e o flap ventilação miko traseira. Após isso, fazer o encaixe do flap no eixo	T89992A T89862A	4,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
4	Pegar o eixo com o flap miko encaixado, pegar biela azul + flap ventilação central e fazer a junção deles após isso encaixar na caixa de distribuição	T89864A	7,0
5	Pegar caixa distribuição esquerda no berço e fazer o fechamento correto seguindo seus guias de encaixe e verificando se os flaps estão encaixados e se a trava de chicote não ficou para dentro da caixa após o fechamento, conforme ajuda visual da peça boa e ruim		11,0
6	Pegar alavanca pés e encaixar na caixa distribuição	T89993A	4,0
7	Pegar a tampa parafuso colocar na saída de ar do duto e realizar o parafusamento da caixa de distribuição (5x)	985443G	12,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro acima apresenta os procedimentos finais de montagem das caixas de distribuição do HVAC. Esse quadro foi elaborado com base nas folhas de processo (FP10702 e FP10703) e inclui informações sobre as operações a serem realizadas, as descrições das operações, as referências para as informações mais detalhadas e fotos do processo de montagem para ajuda visual.

Ao cronometrar esse posto e realizar uma análise puramente numérica, é possível extrair as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 44 segundos.

- As tarefas que demandam mais tempo são as operações 5 e 7, cada uma com duração de 11 segundos e 12 segundos, respectivamente.

Quadro 14. Descrição/identificação dos processos do posto 3

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar cinemática verificar que está na posição correta com o furo do came e encaixar na caixa de distribuição	Cinemática manual / automática	6,0
2	Pegar alavanca pés e somente encaixa a alavanca na cinemática, deixar desencaixado da alavanca da caixa distribuição	T89997A	4,0
3	Pegar duto direito e encaixar na caixa de distribuição seguindo seu encaixe correto	T89845A	3,0
4	Pegar tampa parafuso do duto e realizar o parafusamento da cinemática + duto e caixa distribuição	985443G	13,0
5	Pegar cabo da cinemática distribuição polo cor azul e encaixar na cinemática após encaixe realizar o push test do cabo verificando que está travado	T55571B	4,0
6	Virar a caixa de distribuição, pegar a cinemática temperatura e encaixar na caixa distribuição	CINEM. TEMP.	7,0
7	Pegar cabo da cinemática temperatura cor amarela e encaixar na cinemática, após encaixe realizar o push test do cabo verificando que está travado	T55627B	4,0
8	Realizar o push test da biela encaixada na alavanca temperatura		2,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro anterior descreve os procedimentos de montagem para as cinemáticas, o duto direito e o parafusamento da caixa de distribuição. Esse quadro foi desenvolvido a partir das folhas de processo (FP10704, FP10705 e FP10706) que contém informações sobre as operações a serem executadas, descrições das operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem para auxílio visual.

Ao realizar a cronometragem deste posto e conduzir uma análise puramente baseada em números, é factível deduzir as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação totaliza 41 segundos.
- A operação que exige mais tempo é a operação 13, com uma duração de 13 segundos.

Quadro 15. Descrição/identificação dos processos do posto 4

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar, retirar o line da vedação e posicionar no dispositivo de montagem	T89792A	12,0
2	Pegar evaporador ler o código de barras e posicionar sobre a vedação no dispositivo de montagem	T90990B	5,0
3	Utilizando o dispositivo da montagem do evaporador, pressionar e colar a vedação do evaporador		6,0
4	Pegar e montar vedação da válvula de expansão TXV do evaporador	T89974A	4,0
5	Pegar duto pés encaixar na caixa distribuição, colocar o tampão do duto e do radiador, e parafusar (5x) o duto e a caixa distribuição	T98690A 985443G	25,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
6	Pegar chicote elétrico do HVAC, fazer leitura do código de barras e montar na caixa de distribuição seguindo seus pontos corretos de fixação e travar a biela na alavanca da cinemática	T55821B	15,0
7	Pegar caixa de distribuição da bandeja e posicionar na máquina de teste conectar posicionar os cabos nas pinças e iniciar o teste acionando o bimanual. Obs.: Teste DH só vai liberar a caixa de distribuição após o termino do processo de montagem do posto seguinte		8,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro anterior descreve os procedimentos de montagem para o evaporador, duto pés e teste da caixa de distribuição. Esse quadro foi desenvolvido a partir das folhas de processo (FP10707 e FP10708) que contém informações sobre as operações a serem executadas, descrições das operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem para auxílio visual.

Ao cronometrar este posto e realizar uma análise estritamente quantitativa, é possível inferir as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de todas as operações totaliza 74 segundos.
- A operação mais demorada é a operação 5, com duração de 25 segundos.

Quadro 16. Descrição/identificação dos processos do posto 5

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar caixa superior cold block e posicionar sobre o berço de montagem	T98210A T89562A	5,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
2	Montar evaporador no cold block		7,0
3	Pegar e montar sensor de temperatura evaporador	T101911C	4,0
4	Puxar as 2 travas da base da bandeja para descida da mesma		3,0
5	Pegar, montar caixa inferior do cold block na parte superior checando o fechamento correto do cordão de estanqueidade e checar se o clipe na região do GMV está clipado e depois parafusar (8x)	T98210A 985443G	24,0
6	Pegar dispositivo de teste do dreno, verificando se o furo está obstruído		3,0
7	Pegar caixa de distribuição do teste DH e fazer a junção com o cold block		8,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro anterior detalha os procedimentos de montagem referentes a caixa cold block, sensor de temperatura do evaporador, teste de obstrução do dreno e montagem da caixa de distribuição na caixa cold block. Esse quadro foi elaborado com base nas informações contidas nas folhas de processo (FP10709 e FP10710), as quais incluem informações sobre as operações a serem realizadas, descrições dessas operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem, proporcionando auxílio visual.

Ao cronometrar este posto e conduzir uma análise estritamente baseada em números, é viável deduzir as seguintes conclusões:

- O somatório dos tempos de todas as operações atinge 52 segundos.
- A operação mais demorada é a operação 5, com uma duração de 24 segundos.

Quadro 17. Descrição/identificação dos processos do posto 6

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar e montar rear aberto ou fechado da caixa de distribuição conforme receita de montagem e sequenciamento do processo de montagem, após montagem do rear verificar que todos os cliques estão travados corretamente	T54624B T89790A	5,0
2	Antes de parafusar realizar check do fechamento correto da junção da distribuição com a cold block e depois realizar o parafusamento da caixa de distribuição + cold block	985443G	7,0
3	Pegar chicote versão manual fazer leitura do código de barras e fixar na caixa de distribuição	T55818B	10,0
4	Passar o chicote no caminho correto conforme ajuda visual (vídeo), conectar chicote no sensor temperatura		11,0
5	Manualmente pegar GMV realizar a leitura do código de barras, montar na cold block e parafusar, após parafusamento conectar o chicote do GMV (atenção para a forma correta de pega do conjunto GMV não manusear o conjunto pelo cabo do chicote ou ventoinha.	T44211C MANUAL	17,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro acima detalha os procedimentos de montagem relacionados ao rear, parafusamento da caixa de distribuição, caixa cold block, chicote e GMV. Este quadro foi elaborado com base nas informações presentes na folha de processo (FP10711), que contém informações sobre as operações a serem realizadas, descrições dessas operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem, fornecendo auxílio visual.

Ao cronometrar este posto e realizar uma análise estritamente quantitativa, é possível deduzir as seguintes conclusões:

- O somatório dos tempos de todas as operações atinge 49 segundos.
- A operação que demanda mais tempo é a operação 6, com uma duração de 17 segundos.

Quadro 18. Descrição/identificação dos processos do posto 7

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar e inserir heater no dispositivo de crimping	T47157B	4,0
2	Pegar tubos de entrada e de saída do heater, inserir anéis o'ring nos tubos de entrada e saída do heater utilizando o dispositivo o'ring box.	T89998A T89978A T1024587K	4,0
3	Pegar tampa do heater inserir no tubo de entrada e posicionar no dispositivo de crimping, acionar bimanual para início da operação	T90791A	7,0
4	Retirar radiador montado do dispositivo e encaixar a tampa cover, montar o radiador na caixa de distribuição		3,0
5	Pegar flange dos tubos encaixar na caixa cold block	T90574A	3,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
6	Pegar dreno encaixar corretamente na entrada da caixa cold block, encaixando até o fim travando o mesmo	T90024A	4,0
7	Pegar e montar resistência e conector o chicote	T98087A	6,0
8	Colocar tampão no duto, realizar o parafusamento da flange e do radiador na caixa de distribuição	985443G	7,0
9	Voltar o tampão no suporte		2,0
10	Girar o berço deixando o radiador na posição de teste do ATEQ e parafusar a resistência	T98087A 985443G	2,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro acima fornece detalhes acerca dos procedimentos de montagem relacionados ao radiador, compreendendo a máquina de crimpagem, dreno, resistência, parafusamento do radiador e resistência na caixa de distribuição. Essa tabela foi desenvolvida com base nas informações contidas na folha de processo (FP10713), a qual inclui dados sobre as operações a serem executadas, descrições destas operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem, proporcionando apoio visual

Ao efetuar a cronometragem deste posto e conduzir uma análise puramente quantitativa, é viável extrair as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de todas as operações totaliza 40 segundos.
- As operações que demandam mais tempo são as operações 3 e 8, ambas com uma duração de 7 segundos.

Quadro 19. Descrição/identificação dos processos do posto 8

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar e montar suporte de fixação no cold block	T1013663S	3,0
2	Pegar e montar tubos de conexão rápida nos tubos de entrada e saída do heater	T1015598V	4,0
3	Pegar, engraxar o flap entrada no dispositivo.	T89842A	4,0
4	Testar estanqueidade heater utilizando o dispositivo de teste		3,0
5	Pegar tampa do evaporador e colocar no dispositivo		2,0
6	Testar estanqueidade do evaporador utilizando o dispositivo de teste		3,0
7	Pegar caixa entrada de ar montar o flap e posiciona-la sobre o dispositivo de encaixe	T89553A	4,0
8	Pegar e montar alavanca do flap na caixa entrada de ar	T89833A	4,0
9	Pegar micromotor, ler código de barras e montar na caixa de entrada de ar	T48315B T48303B	7,0
10	Pegar, montar suporte do micromotor e parafusar	T89999A 985443G	5,0
11	Pegar tampa do evaporador no dispositivo e fixar novamente no evaporador		3,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro acima oferece informações detalhadas sobre os procedimentos de montagem relacionados ao suporte de fixação na caixa cold block, tubos de conexão rápida no radiador, lubrificação do flap de entrada de ar, teste de estanqueidade do

radiador e evaporador, alavanca do flap na caixa de entrada de ar, micromotor, suporte do micromotor e parafusamento do micromotor. Este quadro foi elaborado com base nas informações contidas na folha de processo (FP10715), que inclui dados sobre as operações a serem realizadas, descrições dessas operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem, fornecendo auxílio visual.

Ao realizar a cronometragem deste posto e conduzir uma análise puramente quantitativa, é possível extrair as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de todas as operações totaliza 40 segundos.
- A operação que demanda mais tempo é a operação 9, com uma duração de 7 segundos.

Quadro 20. Descrição/identificação dos processos do posto 9

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Realizar o push test do parafuso suporte de fixação, após check pegar e montar vedação sobre o cold block	T1023322F	3,0
2	Pegar, montar tampa da caixa de entrada de ar inferior e parafusar no cold block	T89555A 985443G	11,0
3	Pegar e montar caixa de entrada de ar superior sobre a caixa de entrada de ar inferior		8,0
4	Pegar e montar filtro de ar na caixa de entrada, checar posição correta do filtro utilizando o dispositivo	T96853A	9,0
5	Pegar e montar tampa do filtro na caixa de entrada	T89546A	3,0
6	Pegar e montar coxim no cold block	T1012865L	3,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
7	Fixar o chicote elétrico e passar o chicote pelo caminho corretamente conforme ajuda visual, conectar no micromotor da caixa de entrada de ar, realizar o push teste		9,0
8	Disparar dispositivo de subida da base da bandeja, fixar chicotes do aparelho na tomada de teste		2,0
9	Realizar teste manual push teste nos dois cabos do HVAC antes de liberar pra a cabine de teste		1,0
10	Destruar braço direito da bandeja e liberar peça para cabine		1,0
11	Colocar na posição correta o cabo de distribuição na posição peito aberto, cabo de temperatura na posição fechada, conforme ajuda visual da posição dos cabos		1,0
12	Ao conectar os chicotes na tomada passar o chicote do lado da caixa de distribuição para evitar reprova do robô		3,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro anterior apresenta informações detalhadas sobre os procedimentos de montagem relacionados à vedação da caixa cold block, tampa da caixa de entrada de ar inferior, caixa de entrada de ar superior, filtro de ar, tampa do filtro, coxim, posicionamento do chicote elétrico, cabos de distribuição e conexão dos conectores do chicote na bandeja para o teste elétrico na cabine. Este quadro foi elaborado com base nas informações contidas na folha de processo (FP10716), a qual abrange dados sobre as operações a serem executadas, descrições dessas operações, referências

para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem, fornecendo apoio visual.

Ao efetuar a cronometragem deste posto e conduzir uma análise puramente quantitativa, é possível extrair as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de todas as operações totaliza 53 segundos.
- A operação que demanda mais tempo é a operação 2, com uma duração de 11 segundos.

No posto 10, o teste de vibração e ruído é realizado de maneira automatizada, ao contrário dos demais postos de montagem, eliminando a necessidade de um operador estar presente no local. Este posto segue o seguinte conjunto de procedimentos: Primeiramente, as portas esquerda e direita se abrem para deslocar o HVAC para o próximo posto. Em seguida, são ativados cilindros para conectar a tomada da cabine ao conector da bandeja e para fixar a bandeja na posição de teste elétrico. Durante esse processo, ocorrem testes nos sensores de temperatura N e M, e câmeras são utilizadas para detectar a posição do flap, enquanto as portas são travadas. São então realizados testes de corrente e vibração nas velocidades 1, 2, 3 e 4 do HVAC. Após a conclusão desses procedimentos, as portas esquerda e direita se abrem novamente. O teste elétrico desse posto possui uma duração de 56 segundos.

Figura 20. Posto 10 (Cabine 1)



Fonte: Própria

Figura 21. Posto 10 e 11 (Cabine 1 e 2)



Fonte: Autor

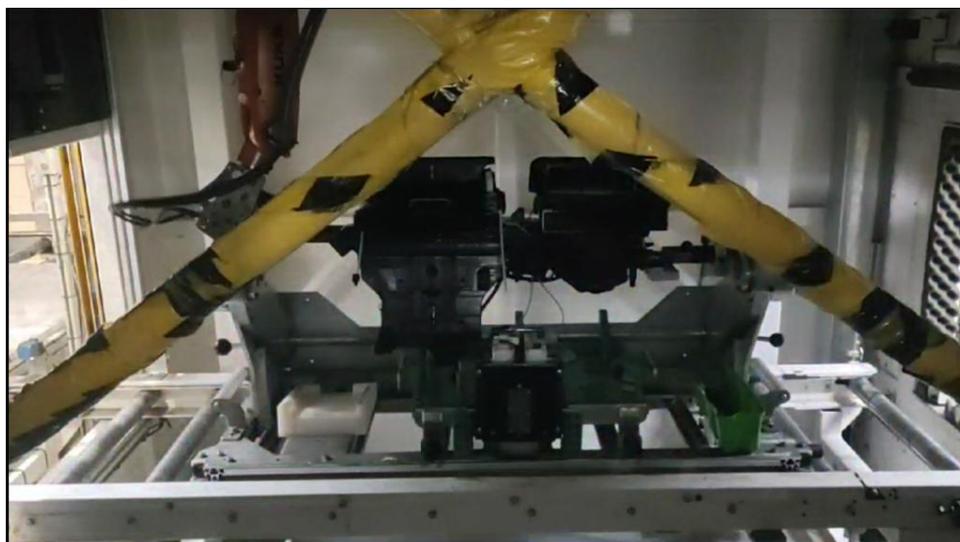
Assim como o posto 10, o posto 11 é um totalmente automatizado, não sendo necessário um operador nesse posto de montagem. Nesse posto é utilizado um robô KUKA Agilus modelo KR10 R1100. Esse robô é uma máquina de alto desempenho com as seguintes características técnicas (KUKA, 2023):

- Seu raio de alcance máximo atinge 1101 mm, permitindo uma ampla flexibilidade em tarefas de montagem e manuseio. Além disso, sua capacidade de carga máxima de 10 kg torna-o adequado para uma variedade de aplicações industriais.
- A precisão da repetibilidade da posição possui uma margem de $\pm 0,03$ mm, de acordo com o padrão ISO 9283. Isso garante resultados consistentes e de alta qualidade em operações repetitivas.
- O robô Agilus possui seis eixos que proporcionam uma alta agilidade em movimentos. Ele pode ser instalado em diferentes posições, como no piso, teto, parede ou em qualquer ângulo, tornando-o versátil para se adequar às necessidades de diferentes aplicações.

- A área de instalação do robô é compacta, com dimensões de 320 mm x 320 mm, o que o torna adequado para espaços de trabalho com espaço limitado. Apesar de sua capacidade e flexibilidade, o robô é relativamente leve, pesando cerca de 56 kg.
- Os dados dos eixos mostram a capacidade de movimentação do robô. Cada eixo tem uma faixa de movimento específica, permitindo que o Agilus se adapte a uma variedade de tarefas e ambientes de produção.
- Em termos de condições de operação, o robô KUKA Agilus é robusto e pode operar em uma ampla faixa de temperaturas, variando de 5°C a 45°C. Ele possui um grau de proteção de IP67, tanto para o corpo do robô quanto para a mão do robô, de acordo com o padrão IEC 60529. Isso significa que o robô é resistente à poeira e à entrada de água, tornando-o adequado para ambientes industriais.
- A unidade de comando do robô é uma parte fundamental de seu funcionamento, e o KUKA Agilus pode ser controlado por meio das unidades de comando KR C5 micro ou KR C4 compact, dependendo das necessidades específicas da aplicação.

Esse robô localizado na cabine 2 (Posto 11) na linha de produção, nele foi acoplado uma câmera de alta definição que possui a função de detectar falhas visuais no HVAC, conforme ilustrado na figura a seguir:

Figura 22. Robô KUKA R1100 na cabine 2 (Posto 11)



Fonte: Autor

Figura 23. Foto tirada pelo robô KUKA



Fonte: Autor

Este robô tem a responsabilidade de inspecionar diversos componentes, verificando se estão íntegros e livres de falhas. Ele avalia as travas dos dutos, a integridade da trava do tubo do chicote, o estado do guia de encaixe da caixa de distribuição, a condição das travas do chicote na caixa cold block, a integridade do guia de encaixe da caixa cold block, a condição do pino guia do veículo, a integridade das travas do veículo, o estado das travas da caixa de entrada de ar, a condição do furo da bossa, a presença do batoque do evaporador, a integridade do suporte de fixação, a ausência de vedação no HVAC, a condição do guia do veículo, a integridade dos pinos guia da caixa cold block e a condição das travas do duto defrost. A cabine 2 (posto 11) possui uma duração de 35 segundos.

Quadro 21. Descrição/identificação dos processos do posto 12

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar buflle esquerdo e direito realiza a montagem corretamente e colocar no bin de ao lado esquerdo da bandeja	T89806A T89807A	8,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
2	Retirar os chicotes do dispositivo de teste, adequar o chicote conforme roteiro de cada referência e retornar dispositivo de teste para posição inicial		8,0
3	Pegar lock-key temperatura e montar na cinemática temperatura, certificando a posição correta de encaixe do lock-key com a posição correta do cabo, girar cabo no sentido horário e confirmar com a ajuda visual, a posição correta peça boa x peça ruim (somente versão manual)	T19226B	5,0
4	Pegar lock-key distribuição, montar na cinemática distribuição e checar se não está solto. (somente versão manual)	T54863B	5,0
5	Disparar controle de câmeras da presença do lock-key pegar e colar a etiqueta de produção na peça e realizar a leitura do código.		10,0
6	Posicionar aparelho no rack de produto acabado e liberar a bandeja.		21,0

Fonte: Pesquisa documental.

O quadro acima fornece informações detalhadas sobre os procedimentos de montagem relacionados ao baffle esquerdo e direito, posicionamento do chicote e da tomada da bandeja, lock-key de temperatura e distribuição, posicionamento das etiquetas da empresa e do cliente no produto, bem como a leitura das mesmas e o posicionamento do HVAC no rack de produto acabado. Este quadro foi elaborado com base nas informações contidas na folha de processo (FP10717), que inclui dados

sobre as operações a serem executadas, descrições dessas operações, referências para informações mais detalhadas e imagens do processo de montagem, fornecendo auxílio visual.

Ao efetuar a cronometragem deste posto e conduzir uma análise puramente quantitativa, é possível deduzir as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de todas as operações totaliza 56 segundos.
- A operação que demanda mais tempo é a operação 6, com uma duração de 21 segundos.

Após apresentar todos os processos de montagem, temos os tempos cronometrados para cada estação, bem como a quantidade de componentes em cada uma delas:

Tabela 1. Tempo de montagem e quantidade de componentes de cada posto

Posto	Tempo (segundos)	Quantidade de componentes
1	46	11
2	46	7
3	43	16
4	75	8
5	54	7
6	50	7
7	42	11
8	42	11
9	54	12
10	56	N/A
11	35	N/A
12	57	5

Fonte: Pesquisa documental.

A tabela acima disponibiliza informações sobre o tempo de montagem e a quantidade de componentes para cada posto, antes de prosseguir com as análises na linha de produção. Os dados apresentados na tabela foram coletados por meio da cronometragem, conforme os procedimentos descritos no capítulo 3.3 deste trabalho, e foram devidamente registrados em uma planilha. Essa planilha abrangia todos os

processos realizados em cada posto, assim como o tempo cronometrado para cada etapa de montagem e a quantidade total de componentes de cada posto.

Nesta tabela, ocorre uma subdivisão em três colunas distintas: posto, tempo (expresso em segundos) e quantidade de componentes. A coluna "posto" indica o número atribuído a cada estação de montagem. Enquanto isso, a coluna "tempo" registra o tempo cronometrado na respectiva estação de montagem, e a coluna "quantidade de componentes" oferece o total de componentes associados a essa estação de montagem.

Após realizar uma análise dos tempos cronometrados, torna-se evidente que a maioria dos processos que consomem mais tempo está relacionada ao processo de parafusamento dos componentes.

A cronoanálise desempenhou um papel crucial na identificação de oportunidades de melhoria na linha de produção, contribuindo de maneira direta para a eficácia e eficiência dos processos. Essa metodologia, baseada na análise detalhada dos tempos de execução de cada etapa do processo produtivo, oferece uma visão aprofundada sobre como o tempo é distribuído e utilizado em cada atividade. Ao integrar essa abordagem à identificação de oportunidades de melhoria, o estudo busca otimizar cada aspecto do processo, promovendo a excelência operacional.

A análise do tempo é fundamental para entender onde ocorrem atrasos, gargalos e ineficiências ao longo da linha de produção. A cronoanálise permite desmembrar as operações em elementos menores, identificando áreas específicas que demandam ajustes. A capacidade de cronometrar cada posto da linha de produção fornece dados quantitativos precisos, revelando quais etapas consomem mais tempo e, conseqüentemente, onde se encontram as oportunidades mais significativas para melhorias (GROOVER, 2013).

A partir da cronoanálise, é possível identificar processos que podem ser simplificados, eliminar tempos e redistribuir tarefas de forma mais equitativa. Isso não apenas contribui para a redução do tempo de produção, como também promove a eficiência geral da operação. A obra "Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work" de Mikell Groover aborda a importância dessa análise detalhada na identificação de oportunidades para otimizar o desempenho do sistema de produção como um todo.

Ao compreender os dados obtidos pela cronoanálise, o estudo pode, então, direcionar propostas de melhoria de maneira mais precisa. O enfoque em cronometrar cada posto da linha, proporciona uma base sólida para a formulação de estratégias específicas, visando aprimorar a produtividade e reduzir o tempo total de produção (IMAI, 1986).

Os benefícios da cronoanálise estendem-se além da identificação de oportunidades de melhoria imediatas. Ela fornece uma base de dados históricos que pode ser utilizada para monitorar continuamente o desempenho da linha de produção, permitindo uma abordagem proativa na identificação de novas oportunidades à medida que o contexto operacional evolui.

Em suma, a cronoanálise influenciou diretamente a identificação de oportunidades de melhoria na linha de produção, fornecendo uma visão detalhada dos tempos de execução e permitindo a formulação de estratégias específicas para otimizar cada etapa do processo de produção.

4.3 Realização do diagnóstico

Na empresa, há um documento conhecido como “Green card”, em que a cronometragem é devidamente registrada e, após aprovação, esse documento é inserido na linha de produção. Após a apresentação das evidências dos tempos cronometrados, esse documento recebe as assinaturas do supervisor de métodos e processos e do engenheiro de métodos e processos responsável pela coleta de dados. Esse documento pode ser visto a seguir:

Figura 24. Green card da linha de produção

REFERÊNCIA	Nº OPERADORES	TK	OST
AC_Tras.Fechado Man.LHD (T70162B)	10	638	600
AC_Vent. Traseira Clima.LHD (T70163B)	10	638	600
AC_Vent. Traseira Man.LHD (T70168B)	10	638	600
AC_Tras Fechad.Mec.LHD_T-Cross (T69967C)	10	638	600
AC_Vent Tras.Mec.LHD_T-Cross (T69970C)	10	638	600
REFERÊNCIA PRINCIPAL	Nº OPERADORES	TK	OST
AC_Tras.Fechado Man.LHD (T70162B)	10	638	600

Fonte: Pesquisa documental

Nesse documento, cada linha representa as cinco versões de HVAC produzidas na linha de montagem, incluindo a versão mais produzida. Nas colunas, são apresentados o número de operadores da linha de montagem, o Target Kosu (TK) e o Operational Standard Time (OST).

O Operational Standard Time (OST) é calculado por meio da soma das médias aritméticas dos tempos de cada posto de trabalho, ou seja, o tempo necessário para produzir uma única peça. No caso, o valor de OST para essa linha de produção é 600 segundos, uma vez que a soma dos tempos de cada posto na tabela X é igual a 600 segundos. Em contrapartida, o Target Kosu (TK) corresponde ao tempo médio necessário para a execução de uma determinada operação ou operações realizadas por um operador. Para calcular o valor do TK, é necessário multiplicar o valor de OST por 6%. Essa porcentagem representa uma diretriz estabelecida pelo diretor industrial da empresa. A inclusão desse valor no cálculo se deve ao fato de que, para a coleta de dados, foi realizada por um único operador, logo, seria preciso usar um fator de tolerância para acomodar variações, uma vez que o tempo de cada operador é diferente. Portanto, o valor de TK para essa linha de produção é de aproximadamente 638 segundos.

Dado que a linha de produção opera em 3 turnos durante 24 horas, para calcular a quantidade de peças produzidas por dia, é necessário realizar o seguinte cálculo:

- 1) Como são 3 turnos durante 24 horas, cada turno tem 1 hora de refeição.

Portanto:

$$24 \text{ horas} - 3 \text{ horas} = 21 \text{ horas}$$

- 2) Transformando a unidade horas para segundos:

$$21 \text{ horas} \times 3600 \text{ segundos} = 75600 \text{ segundos}$$

- 3) Cálculo para produção de peças por dia:

$$x = \frac{75600 \text{ segundos}}{\text{TK}} * n \tag{1}$$

Sendo que:

- X = quantidade de peças produzidas;
- TK = Target Kosu em segundos;
- n = número de operadores.

Dessa forma, considerando que o TK na linha de produção é de 638 segundos e o número de operadores é 10, podemos afirmar que:

$$x = \frac{75600 \text{ segundos}}{638} * 10$$

$$x \cong 1185 \text{ peças por dia}$$

Assim, pode-se concluir que a linha de produção, com 10 operadores operando com 100% de eficiência, tem uma capacidade de produção diária de aproximadamente 1185 peças. Contudo, em qualquer linha de produção, é comum deparar-se com problemas de máquinas, escassez de materiais, questões de qualidade, manutenções planejadas, entraves logísticos, quedas de energia elétrica, problemas de qualidade dos fornecedores de componentes, questões de segurança, entre outros. Sendo assim, é importante compreender que uma linha de produção raramente opera com eficiência absoluta (100%).

Na empresa, há uma diretriz que estabelece que o Target Rating Points (TRP), uma métrica que determina a eficiência mínima de uma linha de produção, deve ser de pelo menos 80%. Isso significa que a linha de produção deve manter, no mínimo, 80% de sua eficiência durante a produção. Logo, para calcular o mínimo número de peças produzidas por dia, deve-se utilizar a seguinte equação:

$$y = x * TRP \tag{2}$$

Sendo que:

- y = número mínimo de peças produzidas por dia;
- x = número máximo de peças produzidas por dia;
- TRP = eficiência mínima da linha de produção, definida pela diretriz da empresa.

Portanto, o número mínimo de peças produzidas na linha de produção é de:

$$y = 1185 * 0,80$$

$$y = 948 \text{ peças por dia.}$$

Conforme mencionado no início deste trabalho, a linha de produção tem como meta a produção de 1200 peças por dia. No entanto, como observado no cálculo anterior, a linha de produção atualmente consegue produzir aproximadamente 948 peças por dia. Portanto, será necessário realizar um projeto de retrofit (atualização) nesta linha de produção com o objetivo de aumentar sua capacidade de produção.

4.4 Implementação do projeto

Visto que não seria possível atingir o valor de peças produzidas, foram propostas duas soluções:

- Proposta 1: Continuar com a linha de montagem de série estática com 10 operadores, porém, seria adicionada uma nova linha de montagem com conceito em "U" com 5 operadores. Portanto, seriam duas linhas de produção para suprir a demanda.

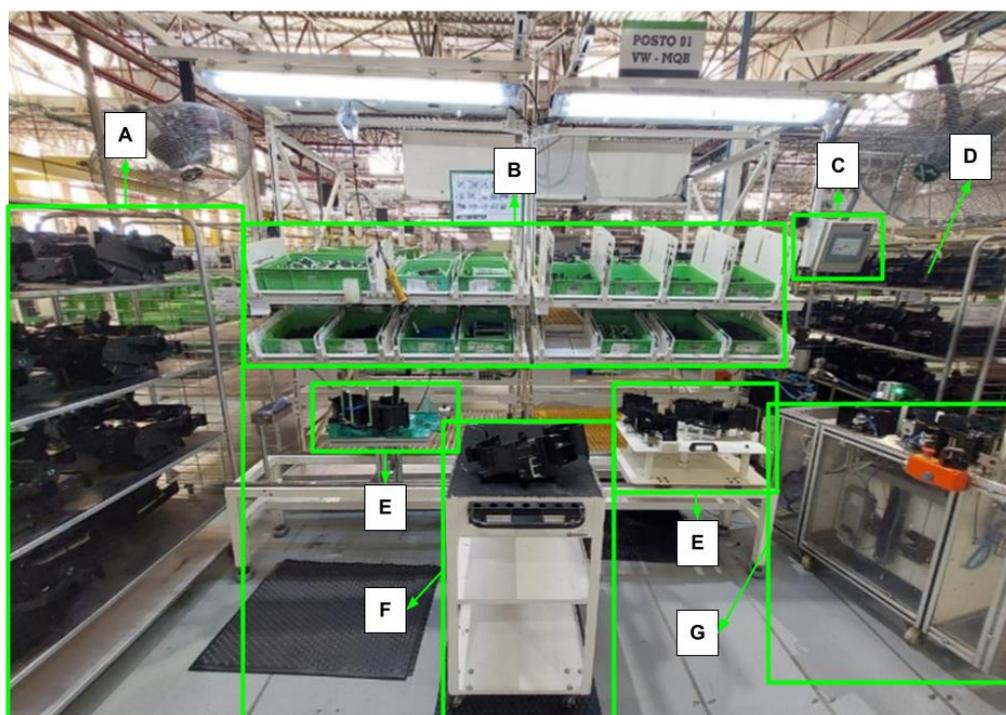
Conforme mencionado no capítulo, a nova linha de montagem proposta segue o formato de uma linha de produção em formato de "U". Nesse arranjo, o operador realiza a montagem em um carrinho específico e procede com a montagem do HVAC seguindo a ordem dos postos. Ao contrário da configuração em formato de "I", essa linha de produção é caracterizada pelo deslocamento do operador à medida que ele monta o produto, culminando na montagem completa do produto pelo próprio operador.

- Proposta 2: Prosseguir com a linha de montagem de série estática, mantendo 10 operadores, mas realizando a remoção dos postos 1 e 2, assim como, a máquina de crimpagem do radiador, da linha principal. Logo, esses postos seriam transformados em subpostos de montagem independentes, operando separadamente da linha principal. Em outras palavras, a montagem da caixa de distribuição (anteriormente realizada nos postos 1 e 2) e do radiador (Posto 7) seriam feitas fora da linha principal e, em seguida, os componentes montados seriam mandados para a linha principal.

Após diversas reuniões com a equipe encarregada do projeto, composta pelo gerente de projetos, gerente de produção, supervisão de produção, engenheiro de projetos, engenheiro de métodos e processos, engenheiro de qualidade e manutenção, foi decidido avançar com a segunda proposta.

- 1) Posto 1: Posto da caixa de distribuição:

Figura 25. Novo posto 1 da linha de produção



Fonte: Autor

Como mencionado anteriormente, os postos 1 e 2 da linha de produção foram desativados e, em seu lugar, foi criado o novo posto de montagem conforme representado na imagem acima. Esse posto unificou os processos de montagem anteriormente realizados nos postos 1 e 2. Como resultado, a montagem completa da caixa de distribuição ocorreria neste posto, seguida pelo armazenamento no Kanban e posterior encaminhamento para a linha de produção principal.

O novo de montagem incluiu os seguintes itens: um rack para colocar a caixa de distribuição montada (A), rampas para o abastecimento dos componentes (B), uma IHM (C), um rack para as caixas de distribuição (D), bandejas para montagem da caixa de distribuição (E), um suporte para transportar as peças para os processos subsequentes de montagem (F) e uma máquina para engraxar as caixas de distribuição, que anteriormente estava localizada à direita do posto 1, conforme ilustrado na Figura 18.

Para a implementação deste novo posto, não foram necessários recursos adicionais, uma vez que todos os materiais, conexões elétricas e IHM, já estavam no

almoxarifado da empresa, assim como, os serviços de instalações elétricos foram realizados pelos técnicos de manutenção da própria empresa.

Além disso, como os postos 1 e 2 foram removidos, houve uma economia de tempo de 92 segundos (tempo do posto 1 + tempo do posto 2), de acordo com a tabela 1 localizada no capítulo 4.2 desse trabalho. Ademais, haveria a oportunidade de aproveitar o espaço deixado pelos componentes dos antigos postos 1 e 2 para efetuar um rebalanceamento dos componentes da linha de produção. Como resultado da redistribuição dos componentes, os processos seriam mais curtos, o que levaria a uma redução no tempo de produção da linha.

2) Posto 14: Remoção da máquina de crimpagem do radiador.

Figura 26. Máquina de crimpagem que estava localizada no posto 7



Fonte: Autor

A máquina de crimpagem anteriormente situada no posto 7 foi retirada pelo fornecedor do projeto, conforme mencionado no capítulo 3.6, e seria considerado um posto independente assim como o posto 1 e 2 responsável pela montagem da caixa de distribuição. Após várias reuniões com a equipe, optou-se pela retirada dessa máquina do posto 7, uma vez que o operador deveria efetuar o processo de montagem do posto 7, além de realizar a montagem completa do radiador.

Além disso, o processo dessa máquina é complexo. Para realizar a crimpagem dos tubos no radiador, a máquina demanda aproximadamente 24 segundos e deve

controlar dez parâmetros ao todo (cinco parâmetros para o tubo de entrada e cinco para o tubo de saída). Isso envolve o controle dos cravamentos 1, 2, 3 e 4, que devem manter valores entre 34,2 mm e 35,8 mm, além da posição 5, que deve estar entre 21,7 mm e 23,2 mm. Esses parâmetros podem ser observados na imagem a seguir:

Figura 27. Parâmetros máquina de crimpagem do radiador



Fonte: Autor

Ademais, após concluir a cravação dos tubos de entrada e saída, a máquina emprega câmeras para verificar se as quatro partes de cada tubo foram crimpadas de forma adequada, conforme ilustrado na imagem a seguir:

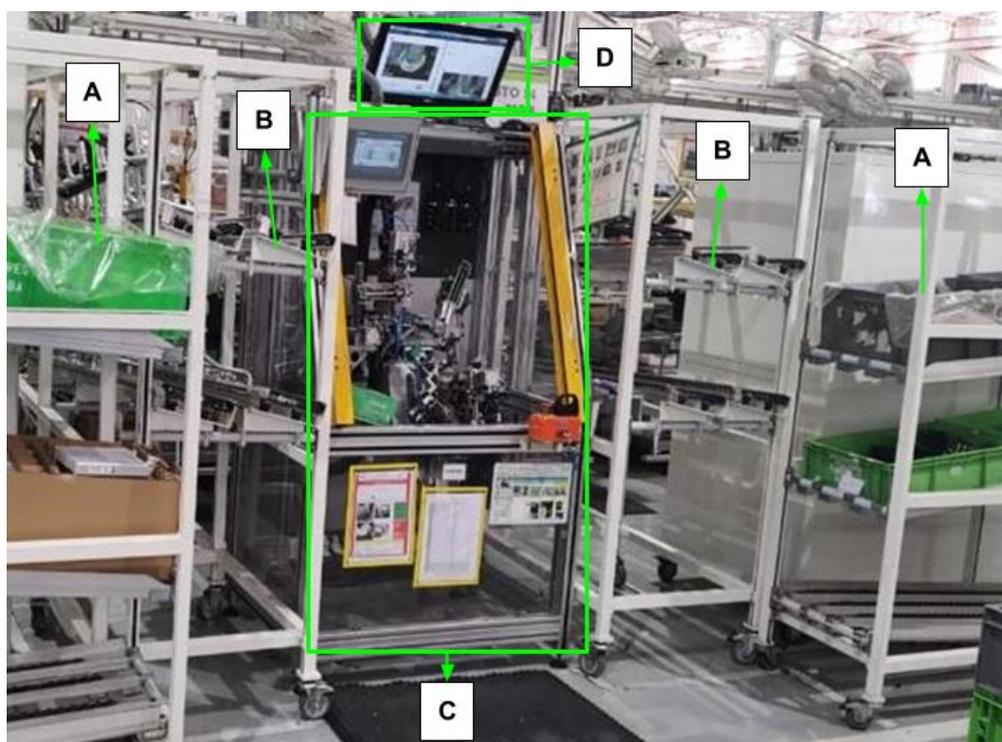
Figura 28. Imagem da câmera da máquina de crimpagem



Fonte: Autor

Após a captura das imagens, o software da câmera compara a imagem adquirida durante o processo com uma imagem de referência de uma peça boa. Após essa comparação, o software aprova a peça se for considerada boa e a reprova caso detecte qualquer desvio. Devido ao parâmetro da câmera ser muito pequeno, ocorriam frequentemente falsas reprovadas durante a produção, o que resultava em atrasos. Por conta desses motivos, decidiu-se pela retirada da máquina de crimpagem da linha de produção e criar um novo posto (posto 14) para montagem do radiador.

Figura 29. Novo posto para montagem do radiador



Fonte: Autor.

O novo layout do posto 14 é ilustrado na imagem acima, foram feitas duas rampas de abastecimento de componentes (A), duas rampas para abastecimento do radiador montado para a linha principal (B), a máquina de crimpagem do radiador (C) e a inclusão de um monitor das câmeras da máquina de crimpagem dos tubos do radiador (D). Além das alterações no software, que incluíram a remoção da máquina do posto 7, também ocorreu uma modificação física na disposição da máquina, que foi girada 180 graus em relação a linha principal. Essa mudança eliminou um gargalo significativo da linha e reduziu o tempo de produção.

Essa mudança eliminou um gargalo significativo da linha e reduziu o tempo de produção. Além disso, a montagem dos radiadores é realizada fora da linha principal, o que significa que paradas na máquina não afetam a produção principal. Ademais, houve uma melhoria adicional que incluiu a instalação de um monitor sobre a máquina. Anteriormente, os operadores não conseguiam visualizar as imagens da câmera, dificultando a identificação de peças reprovadas. Agora, os operadores podem observar o monitor e identificar qualquer peça que foi reprovada pela câmera.

A implementação das propostas de melhoria, desenvolvidas a partir da análise de cronometragem e questionários, representa uma fase importante no processo de aplicação das ferramentas Kaizen e cronoanálise na linha de produção de peças automotivas. Esta etapa prática é fundamentada em uma abordagem sistemática e orientada para resultados, visando traduzir as descobertas teóricas em melhorias tangíveis e mensuráveis no ambiente de produção.

A cronometragem detalhada de cada posto da linha de produção, conforme mencionado no capítulo 1.3 do trabalho, forneceu dados precisos sobre os tempos de execução em diferentes etapas do processo produtivo. Isso permitiu a identificação de gargalos e oportunidades de otimização. A abordagem prática da cronoanálise, é essencial para uma compreensão detalhada dos processos, sendo uma base sólida para a formulação de propostas de melhoria (GROOVER, 2013).

Os questionários aplicados, por sua vez, desempenharam um papel vital na coleta de informações qualitativas. Esses questionários podem ter abordado a perspectiva dos colaboradores em relação aos processos, identificando possíveis áreas de insatisfação ou dificuldades operacionais. A combinação desses dados qualitativos com a cronometragem quantitativa contribuiu para propostas de melhoria mais abrangentes e contextualizadas.

A implementação prática das propostas, conforme descrita na lista de tarefas do projeto, envolveu a criação de propostas com a equipe, levando em consideração o orçamento disponível. Nessa etapa, é crucial considerar as limitações financeiras e operacionais, garantindo que as soluções propostas sejam viáveis e sustentáveis a longo prazo. A integração dessas propostas à equipe de produção é fundamental para garantir a aceitação e eficácia das mudanças (IMAI, 1997).

Durante a implementação, diversos desafios foram enfrentados. Dentre eles, destaca-se a resistência à mudança por parte dos colaboradores. A resistência organizacional é uma realidade comum durante processos de mudança. A introdução de novos procedimentos ou a reorganização de tarefas pode gerar desconforto e resistência. Estratégias eficazes de comunicação e envolvimento dos colaboradores são, portanto, críticas para mitigar esses desafios (KOTTER, 1996).

Outro desafio foi a gestão de recursos, incluindo o orçamento disponível para implementar as propostas. O equilíbrio entre a busca pela eficiência e a manutenção de custos controlados é delicado, exigindo uma abordagem estratégica na implementação das melhorias propostas.

Em suma, a implementação prática das propostas de melhoria derivadas da análise de cronometragem e questionários representa uma etapa vital no ciclo de melhoria contínua. Essa implementação enfrenta desafios diversos, desde a gestão da resistência à mudança até a otimização eficiente de recursos. Ao superar esses desafios, a linha de produção de peças automotivas pode efetivamente beneficiar-se das melhorias propostas, alcançando maior eficiência, redução do tempo de produção e, em última análise, contribuindo para a excelência operacional na indústria automotiva.

4.5 Análise do questionário

A análise do Quadro 1 no Capítulo 3.4 é um passo crucial na avaliação da eficácia e satisfação dos envolvidos no processo de fabricação de HVAC, permitindo a identificação de áreas de melhoria e contribuindo para alcançar a meta de produção de 1200 peças diárias. Além disso, é de extrema importância saber a perspectiva dos operadores da linha de produção, uma vez que desempenham um papel fundamental na montagem dos produtos e têm a vivência mais profunda dos problemas que surgem na linha de produção, dada sua longa exposição de trabalho.

Das melhorias identificadas no posto 1 de trabalho, foram realizadas as seguintes análises:

- 1) Opção de posicionar o pedal de finalização de montagem para todos os postos. Atualmente o mesmo está fixo do lado direito.

Não é certo que todos os operadores estejam dispostos a aceitar a mudança, uma vez que alguns deles podem já estar familiarizados com a configuração existente e podem se opor à adaptação a uma nova disposição. Além disso, não há garantia de que a relocação do pedal resultaria em melhorias substanciais na eficiência da montagem. Consequentemente, essa proposta não foi implementada.

- 2) Altura da rampa: diminuir a altura da rampa para melhorar a ergonomia do operador.

A ergonomia desempenha um papel fundamental no bem-estar dos trabalhadores. Ajustar a altura da rampa para um nível mais adequado oferece aos operadores a oportunidade de desempenhar suas tarefas em uma posição mais natural e confortável. Isso, por sua vez, pode aumentar a satisfação no trabalho e reduzir a fadiga. Além disso, a redução da altura da rampa tem o potencial de significativamente diminuir o esforço físico exigido dos operadores durante o processo de montagem. Isso contribui para a prevenção de lesões musculoesqueléticas, tais como dores nas costas e nas pernas, que comumente resultam de posturas inadequadas.

Portanto, essa proposta foi implementada durante o processo de realocação dos componentes nos postos de trabalho, visando aprimorar a ergonomia e, consequentemente, melhorar as condições de trabalho para os operadores.

- 3) Retirar o aviso sonoro do componente e somente deixar o sensor de visão verde.

Nos postos de trabalho, estão instalados sensores de identificação nos componentes que auxiliam o operador durante o processo de montagem. Esses sensores sinalizam a sequência correta de montagem ao operador, ativando uma luz verde para indicar o momento de pegar o componente. Além disso, há também um sensor sonoro que entra em operação após 5 segundos, caso o sensor de identificação não seja acionado. Dessa forma, o sensor sonoro tem a finalidade de alertar o operador sobre a possibilidade de ter esquecido de realizar o processo de montagem de um componente no posto.

Portanto, a proposta de remover o sensor sonoro não foi adotada, uma vez que o aviso sonoro desempenha um papel fundamental na prevenção de erros de montagem. Eliminar esse alerta sonoro pode aumentar o risco de o operador cometer equívocos, esquecendo a montagem de um componente, por exemplo. A ausência desse aviso sonoro pode resultar em falhas no processo de montagem, comprometendo a qualidade do produto final. Além disso, sem o alerta sonoro, a responsabilidade por seguir corretamente a sequência de montagem recai inteiramente sobre o operador, aumentando a pressão e o potencial de erros.

No posto 2, a seguintes propostas de melhorias foram enviadas:

- 1) Parafusar a caixa de distribuição por completo, aumentar de 5 para 6 parafusos.
- 2) Na versão T70168B, acrescentar a cinemática para colocar no final do processo de montagem

Ambas as melhorias estão relacionadas ao processo de montagem do produto e podem ser implementadas. No entanto, é essencial avaliar essa proposta no contexto do novo balanceamento de componentes. Isso se deve ao fato de que dois postos de trabalho (posto 1 e posto 2) estão disponíveis após a montagem da caixa de distribuição ter sido realizada em um posto independente, ou seja, fora da linha de produção principal.

No posto 3 foram enviadas seis propostas de melhorias:

- 1) Substituição do sensor de visão responsável pela leitura do micromotor e reposicionamento dos micromotores na rampa, a fim de agrupá-los e aproximá-los da câmera para facilitar a leitura.
- 2) Trocar os sensores de visão, de Sick para Keyence.
- 3) Colocar sensor de pega na cinemática do manual.
- 4) Trocar o tampão de parafuso, pois, o atual tem risco de cair durante o processo de parafusamento.
- 5) Na versão T70168B, acrescentar o parafuso do micromotor para reduzir o tempo do posto seguinte.
- 6) Melhorar o leitor do micromotor, pois o mesmo demora muito para realizar o processo de leitura do QR Code.

As propostas 1, 2 e 6 envolvem a mesmas propostas de melhoria que envolve a troca o leitor do QR do micromotor. Como citado anteriormente no capítulo 3.6, o

fornecedor foi o responsável de trocar o leitor, de Modelo Sick-D-79183 WALDKIRCH para o leitor SR 1000 da Keyence.

O sensor de código de foco automático SR-1000 da Keyence, modelo SR-1000, é uma solução que atende às necessidades de verificação e leitura de códigos 2D e de barras em ambientes de produção. Este sensor padrão incorpora um sensor de imagem CMOS e utiliza tecnologia de autofocus para garantir resultados precisos e confiáveis (KEYENCE, 2023).

A fonte de luz consiste em LED vermelho de alta intensidade, complementado por um LED verde de alta intensidade, que serve como fonte de luz de apontamento. As especificações de leitura são abrangentes e abrangem uma variedade de símbolos, incluindo códigos 2D como QR, MicroQR, DataMatrix (ECC200), GS1 DataMatrix, PDF417, Micro PDF417, GS1 Composite (CC-A, CC-B, CC-C), bem como códigos de barras como GS1 DataBar, CODE39, CODE39 Full ASCII, ITF, NW-7 (Codabar), CODE128, 2of5 (Industrial 2of5), COOP 2of5, GS1-128, JAN/EAN/UPC, Trioptic CODE39, CODE93 e Pharmacode (KEYENCE, 2023).

O sensor possui uma resolução mínima de 0,063 mm para códigos 2D e 0,082 mm para códigos de barras, com uma distância de leitura variando de 110 a 1000 mm (4,33 a 39,37 polegadas). O campo de visão para leitura é de 122 x 97 mm (4,80 x 3,82 polegadas) a uma distância típica de 400 mm (KEYENCE, 2023).

Ademais, o sensor SR-1000 inclui entradas e saídas de controle para uma integração flexível em sistemas industriais. Ele oferece 2 entradas de controle com tensão bidirecional, com uma classificação máxima de 26,4 VCC e 15 VCC como tensão mínima de ativação. Possui 3 saídas de controle com saídas de fotorrelé MOS, uma classificação máxima de 30 VCC e uma corrente máxima de carga de 50 mA por saída ou 100 mA no total para as três saídas (KEYENCE, 2023).

O sensor SR-1000 é equipado com conectividade Ethernet compatível com IEEE 802.3, 10Base-T/100Base-TX, suportando protocolos como TCP/IP, SNMP, FTP, BOOTP, protocolo MC, PLC-Link Omron, KV STUDIO, EtherNet/IP® e PROFINET. Além disso, ele possui comunicação serial compatível com RS-232C a várias velocidades de comunicação e protocolos, bem como conectividade USB 2.0 de alta velocidade (KEYENCE, 2023).

O sensor é alimentado por uma tensão de 24 VCC com uma tolerância de $\pm 10\%$ e consome aproximadamente 700 mA de corrente. Possui uma classificação de grau

de proteção IP65, tornando-o resistente a poeira e a condições ambientais adversas, com tolerância a luz ambiente, como luz solar, lâmpadas incandescentes e lâmpadas fluorescentes (KEYENCE, 2023).

A faixa de temperatura operacional varia de 0 a +45°C, enquanto a temperatura de armazenamento situa-se entre -10 e +50°C. A umidade ambiente deve estar na faixa de 35 a 85% de umidade relativa, sem condensação, e a resistência à vibração é testada em condições de 10 a 55 Hz com uma amplitude dupla de 0,75 mm durante 3 horas em cada uma das direções X, Y e Z. Além disso, esse sensor pesa aproximadamente 200 g, tornando-o uma solução compacta e leve que atende às demandas de controle e leitura de códigos em ambientes industriais variados (KEYENCE, 2023).

Quanto às sugestões de melhoria, referentes ao reposicionamento do micromotor e à adição de um parafuso do micromotor na versão T70168B (automática), é importante notar que essas melhorias são de fácil implementação e podem ser incorporadas durante o processo de balanceamento de componentes

Por outro lado, a melhoria que envolve a troca do tampão foi implementada. A substituição do tampão de parafuso por um componente mais seguro desempenha um papel crucial na redução do risco de quedas durante o processo de parafusamento. Isso é de extrema importância para prevenir parafusos dentro do HVAC, uma vez que isso é considerado um problema grave de qualidade. Além disso, ao prevenir a queda de parafusos no produto, o processo de montagem se torna mais eficiente, uma vez que os operadores não precisam interromper o trabalho para selecionar o produto com problema, uma vez que os retrabalhos são proibidos na linha de produção.

No posto 4, houve doze sugestões de melhorias:

- 1) Troca dos leitores Sick, há uma considerável ineficiência na leitura do tempo.

Como mencionado previamente, os sensores de leitura do QR code do micromotor serão substituídos por modelos de maior qualidade.

- 2) Criar um novo tampão de parafuso que consiga tampar ao mesmo tempo 2 furos. Atualmente, existem 2 tampões para cobrir 2 furos diferentes.

De acordo com o que foi mencionado na análise do posto 3, a substituição do tampão de parafuso por um novo mais seguro desempenha uma função fundamental

na diminuição do risco de quedas durante o processo de parafusamento. No entanto, será necessário conduzir uma avaliação conjunta com o fornecedor para determinar a viabilidade dessa substituição, bem como o impacto financeiro associado à adoção do novo tampão de parafuso.

- 3) Inserir um suporte para o evaporador já montado, ou seja, dar a oportunidade de o operador montar mais evaporadores para atender o próximo posto.

Essa melhoria não pode ser implementada, devido a um passo crítico no processo de montagem do evaporador, que envolve a vedação do evaporador. Uma vez implementado esse suporte para o evaporador montado, não é viável garantir a qualidade da vedação nesse suporte. A integridade da vedação é fundamental para evitar problemas de qualidade. Além disso, durante a análise, constatou-se que não há espaço disponível no local para a instalação desse suporte.

- 4) Reajustar processo de evaporador.

Após obter informações adicionais com o responsável pela proposta dessa melhoria, ficou evidente que, o processo de montagem do evaporador se estende por um período considerável. Ao examinar os tempos registrados no Quadro 4 referentes ao posto 5, notou-se que o tempo total dedicado à montagem completa do evaporador é de 27 segundos, enquanto o processo de parafusamento nesse posto requer 25 segundos. No entanto, a análise inicial não revelou oportunidades de melhoria no processo de montagem do evaporador. Portanto, será necessário conduzir uma avaliação mais aprofundada dos componentes deste produto para identificar possíveis áreas de otimização.

- 5) Trazer a caixa de distribuição montada.

Como já detalhado no Capítulo 3.6, o projeto de retrofit engloba a montagem da caixa de distribuição em um posto distinto, que opera de forma independente em relação à linha principal.

- 6) Modificar a posição do sensor do duto para aumentar a visibilidade após a montagem do evaporador.

Essa melhoria pode ser realizada. No entanto, é crucial realizar uma análise no ambiente para verificar a possibilidade de mudança do sensor e monitorar a produção de forma contínua para garantir que essa modificação não comprometa a qualidade do produto.

- 7) Desabilitar a leitura do evaporador, uma vez que há apenas uma versão disponível.

A desativação da leitura do código do evaporador não é viável, uma vez que há uma linha de produção dedicada ao mercado de reposição que utiliza o mesmo evaporador para a montagem do HVAC. No entanto, é importante destacar que os evaporadores têm números de referências distintos, o que torna essencial a diferenciação durante o processo de montagem do HVAC.

- 8) Instalar um sensor de pega no chicote de montagem em vez de usar a leitura do QR Code.

A implementação do sensor de presença é de grande importância na linha de produção, uma vez que esse dispositivo identifica a sequência de montagem dos componentes, indicando o componente a ser montado por meio da emissão de uma luz verde. Essa instalação está programada para ocorrer durante o processo de balanceamento dos componentes da linha.

- 9) Reduzir a frequência de acionamento do dispositivo bimanual durante a montagem do evaporador, mantendo o cilindro que prende o evaporador acionado previamente para evitar desalinhamentos.

Essa melhoria pode ser incorporada com a assistência de um técnico de manutenção, a fim de coordenar a sincronização entre o dispositivo bimanual e o cilindro pneumático, visando a redução do tempo de acionamento. No entanto, é crucial monitorar a produção de forma contínua para garantir que essa modificação não comprometa a qualidade do produto.

- 10) Colocar um suporte para colocar o evaporador montado.

Conforme explicado no tópico 3, não é possível implementar esse suporte por causa do possível problema de qualidade da vedação do evaporador.

- 11) Criar um único tampão que abrange tanto a entrada do duto quanto a entrada do radiador ao ser parafusado.

A proposta é igual ao tópico 2 e requer uma análise financeira e uma avaliação de viabilidade a serem conduzidas em conjunto com o fornecedor.

- 12) Melhorar as mensagens de erro do DH e incluir um alerta sonoro que soe quando ocorrer um erro, tornando mais simples identificar o momento em que isso acontecer.

A reescrita das mensagens de erro do teste DH (Distribution house) está inclusa nos serviços do fornecedor, conforme explicado no capítulo 3.6.

No posto 5, foram apresentadas cinco sugestões de melhorias:

- 1) Sistema de parafusamento automático com alimentação automática de parafusos, dispensando a intervenção do operador para pegar os parafusos.

De acordo com a análise no Capítulo 4.2, a etapa de parafusamento dos componentes é o processo que mais consome tempo nos postos de trabalho. Portanto, a sugestão de incorporar um sistema automático para o parafusamento dos componentes não é ruim. No entanto, um estudo de viabilidade desse sistema foi conduzido, e, devido aos custos envolvidos, assim como à quantidade significativa de implementação desse sistema, concluiu-se que a introdução desse sistema não é viável.

- 2) Alterações na embalagem do GMV, passando de embalagem tipo “arara” para caixa, com ampliação do sistema de kanban automatizado.

O sistema de embalagem para caixa, foi implementada, conforme imagem abaixo:

Figura 30. Posto com a embalagem do tipo “caixa” para os GMV's



Fonte. Autor

De acordo com a figura acima, os GMV's estão sendo fornecidos por meio da rampa de abastecimento, cada caixa armazena 6 GMV's.

- 3) Aprimorar o suporte da segunda metade da caixa cold block, que atualmente está pendurada à esquerda, dificultando a sequência de montagem. Seria benéfico realocar o suporte para a direita ou até mesmo revestir a rampa com material emborrachado para posicionar a caixa à frente do operador e facilitar o processo de montagem.

A situação previamente mencionada foi uma solução temporária, uma vez que não havia espaço disponível para armazenar a outra parte da caixa cold block. Portanto, será agendada uma reunião com os operadores para debater potenciais soluções para esse problema, juntamente com uma análise dos custos envolvidos.

- 4) Acrescentar a resistência no processo, permitindo seu encaixe nesse posto, o que resultará em uma redução do tempo necessário no posto 7.

Essa proposta pode ser incrementada durante o processo de balanceamento de componentes da linha de montagem.

- 5) Adicionalmente, implementar o teste de verificação do dreno para ser realizado na injetora.

A verificação de obstrução do dreno não pode ser realizada na injetora, uma vez que, após a saída do componente da linha de produção da injetora, ele é transferido para o kanban e posteriormente abastecido na linha de produção de HVAC. Entretanto, durante esse fluxo, há a possibilidade de ocorrer obstruções no dreno, tornando-se necessária a realização do teste na linha de produção. Por consequência, essa proposta de melhoria não pode ser feita.

No posto 6, foram submetidas seis sugestões de aprimoramento:

- 1) Posicionar o GMV diretamente na rampa de abastecimento, economizando tempo para o operador.

Essa sugestão foi executada, como pode ser observado na Figura 31.

- 2) Viabilizar que o operador tenha a opção de adiantar a montagem (dentro da legalidade) ou realizar a pré-montagem no posto anterior ou posterior.

Após um diálogo com a pessoa responsável de propor essa ideia, com o intuito de buscar informações adicionais, constatou-se que ela afirmou que o processo de montagem do chicote no HVAC é demorado. Ao analisar o Quadro 7, é possível verificar que o processo de montagem do chicote requer 21 segundos, um tempo significativo. Consequentemente, será essencial avaliar esse posto durante o processo de balanceamento de componentes na linha de produção.

- 3) Substituir os leitores de códigos de barras por leitores mais rápidos. Fazer isso nos outros postos também.

Essa proposta de melhoria, como mencionado anteriormente, os sensores de leitura de código de barras do GMV serão substituídos por modelos de maior qualidade.

- 4) Remoção do pedal de liberação, de modo que a peça seja liberada automaticamente assim que o processo de montagem estiver concluído, após a desativação do último sensor.

Essa melhoria não é viável devido ao fato de que o pedal de liberação desempenha um papel fundamental na manutenção do controle do operador sobre o processo de montagem, garantindo que a peça seja liberada no momento apropriado. A remoção desse controle pode resultar em erros e avarias. Além disso, o pedal de liberação proporciona ao operador a oportunidade de realizar uma verificação final da qualidade antes de liberar a peça, e retirar essa etapa pode comprometer a qualidade do produto. Em certos casos, o operador pode precisar reter a peça por razões específicas, como selecionar a peça ou inspeções adicionais, e a exclusão do pedal de liberação pode limitar a flexibilidade do operador. Portanto, a manutenção do pedal de liberação é essencial para o processo de montagem.

- 5) Substituir a chave de reset por um botão. Frequentemente, precisamos interromper a linha e deslocar-nos até o local indicado para reiniciar o posto ou a linha de produção.

O uso da chave reset deve ser restrito e não deve ser frequente; por essa razão, disponibiliza-se apenas uma única chave, que é mantida sob a responsabilidade do membro destacado do turno. É importante observar que um dos serviços prestados pelo fornecedor é a resolução de problemas que requerem o uso dessa chave reset, conforme explicado no capítulo 3.6. Portanto, ao término do projeto, espera-se que o recurso dessa chave seja empregado apenas em situações específicas e com menor frequência.

- 6) Colocar um sensor de pega o chicote em vez de usar a leitura do QR Code, já que o leitor de QR Code apresenta uma demora considerável na leitura.

A incorporação do sensor de presença representa um aspecto crucial na linha de produção. No entanto, dada a existência da funcionalidade de leitura do QR Code, não se faz necessária a implementação do sensor de pega. A leitura do código do chicote é essencial para distinguir entre os chicotes das versões manuais (T70162B, T70163B, T69970C e T699967C) e a versão automática (T70168B). Em relação às dificuldades de leitura, é importante ressaltar que os sensores de leitura serão substituídos, conforme mencionado anteriormente.

No posto 7, foram sugeridas cinco propostas de melhoria:

- 1) Entrega do radiador montado à linha de montagem. Criar um subposto para a máquina de crimping.

A máquina de crimping será retirada do posto 7 e um posto dedicado será criado (Posto 14) para a montagem completa do radiador. Isso decorre da complexidade identificada no processo de montagem do radiador, conforme detalhado no Capítulo 3.6.

- 2) Entrega do radiador montado no posto.

Dado que a máquina de crimpagem será configurada como um posto independente, o radiador montado será fornecido à linha de montagem principal.

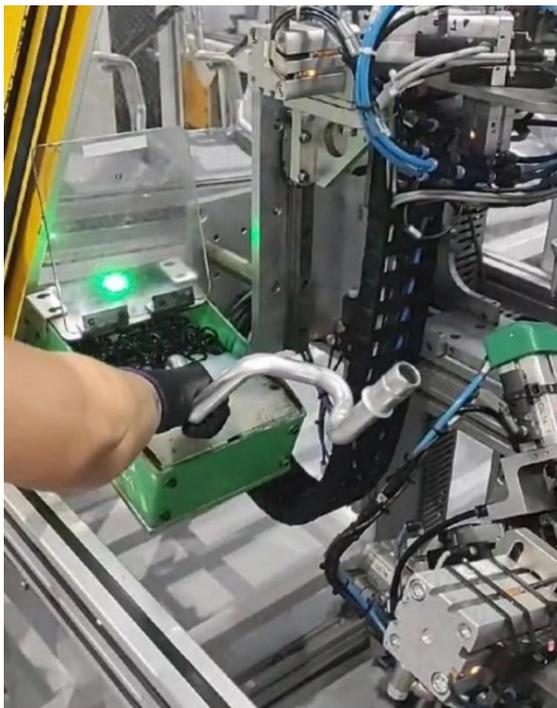
- 3) Braço pantógrafo para as parafusadeiras laterais.

O braço pantográfico é uma ferramenta para a movimentação e deslocamento precisos de cargas e equipamentos. Com sua resistência e flexibilidade, é utilizado em várias aplicações, tanto na movimentação de cargas quanto em atividades mecânicas como parafusamento e furação. Este mecanismo consiste em duas barras paralelas articuladas, operando de maneira unidirecional, proporcionando um ambiente de trabalho ergonomicamente adequado para tarefas que demandam precisão. Embora a ideia dessa melhoria seja muito boa, sob o ponto de vista ergonômico, sua implementação requer uma análise espacial do local e uma avaliação financeira detalhada.

- 4) Desvincular a sincronização entre o posto e a máquina de crimpagem. No crimping, acionar o botão de montagem do tubo somente quando o anel de vedação estiver presente, evitando montagens sem ele.

Conforme dito no tópico 1, a máquina de crimpagem vai ser retirada da linha de montagem principal. Nessa máquina, já existe um controle de presença do anel de vedação, conforme imagem abaixo:

Figura 31. Controle da presença do anel de vedação no tubo do radiador



Fonte: Autor

Os anéis de vedação são posicionados dentro da caixa, e o operador é responsável por inserir o anel de vedação no tubo do radiador. Após a conclusão da montagem do conjunto, é necessário acionar um botão por meio do conjunto (tubo e anel de vedação) que está localizado na caixa para indicar que a montagem foi realizada com sucesso. Nesse momento, a luz verde se apaga, permitindo que o processo de montagem prossiga. No entanto, se o botão não for pressionado corretamente pelo tubo, a luz verde permanece acesa, impedindo o avanço no processo de montagem.

A possibilidade de instalar um sensor de presença dentro da máquina foi considerada, porém, essa mudança não seria possível, uma vez que essa alternativa não é viável devido às limitações de espaço dentro da máquina.

- 5) Substituir o tampão do duto de forma que ele fique inserido dentro da peça, em vez de ao redor dela, evitando que se desprenda durante o processo de parafusamento.

Essa possibilidade de aprimoramento foi mencionada em postos anteriores, mas é essencial realizar uma avaliação conjunta com o fornecedor para determinar a

viabilidade dessa substituição, além de analisar o impacto financeiro associado à introdução do novo tampão de parafuso.

No posto 8, foram propostas duas melhorias:

- 1) Realocar a parte da conexão elétrica da máquina de crimpagem e do teste de DH para a calha central da linha, resultando em mais espaço para ampliar a autonomia das caixas cold block e racks do GMV, aprimorando o fluxo de entrada e saída dos racks.

Não é possível realizar a realocação da parte da conexão elétrica da máquina de crimpagem e do teste de DH para a calha central da linha, uma vez que esses equipamentos estão fixados no chão. Movê-los exigiria uma reconfiguração significativa da infraestrutura e representaria um custo substancial para a instalação de novas conexões elétricas. Embora a máquina de crimpagem seja reconfigurada de forma independente em relação à linha principal, as conexões elétricas permanecerão inalteradas. A única modificação será a rotação da máquina em 180° em seu posicionamento.

- 2) Instalar um balancim melhor para a pistola de estanqueidade, atendendo à solicitação do operador que se queixava do peso da pistola.

O balancim industrial é um dispositivo projetado para suspender e equilibrar ferramentas industriais, como parafusadeiras e dispositivos de teste de estanqueidade, reduzindo o esforço do operador e melhorando a ergonomia no ambiente de trabalho. Ele visa minimizar a fadiga do operador, prevenindo lesões e mantendo as ferramentas organizadas, promovendo maior segurança e eficiência no local de trabalho.

O balancim instalado para o dispositivo de estanqueidade está dimensionado para suportar o peso desse equipamento, entretanto, foi efetuado um ajuste no balancim com o propósito de reduzir a força necessária para puxar o dispositivo durante a realização do teste de estanqueidade, reduzindo o esforço operacional.

Para o posto 9 foram sugeridas três propostas de melhoria:

- 1) Remover sensores não utilizados no posto.

Após uma conversa com o responsável pela sugestão de melhoria, a pessoa sugeriu a remoção dos sensores de pega que não estavam sendo usados na rampa de abastecimento desse posto. Conseqüentemente, os sensores de pega não

utilizados foram retirados da linha, tornando-os disponíveis para uso em outros postos durante o processo de balanceamento de componentes.

- 2) Atualizar as mensagens exibidas na IHM da cabine para tornar a identificação de erros durante o teste mais fácil.

Essa melhoria será realizada pelo fornecedor, conforme mencionado no capítulo 3.6

- 3) Reduzir o tempo de duração do teste na cabine.

A implementação dessa melhoria será conduzida pelo fornecedor, como detalhado no capítulo 3.6.

No posto 10, foram recomendadas duas propostas de melhoria:

- 1) Reduzir a duração do teste de fim de linha (EOL) na cabine. Após a chegada da bandeja à cabine, iniciar a verificação de presença de componentes, versões, posição dos flaps, e, após o fechamento da cabine, realizar a avaliação do sistema SAVAS, ruído, vibração, entre outros.

A implementação dessa ideia será executada pelo fornecedor, como especificado no capítulo 3.6.

- 2) Minimizar a necessidade de reteste manual pelo operador do posto anterior, automatizando o processo (pelo menos uma vez).

Uma vez que o fornecedor modificará o software da cabine 1, é provável que a frequência de reteste nesse posto seja reduzida, o que, por sua vez, resultará na diminuição da necessidade de o operador realizar vários testes nesse posto.

No posto 11, houve uma sugestão de melhoria:

- 1) Realizar dois retestes automáticos na imagem capturada pelo robô antes de considerar a peça como defeituosa.

Ao observar a Tabela 1, posto 11 é o posto com menos tempo de toda a linha de produção com duração de 35 segundos. Portanto, no projeto não foi considerado mudar algo nesse posto. Além disso, como é um teste automatizado por um robô, após a primeira reprova nesse posto, é necessário verificar visualmente se a peça realmente não apresenta nenhum defeito, para depois realizar o teste novamente. Logo, essa proposta de melhoria foi considerada inválida.

Ao analisar a Tabela 1, nota-se que o posto 11 é o mais rápido de toda a linha de produção, com uma duração de 35 segundos. Devido ao fato de se tratar de um teste automatizado realizado por um robô, após a primeira reprova nesse posto, é

necessária uma verificação visual para garantir a ausência de defeitos antes de realizar o teste novamente. Logo, a proposta de melhoria não foi considerada válida para implementação.

No posto 12, houve três propostas de melhoria:

- 1) Aproximar o rack de peças do operador.

Ao concluir o processo de montagem do produto, o operador é responsável por transportar o HVAC até o rack de peças. Durante esse trajeto, devido ao peso do produto, existe o risco de lesões e a situação não é ergonomicamente favorável para a saúde do operador. Como medida de prevenção, o rack de peças foi movido para mais perto, reduzindo, assim, o risco de acidentes.

- 2) Substituir o leitor de QR Code por um de gatilho para evitar travamentos recorrentes.

Como mencionado no capítulo 3.6, o leitor de QR code será trocado para o modelo HR-100 da Keyence. Este sensor, com interface com fio, é equipado com um LED vermelho que proporciona leitura precisa de uma variedade de símbolos, incluindo códigos 2D, como QR, DataMatrix, e PDF417, e códigos de barras, como CODE39 e CODE128. Com uma resolução mínima de 0,169 mm para códigos 2D e 0,127 mm para códigos de barras, o HR-100 é capaz de ler de perto, a apenas 15 mm, até uma distância máxima de 180 mm para códigos 2D e de 25 mm a 115 mm para códigos de barras (KEYENCE, 2015).

Ademais, o sensor é resistente em temperaturas que variam de 0 a 50°C, com uma faixa de umidade relativa de 5% a 95% (sem condensação). Também é capaz de lidar com luz ambiente, incluindo a luz solar e lâmpadas fluorescentes, sem comprometer o desempenho. Sua robustez é evidente em sua capacidade de resistir a quedas de até 1,8 metros no concreto (KEYENCE, 2015).

O HR-100 é alimentado por uma faixa de tensão de 4,0 a 5,5 VDC e tem um consumo de corrente de 450 mA durante a leitura e 90 mA em repouso. Além disso, possui dimensões compactas de 161 x 86 x 71 mm e peso aproximado de 150 g. (KEYENCE, 2015).

- 3) Adicionar a opção de “iniciar” o posto quando houver interrupções na leitura de etiquetas.

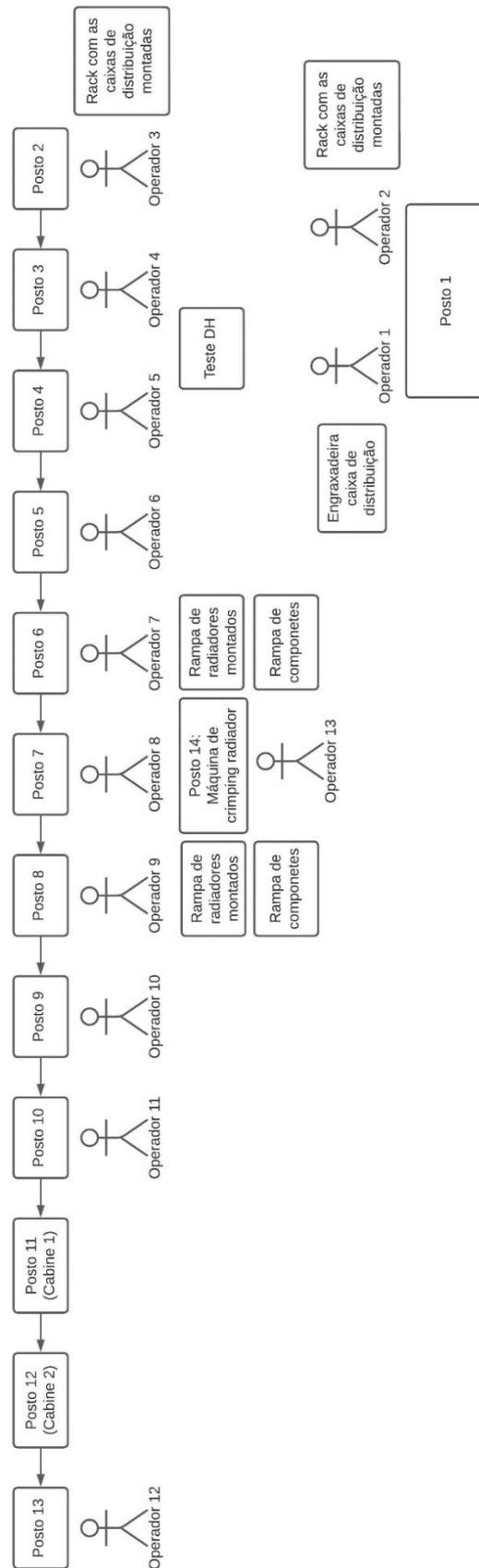
No posto 12, ocorre um reinício automático do processo de montagem após um intervalo de tempo específico, o que demanda uma interferência no sistema para

concluir a montagem. A substituição dos leitores de etiquetas por modelos de maior qualidade é esperada para minimizar ou mesmo eliminar os problemas relacionados a interrupções na leitura, não sendo necessária a adição da opção “iniciar”, conforme a sugestão de melhoria.

4.6 Novo balanceamento de componentes e resultados

Após as alterações no layout, que incluíram a remoção da caixa de distribuição nos postos 1 e 2 e a máquina de crimpagem do radiador da linha principal, bem como a análise das propostas de melhoria e reuniões com supervisores de produção e operadores da linha, foi conduzido um novo balanceamento de componentes em todos os postos da linha de produção. Além disso, uma nova cronometragem foi realizada para avaliar se as alterações permitiram atingir a meta de produção de 1200 peças. O novo layout da linha de produção ficou da seguinte maneira:

Figura 32. Novo layout da linha de produção



Fonte: Autor

Devido à remoção dos componentes dos postos 1 e 2, houve a necessidade de realizar um novo balanceamento dos componentes da linha de produção, o que levou à redefinição das folhas de processo.

Para determinar o novo tempo real de produção na linha de montagem, realizou-se a cronometragem de todos os processos em cada posto da linha principal. No entanto, é importante notar que os postos 1 (montagem da caixa de distribuição) e 14 não foram incluídos nessa cronometragem. Isso se deve ao fato de que esses dois postos são independentes, operando separadamente da linha principal, e, portanto, não impactam no tempo de produção da linha principal. A nova cronometragem seguiu os passos detalhados no capítulo 3.3, conforme as novas operações definidas nas folhas de processo de cada posto. Isso resultou nos seguintes dados:

Quadro 22. Novo processo de montagem do posto 2 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Transferência bandeja		6,0
2	Pegar caixa distribuição no rack e colocar no dispositivo, pegar a cinemática temperatura e encaixar na caixa distribuição	Cinemática temperatura	7,0
3	Pegar duto direito e encaixar na caixa de distribuição seguindo seu encaixe correto.	T89845A	3,0
4	Pegar tampa parafuso do duto e realizar o parafusamento da cinemática + duto	985443G	11,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
5	Pegar cabo da cinemática temperatura cor amarela / preto e encaixar na cinemática, após encaixe realizar o push test do cabo verificando que está travado/realizar o push test da biela encaixada na alavanca temperatura.	T55627B	4,0

Fonte: Autor.

De acordo com os dados apresentados nos quadros da primeira cronometragem, esses quadros são organizados em quatro colunas distintas: operação, descrição da operação, referências e tempo em segundos. A coluna de "operação" tem como objetivo indicar a ordem das etapas do processo de montagem. A coluna "descrição da operação" fornece uma breve explicação sobre a etapa de montagem em questão. A coluna "referências" apresenta o código do item que está sendo montado durante a operação, e o campo "tempo" representa a medição cronometrada de cada operação realizada no posto. É importante destacar que essa mesma configuração será aplicada a todos os quadros de cada posto na linha de produção.

Após a cronometragem e uma análise estritamente numérica desse posto, chegamos às seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 31 segundos.
- A operação mais demorada é a operação 4 com duração de 11 segundos.

Quadro 23. Novo processo de montagem do posto 3 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar cinemática distribuição verificar que está na posição correta com o furo do came e encaixar na caixa de distribuição	Cinemática manual	5,0
2	Pegar alavanca pés que faz a junção da cinemática com o flap pés da caixa	T89997A	4,0
3	Pegar duto esquerdo e encaixar na caixa de distribuição seguindo seu encaixe correto	T89845A	3,0
4	Pegar tampa parafuso do duto e realizar o parafusamento da cinemática + duto e caixa distribuição	985443G	11,0
5	Pegar cabo da cinemática distribuição polo cor azul / branco e encaixar na cinemática após encaixe realizar o push test do cabo verificando que está travado	T55571B	4,0
6	Pegar caixa distribuição e posicionar no dispositivo		4,0

Fonte: Autor.

O quadro acima apresenta os procedimentos da montagem da cinemática manual. Esse quadro foi elaborado com base na folha de processo (FP10705) e inclui informações sobre as operações a serem realizadas, as descrições das operações, as referências para as informações mais detalhadas e fotos do processo de montagem para ajuda visual.

Ao cronometrar esse posto e realizar uma análise puramente numérica, é possível extrair as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 31 segundos.

- A tarefa que demanda mais tempo é o processo de parafusamento da cinemática com duração de 11 segundos.

Quadro 24. Novo processo de montagem do posto 4 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar, retirar o line da vedação e posicionar no dispositivo de montagem	T89792A	11,0
2	Pegar evaporador ler o código de barras e posicionar sobre a vedação no dispositivo de montagem	T90990B	5,0
3	Utilizando o dispositivo da montagem do evaporador, precionar e colar a vedação do evaporador	-	5,0
4	Pegar e montar vedação da válvula de expansão txv do evaporador	T89974A	4,0
5	Pegar chicote elétrico do HVAC e fazer leitura do código de barras e montar na caixa de distribuição seguindo seus pontos corretos de fixação e travar a biela na alavanca da cinemática	T55821B	8,0
6	Pegar caixa de distribuição do dispositivo e posicionar na máquina de teste conectar os dois chicotes na tomada e iniciar o teste acionando o bi-manual Obs.: DH test só vai liberar a caixa de distribuição após o termino do processo de montagem do posto seguinte	DH TEST	7,0

Fonte: Autor.

O quadro anterior apresenta os procedimentos de montagem do evaporador. Esse quadro foi elaborado com base na folha de processo (FP10706) e inclui informações sobre as operações, descrições detalhadas das operações, referências para informações mais específicas e imagens ilustrativas do processo de montagem para auxílio visual.

Ao realizar a cronometragem deste posto e efetuar uma análise estritamente numérica, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- O somatório dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 40 segundos.
- A etapa que requer mais tempo é o processo de montagem da vedação do evaporador, com uma duração de 11 segundos.

Quadro 25. Novo processo de montagem do posto 5 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar caixa superior cold block e posicionar sobre o berço de montagem	T98210A T89562A	4,0
2	Montar evaporador no cold block	-	5,0
3	Pegar e montar sensor de temperatura evaporador	T101911C	3,0
4	Puxar as 2 travas da base da bandeja para descida da mesma	-	2,0
5	Pegar, montar caixa inferior da cold block na parte superior, checando o fechamento correto do cordão de estanqueidade e checar se o clipe na região do GMV está clipado e depois parafusar (8x)	T98210A 985443G	22,0
6	Pegar dispositivo de teste do dreno, verificando se o furo está obstruído	-	2,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
7	Pegar caixa de distribuição do teste DH, e fazer a junção com a caixa cold block		8,0

Fonte: Autor.

O quadro acima apresenta os procedimentos de montagem do evaporador. Esse quadro foi elaborado com base na folha de Processo (FP10707) e inclui informações sobre as operações, descrições detalhadas das etapas de montagem, referências para informações mais específicas e imagens ilustrativas do processo de montagem para auxílio visual.

Após a cronometragem deste posto e uma análise estritamente numérica, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- O somatório dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 46 segundos.
- A etapa que consome mais tempo é o processo de parafusamento, com uma duração de 22 segundos.

Quadro 26. Novo processo de montagem do posto 6 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Antes de parafusar, realizar check do fechamento correto da junção da caixa de distribuição com a caixa cold block e depois realizar o parafusamento da caixa de distribuição + cold block	985443G	31,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
2	Girar bandeja e manualmente pegar gmv realizar a leitura do código de barras, montar na caixa cold block e parafusar, após parafusamento conectar o chicote do gmv (atenção para a forma correta de pega do conjunto gmv não manusear o conjunto pelo cabo do chicote ou ventoinha).	T44211C MANUAL	17,0
3	Após a montagem do gmv e resistor realizar o parafusamento	985443G	7,0
4	Girar a bandeja na posição de montagem rear		2,0

Fonte: Autor.

O quadro acima ilustra os procedimentos de montagem do GMV. Este quadro foi criado com base na folha de processo (FP10708) e fornece informações relacionadas às operações programadas, descrições das etapas de montagem, referências para detalhes específicos e ilustrações visuais do processo de montagem para uma assistência visual.

Após a cronometragem deste posto e uma análise puramente numérica, as seguintes conclusões podem ser ressaltadas:

- A soma dos tempos de cada operação totaliza um tempo de 57 segundos.
- A etapa que requer mais tempo é o processo de parafusamento, com uma duração de 31 segundos.

Quadro 27. Novo processo de montagem do posto 7 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar e montar rear aberto ou fechado da caixa de distribuição conforme receita de montagem e sequenciamento do processo de montagem, após montagem do rear verificar que todos os cliques estão travados corretamente	T54624B T89790A	6,0
2	Pegar chicote versão manual fazer leitura do código de barras e conectar chicote no sensor temperatura	-	5,0
3	Passar o chicote no caminho correto conforme ajuda visual e fixar na caixa de distribuição	-	6,0
4	Realizar a conexão do chicote no sensor temperatura do evaporador e passar o chicote para a conexão do micromotor entrada de ar	-	4,0

Fonte: Autor.

O quadro acima ilustra os procedimentos de montagem do chicote no HVAC. Este quadro foi criado com base na folha de processo (FP10709) e fornece informações relacionadas às operações, descrições das etapas de montagem, referências para detalhes específicos e ilustrações visuais do processo de montagem.

Após a cronometragem deste posto e uma análise puramente numérica, as seguintes conclusões podem ser ressaltadas:

- A soma dos tempos de cada operação totaliza um tempo de 21 segundos.
- As operações que requerem mais tempo são as montagens do rear e do chicote no HVAC, ambos os processos têm duração de 6 segundos.

Quadro 28. Novo processo de montagem do posto 8 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Retirar radiador montado da rampa e encaixar a tampa, montar o radiador na caixa de distribuição.	-	3,0
2	Pegar flange dos tubos encaixar na caixa cold block.	T90574A	2,0
3	Pegar o dreno encaixar corretamente na entrada da caixa cold block, encaixando até o fim, realizando o travamento do mesmo.	T90024A	4,0
4	Pegar e montar resistência e conector o chicote.	T98087A	5,0
5	Colocar tampão no duto, realizar o parafusamento da flange dos tubos e do radiador na caixa de distribuição.	985443G	6,0
6	Voltar o tampão no suporte.	-	1,0
7	Girar o berço deixando o radiador na posição de teste de estanqueidade e parafusar a resistência.	T98087A 985443G	2,0
8	Pegar e montar sensor de temperatura e conector o chicote.	T1011029N	4,0

Fonte: Autor.

O quadro acima retrata os procedimentos de montagem do radiador, dreno, resistência e sensor de temperatura. Este quadro foi desenvolvido com base na folha de processo (FP10710) e inclui informações sobre as operações, descrições detalhadas das etapas de montagem, referências para detalhes específicos e ilustrações visuais do processo de montagem.

Após a cronometragem deste posto e uma análise puramente numérica, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- A soma dos tempos de cada operação resulta em um tempo total de 27 segundos.
- A operação que consome mais tempo é o processo de parafusamento do radiador, com uma duração de 6 segundos.

Quadro 29. Novo processo de montagem do posto 9 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Pegar e montar suporte de fixação na caixa cold block	T1013663S	3,0
2	Pegar e montar tubos de conexão rápida nos tubos de entrada e saída do radiador	T1015598V	4,0
3	Pegar, engraxar o flap de entrada de ar no dispositivo.	T89842A	3,0
4	Testar a estanqueidade do radiador utilizando o dispositivo de teste	-	3,0
5	Pegar tampa do evaporador e colocar no dispositivo.	-	2,0
6	Testar a estanqueidade do evaporador utilizando o dispositivo de teste.	-	2,0
7	Pegar caixa entrada de ar montar o flap e posicioná-la no dispositivo de encaixe.	T89553A	4,0
8	Pegar e montar alavanca do flap na caixa de entrada de ar.	T89833A	3,0
9	Pegar micromotor, ler o código de barras e montar na caixa de entrada de ar	T48315B T48303B	7,0
10	Pegar, montar suporte do micromotor e parafusar.	T89999A 985443G	5,0
11	Pegar tampa do evaporador no dispositivo e fixar novamente no evaporador.	-	3,0

Fonte: Autor.

O quadro acima descreve os procedimentos de montagem do micromotor, bem como os testes de estanqueidade do evaporador e radiador. Esse quadro foi criado com base na folha de processo (FP10711) e inclui informações sobre as operações, descrições detalhadas das etapas de montagem, referências para detalhes específicos e ilustrações visuais do processo de montagem.

Após a cronometragem deste posto e uma análise estritamente numérica, podemos destacar as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação totaliza um tempo de 39 segundos.
- A operação que demanda mais tempo é o processo de montagem do micromotor na caixa de entrada de ar, com uma duração de 7 segundos.

Quadro 30. Novo processo de montagem do posto 10 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Realizar o push test do parafuso no suporte de fixação, após isso, pegar e montar vedação sobre a caixa cold block	T1023322F	3,0
2	Pegar, montar tampa da caixa de entrada de ar inferior e parafusar na caixa cold block	T89555A 985443G	11,0
3	Pegar e montar caixa de entrada de ar superior na caixa de entrada de ar inferior	-	7,0
4	Pegar e montar filtro de ar na caixa de entrada, verificar posição correta do filtro utilizando o dispositivo.	T96853A	9,0
5	Pegar e montar tampa do filtro na caixa de entrada de ar.	T89546A	3,0
6	Pegar e montar coxim na caixa cold block	T1012865L	2,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
7	Fixar o chicote elétrico e posicionar o chicote corretamente conforme ajuda visual, conectar no micromotor da caixa de entrada de ar e realizar o push teste	-	9,0
8	Disparar dispositivo de subida da base da bandeja, fixar os conectores do chicote nas tomadas de teste elétrico da bandeja	-	2,0
9	Realizar teste manual (push teste) nos dois cabos do HVAC, antes de liberar a bandeja para a cabine.	-	1,0
10	Destruar braço direito da bandeja e liberar peça para cabine.	-	1,0
11	Colocar o cabo de distribuição na posição peito aberto, cabo de temperatura na posição fechado, conforme ajuda visual da posição dos cabos.	-	1,0
12	Ao conectar os chicotes na tomada, posicionar o chicote do lado da caixa de distribuição para evitar reprova do robô.	-	3,0

Fonte: Autor.

O quadro acima descreve os procedimentos de montagem da caixa de entrada de ar, do filtro de ar e os preparativos para o teste elétrico na cabine. Esse quadro foi criado com base na folha de processo (FP10712) e inclui informações sobre as operações, descrições detalhadas das etapas de montagem, referências para detalhes específicos e ilustrações visuais do processo de montagem.

Após a cronometragem deste posto e uma análise estritamente numérica, podemos destacar as seguintes conclusões:

- A soma dos tempos de cada operação totaliza um tempo de 52 segundos.
- A operação que requer mais tempo é a montagem e parafusamento da caixa de entrada de ar.

No posto 11, como previamente explicado no capítulo 3.6, o fornecedor assumiria a tarefa de reduzir o ciclo de teste elétrico, viabilizando a produção de 90 peças por hora sem a necessidade de retrabalho, tanto para as versões manuais (T70162B, T70163B, T69970C e T699967C) quanto automática (T70168B). Além disso, o fornecedor ficaria encarregado de reconfigurar o programa de teste elétrico para permitir a execução de testes simultâneos, visando a diminuição do tempo necessário para completar o ciclo de teste. Adicionalmente, o fornecedor deverá reformular o projeto das conexões elétricas entre o produto e o equipamento de teste elétrico. Após a implementação dessas modificações, o teste elétrico realizado neste posto teve sua duração reduzida para 38 segundos.

No posto 12, a cabine do robô, inicialmente identificada como o posto com a menor duração, aproximadamente 35 segundos, de acordo com os dados da Tabela 1, permaneceu inalterada. Consequentemente, o tempo de operação nessa cabine continuou sendo de 35 segundos.

Quadro 31. Novo processo de montagem do posto 12 e cronometragem

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
1	Retirar os chicotes do dispositivo de teste, posicionar o chicote conforme instrução de cada referência e retornar o dispositivo de teste para posição inicial.	-	8,0
2	Pegar lock-key temperatura e montar na cinemática temperatura, certificando a posição correta de encaixe da lock-key com o cabo. Girar o cabo no sentido horário e confirmar por meio da ajuda visual a posição correta da peça boa x peça ruim	T19226B	5,0

Operação	Descrição da operação	Referências	Tempo (segundos)
3	Pegar lock-key distribuição, montar na cinemática distribuição e verificar se não está solto.	T54863B	5,0
4	Disparar controle de câmeras da presença do lock-key. Após isso, pegar e colar a etiqueta de produção na peça e realizar a leitura do código da empresa e cliente	-	10,0
5	Posicionar aparelho no rack de produto acabado e liberar a bandeja	-	20,0

Fonte: Autor

O quadro acima descreve os procedimentos de montagem das lock-keys de temperatura e distribuição, bem como o posicionamento das etiquetas da empresa e do cliente no produto, juntamente com a leitura dessas etiquetas e o posicionamento do HVAC no rack de produto acabado. Esse quadro foi elaborado com base na folha de processo (FP10715) e contém informações detalhadas sobre as operações, descrições minuciosas das etapas de montagem, referências para detalhes específicos e ilustrações visuais do processo de montagem.

Após a cronometragem deste posto e uma análise estritamente numérica, algumas conclusões podem ser destacadas:

- O tempo total necessário para concluir todas as operações é de 48 segundos.
- A operação que demanda mais tempo é o posicionamento do aparelho no rack de produto acabado e a subsequente liberação da bandeja, com uma duração de aproximadamente 20 segundos.

Após cronometrar novamente todos os postos da linha principal e balancear a quantidade de componentes dos postos de trabalho, foi possível obter a seguinte tabela de dados:

Tabela 2. Novos tempos de montagem e quantidade de componentes de cada posto

Posto	Tempo (segundos)	Quantidade de componentes
2	31	9
3	31	11
4	40	7
5	46	7
6	57	4
7	21	5
8	27	8
9	39	11
10	52	12
11	38	N/A
12	35	N/A
13	48	5

Fonte: Autor.

A tabela apresentada acima fornece informações sobre o tempo de montagem e a quantidade de componentes atribuídos a cada posto, após a realização de um novo balanceamento dos componentes na linha de produção principal. A tabela é composta por três colunas distintas: "posto", que indica o número atribuído a cada estação de montagem; "tempo", que expressa o tempo cronometrado na respectiva estação de montagem em segundos; e "quantidade de componentes", que apresenta o total de componentes relacionados a cada estação de montagem.

Após realizar uma análise dos tempos cronometrados, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O posto com maior tempo é o posto 6 com duração de 57 segundos;
- O posto com menor tempo é o posto 7 com duração de 21 segundos;
- O posto 10 se destaca por ter o maior número de componentes e ser o segundo mais demorado em termos de tempo. Portanto, para um trabalho futuro, poderá ser realizada uma análise para avaliar a viabilidade de transferir alguns desses componentes para o posto 7, que tem um tempo de montagem menor.

Tabela 3. Comparação dos tempos de cada posto

Antes		Depois	
Posto	Tempo (segundos)	Posto	Tempo (segundos)
1	46	2	31
2	46	3	31
3	43	4	40
4	75	5	46
5	54	6	57
6	50	7	21
7	42	8	27
8	42	9	39
9	54	10	52
10	56	11	38
11	35	12	35
12	57	13	48

Fonte: Autor

Analisando a Tabela 3, podemos observar que a maioria dos postos teve uma diminuição no tempo de montagem, com exceção do posto 6, que registrou um aumento de aproximadamente 3 segundos, e do posto 12, que permaneceu inalterado. Destaca-se, em especial, a redução expressiva de 29 segundos nos tempos dos postos 4 e 6. Além disso, a remoção da máquina de crimpagem da linha de produção principal, que anteriormente ocupava o posto 7, resultou em uma diminuição de 15 segundos no tempo total de montagem.

4.7 Resultados da cronoanálise.

A fim de avaliar a eficácia do projeto de retrofit, será conduzido um novo cálculo para determinar a capacidade diária de produção após as alterações implementadas na linha de produção. Esse cálculo seguirá o mesmo procedimento descrito no capítulo 4.6. Portanto, temos o seguinte:

Os novos valores de OST e TK são 465 e 493 segundos, respectivamente. Uma vez que a linha de produção funciona continuamente em três turnos, totalizando 24

horas de operação, o cálculo da quantidade diária de peças produzidas requer a seguinte abordagem:

- 1) Como são 3 turnos durante 24 horas, cada turno tem 1 hora de refeição.

Portanto:

$$24 \text{ horas} - 3 \text{ horas} = 21 \text{ horas}$$

- 2) Transformando a unidade horas para segundos:

$$21 \text{ horas} \times 3600 \text{ segundos} = 75600 \text{ segundos}$$

- 3) Cálculo para produção de peças por dia:

Portanto, levando em consideração um tempo de ciclo (TK) na linha de produção de 493 segundos e uma equipe composta por 10 operadores, podemos concluir o seguinte:

$$x = \frac{75600 \text{ segundos}}{493} * 10$$

$$x \cong 1533 \text{ peças por dia}$$

Portanto, pode-se inferir que a capacidade de produção diária da linha de montagem, operando com 10 operadores a 100% de eficiência, é de cerca de 1.533 peças. No entanto, levando em consideração que a eficiência mínima estabelecida pela empresa para uma linha de produção é de 80%, o número mínimo de peças a serem produzidas na linha é:

$$y = 1533 * 0,80$$

$$y = 1226 \text{ peças por dia.}$$

Assim, como mencionado no início deste projeto, a meta da linha de produção é atingir a produção de 1.200 peças por dia. Conforme demonstrado no cálculo anterior, a linha tem a capacidade de produzir 1.226 peças por dia com uma eficiência de 80%. Portanto, pode-se concluir que as alterações do projeto foram eficazes em alcançar esse objetivo.

5. CONCLUSÃO

O objetivo proposto neste trabalho foi alcançado com sucesso. Por meio do projeto de retrofit em uma linha de produção de HVAC na indústria automobilística, foi possível atingir o volume de produção de 1200 peças por dia, respeitando o orçamento de 500.000 reais (payback de 1,8 anos). Esse feito demonstra a eficácia das práticas de Engenharia de Controle e Automação, que desempenharam um papel fundamental na otimização dos processos e na conquista desse objetivo.

A Engenharia de Controle e Automação desempenhou um papel crucial ao permitir que fosse implantados melhorias de eficiência em nossa linha de produção. A análise e otimização detalhadas dos postos de trabalho, incluindo a cronometragem realizada, foram decisivas para identificar oportunidades de melhoria e implementar um novo balanceamento de componentes na linha de produção.

As práticas de engenharia de controle e automação desempenharam um papel fundamental na otimização dos processos na linha de produção, proporcionando melhorias significativas na eficiência, precisão e confiabilidade. O uso de tecnologias avançadas, como sensores e IHMs, contribuiu diretamente para a automação de tarefas, monitoramento em tempo real e tomada de decisões ágeis.

No contexto da linha de produção em que o projeto foi implementado, os sensores de visão Keyence, como o SR-1000 e a série HR-100, destacam-se como exemplos cruciais. Esses sensores oferecem capacidades avançadas de detecção e leitura, permitindo a identificação precisa de objetos, posicionamento e verificação de qualidade, conforme mencionado no capítulo 4.5 do trabalho.

As IHMs (Interface Homem-Máquina) modelo KTP700 6AV21232GB030AX0 da Siemens, conforme mencionadas no capítulo 3.6, representam uma peça importante na automação e controle da linha de produção. Essas interfaces, oferecem uma plataforma intuitiva para a interação entre operadores e sistemas automatizados. Esses dispositivos fornecem informações em tempo real sobre o status da produção, permitindo aos operadores monitorar e ajustar variáveis críticas para otimizar o desempenho.

A implementação do projeto de retrofit não apenas resultou no aumento da produção diária, mas também trouxe uma série de conquistas significativas que impactaram substancialmente a eficiência e qualidade da produção. Estas conquistas

refletem a amplitude e o sucesso do projeto na transformação dos processos produtivos.

Primeiramente, a atualização de equipamentos e sistemas, característica do retrofit, contribuiu para uma melhoria geral na eficiência operacional. A atualização do sistema de testes da cabine 1, por exemplo, resultou na redução de tempos de ciclo (56 segundos para 38 segundos, conforme a Tabela 3), diminuição de paradas não programadas e otimização do fluxo de trabalho.

A flexibilidade e adaptabilidade dos processos produtivos foram aprimoradas com o retrofit, com a implementação das oito IHMs em substituição aos monitores Dell, conforme detalhado no capítulo 3.6. Isso resultou em uma maior agilidade para troca de receitas dos produtos feitas nessa linha de produção. Essa capacidade de adaptação é crucial na indústria automotiva (WOMACK, JONES, 1996).

A introdução das IHMs na linha de produção, incorporou sistemas de coleta e análise de dados em tempo real, permitindo uma visão mais profunda e abrangente dos processos de produção. Essa capacidade de monitoramento contínuo é vital para a implementação eficaz de práticas como o Kaizen (IMAI, 1986).

A inserção de tecnologias avançadas e precisas, como sensores de visão, sensores de pega, sinalizadores de luz verde e vermelha, e sensores sonoros, teve um impacto direto na qualidade do produto final. Esses avanços promovem uma inspeção mais detalhada e a identificação precoce de defeitos (GROOVER, 2013).

Para trabalho futuros, sugere-se uma contínua ênfase na melhoria contínua dos processos. Uma oportunidade de melhoria seria uma avaliação para realocar determinados componentes do posto 10, que é o segundo mais demorado, para o posto 7, que tem um total de 4 componentes e é o posto mais rápido em termos de tempo de montagem.

A proposta de realocação de componentes do posto 10 para o posto 7 representa uma estratégia direcionada à otimização dos processos na linha de produção, buscando maior eficiência e redução do tempo total de montagem. Essa abordagem, alinhada à filosofia de melhoria contínua, visa aprimorar a distribuição de tarefas e minimizar gargalos identificados no sistema produtivo.

A fundamentação para essa proposta está associada na análise dos tempos de montagem de cada posto. O posto 10, identificado como o segundo mais demorado,

representa uma oportunidade estratégica para redução de tempo e aumento da eficiência da linha de produção.

A transferência de determinados componentes do posto 10 para o posto 7 é guiada pela intenção de aproveitar a eficiência inerente ao posto mais rápido em termos de tempo de montagem. Esse tipo de reorganização, quando embasada em uma análise criteriosa dos processos, pode resultar em benefícios consideráveis. No entanto, vale ressaltar que qualquer proposta de realocação deve ser cuidadosamente avaliada para garantir que não comprometa a qualidade do produto ou aumente o risco de erros.

O planejamento para manter o desempenho otimizado ao longo do tempo é essencial para assegurar que os ganhos alcançados por meio do projeto de melhoria contínua permaneçam de maneira constante. Portanto, a empresa adota uma abordagem robusta para sustentar e aprimorar continuamente o desempenho, com ênfase na filosofia de Kaizen e na implementação de práticas que promovem a cultura da melhoria constante.

Um componente chave desse sistema é a ferramenta denominada “Kaizen Card”. Esses cartões representam uma metodologia estruturada para apresentar melhorias implementadas pelos engenheiros de métodos e processos da empresa. Os cartões documentam o cenário anterior à melhoria, detalhando o local específico e fornecendo uma descrição clara do problema identificado. Em seguida, apresentam a implementação da melhoria, destacando o cenário após as modificações. Esse processo oferece uma visão tangível e documentada das melhorias realizadas.

Além disso, os Kaizen Cards são apresentados diariamente na reunião de QRQC (Quick Response Quality Control) da área industrial da empresa. Essas reuniões, centradas na qualidade, na resposta rápida a questões operacionais e problemas de qualidade nas linhas de produção, proporcionam um fórum para compartilhar essas melhorias implementadas para todo o setor de produção.

Ademais, a empresa realiza workshops anuais, similares aos mencionados no capítulo 3.4 do trabalho, desempenham um papel crucial na manutenção da filosofia de melhoria contínua e produtividade na empresa. Esses eventos oferecem uma oportunidade para revisar e reforçar conceitos fundamentais, bem como para introduzir novas práticas e abordagens.

A prática combinada de Kaizen Cards diários e workshops anuais reflete uma abordagem integrada para o monitoramento e feedback contínuos. A análise regular das melhorias implementadas, aliada à educação e reforço periódicos da filosofia de melhoria contínua, cria uma base sólida para a sustentabilidade dos ganhos de eficiência ao longo do tempo.

A aplicação de novas tecnologias, como a Internet das Coisas (IoT) e análises avançadas de dados, oferece vastas oportunidades para aprimorar significativamente a eficiência e qualidade da produção na indústria automotiva. A integração dessas tecnologias pode impactar diversos aspectos dos processos produtivos, resultando em melhorias substanciais.

A Internet das Coisas (IoT) possibilita a conexão de dispositivos e máquinas, permitindo a coleta em tempo real de dados relevantes em toda a linha de produção. Sensores podem ser implantados em diferentes pontos, desde maquinário até produtos semi-acabados, gerando um fluxo contínuo de informações. Essa conectividade facilita a monitoração em tempo real do desempenho da produção, identificando possíveis falhas ou gargalos de modo imediato.

Além disso, algoritmos avançados e técnicas de machine learning podem ser aplicados para prever falhas em equipamentos, otimizar o fluxo de trabalho e antecipar demandas de produção. A implementação de sistemas de rastreamento em tempo real, baseados em IoT, permite o acompanhamento preciso da produção em cada etapa do processo. Essa visibilidade não apenas contribui para a identificação imediata de problemas, mas também possibilita ajustes em tempo real para otimizar a eficiência da linha de produção.

A qualidade da produção pode ser aprimorada significativamente por meio da IoT e análise de dados. Os sensores conectados podem monitorar continuamente parâmetros críticos, identificando desvios nas especificações e prevenindo a produção de peças defeituosas. A capacidade de realizar análises preditivas com base nos dados coletados permite antecipar potenciais problemas de qualidade, permitindo a intervenção antes que impactem a produção em larga escala.

Portanto, a aplicação de tecnologias, como IoT e análise avançada de dados, oferece um vasto potencial para aprimorar tanto a eficiência quanto a qualidade da produção na indústria automotiva. Essas tecnologias possibilitam uma abordagem

proativa, permitindo respostas rápidas a eventos, previsões precisas e melhorias contínuas com base em dados em tempo real.

Além das sugestões apresentadas, há diversas áreas específicas que poderiam ser exploradas em trabalhos futuros visando aprimorar ainda mais a eficiência e competitividade da linha de produção na indústria automotiva. Uma possibilidade é investir na implementação de tecnologias emergentes, como a robótica avançada e a automação inteligente, para otimizar tarefas específicas no processo produtivo. A aplicação de técnicas de inteligência artificial (IA) e aprendizado de máquina (ML) pode ser explorada para aprimorar a previsão de demanda, otimizar o planejamento da produção e a gestão de estoques.

Outro aspecto relevante seria analisar estratégias sustentáveis de produção, considerando a crescente importância da responsabilidade ambiental. A implementação de práticas de manufatura sustentável e a análise do ciclo de vida dos produtos podem não apenas reduzir o impacto ambiental, mas também resultar em eficiências operacionais.

A pesquisa em ergonomia e design de postos de trabalho também pode ser uma área de foco, buscando melhorias nas condições de trabalho para aumentar a produtividade e reduzir o risco de lesões operacionais. Estratégias que visem a integração eficaz de colaboradores humanos com sistemas automatizados, conhecida como colaboração homem-máquina, podem ser exploradas para maximizar a eficiência operacional.

Além disso, a análise da cadeia de suprimentos além dos limites da empresa, incorporando fornecedores e parceiros, pode ser uma abordagem estratégica para otimizar a eficiência global. Isso pode incluir a implementação de práticas de gestão colaborativa da cadeia de suprimentos (Supply Chain Management).

Logo, trabalhos futuros podem explorar uma variedade de áreas, como a integração de tecnologias avançadas, estratégias sustentáveis de produção, ergonomia, colaboração homem-máquina e gestão colaborativa da cadeia de suprimentos, visando aprimorar a eficiência e competitividade da linha de produção na indústria automotiva. Cada uma dessas áreas oferece oportunidades significativas para avanços e inovações que contribuirão para um ambiente de produção mais eficiente e competitivo.

Em suma, este projeto bem-sucedido de retrofit nessa linha de produção de HVAC na indústria automobilística demonstra o impacto positivo que a Engenharia de Controle e Automação pode ter na otimização de processos industriais. Ao prosseguir com uma abordagem de melhoria contínua, pode-se garantir que a linha de produção continue a se adaptar e prosperar no cenário em constante evolução da indústria automobilística.

6. REFERÊNCIAS

- IMAI, M. **Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success**. 1ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 1986.
- IMAI, M. **Kaizen: A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. 6ª ed. São Paulo: IMAM, 2012.
- VIVAN, A.; ORTIZ, F.; PALLARI, J. **Modelo para o desenvolvimento de projetos kaizen para a indústria da construção civil**. Universidade Federal de São Carlos: PPGECiv, 2015.
- WOMACH, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **A Máquina que mudou o Mundo**. 5.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.
- BRIALES, J.; FERRAZ, F. **Melhoria contínua através do kaizen**. Disponível em: https://www.ecrconsultoria.com.br/sites/default/files/2019-12/artigo_melhoria_continua_kaizen.pdf. Acesso em: 04 de set. 2023.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. 1ª ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.
- SOTSEK, N.; BONDUELLE, G. **Melhorias em uma empresa de embalagens de madeira através da utilização da cronoanálise e rearranjo de layout**. Universidade Federal do Paraná, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/328062620>. Acesso em: 02 de out. 2023.
- CRONOANÁLISE INDUSTRIAL. Disponível em: <http://www.gestaodeproducao.com.br/servicos/cronoanalise/cronoanalise-industrial>. Acesso em: 21 de out de 2016.
- Associação Nacional De Fabricantes De Veículos Automotores (ANFAVEA). Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. São Paulo, 2022.
- FERRETI, M. **Potenciais impactos do reshoring na indústria automotiva brasileira**. Fundação Getúlio Vargas: Escola de administração de empresas de São Paulo, 2023.
- HOMRICH, I. **A evolução da indústria automobilística brasileira entre 2000 e 2020: uma análise a partir do modelo estrutura, conduta e desempenho**. Universidade Federal de Santa Maria: Centro de ciências sociais e humanas, 2023.
- DINIS, C. **A Metodologia 5S e Kaizen Diário**. Politécnico de Coimbra: Escola Superior Agrária, 2016.

WARING, J. J.; BISHOP, S. **Lean Healthcare: Rhetoric, ritual and resistance**. Nottingham: Elsevier, 2010.

BRITO, L. **Melhoria de Processos Utilizando Metodologias Lean: Caso de estudo no setor avícola**. 2014. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2014.

BARDHAN, I. R.; THOUIN, M. F. **Health information technology and its impact on the quality and cost of healthcare delivery**. Richardson: Elsevier, 2012.

BURCH, M. K. **Lean longevity: Kaizen events and determinants of sustainable improvement**. Amherst: University of Massachusetts Amherst, 2008.

CHASE, R.; JACOBS, F. **Operations and supply management**. Nova York: McGraw-Hill, 2007.

WOMACH, J.; JONES, D. **Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in our Corporation**. Nova York: Simon & Schuster, 1996.

Instituto Kaizen. **Manual Kaizen Diário**. 2012.

SANTOS, J. **Melhoria dos Serviços Farmacêuticos em Unidades Hospitalares através da metodologia Kaizen Lean**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa, 2014.

IMAI, M. **Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy**. 2ed. Nova York: McGraw-Hill, 2012.

PASSOS, F. U.; ARAGÃO, I. R. **Melhorias operacionais de processos contínuos acompanhadas por ferramentas da produção enxuta: estudo de caso em uma petroquímica brasileira**. Salvador: REGE, 2013.

SHAQOUR, E. N. **The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits**. Beni Suef: Elsevier, 2021.

REKE, E.; POWELL, D.; MOGOS, M. F. **Applying the fundamentals of TPS to realize a resilient and responsive manufacturing system**. Raufoss: Elsevier, 2022.

ATTIA, E.; MAGAHED, A.; ALARJANI, A.; ELBETAR, A.; DUQUENNE, P. **Aggregate production planning considering organizational learning with case based analysis**. Al Kharj: Elsevier, 2021.

SADEGHI, S.; AKBARPOUR, A.; ABBASIANJAHROMI, H. **Provide a Lean and Agile Strategy for an Antifragile Sustainable Supply Chain in the Construction Industry (residential complex)**. Teerão: Elsevier, 2022.

GRONEBERG, H.; HORSTKOTTE, R.; PRUEMMER, M.; BERGS, T.; DOPPER, F. **Concept for the reduction of non-value-adding operations in Laser Powder Bed Fusion (L-PBF)**. Aquisgrana: Elsevier, 2022.

DILLINGER, F.; BERGERMEIER, J.; REINHART, G. **Implications of Lean 4.0 Methods on Relevant Target Dimensions: Time, Cost, Quality, Employee Involvement, and Flexibility**. Garching: Elsevier, 2022.

CARVALHO, H.; NAGHSHINEH, B.; GOVINDAN, K.; MACHADO, V. C. **The resilience of on-time delivery to capacity and material shortages: An empirical investigation in the automotive supply chain**. Caparica: Elsevier, 2022.

WACHULL, S.; BOKHORST, J. A. C.; WORTMANN, J. C.; MOLLEMAN, E. **The redesign of blue- and white-collar work triggered by digitalization: collar matters**. Groningen: Elsevier, 2022.

ZHU, V.; GIDDALURU, M. P.; ELSOURI, M.; GAO, J. **An Approach to Determining the Need for Integrating Quality Management into Industrial PLM Implementation**. Chatham Maritime: Elsevier, 2022.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARCONI, M. D. A.; Lakatos, E. M. **Técnicas de pesquisa**. 5ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SAMPIERI, R. H.; CALLADO, C. F.; LÚCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

GALVÃO, M. C. B.; PLUYE, P.; RICARTE, I. L. M. **Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação**. São Paulo: InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação 8(2): 4-24, 2017.

CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Designing and conducting mixed methods research**. Thousand Oaks: Sage, 2010.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 7ed. Porto Alegre: Bookman, 2019.

SILVA, S.; SILVA, L.; SALES, M.; FERNANDES, F.; SALES, P. **Uma ferramenta para auxiliar a utilização do project model canvas**. XI Congresso Nacional de excelência em gestão, 2015.

FINOCCHIO, J. **Project Model Canvas**. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2013.

ABDOLLAHYAN, F. Seção "Especialista Responde". Edição agosto/setembro, Curitiba: Revista Mundo Project Management, 2013.

KUKA. **KR 10 R1100 EX**. Augsburg: 2023. Folha de dados. Disponível em: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/8350ff3ca11642998dbdc81dcc2ed44c/0000384002_en.pdf?rev=5810d7befc504e7099f74ca4e83d8079&hash=77C2A3AA04E2F91679740440763F42C0. Acesso em: 02 out 2023.

GROOVER, M. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. 4ª ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

GROOVER, M. **Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work**. 1ª ed. Londres: Pearson, 2013.

IMAI, M. **Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-cost Approach to Management**. 1ª ed. Nova York: McGraw-Hill, 1997.

KOTTER, J. **Leading Change**. Boston: Harvard Business School Press, 1996.

KEYENCE BRASIL. **SR-1000**: Leitor de código com foco automático. São Paulo, 2023. Folha de dados. Disponível em: <https://www.keyence.com.br/products/barcode/barcode-readers/sr-1000/models/sr-1000/>. Acesso em: 31 de out 2023.

KEYENCE CORPORATION. **Handheld Code Reader HR-100 Series**. Itasca, 2015. Folha de dados. Disponível em: <https://www.keyence.com/products/barcode/handheld-scanners/hr-100/downloads/>. Acesso em: 02 de out 2023.