

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANA BEATRIZ DA SILVA PICAÑO

**ANÁLISE DE PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS: um estudo
de caso aplicando a metodologia A3**

**MANAUS
2025**

ANA BEATRIZ DA SILVA PICANÇO

ANÁLISE DE PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS: um estudo
de caso aplicando a metodologia A3

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nadja Polyana Felizola Cabete.

MANAUS
2025

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

P586a	<p>Picanço, Ana Beatriz da Silva</p> <p>Análise de processo em uma indústria de eletrônicos : um estudo de caso aplicando a metodologia A3 / Ana Beatriz da Silva Picanço. Manaus : [s.n], 2025. 76 f.: color.; 21.0 cm.</p> <p>TCC - Graduação em Engenharia de Produção- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025. Orientador: Nadja Polyana Felizola Cabete.</p> <p>1. Metodologia A3. 2. Ciclo PDCA - Plan, Do, Check, Act. 3. Lean manufacturing. 4. Melhoria contínua. I. Nadja Polyana Felizola Cabete (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título</p> <p>CDU(1997)658.5</p>
-------	---

ANA BEATRIZ DA SILVA PICAÑO

**ANÁLISE DE PROCESSO EM UMA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS: um estudo
de caso aplicando a metodologia A3**

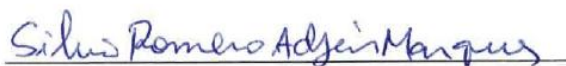
Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 11 de novembro de 2025.

Banca examinadora:



Prof.ª. Dr.ª. Nadja Polyana Felizola Cabete
Universidade do Estado do Amazonas



Prof.º. Me. Silvio Romero Adjar Marques
Universidade do Estado do Amazonas



Prof.ª. M.ª. Rejane Gomes Ferreira
Universidade do Estado do Amazonas

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à memória do meu amado pai, Rômulo. Papai, sei o quanto se orgulhava de mim e o quanto sonhava em me ver seguindo seus passos. Hoje, sua filha também se torna engenheira. Esta conquista é pra você.

AGRADECIMENTOS

A jornada até aqui foi longa e desafiadora, e seria impossível completá-la sozinha. Este trabalho só se tornou realidade graças ao apoio de pessoas incríveis.

Primeiramente, agradeço a Deus, por guiar meu caminho, iluminar minhas decisões e me dar força quando pensei em fraquejar.

À minha irmã, Gabi, minha maior incentivadora e quem me manteve firme nos momentos mais difíceis. Agradeço por cada palavra de apoio e por todas as vezes que não me deixou desistir da faculdade.

À minha mãe, Jeane. Após a partida do meu pai, sua força me sustentou e seu amor incondicional foi o pilar que me manteve de pé.

Aos meus avós Antônio e Janete, pela estrutura familiar e emocional que me ofereceram, o carinho de vocês fez toda a diferença.

Ao meu noivo Joe, que mesmo com um oceano e um fuso horário nos separando, foi meu suporte diário. Agradeço por todo o suporte emocional e por provar que o amor não conhece distância.

Aos meus amigos e parceiros de faculdade, Nicole, Marcos e Tamires. Dividimos muito mais do que aulas; dividimos angústias, risadas e noites em claro. Obrigada pela parceria e por tornarem essa caminhada mais leve.

À minha amiga e ex-chefe Karla, pela supervisão, confiança e pelos ensinamentos profissionais que tanto contribuíram para minha trajetória.

Agradeço também à Helen, pela parceria, suporte e companheirismo construídos desde o início da nossa jornada de estágio.

Agradeço imensamente às minhas professoras. À minha orientadora professora Nadja, pela condução sábia, paciência e por toda a disponibilidade na elaboração deste TCC. E à professora Rejane, um agradecimento especial por todo o suporte e atenção que me foram dados ao longo do curso.

Ao meu pai, Rômulo (*in memoriam*). Sua partida deixou saudades, mas seu legado e o orgulho que sentia de mim foram minha maior motivação.

*“Esforce-se não para ser um sucesso,
mas para ser valioso.”*

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho aborda a aplicação da metodologia A3 associada ao ciclo PDCA e aos princípios do *Lean Manufacturing* na linha de montagem manual de uma indústria de eletrônicos localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). O estudo teve como objetivo principal analisar e demonstrar os impactos da implementação de práticas de melhoria contínua sobre o desempenho produtivo, a eficiência operacional e a ergonomia do processo. Para tanto, adotou-se uma pesquisa de natureza aplicada, de caráter exploratório-descritivo, fundamentada em um estudo de caso real. O método baseou-se em observações diretas, cronoanálises e no uso de ferramentas da qualidade, como o diagrama de movimentos, o 5 Porquês e o 5W2H, para identificar desperdícios e propor contramedidas direcionadas à eliminação das causas-raiz dos problemas observados. A análise inicial revelou que a disposição inadequada dos postos e a ausência de padronização operacional resultavam em fluxos de materiais ineficientes, movimentações excessivas e elevadas taxas de *downtime*. Após a implementação das melhorias, observou-se uma redução do tempo de ciclo de 89 para 50 segundos, representando um ganho de 43,8% na produtividade, além da otimização do *layout* e da adequação ergonômica dos postos. A fase *Act* consolidou a padronização das novas práticas por meio da atualização dos documentos técnicos e do treinamento dos operadores, assegurando a durabilidade dos resultados obtidos. Os achados confirmam a eficácia da integração entre o método A3 e o pensamento enxuto como instrumentos de aprimoramento contínuo, destacando sua contribuição para a comunicação interdepartamental e para o aprendizado organizacional. Conclui-se que a aplicação estruturada dessas metodologias é plenamente viável em ambientes manuais de montagem e proporciona ganhos expressivos de desempenho sem necessidade de altos investimentos, reforçando a importância da cultura de melhoria contínua e da gestão científica de processos.

Palavras-chave: metodologia A3; ciclo PDCA; *lean manufacturing*; melhoria contínua.

ABSTRACT

This study addresses the application of the A3 methodology, associated with the PDCA cycle and Lean Manufacturing principles at the manual assembly line of an electronics industry located in the Manaus Industrial Hub (PIM). The main objective was to analyze and demonstrate the impacts of implementing continuous improvement practices on production performance, operational efficiency, and workstation ergonomics. An applied, exploratory-descriptive research was conducted through a real case study. The method was based on direct observations, time studies, and the use of quality tools such as motion diagrams, the 5 Whys, and 5W2H to identify waste and propose countermeasures aimed at eliminating the root causes of the problems observed. The initial analysis revealed that inadequate workstation layout and lack of operational standardization resulted in inefficient material flow, excessive movement, and high downtime rates. After the implementation of improvements, the cycle time was reduced from 89 to 50 seconds, representing a 43.8% increase in productivity, along with layout optimization and ergonomic adequacy of workstations. The Act phase consolidated the standardization of the new practices through the update of technical documents and operator training, ensuring the durability of the results achieved. The findings confirm the effectiveness of integrating the A3 method with lean thinking as tools for continuous improvement, emphasizing their contribution to interdepartmental communication and organizational learning. It is concluded that the structured application of these methodologies is fully feasible in manual assembly environments and provides significant performance gains without requiring substantial investments, reinforcing the importance of continuous improvement culture and scientific process management.

Keywords: A3 methodology; PDCA cycle; lean manufacturing; continuous improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Faturamento do Polo Industrial de Manaus	18
Figura 2 – Modelo de Relatório A3	38
Figura 3 – Diagrama de representação do processo de preparação do <i>Top Cover</i> e sua sequência	42
Figura 4 – <i>Top Cover</i> com cabo <i>flex</i> após montagem	43
Figura 5 – Prensa pneumática responsável pela fixação do cabo <i>flex</i> no <i>Top Cover</i>	43
Figura 6 – <i>Top Cover</i> após prensagem e inserção dos <i>foams</i>	44
Figura 7 – <i>Downtimes</i> registrados para a linha STB	45
Figura 8 – Diagrama de Movimentações (Linha STB)	47
Figura 9 – <i>Layout</i> atual da linha (Posto de montagem do cabo <i>flex</i>)	48
Figura 10 – <i>Layout</i> atual da linha (Posto de prensa do <i>Top Cover</i>)	49
Figura 11 – <i>Layout</i> atual da linha (Posto de montagem dos <i>Foams</i>)	50
Figura 12 – Estudo de Tempos em gráfico de barras	51
Figura 13 – Ferramenta 5 porquês aplicada ao problema	52
Figura 14 – Linha de produção após modificação da posição dos equipamentos	56
Figura 15 – Cabeçalho da ECR extraído do SAP	56
Figura 16 – Descrição da Modificação via ECR no SAP	57
Figura 17 – Aba de Análise de Impacto e Documentação extraída do SAP	57
Figura 18 – Embalagem a ser reaproveitada na otimização	58
Figura 19 – Teste com a bandeja para ajuste de tamanho	58
Figura 20 – Gráfico de barras Comparativo de Cronoanálise após a melhoria	61
Figura 21 - Comparativo dos tempos de ciclo	62
Figura 22 – Comparação Diagramas de Movimentações	63
Figura 23 – Teste de prensagem do cabo <i>flex</i> no <i>Top Cover</i> com <i>foams</i> já montados	64
Figura 24 – Pistões da prensa pneumática e seus respectivos pinos-guia no <i>Top Cover</i>	65
Figura 25 – <i>Top Cover</i> em processo de prensagem (Visão interna da prensa)	65
Figura 26 – <i>Top Cover</i> com cabo <i>flex</i> prensado e <i>foams</i> já montados	66

Figura 27 – Bancada de Montagem do Kit Flex após modificações	67
Figura 28 – Representação da fase <i>Act</i> no relatório A3 do projeto	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Variação da Produção Física do ano de 2024	17
Quadro 2 – Relatório A3 relacionado à ferramenta PDCA	39
Quadro 3 – Registro de <i>Downtime</i> extraído do sistema <i>Intranet</i>	41
Quadro 4 – Ferramenta 5W2H aplicada na etapa de Execução do modelo A3	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO, PROBLEMA E JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	12
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo geral	14
1.2.2	Objetivos específicos	14
1.3	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	CENÁRIO DA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS	16
2.1.1	Mercado de eletrônicos no Brasil e no PIM	17
2.2.	SISTEMA DE PRODUÇÃO EM MASSA	19
2.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO E <i>LAYOUT</i>	20
2.3.1	Tipos de <i>Layout</i>	21
2.3.2	Importância do <i>layout</i> para as operações	22
2.4	BALANCEAMENTO DE LINHA	23
2.5	ESTUDO DE TEMPOS	24
2.5.1	Cronoanálise	25
2.5.2	Tempo de Ciclo (TC)	26
2.5.3	<i>Downtime</i>	27
2.6	FERRAMENTAS DA QUALIDADE	28
2.6.1	5 Porquês	29
2.6.2	5W2H	29
2.6.3	Método 5S	30
2.6.3.1	<i>Seiri</i>	31
2.6.3.2	<i>Seiton</i>	31
2.6.3.3	<i>Seiso</i>	32
2.6.3.4	<i>Seiketsu</i>	32

2.6.3.5	<i>Shitsuke</i>	33
2.7	SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA E SEUS PRINCÍPIOS	33
2.7.1	Manufatura Enxuta	34
2.8	O MÉTODO A3.....	36
2.8.1	Ciclo PDCA	38
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	40
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	40
3.2	ESCOLHA DA ÁREA E DO ALVO DE PESQUISA	40
3.3	DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO ESTUDADO	42
3.4	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA IDENTIFICADO	44
3.5	APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS	50
3.5.1	Utilização do Modelo A3	50
3.5.2	Análise dos dados e Implementação das Mudanças	55
4	RESULTADOS E ANÁLISE	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO, JUSTIFICATIVA E PROBLEMA DE PESQUISA

Em qualquer indústria, a busca por maior eficiência operacional é uma constante, especialmente em empresas voltadas à produção de bens eletrônicos. A capacidade de atender às metas de produção estabelecidas depende diretamente da eficiência dos processos e da estabilidade operacional das linhas de montagem. Em especial, os postos de atividade manual apresentam maior vulnerabilidade a variações de desempenho, uma vez que dependem fortemente da habilidade, ritmo e condições de trabalho da mão de obra envolvida. Essa característica torna o alcance de metas produtivas um desafio frequente, sobretudo quando ocorrem descompassos no fornecimento de materiais ou na padronização das operações, fatores que tendem a intensificar a ocorrência de gargalos e interrupções.

Nesse cenário, interrupções na linha de produção representam não apenas atrasos nas entregas, mas também aumento de custos e redução do desempenho global do sistema produtivo. Muitas dessas dificuldades estão relacionadas à falta de integração entre atividades, falhas no fluxo de materiais e limitações na gestão dos recursos humanos. A literatura evidencia que a adoção de metodologias voltadas à melhoria contínua, como o *Lean Manufacturing*, constitui um instrumento eficaz para mitigar tais problemas.

O *Lean Manufacturing*, ou apenas *Lean*, é uma filosofia originada no Sistema Toyota de Produção e voltada à melhoria contínua. Seu objetivo central é eliminar desperdícios, reduzir variabilidades e criar fluxos de valor estáveis e previsíveis, assegurando maior eficiência e qualidade nos processos produtivos. Segundo Womack e Jones (2004), a filosofia Lean busca promover fluxos de valor mais estáveis, reduzir desperdícios e assegurar maior previsibilidade dos processos produtivos, por meio da simplificação de atividades que não agregam valor e da utilização racional de recursos.

No Polo Industrial de Manaus (PIM), onde a produção de eletroeletrônicos assume papel central na economia regional, a aplicação desses princípios tem se revelado particularmente relevante, visto que o dinamismo do setor exige elevado grau de confiabilidade na operação das linhas. Desta forma, a compreensão dos fatores que limitam o desempenho de postos manuais e comprometem a fluidez dos

processos produtivos caracteriza não apenas uma oportunidade de aprimoramento técnico, mas também um passo fundamental para garantir as entregas e a qualidade dos produtos das organizações inseridas nesse contexto.

Diante desse panorama, surge a necessidade de investigar os elementos que comprometem a produtividade em postos de montagem manual, considerando seu impacto direto no alcance das metas de produção. A análise das causas associadas às interrupções recorrentes na linha possibilita identificar gargalos e propor ações de melhoria sustentáveis. Este estudo tem como propósito examinar os fatores presentes no processo de montagem que contribuíram para as paradas frequentes, e de que modo a aplicação de práticas de melhoria contínua impactaram a produção, possibilitando sua replicação em outras áreas da empresa.

A necessidade de aprimoramento contínuo e as constantes transformações no ambiente empresarial exigem que as organizações busquem formas eficazes de melhorar seus processos e utilizar de maneira mais eficiente seus recursos. Nesse contexto, a metodologia Lean se destaca como uma abordagem estruturada para a melhoria contínua, promovendo a eliminação de desperdícios e o aumento da eficiência em diferentes setores. O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um importante centro de produção de eletrônicos e outros bens de consumo, no qual a implementação de práticas Lean pode gerar benefícios significativos para as empresas locais. A otimização dos processos produtivos, a redução de custos e a elevação da qualidade são fatores essenciais para garantir operações mais eficientes e sustentáveis. Além disso, a metodologia *Lean Manufacturing* tem se mostrado eficaz em apoiar organizações na estruturação dos fluxos de trabalho, no uso racional de recursos e na simplificação de etapas que não agregam valor.

No Polo Industrial de Manaus, onde a produção de eletrônicos é uma atividade central, a aplicação do *Lean Manufacturing* representa uma oportunidade de potencializar os ganhos operacionais e produtivos. A presente pesquisa busca analisar a aplicação da metodologia Lean em uma organização do PIM, identificando desafios e oportunidades na implementação. O objetivo é compreender como as ferramentas e princípios *Lean* podem ser adaptados à realidade da empresa e às suas operações, considerando suas particularidades e demandas específicas. A pesquisa também permitirá avaliar os benefícios, resultados e dificuldades associadas à adoção do *Lean* em um posto de montagem manual dentro de uma empresa de equipamentos

eletrônicos, e de que forma tais mudanças impactarão na produtividade, nos custos e na organização dos processos.

Acredita-se que este estudo contribuirá para o avanço do conhecimento sobre a aplicação do Lean no contexto do PIM, fornecendo *insights* valiosos para a empresa e para a comunidade acadêmica. Além disso, a pesquisa poderá auxiliar a gestão a identificar oportunidades de melhoria e a implementar práticas Lean de forma eficaz em outras operações e setores. O tema escolhido possui relevância para o desenvolvimento do setor industrial do Amazonas, bem como pela oportunidade de contribuir para a melhoria da gestão e da eficiência das empresas locais. Sendo assim, a pesquisa se alinha com os objetivos do curso de Engenharia de Produção, que busca formar profissionais capacitados a aplicar conhecimentos e ferramentas para otimizar processos e promover avanços significativos nas organizações.

Entretanto, ao considerar os desafios da realidade prática, verifica-se que em uma linha de montagem manual, a quantidade de movimentação e mão de obra qualificada são elementos decisivos para manter a produção dentro do ritmo ideal para as entregas necessárias. A linha de produção analisada neste estudo enfrenta frequentes interrupções, chamadas de *downtime*, devido à falta de material, especificamente o item *Top Cover*. O posto dessa atividade não consegue atingir o ritmo necessário para alimentar a linha, criando um gargalo na produção e impactando negativamente a produtividade geral. À vista disto, formula-se o seguinte problema de pesquisa: Quais são os impactos (quantitativos e qualitativos) da aplicação de melhorias baseadas no *Lean Manufacturing* para a redução de paradas na montagem do *Top Cover*?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar e demonstrar os impactos da aplicação de melhorias utilizando ferramentas Lean em uma linha de montagem manual.

1.2.2 Objetivos específicos

- Mapear o cenário atual e compará-lo ao antigo *layout* do processo de montagem do *Top Cover*, apontando as modificações.
- Identificar se as paradas de linha frequentes e dificuldades do operador em atingir o ritmo de produção foram reduzidas ou eliminadas.
- Avaliar quantitativamente e qualitativamente os dados de produtividade e tempo de ciclo, antes e depois das melhorias, para validar os ganhos obtidos.
- Documentar a implementação das melhorias e os resultados obtidos, visando a disseminação do conhecimento e a possível replicação em outros postos de trabalho.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco seções, que conduzem o leitor desde a contextualização do problema até as conclusões do estudo.

A primeira seção introduz o tema, apresentando o problema de pesquisa, a justificativa e os objetivos do estudo. Nela, é contextualizada a situação da linha de montagem manual que enfrenta interrupções frequentes devido a um gargalo na produção, impactando negativamente a produtividade.

A segunda seção é dedicada à fundamentação teórica. Serão abordados conceitos-chave como Lean Manufacturing, melhoria contínua, gargalos de produção, análise de fluxo de trabalho e eficiência operacional. Esta seção também discute o papel dessas metodologias no contexto da indústria eletrônica do Polo Industrial de Manaus (PIM).

A terceira seção descreve a metodologia da pesquisa. Serão detalhados o tipo de pesquisa, o método de coleta e análise de dados, além da caracterização da empresa e do posto de trabalho que será analisado. A abordagem metodológica garantirá a precisão e a validade dos resultados.

Na quarta seção, são apresentados e analisados os resultados da pesquisa. Serão identificados os fatores que contribuem para as frequentes paradas na linha de produção. A análise focará no posto de montagem do *Top Cover*, buscando entender a causa-raiz do gargalo e como ele afeta a produtividade geral.

A quinta e última seção apresentará as conclusões do estudo. Serão retomados os objetivos do trabalho à luz dos resultados obtidos, oferecendo recomendações

práticas para a empresa e aprofundando o conhecimento sobre a aplicação de metodologias de melhoria contínua em ambientes de montagem manual no PIM.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta sessão aborda a trajetória da indústria de eletrônicos no Brasil, enfatizando o papel do Polo Industrial de Manaus na expansão produtiva e tecnológica do setor. Nesse contexto, discute-se a evolução dos sistemas de produção, evidenciando a busca por eficiência, padronização e redução de desperdícios, princípios que fundamentam a manufatura enxuta. Aspectos como *layout*, balanceamento de linha, estudo de tempos e controle de paradas (*Downtime*) são destacados como elementos que articulam produtividade e organização do trabalho. Por fim, a aplicação de ferramentas da qualidade e do método A3 é apresentada como estratégia para integrar processos, apoiar a tomada de decisão e sustentar a melhoria contínua.

2.1 CENÁRIO DA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS

A indústria de eletrônicos no Brasil começou a se estruturar a partir da década de 1950, com a instalação das primeiras fábricas de rádios e televisores, fortalecendo-se nas décadas seguintes por meio de políticas de substituição de importações. Com o avanço tecnológico e a crescente demanda interna, o setor assumiu papel estratégico na economia nacional, especialmente após a criação da Zona Franca de Manaus em 1967, que ofereceu incentivos fiscais para atrair empresas e desenvolver tecnologia na região amazônica (SUFRAMA, 2024).

De acordo com o relatório Diagnóstico e Propostas elaborado pelos Metalúrgicos da CUT (2012), a indústria eletroeletrônica brasileira constitui um conjunto de atividades econômicas heterogêneas, que abrangem desde componentes e sistemas de automação industrial até bens de consumo e equipamentos médicos. O mesmo relatório aponta que, até a primeira metade da década de 1970, a presença de empresas no país era predominantemente multinacional, concentrada na produção de bens de consumo cujo processo se limitava, em grande parte, à montagem de peças e componentes importados.

Para Gutierrez e Alexandre (2003), esse panorama sofreu transformações significativas a partir da década de 1990, período marcado pela intensificação da abertura comercial no Brasil. Com a ampliação das importações, diversos segmentos industriais foram impactados, sendo o eletroeletrônico o mais sensivelmente atingido, conforme destacado pelos autores. Os mesmos autores argumentam que a indústria eletroeletrônica brasileira está organizada em quatro subsistemas principais: componentes eletrônicos, semicondutores e materiais básicos, eletrônica de consumo, bens de informática e automação, e bens de telecomunicação.

As principais características essenciais e limitações desta indústria estão ligadas à ausência de pioneirismo e inovação, atuando majoritariamente como seguidora de padrões internacionais. A produção concentra-se no atendimento ao mercado interno, com baixa participação exportadora e pouca agregação de valor em design e desenvolvimento tecnológico. Além disso, o setor carece de marcas nacionais fortes, apresenta reduzida taxa de inovação em produtos e processos e depende de componentes de maior valor agregado importados, o que limita sua competitividade global.

2.1.1 Mercado de eletrônicos no Brasil e no Polo Industrial de Manaus

Durante o ano de 2024, o mercado brasileiro de eletroeletrônicos demonstrou desempenho expressivo, com vendas 29% superiores ao ano anterior, especialmente nos segmentos de linha branca, marrom, portáteis e condicionadores de ar. A produção de equipamentos eletrônicos, ópticos e de informática cresceu 14,7%, impulsionando a expansão da indústria geral em 3,1%. Dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) indicam que a produção física do setor eletroeletrônico avançou 13,3% em 2024, sendo 14,7% no segmento eletrônico e 12,2% no elétrico, refletindo a retomada de investimentos e a recuperação da demanda.

Quadro 1 – Variação da Produção Física do ano de 2024.

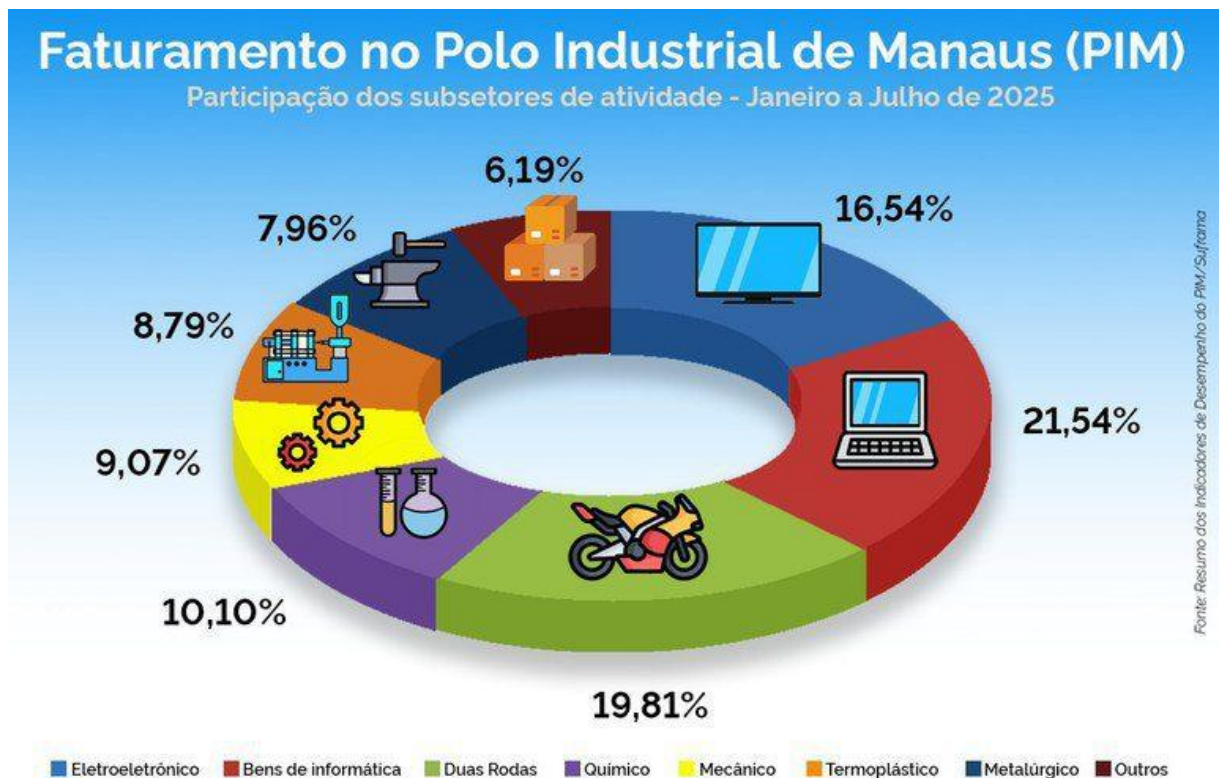
Setor Eletroeletrônico	13,3%
- Área Eletrônica	14,7%
- Área Elétrica	12,2%

Fonte: ABINEE (2024)

Em âmbito nacional, o faturamento da indústria eletroeletrônica atingiu aproximadamente R\$ 226,7 bilhões em 2024, com aumento real de 11% em relação a 2023, enquanto o número de empregos chegou a cerca de 284,2 mil trabalhadores, representando a abertura de 18,7 mil novos postos conforme destacado pela ABINEE. Os investimentos do setor somaram R\$ 3,9 bilhões, indicando confiança na expansão produtiva e tecnológica. Apesar dos avanços, a utilização da capacidade instalada manteve-se em torno de 79%, revelando desafios de ociosidade.

O Polo Industrial de Manaus, por sua vez, consolidou-se como o principal polo produtor de eletrônicos do país, com destaque para bens de informática e eletroeletrônicos. Segundo dados da SUFRAMA, em 2025 o PIM apresentou expansão significativa: no primeiro semestre, o faturamento alcançou R\$ 110,80 bilhões, registrando crescimento de 13,26% frente ao mesmo período de 2024; até julho, o resultado acumulado chegou a R\$ 128,70 bilhões, representando aumento de 11,95% em relação ao ano anterior. Além disso, o polo industrial gerou mais de 125 mil empregos diretos, reforçando sua importância para a economia da região Norte e para a indústria nacional.

Figura 1 – Faturamento do Polo Industrial de Manaus



Fonte: Suframa (2024)

Estes resultados expressivos como o elevado faturamento e a geração de milhares de empregos, revelam características típicas do sistema de produção em massa, que é marcado pela padronização, produção em larga escala e utilização intensiva de mão de obra e tecnologia. O crescimento contínuo do setor de eletroeletrônicos e de bens de informática no PIM destaca como a prática de fabricar grandes volumes de produtos padronizados com foco em eficiência e redução de custos unitários, sustenta a competitividade industrial e conecta-se diretamente com os princípios deste modelo produtivo.

2.2 SISTEMA DE PRODUÇÃO EM MASSA

Durante a Primeira Guerra Mundial, figuras como Alfred Sloan, da General Motors, e Henry Ford, da Ford Motors, lideraram a transição de séculos de produção artesanal para a denominada Era da Produção em Massa. Este sistema, inicialmente implementado na indústria automobilística norte-americana, foi posteriormente difundido e adotado pelas indústrias europeias. É possível afirmar que o sistema norte-americano de organização do trabalho foi amplamente replicado no continente europeu.

Diferentemente da produção artesanal, a produção em massa utilizava engenheiros e especialistas para projetar produtos, enquanto a fabricação ficava a cargo de trabalhadores sem qualificação ou apenas parcialmente qualificados. Esses trabalhadores operavam máquinas caras, projetadas para executar apenas uma função específica. O produto era mantido padronizado pelo maior tempo possível, e os métodos de trabalho mostravam-se repetitivos e pouco estimulantes para os operários. Segundo Womack (2004), a grande vantagem para o consumidor estava nos preços reduzidos.

Entretanto, a produção em massa apresentava limitações em termos de competitividade e na capacidade de atender às novas demandas de consumo. Um exemplo marcante desse período foi o Ford Modelo T, cuja linha de montagem restringia ao comprador até mesmo a escolha da cor do veículo, que era obrigatoriamente preta. A famosa frase de Henry Ford, “O cliente pode escolher a cor que desejar desde que seja preta”, ilustra essa realidade. Em 1913, a tinta preta era

a única no mercado que apresentava secagem rápida, um requisito essencial para Ford viabilizar sua inovação: a primeira linha de montagem de automóveis do mundo.

A adoção do sistema de produção em massa nas indústrias trouxe consigo a necessidade de reorganizar o trabalho e adaptar os espaços fabris para garantir eficiência. A divisão de tarefas e a padronização dos processos foram acompanhadas pelo desenvolvimento de arranjos físicos e *layouts* voltados a reduzir movimentações desnecessárias e otimizar o fluxo produtivo.

Nesse sentido, como destacam Slack et al. (2009), o arranjo físico deve estar alinhado às exigências do processo produtivo, de modo a garantir fluidez e produtividade. Em outras palavras, as máquinas e os postos de trabalho são alinhados conforme a sequência de operações. Essa interdependência entre o processo e a configuração espacial demonstram que o *layout* é um componente estratégico, cuja análise se torna indispensável para entender este modelo.

2.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO E *LAYOUT*

Para assegurar um sistema de manufatura mais enxuto e eficiente, o planejamento adequado do arranjo físico é essencial, sendo um dos fatores que determinam o êxito de uma organização em um ambiente competitivo. A estrutura produtiva consiste no agrupamento de operações realizadas no processo fabril. No contexto da manufatura, essa organização se expressa por meio do *layout* industrial, cujo planejamento exerce impacto direto no desempenho dos sistemas de produção e resultados da empresa. Um arranjo bem projetado torna-se fator determinante para a competitividade no cenário global, sendo essencial à permanência das organizações no mercado (Yang *et al.*, 2000; Canen; Williamson, 1998; Dhondt; Benders, 1998).

Na visão de Lee (1998), o *layout* pode ser considerado elemento central para a eficiência produtiva, contanto que contemple desde a definição da localização global até a disposição das estações de trabalho. Seu objetivo é criar um ambiente integrado, no qual pessoas, serviços, produtos, informações e tecnologia atuem de forma conjunta, garantindo maior eficiência e sinergia entre os processos.

Ao longo dos anos, diversos estudos têm buscado identificar quais tipos de arranjos físicos se ajustam melhor a determinados processos produtivos, além de desenvolver métodos e algoritmos que auxiliem na análise e na definição dessas

configurações, bem como modelos que orientem o trabalho. Com o avanço da tecnologia da informação, passaram a ser disponibilizados inúmeros sistemas computacionais de apoio ao projeto de arranjo físico, capazes de aplicar diferentes métodos e algoritmos voltados à sua otimização.

Na literatura é possível encontrar uma variedade de modelos de arranjo físico, cada um com seus respectivos benefícios, aplicações e limitações. Em sua maioria, esses modelos são variações de quatro configurações fundamentais ou resultam de uma combinação entre elas.

2.3.1 Tipos de *Layout*

O arranjo físico é perceptível à grande parte das pessoas quando estão no ambiente produtivo de uma organização. A distribuição de maquinário e processos é um espelho do fluxo do produto a ser produzido, e a fluência daquela cadeia produtiva (Lima; Malagutti, 2017). A escolha do *layout* ideal de uma operação é pautada em diversos fatores como volume e variedade da produção. Para Peinado e Graeml, há quatro tipos principais de *layouts*, sendo eles: *Layout* Posicional, *Layout* Funcional, *Layout* Celular e *Layout* por Produto.

a) *Layout* Posicional: neste arranjo físico o produto mantém-se fixo em uma posição enquanto os demais recursos se mobilizam ao seu redor, realizando as operações exigidas. Este tipo de *layout* é escolhido com base no porte do produto ou natureza da operação, ou seja, quando não é possível utilizar outro tipo de *layout*.

b) *Layout* Funcional: dentro deste modelo de organização são agrupadas numa área comum as montagens ou operações similares. Este arranjo físico é normalmente encontrado em locais como hospitais e organizações comerciais como lojas e serviços de confecção de ferramentas. Na visão de Martins e Laugeni (2005), dentro deste *layout* as operações e equipamentos são alocados na mesma área, sendo o material a se movimentar pelo processo. Os autores ressaltam ainda que esta modalidade de *layout* é flexível e se adapta às mudanças do espaço físico e de produtos diversos com demandas variáveis.

c) *Layout* Celular: possui intuito de mesclar as vantagens do *layout* por processo com as vantagens do *layout* por produto. Consiste em distribuir num local diferentes maquinários capazes de fabricar o produto completo, para que

o material se desloque na célula através das operações necessárias, todavia com movimentação em linha.

d) *Layout* por Produto: também chamado de *Layout* Linear, neste arranjo físico as máquinas são distribuídas conforme a ordem das operações, para favorecer e simplificar o controle do processo e reduzir manuseio de materiais. O material se desloca pelas operações e há apenas um produto que é produzido em larga escala (Slack et al., 2009).

Quando a escolha do *Layout* é adequada ao processo em que este será implementado, é possível observar os resultados atingidos, processos otimizados e lucros provenientes desse.

2.3.2 Importância do *layout* para as operações

O fluxo de materiais e pessoas através de uma operação pode ser afetado por mudanças consideradas pequenas, ou até mesmo irrelevantes. A localização de máquinas numa fábrica ou de produtos em supermercados podem impactar nos custos gerais e na eficácia da produção (Slack et al., 2018). De acordo com este mesmo autor, o planejamento de um *layout* precisa ter início levando em consideração os objetivos estratégicos da produção, que devem ser analisadas minuciosamente pelo gestor da produção. Uma vez que uma mudança desta magnitude pode ter dificuldades operacionais e financeiras, é possível que o gestor não concorde em realizá-la com frequência.

Para a Empresa Júnior de Engenharia - EJEP (2017), a importância da escolha ideal do *Layout* é convertida em inúmeras vantagens para o processo, como a melhoria do fluxo interno de pessoas, otimização do espaço físico da empresa, melhor controle e gestão das tarefas e redução de desperdícios como tempo e custos, bem como ociosidade de máquinas. Já para o autor Antonioli (2009) a relevância da otimização do espaço de uma organização vai refletir nas melhorias operacionais e no desempenho dos funcionários, indo além da redução de custos e aumento de produtividade. Um *layout* bem concebido age como a espinha dorsal da eficiência de uma operação, definindo o fluxo ideal de materiais e informações.

A otimização do *layout* industrial também permite reduzir diversas perdas do processo, como o tempo de transporte, que pode representar até 45% do total do ciclo de fabricação e não agrega valor ao produto. Além disso, favorece melhorias de

qualidade pela rapidez no fluxo de informações, diminui o lead time e reduz estoques intermediários. Também promove aumento da produtividade com a atuação de trabalhadores multifuncionais e estimula maior engajamento e comprometimento da equipe na busca pelos resultados organizacionais (Shingo, 1996; Monden, 1984).

Contudo, a mera existência de um *layout* otimizado não garante sua manutenção a longo prazo. Qualquer alteração no arranjo físico existente implica custos elevados e dificuldade de execução (Sha e Chen, 2001). Além de que sua reconfiguração pode ser interpretada como oportunidade de redefinir a forma de organização do trabalho (Hall e Ford, 1998). Nesse contexto, a melhoria do *layout* é essencial para garantir um fluxo contínuo e eficiente, evitando interrupções desnecessárias e desperdícios.

Tal perspectiva também ressalta a relevância da correta distribuição das atividades no processo produtivo, já que ambos os aspectos buscam eliminar gargalos, reduzir tempos ociosos e assegurar maior integração entre recursos, pessoas e tecnologia. Para os autores Helgeson e Birnie (1961), métodos de organização produtiva que buscam equilíbrio entre tarefas e recursos são decisivos para elevar a eficiência global do sistema, princípio este que pode ser associado a práticas de otimização similares como o balanceamento de linha.

2.4 BALANCEAMENTO DE LINHA

No contexto empresarial, a obtenção de diferenciais competitivos torna-se essencial. A melhoria contínua de processos e a gestão eficiente representam caminhos adequados para alcançar esses diferenciais. O balanceamento de linha de produção destaca-se como uma técnica aplicada para aperfeiçoar o processo produtivo e simplificar a gestão (Dembogurski et al., 2008).

Segundo Rocha (2005), administradores de produção realizam cálculos com o objetivo de assegurar um fluxo constante por meio da definição adequada da quantidade de postos de trabalho, buscando ao mesmo tempo a redução das ociosidades existentes na linha. A racionalização obtida nesse processo permite evitar perdas e alcançar maior produtividade, tornando a empresa mais competitiva no mercado ao reduzir custos e atingir os níveis de desempenho esperados.

O balanceamento de linha consiste na distribuição de tarefas entre postos de trabalho em uma linha de produção, buscando equivalência processual (Betts e

Mahmoud, 1989). Para Moreira (2014), as atividades precisam ser equilibradas entre os postos para garantir estabilidade nos tempos de processo e, assim, alcançar maior eficiência produtiva.

De acordo com Monden (1998), a alta produtividade resulta da eliminação de desperdícios, menor estoque de material em processo e da aplicação do balanceamento da linha de montagem, que determina o sucesso da ferramenta. Festugatto (2006) complementa que o balanceamento da linha de produção assegura equivalência entre os postos operacionais, ampliando a capacidade produtiva e reduzindo a ociosidade entre operações industriais.

Já na visão de Freitas (2019) o desbalanceamento da linha de produção ocorre devido às diferenças nos tempos de execução das diversas operações e à variabilidade do tempo de produção. Esse desajuste provoca a descontinuidade do fluxo produtivo, acúmulo de WIP (*Work in Progress*) e estações de trabalho instáveis. Como consequência, o número de unidades em circulação aumenta, elevando o *Lead Time* e o tempo necessário para completar todo o ciclo produtivo.

Observa-se então que, quando o tempo unitário exigido para a execução da operação é igual em todas as estações de trabalho, a aplicação do balanceamento de linha ocorre de forma simples. Entretanto, quando há diferenças, cada posto de trabalho deve ser analisado individualmente, de modo a ajustar os tempos e aproximá-los o máximo possível.

2.5 ESTUDO DE TEMPOS

De acordo com Barnes (1977), os primeiros avanços nos sistemas de tempos predeterminados tiveram origem nos trabalhos de Frederick W. Taylor e Frank B. Gilbreth. O estudo de tempos começou em 1881, na Midvale Steel Company, com Taylor como figura central nesse processo. Considerado o pioneiro da área, Taylor afirmava, no final do século XIX, que para definir um tempo padrão adequado era preciso dividir a operação em partes menores, descrevê-las, cronometrâ-las e incluir margens destinadas a atrasos inevitáveis e à fadiga (Maynard, 1970).

Segundo este mesmo autor, após este ocorrido, Gilbreth que era reconhecido como o fundador do estudo de movimentos, introduziu a utilização da filmagem como recurso para analisar os gestos exigidos na realização de determinadas atividades.

Ele aprimorou os estudos de Taylor ao desdobrar os elementos em movimentos fundamentais, que denominou *therbligs*, representando ações básicas presentes em tarefas manuais.

Os *therbligs* passaram a servir de referência para calcular o tempo padrão de uma atividade, de forma semelhante ao método de Taylor. A análise detalhada das operações tornou possível eliminar gestos desnecessários, além de simplificar, padronizar ou integrar aqueles considerados úteis, reduzindo o esforço físico e o tempo de execução. Para isso, o cronômetro tornou-se instrumento essencial (Borba *et al*; 2011).

A coleta de informações precisas sobre um processo altera a forma de compreender e gerenciar a produtividade e qualidade em sistemas produtivos, e os estudos de tempos e métodos são instrumentos utilizados para obtenção de dados concretos, tornando-se fundamentais para gerar indicadores confiáveis. Assim, Takashina (1999) destaca que tais indicadores são indispensáveis ao planejamento e controle das atividades organizacionais, sendo a cronoanálise base desse processo. Ela fornece o parâmetro inicial, o tempo padrão, que sustenta as análises de desempenho e qualidade. Meyers (1999) ressalta que Taylor foi o primeiro a aplicar o cronômetro ao estudo do trabalho, recebendo o título de “Pai do Estudo do Tempo”.

Juran (1991) enfatiza que o controle do processo é essencial para prevenir alterações indesejadas e efeitos adversos, reforçando o papel da cronoanálise como ferramenta estratégica. Conforme Toledo (2004a), a cronoanálise deriva diretamente dos estudos de tempos e métodos. Sua aplicação estabelece parâmetros organizados de forma sistemática, possibilitando melhor planejamento e contribuindo para a racionalização industrial.

2.5.1 Cronoanálise

A cronoanálise tem sua base nos estudos de tempos e métodos, a partir dos quais são definidos parâmetros organizados de diferentes formas que, aplicados de maneira coerente, resultam na racionalização dos processos industriais. Segundo Anis (2011), o objetivo principal dessa técnica é a obtenção do tempo padrão, que representa o tempo de produção utilizado pelo analista para estabelecer indicadores relacionados à produtividade e, por consequência, à qualidade.

Toledo (2004b) ressalta que o tempo padrão, isoladamente, não possui utilidade prática, pois corresponde apenas a um registro mecânico em uma folha, que, se não for aplicado, não gera benefícios reais. O autor complementa afirmando que cabe ao cronoanalista, ao interpretar e utilizar esses dados, recriar o universo de um processo produtivo dentro do estudo de cronoanálise.

O processo de cronometragem consiste na observação sistemática das atividades, utilizando cronômetros para medir o tempo empregado em cada tarefa e subdividindo o trabalho em etapas elementares. Essa prática possibilita maior precisão na análise do desempenho operacional.

Conforme Corrêa e Corrêa (2012), o estudo de tempos e movimentos é fundamental para a padronização dos processos e para a utilização eficiente dos recursos disponíveis. Além disso, configura-se como um instrumento relevante no apoio à gestão, contribuindo para decisões relacionadas à definição dos tempos de produção, à identificação de necessidades de treinamento e ao balanceamento das linhas produtivas. Para Barnes, (1999), essa metodologia possui uma sequência pré-definida, que inclui 4 etapas:

- a) Definição da tarefa que será analisada;
- b) Divisão da tarefa em elementos;
- c) Observação e registro do tempo;
- d) Cálculo do tempo-padrão;

A análise do tempo de execução de uma tarefa segue um procedimento estruturado que se inicia com a definição da atividade a ser avaliada e sua decomposição em elementos menores. Esse detalhamento permite maior clareza na observação das etapas do processo.

A mensuração do tempo de cada fase, realizada por meio da cronometragem, possibilita avaliar de forma precisa o desempenho da operação. Posteriormente, os tempos registrados são ajustados levando em conta fatores como fadiga e condições de trabalho, resultando em um tempo padrão mais adequado e aplicável à melhoria e otimização dos processos produtivos.

2.5.2 Tempo de Ciclo (TC)

O tempo de ciclo corresponde ao período necessário para que um operador conclua um ciclo de trabalho, desconsiderando os intervalos de espera. Conforme

Alvarez et al. (2001), no sistema produtivo esse tempo é determinado pelas condições operacionais da produção. Quando se analisa uma célula ou linha de trabalho, o tempo de ciclo depende de dois fatores principais: os tempos unitários de processamento por máquina ou posto (tempo-padrão) e o número de operadores disponíveis.

A medição do tempo de ciclo possibilita avaliar a distribuição da carga de trabalho entre os trabalhadores. Para Slack *et al.* (2006), o tempo de ciclo de um processo está diretamente relacionado à sua capacidade. Assim, para um determinado conteúdo de trabalho, quanto maior for a capacidade do processo, menor será seu tempo de ciclo. A capacidade é frequentemente expressa em termos de tempo de ciclo, também conhecido como taxa de processamento.

Segundo Cantidio (2013), o tempo de ciclo não corresponde à simples soma dos tempos individuais de operação em cada máquina ou posto de trabalho. Ele é definido pelo desempenho do recurso mais lento, ou seja, pelo posto em que o ciclo é maior. Dessa forma, o *takt time* funciona como um limitador do tempo de ciclo, refletindo os gargalos presentes na produção. A duração da linha, portanto, é condicionada tanto pela capacidade (tempo de ciclo) quanto pela demanda (*takt time*).

Essa limitação pode ser potencializada por períodos de inatividade não planejada (*Downtime*), que impactam diretamente a eficiência da linha. De acordo com Nakajima (1988), a redução de perdas por paradas é fundamental para garantir a continuidade do fluxo produtivo e manter a relação equilibrada entre capacidade e demanda.

2.5.3 Downtime

O *Lean Institute* Brasil define *downtime*, ou “tempo de parada”, como o período de produção perdido em decorrência de interrupções, sejam estas planejadas ou não. A mensuração do *downtime* em equipamentos fornece informações relevantes sobre o processo produtivo, podendo indicar falhas pontuais que funcionam como sinais preditivos para manutenções preventivas, ou evidenciar falhas sistêmicas que demandem a intervenção da Engenharia de Desenvolvimento para propor melhorias no projeto de máquinas ou dispositivos.

O *downtime* pode ser classificado como planejado ou não planejado. O planejado refere-se a paradas programadas para atividades como reuniões de início

de turno, manutenções periódicas e trocas programadas. Já o não planejado envolve interrupções inesperadas, como ajustes de maquinário, falhas operacionais, quebra de equipamentos, falta de material ou ociosidade da máquina, refletindo diretamente no desempenho e na eficiência do processo produtivo.

Segundo Beauregard (2023), *downtime* refere-se a qualquer interrupção na produção causada por fatores como falhas em equipamentos, ajustes de configuração, problemas na cadeia de suprimentos ou dificuldades relacionadas ao pessoal. Esses períodos podem se originar de diversas pequenas causas que, somadas, afetam significativamente a produtividade e a eficiência global. Além disso, o *downtime* tende a ser incorporado à rotina de trabalhadores e gestores, muitas vezes sem receber atenção adequada, gerando impactos financeiros consideráveis.

A análise do *downtime* permite identificar falhas pontuais e sistêmicas, bem como padrões de interrupção que afetam a produtividade e a eficiência do processo. Segundo Wolniak et al. (2019), a aplicação de ferramentas da qualidade, como o método 5S e a técnica dos 5 Porquês, facilita a identificação das causas raiz dessas interrupções. O entendimento dessas causas é essencial para a definição de ações corretivas e preventivas, estabelecendo a base para a aplicação de metodologias estruturadas de melhoria contínua.

2.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

A qualidade constitui um elemento estratégico para aumentar a competitividade em diferentes setores e segmentos de mercado. Conforme Martins (2007), as diversas abordagens de qualidade apontam que o foco principal deve estar na satisfação dos clientes e do mercado, influenciando diretamente os resultados organizacionais. Além disso, Indezeichak (2005) ressalta que a gestão da qualidade de produtos e serviços contribui para a competitividade das empresas, destacando a importância da melhoria contínua de processos e do aperfeiçoamento dos produtos.

Para promover a melhoria da qualidade, foram desenvolvidas ferramentas que simplificam a implementação de conceitos, bem como a coleta e a organização de informações. Oliveira, Allora e Sakamoto (2006) afirmam que essas ferramentas atuam sobre as causas dos problemas nos processos, prevenindo a ocorrência de efeitos indesejáveis. Entende-se então que, as ferramentas básicas de qualidade têm

a finalidade de apoiar a gestão na identificação e resolução de problemas, reforçando a melhoria contínua das operações.

2.6.1 5 Porquês

O método dos 5 porquês constitui uma abordagem científica aplicada no Sistema Toyota de Produção para alcançar a causa raiz de um problema. De acordo com Ohno (1997), a origem das falhas geralmente está encoberta por sintomas aparentes, e a repetição sucessiva da pergunta “por quê?” permite ultrapassar esses sinais superficiais até chegar à causa fundamental. A técnica, desenvolvida por Taiichi Ohno, baseia-se na formulação da pergunta “por quê?” aproximadamente cinco vezes, embora esse número não seja fixo: podem ser utilizadas menos ou mais repetições, dependendo da complexidade do problema analisado.

Weiss (2011) ressalta que a metodologia segue um conjunto estruturado de etapas, associadas a instrumentos de análise, que permitem identificar a origem primária de um problema. Por meio de sua aplicação, é possível:

- a) Determinar o que ocorreu;
- b) Identificar por que ocorreu;
- c) Definir medidas para reduzir a probabilidade de recorrência.

O autor descreve ainda as fases práticas da utilização do método:

- A. Iniciar a análise com a formulação clara do problema a ser investigado;
- B. Perguntar por que a situação inicial ocorre;
- C. Para cada resposta, questionar novamente a razão de sua veracidade;
- D. Repetir a sequência até que não surjam novas justificativas;
- E. Reconhecer, no ponto final do processo, a identificação da causa raiz.

Essa sequência garante não apenas a descoberta das causas primárias, mas também orienta a proposição de ações preventivas que aumentam a confiabilidade dos processos.

2.6.2 5W2H

Originada da gestão da qualidade, a ferramenta 5W2H tem como principal finalidade a elaboração de planos de ação, podendo também ser aplicada em diagnósticos e processos de padronização. Sua utilização possibilita uma visão

objetiva e clara, destacando etapas relevantes das rotinas organizacionais. As sete perguntas que estruturam o método permitem que gestores, diretores e coordenadores compreendam responsabilidades específicas no processo decisório e indiquem medidas que podem ser implementadas de forma imediata (Lisboa, 2012). O instrumento é constituído por sete questões que devem ser respondidas de maneira direta e formal, de modo a extrair informações essenciais sem complexidade excessiva:

- *What?* (O que?): define a ação que deve ser realizada;
- *Why?* (Por quê?): apresenta a justificativa para a execução da ação definida;
- *Where?* (Onde?): especifica o local onde a ação será implementada, evitando esforços desnecessários em áreas não prioritárias;
- *Who?* (Quem?): determina a responsabilidade de cada participante, prevenindo conflitos e garantindo que a ação não fique sem execução;
- *When?* (Quando?): estabelece prazos ou cronogramas, permitindo o controle do andamento e evitando custos adicionais decorrentes de atrasos;
- *How?* (Como?): define os métodos, etapas e procedimentos necessários para a execução, incluindo a forma de coleta de dados;
- *How much?* (Quanto?): avalia a viabilidade da ação a partir de custos e prazos, podendo indicar a necessidade de alternativas quando os recursos não justificam a implementação (Tarcísio, 2013).

O 5W2H tem como finalidade orientar a execução de ações direcionadas à melhoria contínua, ao balanceamento de linha e à geração de indicadores durante a realização das etapas do processo. Esta ferramenta é amplamente utilizada para a implementação de métodos de melhoria como o A3, DMAIC, entre outros, uma vez que ela possibilita o mapeamento e elaboração do plano de ação que será utilizado na resolução do problema. A prática dessa racionalização possibilita o alcance mais efetivo das metas estabelecidas pelos operadores, além de proporcionar maior fluidez do produto ao longo de todo o processo produtivo.

2.6.3 Método 5S

O método 5S nasceu no Japão no século XX, e tem como objetivo a organização do trabalho utilizando apenas o necessário. De acordo com os autores Martins e Laugeni (2005), este método é simples e facilmente implementado em

organizações de portes variados, escritórios ou qualquer lugar que demande reorganização e limpeza. A partir deste método o *layout* sofre impacto direto, uma vez que alterando o espaço, procura-se um local de trabalho agradável e eficiente, descartando coisas supérfluas. A aplicação do método 5S tem como propósito consolidar valores relacionados à organização, ao uso adequado de recursos, à limpeza, à padronização e à disciplina no ambiente de trabalho, conforme exposto por Osada (1991).

As palavras da língua japonesa que originaram o termo 5S são: *SEIRI*, *SEITON*, *SEISO*, *SEIKETSU* e *SHITSUKE*.

2.6.3.1 Seiri

De acordo com Martins e Laugeni (2005) e Oliveira et al. (2005) é o senso de organização, fundamental para um ambiente de trabalho produtivo. Neste senso os autores destacam o uso consciente dos recursos disponíveis, o bom senso e equilíbrio e a separação adequada dos materiais dispostos. A identificação dos itens em necessários e desnecessários é crucial para a organização uma vez que equipamentos desnecessários ocupam espaço, geram despesas e poluem o *layout* do processo, dificultando o manuseio dos materiais.

Segundo Miyauchi (1991), o senso de utilização, como denominado por ele, refere-se à organização do que é realmente necessário, destinando outro uso ou descartando itens que não possuem aplicação. Essa prática possibilita um ambiente mais limpo, organizado e funcional, eliminando desperdícios e liberando espaço para o essencial.

2.6.3.2 Seiton

Este é nomeado o senso de sistematização e classificação. Apesar de parecer semelhante ao senso de organização, o *Seiton* possui foco na funcionalidade do local de trabalho. De forma simplificada, esta etapa dispõe os recursos de forma a auxiliar o fluxo da operação, seja essa envolvendo 16 pessoas, materiais ou informação. Segundo o *Lean Enterprise Institute* (2007), a aplicação desse senso implica classificar e organizar os itens de maneira clara, priorizando a usabilidade.

É a otimização dos insumos, da mão de obra e dos meios de produção para que haja um controle visual. Uma das ações comuns a este senso é a etiquetagem dos locais de armazenamento. Isto simplifica o processo para o colaborador e gera inúmeras vantagens como economia de tempo, diminuição de acidentes de trabalho, ambiente ordenado entre outros. Conforme Barbosa et al. (2009), o *Seiton* busca estruturar os itens de forma a facilitar o acesso e a comunicação, definindo locais ideais para cada elemento, de modo que aqueles mais usados estejam próximos ao trabalhador.

2.6.3.3 *Seiso*

Senso vinculado à limpeza e ao zelo. Ou seja, a manutenção do local de trabalho: paredes, armários, gavetas, piso e até mesmo máquinas devem ser limpos. Além de tornar o local desagradável, a sujeira pode ter impacto na vida útil das ferramentas e equipamentos, causando danos.

Através deste senso o colaborador é capaz de verificar causas de sujeira ou mau funcionamento de equipamentos, além de eliminá-los. Há uma diminuição na poluição sonora, visual e ambiental na aplicação deste senso, isto traz vantagens econômicas para a empresa visto que a capacidade de detectar falhas com antecedência pode prevenir a deterioração de alguns maquinários.

O *Seiso* não se restringe à higienização física, mas também à regulação de fatores como iluminação, ruídos, odores e vibrações. Para Gismonti, Monteiro e Menezes (2009), o ambiente limpo é aquele que menos se suja, e não o que mais se limpa.

2.6.3.4 *Seiketsu*

É o senso de padronização. Conquistado através da prática dos sentidos anteriores, proporciona um ambiente favorável fisicamente e mentalmente para o colaborador, sem poluições e organizado além de visar garantir condições de trabalho seguras e adequadas à saúde do trabalhador. Este senso melhora a qualidade de vida no trabalho, a relação interpessoal e promove a produtividade e o comprometimento dos colaboradores.

Na visão de Liker e Hoseus (2009), sem padrões não é possível identificar desvios, pois a referência é essencial para comparar a situação real. Essa padronização resulta da consolidação dos três primeiros sentidos.

2.6.3.5 *Shitsuke*

O quinto sentido, a disciplina, tem como finalidade manter os anteriores por meio da autodisciplina. Trata-se do aspecto mais complexo, por demandar mudanças culturais e comportamentais. Gismonti, Monteiro e Menezes (2009) destacam que a autodisciplina exige a rotina de seguir procedimentos e observar especificações, sendo fruto de esforço físico, moral e mental. Souza et al. (2003) acrescentam que o trabalho em equipe e o comprometimento são fundamentais nesse processo, devendo-se evitar controles autoritários e estimular a autoanálise e a busca pela melhoria contínua.

Martins e Laugeni (2005) argumentam que este é o sentido mais difícil de implementar, em virtude de seu objetivo principal ser totalmente voltado ao comportamento humano, este que naturalmente resiste a mudanças. Para colocar em prática este sentido é exigido que uma série de ações sejam aplicadas, como a melhoria na comunicação, não ocultação de erros e compartilhar das visões, missões e valores da organização.

A implementação e a manutenção do programa 5S estão inseridas nos objetivos do sistema de produção enxuta, também denominado *Lean Manufacturing*, cujo foco é a redução de desperdícios na produção de bens e serviços, com vistas à obtenção de melhores resultados. Esses desperdícios não agregam valor ao processo produtivo e devem ser minimizados ou eliminados (Da Silva, 2020).

2.7 SISTEMA DE PRODUÇÃO ENXUTA E SEUS PRINCÍPIOS

A Toyota consolidou-se como referência em gestão de processos devido à aplicação de uma metodologia singular, baseada em técnicas e ferramentas direcionadas à melhoria do desempenho. O fundamento desse sistema está na eliminação de todas as formas de desperdício ao longo da produção, o que resultou em um modelo eficiente e amplamente reconhecido (Maximiano, 2017).

No período posterior à Segunda Guerra Mundial, o sistema de produção em massa, considerado ideal, era aquele empregado pela fábrica *Ford Rouge*. Entretanto, diante das restrições impostas pelo mercado japonês e da necessidade de fabricar produtos variados em pequenas quantidades e com baixa demanda, esse modelo mostrou-se inviável e não replicável no contexto local. Assim, emergiu a necessidade de um sistema produtivo capaz de atender às novas condições e exigências desse mercado.

No interior da Toyota, foram desenvolvidos novos conceitos e valores que, posteriormente, despertaram o interesse de diferentes indústrias e empresas. A adoção dessas práticas promoveu transformações relevantes nas áreas produtivas, representando uma ruptura em relação aos modelos tradicionais, com impactos no âmbito social, econômico, técnico e organizacional. Esse sistema pioneiro, ao modificar a forma de atuação e integração dos elementos produtivos, estabeleceu as bases do que atualmente se denomina sistema de produção enxuta ou manufatura enxuta.

Considerando os desafios e demandas do Polo Industrial de Manaus, observa-se a constante busca por modelos de gestão que ampliem a eficiência e reforcem a competitividade. Nesse contexto, o Sistema Toyota de Produção, fundamentado na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua, configura-se como uma abordagem relevante para a otimização dos processos e fortalecimento das empresas atuantes nesse setor.

2.7.1 Manufatura Enxuta

A busca pela sobrevivência e evolução acompanha a humanidade desde seus primórdios. Com a Revolução Industrial, essa necessidade foi direcionada ao âmbito comercial, incentivando medidas voltadas à ampliação da escala produtiva e ao estabelecimento de vantagens competitivas (Puche, 2017). Nesse contexto, surge o Lean Manufacturing, um conjunto de técnicas que visa maximizar a eficiência dos processos e eliminar desperdícios por meio de ferramentas e avanços tecnológicos. Seu princípio central consiste em produzir apenas o necessário, no momento exato e na quantidade requerida (Ohno, 1997), priorizando o que agrega valor ao cliente e ao produto. Essa abordagem assegura qualidade, redução de custos e diminuição do

lead time, fundamentando-se na adoção de práticas organizacionais aplicadas por todos os colaboradores.

A origem do *Lean Manufacturing* está associada ao Sistema Toyota de Produção (STP) desenvolvido na década de 1950, com o objetivo de reduzir custos e elevar qualidade e velocidade. De acordo com Werkema, o *Lean* caracteriza-se pela eliminação de desperdícios, definidos como tudo o que não gera valor para o cliente. Essa metodologia, ao longo do tempo, foi moldada para diferentes setores, apoiada em ferramentas e métodos específicos. Entretanto, conforme, nem todas as organizações alcançaram êxito em sua implementação. Em pesquisa realizada no Reino Unido com 100 empresas, observou-se taxa de sucesso inferior a 10%, atribuída principalmente a fatores como cultura organizacional e gestão de mudanças. Barreiras como comunicação verticalizada, ausência de transparência, falta de ambiente colaborativo e inexistência de planos estruturados de mudança limitaram a aplicação dos princípios Lean.

No cenário contemporâneo, a competitividade empresarial demanda sistemas organizacionais eficazes e bem estruturados. O *Lean Manufacturing* destaca-se como uma prática amplamente adotada, cujo foco é a eliminação de desperdícios sem comprometer qualidade e produtividade. Sua implementação requer mudanças nas práticas de gestão da produção e da qualidade, com vistas à adaptação e melhoria contínua. Para Womack e Jones (2003), a essência do *Lean* está na eliminação de desperdícios para atender ou superar as expectativas dos clientes, entregando produtos ou serviços no prazo adequado, com qualidade e custos reduzidos. Os autores sintetizam sua aplicação em cinco princípios: especificação de valor, identificação do fluxo de valor, preservação do fluxo contínuo, produção puxada e busca da perfeição.

O primeiro princípio, a especificação de valor, consiste em identificar o que é relevante para o cliente, considerando tempo, insumos e recursos que impactam diretamente no produto ou processo (Martins, 2020). A identificação do fluxo de valor, segundo Rodrigues (2015), envolve todas as organizações presentes na cadeia produtiva, como fornecedores, distribuidores e varejistas, analisando atividades para eliminar as que não agregam valor. A preservação do fluxo contínuo, descrita por Rother e Harris (2002), objetiva manter fluidez no processo produtivo por meio da colaboração entre os participantes da cadeia, reduzindo desperdícios e estoques. A produção puxada, por sua vez, baseia-se em atender apenas à demanda real,

dimensionando estoques e tempos de produção de acordo com o *Takt Time*. O último princípio, a perfeição, promove a melhoria contínua, por meio do Kaizen, assegurando que todas as atividades ao longo da cadeia de valor gerem valor agregado.

Momolli et al. (2019) ampliam a abordagem ao destacarem que a compreensão das necessidades dos clientes e dos stakeholders é essencial para satisfação mútua. Assim, os princípios *Lean* podem ser expandidos para sete: conhecimento dos stakeholders, definição dos valores, definição das cadeias de valor, otimização do fluxo, aplicação do sistema *pull*, busca pela perfeição e inovação. Esses elementos enfatizam a importância da criação de valor compartilhado, do aprimoramento contínuo e da introdução de novos produtos e serviços como fator central de competitividade. Dessa forma, o Lean Manufacturing consolida-se como metodologia versátil, adaptável a diferentes setores, desde que ajustada às particularidades de cada organização, como capacidade produtiva, volume e *layout* fabril.

2.8 O MÉTODO A3

O método A3 é uma ferramenta desenvolvida pela Toyota, na década de 60, como um recurso para estimular a melhoria contínua, estruturar propostas e solucionar problemas por meio do ciclo PDCA (Lorenzi e Ferreira, 2018). Ao ser aplicado como ferramenta de análise e resolução possibilita a visualização clara de problemas, metas, soluções e riscos envolvidos (Bassuk e Washington, 2013; Krogstie et al., 2014). Seu propósito central não se restringe à eliminação de falhas, mas também à construção de conhecimento e à aprendizagem organizacional (Shook, 2009).

Segundo Lorenzi e Ferreira (2018), o método A3 entende-se como um padrão de comunicação, que além de orientar a busca por soluções, facilita a comunicação entre diferentes setores da organização. Nesse contexto, Zhu (2011) ressalta que o relatório A3 é uma forma simples de registrar experiências e promover diálogo. A estrutura do método garante que todos compartilhem a mesma compreensão do problema, resumida em uma única folha A3 o que assegura objetividade e evita a dispersão de informações em relatórios extensos e pouco consultados (Guimaraes et al., 2019).

Amos et al. (2017) apontam que a Toyota utiliza modelos variados de relatórios A3 para fins diversos desde resolver problemas, relatar o status de projetos até propor mudanças em políticas internas, cada um possuindo um modelo específico. Um relatório A3, para Sobek II e Smalley (2008), está dividido em algumas etapas:

Etapa A – Inclui a data e os nomes dos participantes.

Etapa 1 – Contexto: definição do problema, questão ou situação, com a explicação de sua relevância para a empresa e demais informações pertinentes.

Etapa 2 – Condição atual: análise detalhada da situação vigente, com identificação do problema e de seus fatores no contexto em que ocorre

Etapa 3 – Objetivos/Metas de Melhoria: definição clara das metas e resultados a serem atingidos.

Etapa 4 – Análise de Causa-Raíz: investigação das razões que originaram o problema ou que geraram a diferença entre a condição atual e as metas propostas.

Etapa 5 – Contramedidas: elaboração de ações específicas voltadas a eliminar as causas-raiz, visando criar a condição alvo.

Etapa 6 – Plano de Ação: desenvolvimento de um conjunto de medidas a serem implementadas, indicando responsáveis, cronograma e utilização das contramedidas estabelecidas na etapa 5.

Etapa 7 – Acompanhamento: monitoramento para confirmar se houve avanço após a aplicação das contramedidas e se os objetivos foram alcançados. Nessa etapa, as ações eficazes passam a ser incorporadas como novos padrões de processo. Caso os resultados não sejam satisfatórios, o ciclo retorna às etapas iniciais 1 a 5, reiniciando a partir do ponto necessário.

O sucesso no uso do relatório A3 se dá devido aos diversos fatores chaves: documentação do estado atual, habilitação das pessoas mais próximas ao trabalho a resolver problemas e não apenas contorná-los, apresentação do sistema de produção ou serviço em diagramas que permitam uma melhor visualização e abordagem completa de solução de problemas de forma sucinta.

Figura 2 – Modelo de Relatório A3

Título do Relatório	Data	Autor	Gerente
I. Contexto	V. Contramedidas propostas		
II. Condição Atual	VI. Plano de Ação		
III. Objetivos/Metas	VII. Acompanhamento		
IV. Análise de Causa Raíz			

Fonte: adaptado de Shook (2009).

2.8.1 Ciclo PDCA

O Método A3 apresenta uma conexão direta com o ciclo PDCA, técnica criada nos Estados Unidos na década de 1930 e difundida mundialmente nos anos 1950 por William Deming, que a aplicou aos princípios de qualidade em projetos realizados no Japão do pós-guerra (Deming, 1990), conforme apresenta o quadro 2. Esse vínculo se evidencia quando se observa que as etapas 1 a 5 do A3 equivalem à fase *Plan* (planejamento) do ciclo PDCA, enquanto a etapa 6 se relaciona ao módulo *Do* (execução).

Já as fases CHECK (verificação) e ACT (ação) encontram correspondência na etapa 7 do relatório A3, momento em que a organização deve assegurar que os novos procedimentos ou as mudanças implementadas sejam comunicados de forma clara a todos os envolvidos. Essa prática busca consolidar a melhoria contínua como parte do processo (Shook, 2009).

Quadro 2 – Relatório A3 relacionado à ferramenta PDCA

Etapa	PDCA	Fase do Relatório A3	Finalidade
1	P	Contexto	Reconhecer e explicitar o problema principal.
2		Condição atual	Investigar e descrever detalhadamente a situação presente.
3		Objetivos/ Metas	Determinar os resultados esperados ou metas a serem alcançadas.
4		Análise da Causa Raiz	Examinar os fatores que originaram o problema identificado.
5		Contramedidas propostas	Criar alternativas que enfrentem diretamente as causas do problema.
6	D	Plano de Ação	Planejar e colocar em prática as medidas propostas, com responsabilidades e prazos definidos.
7	C	Acompanhamento	Verificar se houveram avanços após a implementação.
	A		Consolidar as mudanças como novos padrões de processo.

Fonte: adaptado de Shook (2009).

A aplicação do método A3 exige a utilização de determinadas ferramentas da qualidade, fundamentais para o desenvolvimento de algumas de suas etapas. Esses recursos auxiliam na identificação de desperdícios que precisam ser eliminados, favorecendo a melhoria dos processos e mantendo os princípios da manufatura enxuta.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho se trata de uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que aborda a solução de problemas concretos do ambiente produtivo, visando propor melhorias efetivas no *layout* de uma linha de montagem manual. De acordo com Miguel (2012), a pesquisa aplicada se caracteriza pela busca de resultados que possam ser diretamente utilizados na resolução de problemas práticos, aproximando o conhecimento científico da realidade organizacional. Referente aos objetivos, a pesquisa possui caráter exploratório-descritivo, já que adota uma abordagem exploratória em sua fase inicial, ao aprofundar o entendimento sobre as variáveis que impactam o desempenho da linha de montagem, e progride para um caráter descritivo, ao registrar e analisar minuciosamente as características do processo produtivo antes e depois da implementação das melhorias.

A abordagem do problema combina elementos quantitativos, por meio da coleta e análise de dados numéricos como tempos de ciclo e índices de produtividade (PRT), e qualitativos, ao interpretar as observações diretas do fluxo de trabalho e da organização do posto. Do ponto de vista metodológico, o método utilizado corresponde a um estudo de caso, visto que se examina detalhadamente um processo específico em seu contexto real, possibilitando não apenas a compreensão de suas particularidades, mas também a proposição de soluções alinhadas aos princípios da manufatura enxuta, que podem servir de referência para situações semelhantes.

3.2 ESCOLHA DA ÁREA E DO ALVO DE PESQUISA

A escolha do objeto de pesquisa foi feita a partir da observação da linha manual de uma fábrica fornecedora de placas eletrônicas e produtos *Sub Assembly*. O produto montado na linha em questão se trata de um *set-top box* ou decodificador, aparelho que recebe sinal codificado de uma operadora (TV a cabo, satélite ou serviço via internet) e decodifica esse sinal para que a TV exiba imagem e áudio compatíveis. Devido a linha ser de submontagem, apenas parte do produto é combinada e enviada para o cliente, que finalizará a confecção. Neste caso são combinados a placa eletrônica e o *cover*, que possui outras peças individuais.

Através de reuniões diárias de alinhamento entre os times de Engenharia, Qualidade, Compras, Planejamento e Produção, são discutidas as metas de produtividade, o desempenho real alcançado e as adversidades enfrentadas durante o turno, permitindo a análise imediata de desvios e a identificação de possíveis causas da variação nos resultados. Nessas reuniões, os indicadores de produtividade e *Downtime* são apresentados em painéis de acompanhamento e comparados com os padrões esperados, possibilitando observar tendências de aumento de tempo de ciclo, ocorrência de paradas não programadas e oscilações de produtividade.

Enquanto a produtividade é exibida via *dashboard* dentro do sistema Intranet da empresa e em monitores visíveis em cada linha, o registro das ocorrências de *Downtime* é realizado de forma sistemática pelo líder de produção, responsável por imputar no sistema os períodos exatos de parada e suas respectivas causas, categorizadas conforme o tipo de evento (falha operacional, falta de material, espera, retrabalho, entre outros). Esses dados quando analisados evidenciaram uma alteração significativa no comportamento da linha, principalmente em intervalos de tempo de atividades específicas, o que motivou uma investigação aprofundada sobre a origem das perdas (Quadro 3).

Quadro 3 – Registro de *Downtime* extraído do sistema *Intranet* no ano de 2022

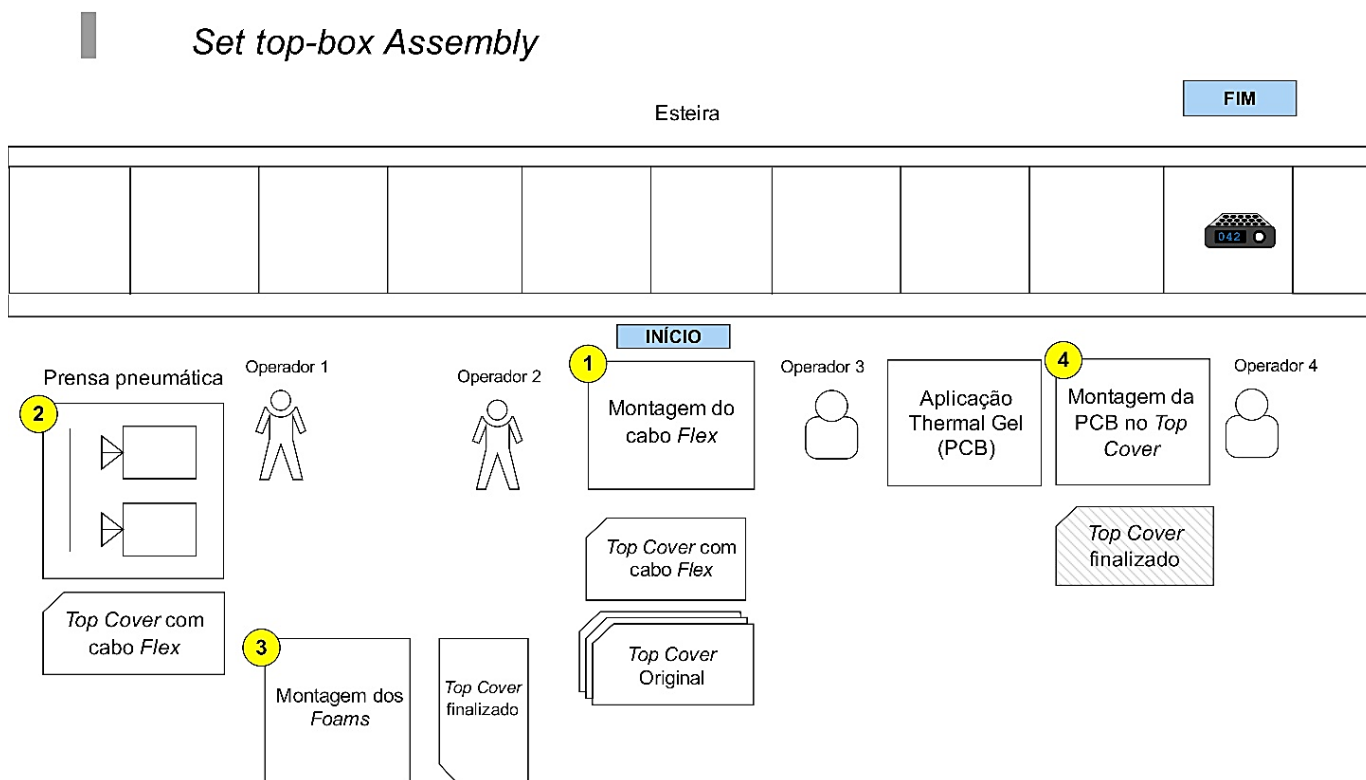
Linha	Manuf. Area	Hora	DownTime	Causa
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	17	21.67	PRODUÇÃO COLADA DEVIDO FALTA DE TOP COVER
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	7	16	PERDA DE EFICIÊNCIA DEVIDO A FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	11	7.67	LINHA PARADA POR FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	13	10	PERDA DE EFICIÊNCIA DEVIDO A FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	14	2.,67	PERDA DE EFICIÊNCIA DEVIDO A FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	15	4.33	POSTO DA PRENSA SEM TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	16	20.67	POSTO DA PRENSA SEM TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	17	5	POSTO DA PRENSA SEM TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	20	16.67	LINHA PARADA POR FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	10	13	LINHA PARADA POR FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	22	16.57	FALTA DE TOP COVER MONTADO
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	16	7	POSTO DO TOP COVER NÃO ACOMPANHA O RATE
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	9	30.29	LINHA PARADA POR PROBLEMA NA PRENSA DO TOP COVER
SUBASSY STB 7	Manual Insertion	7	17.14	LINHA PARADA POR PROBLEMA NA PRENSA DO TOP COVER

Fonte: autora, 2025.

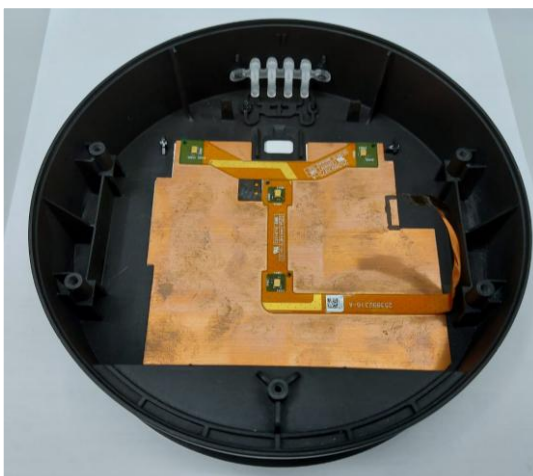
3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO ESTUDADO

Como é possível visualizar no diagrama da Figura 3, cada etapa do processo é operada por colaboradores com funções específicas, a fim de garantir a integridade dos componentes, que apresentam particularidades. O operador do primeiro posto de montagem é exclusivamente responsável por manusear o cabo *flex*, uma fita fina e flexível que contém vários condutores elétricos além de LCDs, componentes especialmente sensíveis. Este operador realiza a inserção cautelosa do cabo no *Top Cover* em sua bancada e, em seguida, posiciona o conjunto dentro do *kanban* designado, este que seguirá para a etapa de prensagem (Figura 4). Essa especialização da função visa minimizar os riscos de danos aos componentes eletrônicos durante o manuseio do cabo.

Figura 3 – Diagrama de representação do processo de preparação do *Top Cover* e sua sequência



Fonte: autora, 2022.

Figura 4 – Top Cover com cabo *flex* após montagem

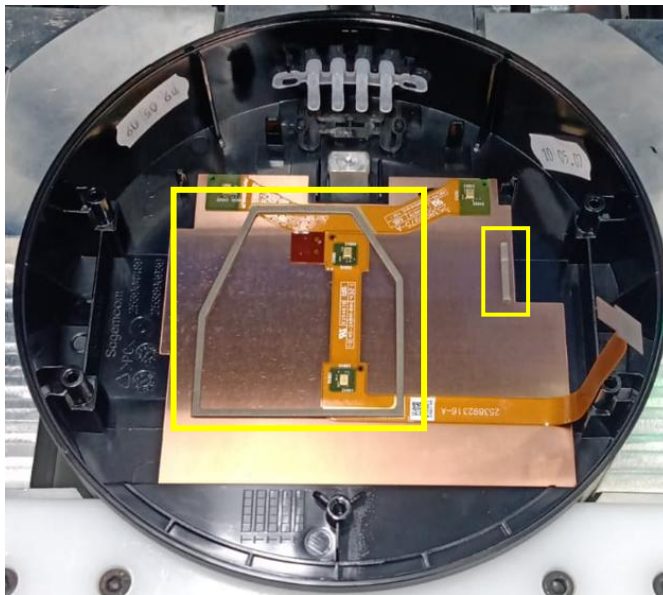
Fonte: autora, 2022.

Finalizada a montagem do cabo *flex*, o segundo operador dá continuidade ao processo. Ele é responsável por inserir os covers na prensa pneumática, essa que possui dois *slots* para prensagem, e removê-los assim que houver abertura automática das gavetas (Figura 5). Após retirar o cover já prensado da máquina, o segundo colaborador leva-o à sua própria bancada para a inserção dos *foams*, que são espumas de acabamento (Figura 6). Adicionalmente, quando o *kanban* de peças finalizadas está completo, é o segundo operador que realiza o transporte do lote até a próxima bancada de montagem, alimentando a fase seguinte. Por último, o operador que está na bancada de Montagem 2 fará a junção da placa com o *cover* finalizado, encerrando o ciclo de produção deste item.

Figura 5 – Prensa pneumática responsável pela fixação do cabo *flex* no *Top Cover*

Fonte: autora, 2022.

Figura 6 – Top Cover após prensagem e inserção dos foams



Fonte: autora, 2022.

Por esta ser uma linha composta predominantemente por operações manuais, sua performance está condicionada ao equilíbrio entre o ritmo de trabalho dos operadores e a disposição física dos postos, fatores que impactam significativamente o desempenho operacional. Segundo Corrêa e Corrêa (2012), em sistemas produtivos com alta dependência de atividades manuais, o sincronismo entre operadores e o balanceamento das tarefas são essenciais para reduzir tempos ociosos e garantir a estabilidade do fluxo de produção.

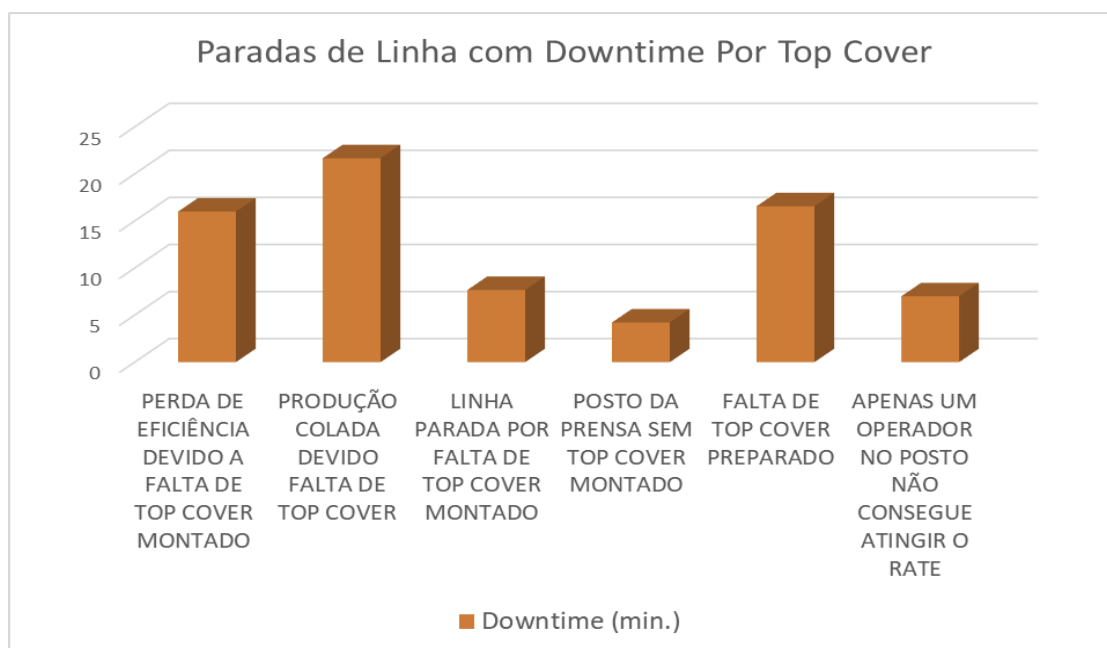
3.4 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA IDENTIFICADO

A identificação do problema iniciou-se através de reuniões diárias entre os departamentos, realizadas para acompanhamento dos indicadores da linha como produtividade e *Downtime*, além de debates a respeito das metas estabelecidas. Essas métricas são previamente registradas pelo sistema e apresentadas por seus respectivos times durante a reunião, como forma de manter todos informados sobre o andamento dos processos. Nessa reunião os dados diários são discutidos e categorizados conforme o tipo de anomalia seja essa relacionada a tempo de execução, ergonomia, material ou falha operacional, possibilitando uma avaliação sistêmica do processo.

Durante a reunião foi constatada a alta frequência de *Downtime* na linha, que se manifestava não como paradas de equipamento, mas como ineficiências no fluxo de trabalho. A quantificação desses períodos de inatividade por meio do indicador de *Downtime*, presente no sistema da empresa, revelou uma repetição de paradas curtas e médias, distribuídas ao longo do turno produtivo, com causas associadas principalmente a problemas de sincronia, já que constantemente havia falta de *Top Cover* preparado para abastecer os próximos postos (Figura 7).

Esses tempos improdutivos, embora de curta duração individual, somavam um montante expressivo ao final do ciclo, impactando diretamente o índice de produtividade global da linha. Isto porque o tempo de ciclo determina a quantidade que poderá ser produzida dentro de um período, como um turno por exemplo. Quanto maior o tempo de ciclo, menos unidades produzidas, enquanto para tempos de ciclo mais curtos, maior sua produtividade.

Figura 7 – *Downtimes* registrados para a linha STB



Fonte: autora, 2022.

A partir da observação de alterações no indicador de produtividade e do aumento da frequência de parada por *Downtime* na linha de *Sub-Assembly*, o time de Engenharia iniciou o processo de estudo de tempos, que tinha como finalidade averiguar o problema causador das variações no processo. Os dados de tempo foram coletados por meio de observação direta sistemática do processo produtivo,

conduzida pelo time de Engenharia Industrial ao longo de dez ciclos operacionais, de forma a garantir a precisão das medições.

A equipe posicionou-se próxima aos postos de trabalho durante o turno produtivo, realizando o estudo com o auxílio de cronômetro digital e planilhas de medição de tempo. Durante o estudo cada etapa da operação de montagem foi mapeada e medida individualmente, para capturar todos os passos da atividade incluindo pegadas e descargas dos itens. Além disso foram registrados os tempos de espera entre operações (quando ocorreram) e a sequência das atividades, a fim de utilizar essas informações para o balanceamento de linha posteriormente.

Os dados obtidos em 2022 pelo time de Engenharia, através da média das amostras foram então dispostos em uma planilha.

Tabela 1 – Estudo de tempos (*Layout Atual*)

Etapas do Processo (ANTES)	Tempo (Seg.)	%	% Acum.
Mover material do Cover para a bancada	6	6,74%	7%
Inserir cabo flex no Cover	10	11,24%	18%
Separar Cover preparado no Kanban	4	4,49%	22%
Pegar material e prensar na Flex Press	12	13,48%	36%
Mover material da prensa para a bancada	12	13,48%	49%
Inserir dois foams no Cover	10	11,24%	61%
Colocar Cover com cabo flex no Kanban	2	2,25%	63%
Trocar Kanban cheio para abastecer a Mtg02	10	11,24%	72%
Pegar placa e juntar com o Top Cover Finalizado	23	25,84%	89%
Total	89		

Fonte: autora, 2025.

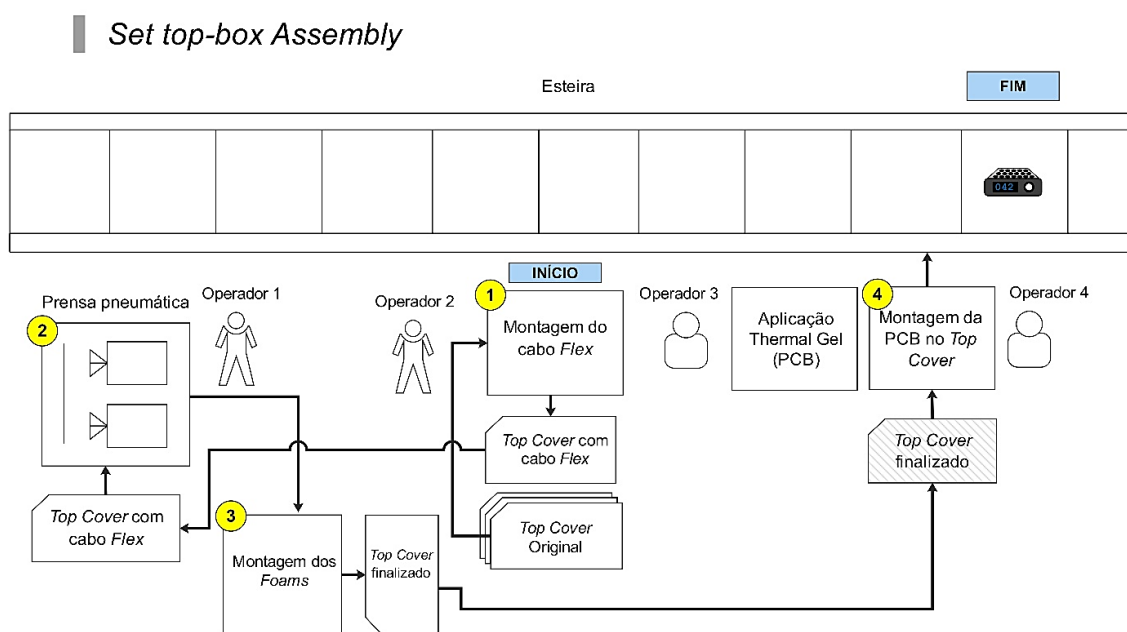
Esta medição revelou que uma parcela significativa do tempo era consumida em atividades de movimentação: as etapas de "Pegar material e prensar na *Flex Press*" e "Mover material da prensa para a bancada" somavam, sozinhas, 24 segundos. Ao se agregarem outras tarefas de manuseio, como "Mover material do Cover para a bancada" (6 segundos) e "Separar *Cover* preparado no *Kanban*" (4 segundos), constatou-se que um total de 34 segundos, ou aproximadamente 38% de todo o ciclo produtivo, era gasto exclusivamente com o deslocamento do operador e o transporte de materiais.

Uma breve observação dos dados da tabela de estudo de tempos foi capaz de demonstrar que os tempos de ciclo das operações apresentavam variações significativas, o que reflete um desequilíbrio entre as atividades executadas pelos

operadores. Esse desbalanceamento foi evidenciado pelos intervalos de espera recorrentes entre uma etapa e outra, principalmente nas fases de inserção do cabo *flex* e montagem dos *foams*, nas quais o segundo operador frequentemente aguardava a finalização da operação anterior para iniciar seu trabalho. A concentração de tempo nestas poucas etapas indicava um fluxo de trabalho desbalanceado e um *layout* ineficiente, que resultavam em movimentação excessiva.

Adicionalmente, a coleta dos dados e a observação *in loco* realizadas permitiram notar que a disposição física atual das bancadas e equipamentos não favorecia o fluxo contínuo da linha, ocasionando deslocamentos desnecessários (Figura 8).

Figura 8 – Diagrama de Movimentações (Linha STB)



Fonte: autora, 2022.

Essa constatação reforçou ainda a hipótese inicial de que o arranjo físico vigente era um fator crítico na ocorrência de paradas. Além do arranjo físico dos postos em si não favorecer a eficiência do processo, identificou-se má disposição dos materiais e ausência de padronização nos postos de trabalho, fatores que também prejudicam a performance produtiva da linha como um todo.

Conforme observa-se na Figura 9, a disposição inadequada de materiais no posto de trabalho compromete a fluidez do processo produtivo. Nesse posto,

destinado à montagem de cabos *flex*, foram identificados componentes pertencentes a outras etapas, como *kanbans* com *foams*, pertencentes a um posto presente em outro ponto do fluxo. Esses itens estavam acumulados em função da dificuldade do posto subsequente em acompanhar o ritmo da linha, o que gerava desbalanceamento entre os operadores e deixava nítido a necessidade de apoio entre estações.

Neste mesmo posto sobre a bancada é visível uma grande lupa, cuja iluminação paira exatamente no ponto onde será montado o cabo *flex*, este equipamento não só indica uma limitação visual do colaborador que irá montar este item, como também implica má utilização do espaço disponível, visto que a lupa ocupa boa parte da superfície da bancada e seus arredores.

Figura 9 – *Layout* atual da linha (Posto de montagem do cabo *flex*)



Fonte: autora, 2022.

Na Figura 10, correspondente ao posto de prensagem do *Top Covers* com cabo *flex*, constatou-se a presença de duas lixeiras posicionadas sob a prensa, embora

este seja um ponto do processo onde não há necessidade de descarte de resíduos, visto que essa atividade ocorre apenas na etapa seguinte durante a montagem dos foams, onde são descartadas as cartelas de papel. Estes itens, além de demonstrar falta de organização e acúmulo de materiais que não serão utilizados no posto, ocupavam uma parcela considerável do ambiente de movimentação do colaborador, este que já era limitado devido o *layout* da linha.

Além disso, na imagem é possível notar ainda uma bandeja de placas sobre a esteira, pertencente a outra operação (Teste) e posicionada de forma indevida e sem identificação, caracterizando não conformidade com os princípios do 5S, especificamente quanto à organização e ao uso adequado do espaço de trabalho (*Seiton* e *Seiri*, nesta ordem).

Figura 10 – *Layout* atual da linha (Posto de prensa do *Top Cover*)



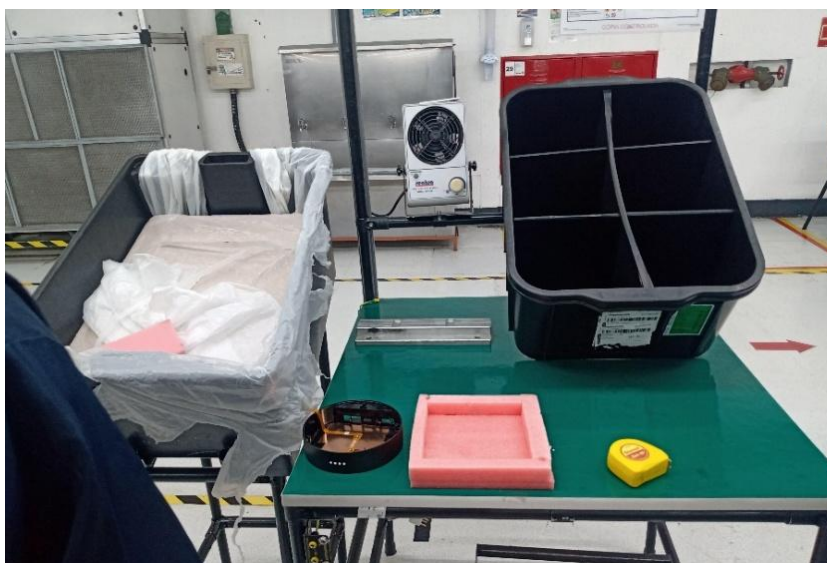
Fonte: autora, 2022.

Já na Figura 11, além de equipamentos não utilizados neste posto como uma ferramenta de medição (trena), o que já configura não conformidades dos princípios 5S mencionados anteriormente, verifica-se a presença de um *Top Cover* fora do suporte adequado e de um *kanban* improvisado sobre a bancada, configurando risco de danos ao produto e inadequação ergonômica. O *kanban* de tamanho inadequado não só dificulta o manuseio do item que está inserido neste, mas também limita o

espaço a ser utilizado para outros materiais que poderiam facilitar a operação, uma vez que este se encontra sobre a bancada de montagem.

Também é perceptível que a própria bancada aparenta ser improvisada, sua altura não sendo ideal para montagens, contendo inclusive um exaustor acoplado a esta, equipamento sem função operacional nesta montagem em específico. Nota-se também que a superfície do posto possui um suporte metálico fixado à esta, comumente utilizado para remover bordas de PCB, o que explicaria a utilização original da bancada. As situações observadas nas três estações demonstraram a necessidade de reorganizar o ambiente de trabalho e adequar os dispositivos auxiliares de acordo com a demanda real de cada etapa do processo, assim diminuindo desperdícios e evitando que isto reflita no aproveitamento do tempo produtivo.

Figura 11 – *Layout* atual da linha (Posto de montagem dos *Foams*)



Fonte: autora, 2022.

3.5 APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS

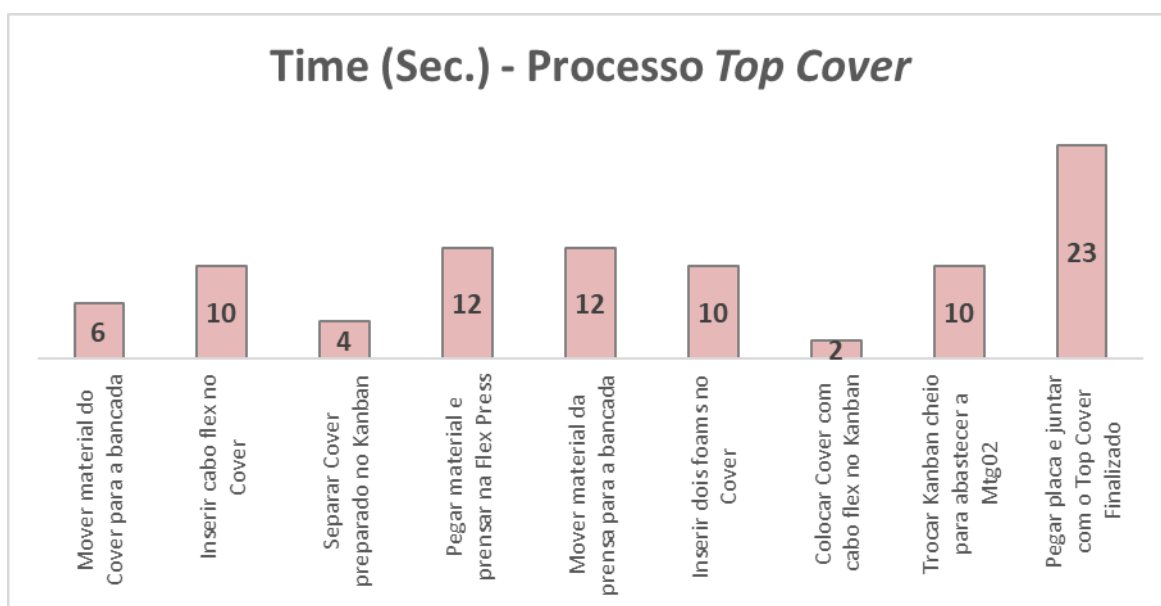
3.5.1 Utilização do Modelo A3

Para estudar as possíveis causas e explorar soluções para os problemas identificados, além de registrar as mudanças implementadas foi utilizado o modelo

A3/PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), que integrou outras ferramentas da qualidade a fim de um diagnóstico preciso.

A fase de Planejamento (*Plan*) foi composta por 5 etapas, sendo a primeira delas o Contexto. Dentro do Contexto, o problema foi exposto como um índice elevado de *Downtime* que impactava negativamente os indicadores de desempenho da linha como a produtividade, visto que devido às paradas a produção não performa com o mesmo rendimento. Além disso, após a observação direta, o time de Engenharia elaborou um Diagrama de Movimentos para melhor representação do fluxo de processo e das tarefas executadas por cada um da linha, no qual era possível visualizar a movimentação excessiva dos operadores (Figura 8). Em seguida, a etapa de Condição Atual foi representada pela cronoanálise realizada *in loco*, onde registrou-se um tempo de ciclo de 89 segundos por peça (Figura 12).

Figura 12 – Estudo de Tempos em gráfico de barras



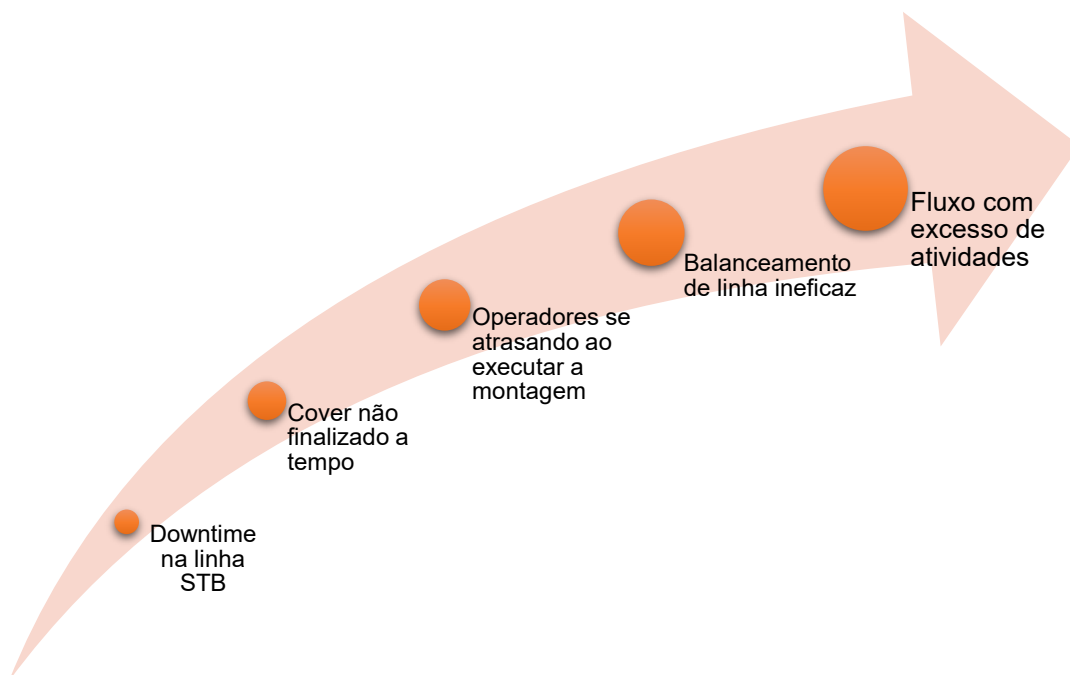
Fonte: autora, 2022.

Na terceira etapa, onde definem-se Metas e Objetivos, foi estabelecido uma meta que baseou-se na Condição Atual e Contexto do processo: reduzir o tempo de ciclo de montagem da peça. O acompanhamento do processo em campo somado à cronoanálise realizada evidenciou que a sequência das atividades manuais associada à disposição física ineficiente dos postos aumentava o tempo total necessário para completar a montagem do *Top Cover*, comprometendo as métricas produtivas da

linha. Seguindo esta lógica, atacar a variável tempo significava atuar diretamente sobre o gargalo do processo e, conseqüentemente, sobre os indicadores de desempenho da linha.

Para aprofundar o diagnóstico inicial identificado pelo time e encerrar a fase de Planejamento do projeto, na quarta etapa, onde é realizada a Análise da Causa Raiz do problema, utilizou-se a ferramenta dos 5 porquês, representada graficamente na Figura 13. Fazendo uma conexão entre o problema inicial à causa-raiz, esta ferramenta proporcionou à equipe uma visão aprofundada de todo o cenário do processo e os problemas enfrentados. Cada porquê foi respondido de forma objetiva e fundamentada nas evidências coletadas anteriormente, a partir do problema principal: *Downtime* na linha STB.

Figura 13 – Ferramenta 5 porquês aplicada ao problema



Fonte: autora, 2022.

1º Porquê: por que ocorre *Downtime* na linha STB?

Porque a linha frequentemente fica parada por falta de *Top Cover* montado, como constatado nos registros de *Downtime*, nos quais as principais causas apontadas são “Produção colada/linha parada devido à falta de *Top Cover*

montado” e variações de eficiência relacionadas a ausência de *covers* prontos. O *downtime* é a consequência direta de o processo não conseguir operar no ritmo da demanda. A linha é forçada a parar ou esperar porque sua capacidade é inferior à necessária.

2º Porquê: por que faltam *Top Covers* montados?

Porque a etapa de preparação do *Cover* não consegue entregar a quantidade exigida no ritmo necessário. O estudo de tempos evidencia que várias operações elementares como por exemplo, a inserção do cabo *flex* (10 segundos), prensagem (12 segundos) e inserção de *foams* (10 segundos) representam parcelas relevantes do ciclo (cada uma cerca de 11-13% do tempo), e o somatório desses tempos, aliado a espera e deslocamentos, reduz a taxa de saída de *Top Covers* prontos.

3º Porquê: por que a preparação não consegue manter o ritmo de abastecimento?

Porque existe desbalanceamento entre as tarefas e muito tempo gasto em atividades de apoio e movimentação: deslocamentos para buscar material, espera por posicionamento na prensa e manipulação repetitiva de itens. As evidências fotográficas e o mapeamento de movimentações (fluxo anterior) mostram deslocamentos frequentes; o estudo de tempos indica que além das operações produtivas há tempos consumidos por movimentação e logística interna (ex.: Levar *kanban*, reposicionamento de *covers*), que reduzem a capacidade efetiva do posto de preparação.

4º Porquê: por que há desbalanceamento e movimentação excessiva?

Porque o arranjo físico e a organização do posto não permitiam *buffers* e facilidade de manuseio suficientes. Esta conclusão foi diretamente suportada pela análise do Diagrama de Movimentações, que demonstrou visualmente um arranjo físico ilógico e sequência operacional ineficiente, com equipamentos e materiais distantes, forçando os operadores a realizarem percursos cruzados e desnecessários.

5º Porquê (causa-raíz): por que o arranjo físico e a sequência eram inadequados?

Porque o fluxo possuía excesso de atividades não essenciais e com pobre alocação de trabalho por posto. Sendo assim, o processo apresentava muitos deslocamentos e passos logísticos que não agregavam valor imediato, sobrecarregando sequências críticas. Esse excesso de atividades reduz a capacidade, cria filas entre operações e torna a linha sensível a variações (qualquer atraso em uma operação propaga-se rapidamente). Em suma, a cadeia de tarefas e o *layout* não estavam otimizados para minimizar movimentação, fornecer *buffers* adequados e balancear cargas entre os operadores, o que resultou nas paradas registradas.

Como etapa seguinte ao diagnóstico da causa-raiz, tornou-se necessário direcionar os esforços para a definição de medidas corretivas estruturadas, capazes de eliminar os fatores identificados e restabelecer o equilíbrio do processo. Assim, a equipe de Engenharia Industrial (IE) deu prosseguimento ao ciclo PDCA e à metodologia A3, traduzindo as conclusões obtidas na análise dos 5 Porquês em um plano de ação sistematizado. Essa transição marca o momento em que o estudo deixa a etapa analítica e passa à fase prática de implementação das melhorias, com foco na aplicação de contramedidas eficazes e mensuráveis.

A fase de Execução (*Do*) consistiu em colocar em prática o plano de ação, que foi detalhado e gerenciado por meio da ferramenta 5W2H (Quadro 4). Nesta ferramenta, foram definidas as contramedidas voltadas à reorganização dos postos de trabalho críticos (Figuras 9, 10 e 11), com o objetivo de otimizar o fluxo de pessoas e materiais sem impactar a produtividade da linha. As contramedidas foram elaboradas com base nas análises anteriores (*Downtime*, tempos e balanceamento) e tiveram como foco a eliminação de desperdícios operacionais identificados durante a observação direta.

A equipe de Engenharia Industrial, em conjunto com os times de Produção e Qualidade, definiu as ações prioritárias e suas respectivas responsabilidades, considerando os recursos disponíveis e a viabilidade de execução sem interrupção das atividades produtivas.

Quadro 4 – Ferramenta 5W2H aplicada na etapa de Execução do modelo A3

WHAT	WHO	WHEN	HOW	HOW MUCH	STATUS
------	-----	------	-----	----------	--------

Identificação do Problema - Downtime	Equipe	Abr'22	Reunião / Sistema	R\$ 0,0	DONE
Estudo de Tempos	Engenharia	Abr'23	Análise em Linha/ Planilha	R\$ 0,0	DONE
Análise de Balanceamento	Equipe	Mai'22	Análise de Planilha	R\$ 0,0	DONE
Análise de <i>Relayout</i>	Equipe	Mai'22	Análise em Linha	R\$ 0,0	DONE
Implementação da Mudança	Equipe	Jun'22	Análise em Linha	R\$ 0,0	DONE
Validação da Mudança	Equipe	Jun'22	Análise em Linha	R\$ 0,0	DONE

Fonte: autora, 2022.

3.5.2 Análise dos dados e Implementação das Mudanças

Como descrito no tópico anterior, a concepção das Contramedidas, etapa crucial da fase de Planejamento do ciclo PDCA e elemento central do Relatório A3, foi um processo analítico focado em responder diretamente à causa raiz identificada. A análise de *relayout* citada no plano de ação partiu do diagnóstico estabelecido pela cronoanálise (que quantificou o desperdício de tempo) e pelos 5 Porquês (que apontaram o "Fluxo com excesso de atividades" como causa fundamental). O objetivo era claro: atingir a meta de redução do tempo de ciclo através da eliminação sistemática de movimentações desnecessárias e disposição adequada de componentes e espaço.

A primeira oportunidade de melhoria foi identificada na análise do fluxo do processo. O diagrama de movimentações elaborado previamente evidenciava que o arranjo físico dos equipamentos forçava o operador a realizar movimentações no sentido contrário ao fluxo principal da linha de produção, além de a disposição dos postos não seguir a sequência de atividades do processo.

A ideia para a primeira contramedida foi, portanto, lógica e estrutural: a inversão do posicionamento da bancada e da prensa (Figura 14). Esta ação foi concebida para estabelecer um fluxo contínuo e unidirecional, um princípio-chave do *Lean Manufacturing*, alinhando o deslocamento do material com a direção da linha. Conforme Shingo (1996), o arranjo físico deve servir ao fluxo das operações, e qualquer transporte ou movimentação que não agrega valor deve ser sistematicamente eliminado pelo design do posto, o que justifica a inversão.

Figura 14 – Linha de produção após modificação da posição dos equipamentos.



Fonte: autora, 2022.

Em paralelo ao fluxo físico, a sequência do processo também foi analisada. A equipe de engenharia questionou a sequência de montagem, levantando a hipótese de otimizar a ordem das etapas. A proposta foi antecipar a inserção dos *foams* para antes da prensagem do *cover*. Seguindo o rigor metodológico do A3 e os procedimentos formais de controle de mudança da empresa, a alteração foi submetida à aprovação através de uma ECR (*Engineering Change Request*), ou Solicitação de Mudança da Engenharia.

A abertura de uma ECR é um procedimento padrão que implica um processo de análise de impacto e validação por todas as áreas afetadas (como Qualidade, Processos e Produto), garantindo que a alteração de processo não comprometa a integridade, a segurança ou as especificações do produto (Figuras 15 e 16).

Figura 15 – Cabeçalho da ECR extraído do SAP

```

Ordem de Modificação (ECR): ECR-440192 | Status: LIBERADA (APPROVED)

[ ABA: CABEÇALHO ]
-----
Nº da ECR:          ECR-440192
Tipo de Modificação: PROC (Modificação de Processo)
Prioridade:        2 (Normal)
Data Criação:      28/04/2022
Solicitante:       K.JIMENEZ ( )
Centro:           1100 (Manaus - PIM)
Status:           LIBERADA (Aguardando Implementação)
Data Efetiva:     06/06/2022
Título da ECR:    Otimização de Processo - Inversão da
                  Montagem de Foams (Posto Kit Flex)
  
```

Fonte: sistema SAP.

Figura 16 – Descrição da Modificação via ECR no SAP

```

[ ABA: DESCRIÇÃO DA MODIFICAÇÃO ]
-----
Razão da Modificação: (Código 3 - Otimização de Processo)
- Ação corretiva do Projeto A3 (Relayout Processo Kit Flex).
- Causa Raiz: Layout inadequado e excesso de movimentação.
- Objetivo: Reduzir tempo de ciclo, eliminar manuseio duplo
  pelo Operador 2 e otimizar o fluxo de montagem.

Descrição da Mudança (Texto Longo):

SITUAÇÃO ATUAL (ANTES):
1. Operador (Bancada 1) insere o Kit Flex (P/N 910-11A) no
  Cover (P/N 4500-1120).
2. Operador (Bancada 2) posiciona o conjunto na Prensa.
3. Operador (Bancada 2) retira o conjunto da Prensa.
4. Operador (Bancada 2) aplica os Foams (P/N 110-04F e
  P/N 110-05F) no conjunto.

SITUAÇÃO PROPOSTA (DEPOIS):
1. Operador (Bancada 1) insere o Kit Flex (P/N 910-11A) no
  Cover (P/N 4500-1120).
2. Operador (Bancada 2) aplica os Foams (P/N 110-04F e
  P/N 110-05F) no conjunto (NOVA ETAPA).
3. Operador (Bancada 2) posiciona o conjunto completo na
  Prensa (ETAPA MODIFICADA).
4. Operador (Bancada 2) retira o conjunto da Prensa
  (ETAPA MODIFICADA, sem montagem de foams).
-----

```

Fonte: sistema SAP (2025).

Após a aprovação formal desta ECR pela equipe de Qualidade, foi realizada a conclusão da análise técnica conjunta de que a alteração era segura, pois os *slots* da prensa são dedicados a pontos de pressão específicos, não havendo risco de dano aos *foams* (Figura 17). A aprovação foi seguida de uma série de validações antes da implementação, protocolos como atualização de documentos como Flow Chart, Plano de Controle e Instrução de Trabalho são vitais para assegurar que a alteração no método não afetará a conformidade do produto nem a segurança do processo, mantendo o controle e a estabilidade.

Figura 17 – Aba de Análise de Impacto e Documentação extraída do SAP

```

[ ABA: ANÁLISE DE IMPACTO / DOCUMENTAÇÃO ]
-----
[X] Qualidade:
  Análise de Risco (FMEA) atualizada. Lote piloto (50 pçs)
  APROVADO (R. Souza). Risco de dano aos foams pela prensa
  é NULO (slots não tocam a área de aplicação).

[X] Documentação:
  Atualizar Instrução de Trabalho (POP): IT-OP-4510-B
  (de Rev 03 para Rev 04). Responsável: K.JIMENEZ

[ ] Custo:
  Impacto POSITIVO (Redução de T.C.). Custo: R$ 0,00.

[ ] EHS (Ergonomia):
  Impacto POSITIVO. Reduz manuseio duplo (pegar/largar).

```

Fonte: sistema SAP.

Posteriormente, o foco da melhoria moveu-se para o micro *layout*, destinado à otimização do espaço dos postos. O método de trabalho inicial da montagem do cabo *flex* limitava o operador a um lote de duas peças, restrito pela capacidade da prensa. A solução para este problema foi concebida através de uma abordagem de *Kaizen* (melhoria de baixo custo). Observou-se no depósito a disponibilidade de embalagens de um modelo antigo e obsoleto, as quais poderiam ser reaproveitadas (Figura 18). Após testes e adaptações, esta bandeja seria reaproveitada e utilizada na bancada de montagem (Figura 19). Esta ideia permitiria ao operador posicionar até seis *covers* simultaneamente, atacando diretamente o tempo de pegada de material por ciclo e reduzindo a movimentação.

Figura 18 – Embalagem a ser reaproveitada na otimização



Fonte: autora, 2022.

Figura 19 – Teste com a bandeja para ajuste de tamanho



Fonte: autora, 2022.

O trabalho conjunto dos times de Engenharia, Produção e Qualidade para implementar, validar e registrar as etapas do projeto serviu como pilar principal para que todas as melhorias fossem aperfeiçoadas, uma vez que cada departamento promove uma visão diferente da ideia a ser discutida, o que torna os debates ricos e diversos.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

A fase de Verificação (*Check*) do ciclo PDCA, executada após a implementação das contramedidas, foi focada na validação quantitativa das melhorias. Para isso, foi utilizada a mesma ferramenta de cronoanálise empregada na fase de diagnóstico (*Plan*), permitindo uma comparação direta e imparcial dos resultados. A análise detalhada da Tabela de Cronoanálise registrada depois da reorganização dos postos (Tabela 2) permite visualizar nitidamente que os ganhos não vieram de uma única fonte, mas de uma combinação de eliminação de desperdícios e otimização de operações.

Tabela 2 – Estudo de Tempos após *relayout*

Etapas do Processo	Tempo (Sec.) - ANTES	Tempo (Sec.) - DEPOIS	Tempo Reduzido (Sec.)
Mover material do Cover para a bancada	6	4	2
Inserir cabo flex no Cover	10	8	2
Separar Cover preparado no Kanban	4	2	2
Mover material do Kanban para a bancada	12	2	10
Inserir dois foams no Cover	10	6	4
Pegar material e prensar na Flex Press	12	10	2
Colocar Cover com cabo flex no Kanban	2	0	2
Trocar Kanban cheio para abastecer a Mtg02	10	0	10
Pegar placa e juntar com o Top Cover Finalizado	23	18	5
Total	89	50	-39

Fonte: autora, 2022.

A tabela evidencia que as atividades de "Colocar *Cover* com cabo *flex* no *kanban*" (2 segundos), "Trocar *kanban* cheio para abastecer a Mtg02" (12 segundos), que juntas somavam 14 segundos de trabalho utilizados apenas em transporte, foram completamente eliminadas do posto analisado, sendo absorvidas de forma mais eficiente pelo fluxo da esteira, junto às placas.

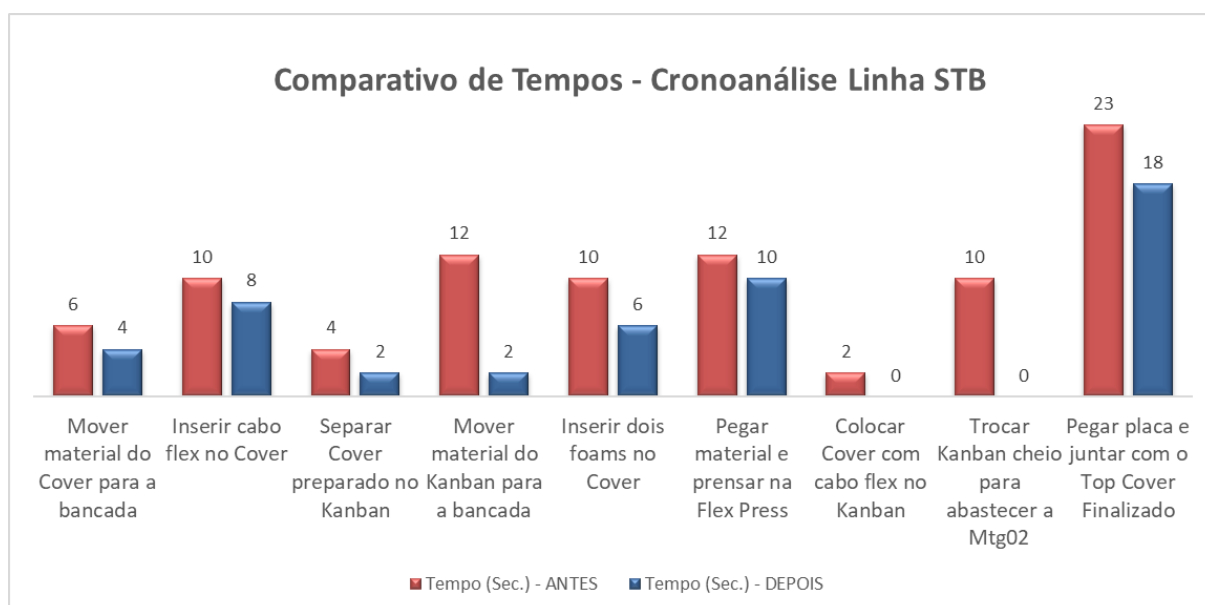
Durante a análise da condição inicial, constatou-se que parte significativa das perdas de tempo de ciclo estava associada a movimentações desnecessárias entre postos de trabalho. Em especial, identificou-se que o operador do primeiro posto realizava o transporte manual do *kanban* cheio até o segundo posto de montagem, o que interrompia seu próprio fluxo de atividades e aumentava o tempo total de operação. Após o redesenho do processo, essa movimentação foi eliminada, sendo

substituída pelo ato de posicionar diretamente o *Top Cover* junto à placa na esteira, permitindo que a peça seguisse automaticamente para a próxima etapa. De forma complementar, a troca de *kanbans* para abastecimento passou a ser executada pelo abastecedor da linha, eliminando a necessidade de deslocamento dos operadores de montagem e contribuindo para a redução do tempo de ciclo e a padronização do fluxo produtivo.

Os 25 segundos restantes da redução total foram obtidos através da otimização das demais etapas que permaneceram no posto: por exemplo: "Mover material do *kanban* para a bancada"; onde o operador tentava manusear o máximo de *Top Covers* possíveis até a bancada para tentar alcançar o ritmo da linha; foi reduzido de 12 para 2 segundos. Isso demonstra a eficácia da cronoanálise não apenas como uma ferramenta de medição, mas como um instrumento investigativo que, segundo Toledo (2004b), expõe as ineficiências e quantifica os desperdícios que se tornam o foco da melhoria.

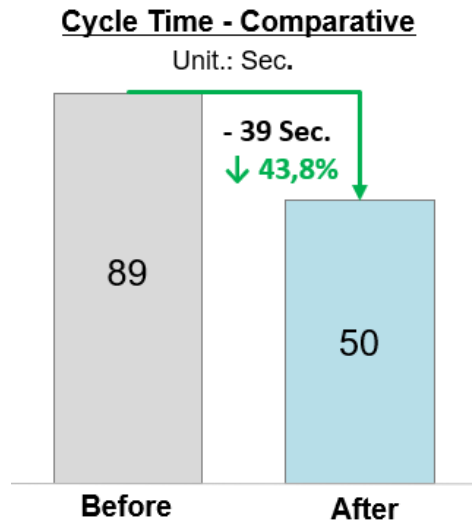
Por sua vez o gráfico de barras comparativo de Cronoanálise (Figura 20) e o gráfico comparativo de Tempo de Ciclo (Figura 21) sintetizam o impacto das ações de melhoria: o tempo de ciclo total, que na condição inicial era de 89 segundos, foi reduzido para 50 segundos.

Figura 20 – Gráfico de barras Comparativo de Cronoanálise após a melhoria



Fonte: autora, 2022.

Figura 21 - Comparativo dos tempos de ciclo



Fonte: autora, 2022.

Este resultado representa uma redução absoluta de 39 segundos por ciclo, equivalendo a uma redução percentual de 43,8% sobre o tempo original, utilizando o cálculo de variação percentual (Redução, neste caso) representado pela fórmula (1).

(1)

$$\text{Redução \%} = \frac{(\text{Tempo Original} - \text{Tempo Novo})}{\text{Tempo Original}} \times 100$$

Aplicando aos dados obtidos através dos dois estudos de tempo:

$$\text{Redução \%} = \frac{(89 - 50)}{89} \times 100$$

$$\text{Redução \%} = \frac{39}{89} \times 100$$

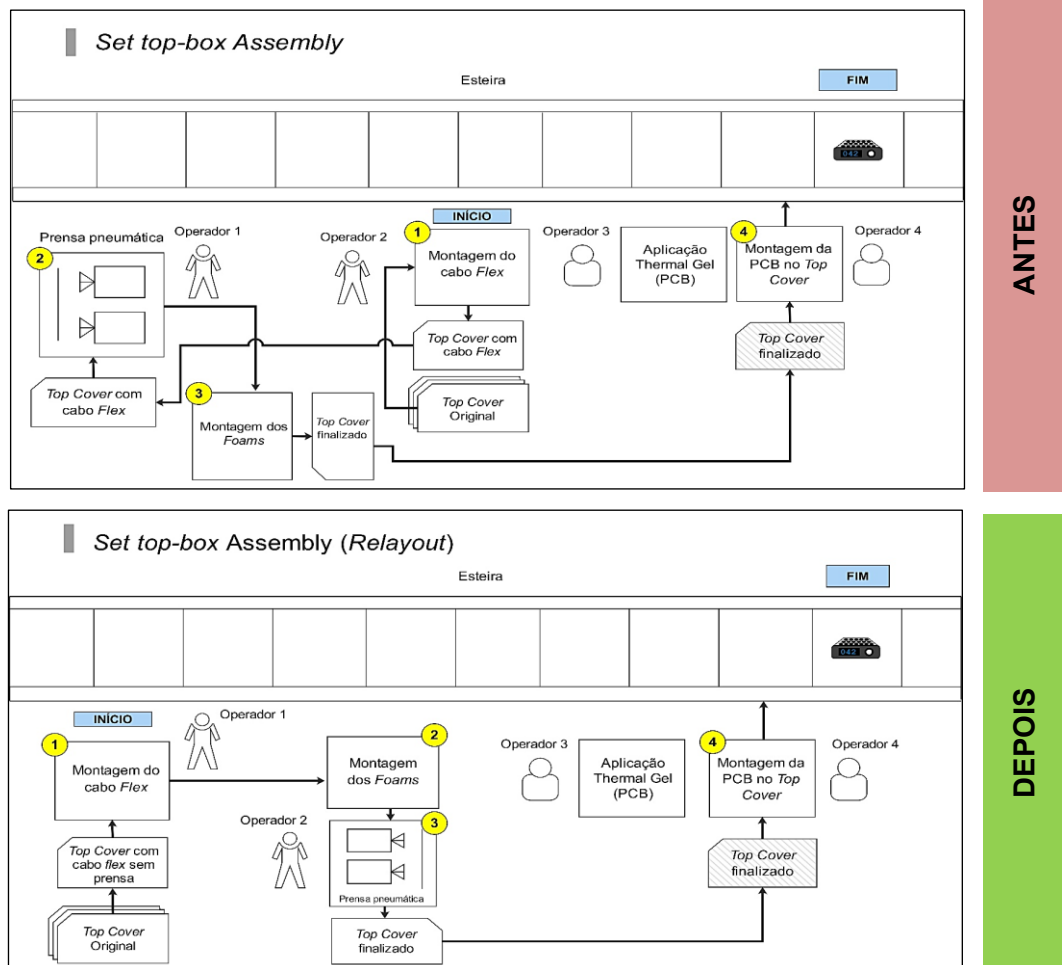
$$\text{Redução \%} \approx 0,4382 \times 100$$

$$\text{Redução \%} = 43,8\%$$

Esta redução do tempo de ciclo resultou em um ganho direto de capacidade produtiva da linha, uma vez que o posto responsável pela preparação do Top Cover deixou de atuar como gargalo. Considerando que o tempo de ciclo é o principal determinante da quantidade de unidades produzidas por hora, a nova condição operacional permitiu elevar significativamente o *output* da linha. Na prática, isso significou que o operador passou a realizar mais ciclos completos no mesmo intervalo de tempo, reduzindo as microparasadas decorrentes da falta de material e minimizando o tempo ocioso dos postos subsequentes.

Tendo em vista que a causa raiz do tempo de ciclo elevado era o excesso de movimentação, como diagnosticado na fase de Análise (*Plan*) através dos 5 Porquês e do Diagrama de Movimentações; a eficácia do *relayout* é comprovada visualmente pela comparação do Diagrama de fluxo anterior (que caracterizava um fluxo inconsistente) com o novo Diagrama de Movimentações (Figura 22).

Figura 22 – Comparação Diagramas de Movimentações



O novo diagrama ilustra um fluxo linear, coeso e unidirecional, eliminando os cruzamentos e retornos que consumiam tempo de trabalho. Esta mudança física também é embasada pela evidência fotográfica do novo *layout* retratado previamente na Figura 14. O design de *layouts* focados no fluxo de valor é um pilar da manufatura enxuta, e a eliminação de tais desperdícios é o primeiro passo para a estabilização do processo (Pacholski; Pawlewski, 2008).

Além do *layout* da linha, a otimização do método de trabalho também foi validada. A Figura 23 documenta a implementação da ECR aprovada, onde os *foams* são aplicados antes da prensagem, eliminando o manuseio duplo.

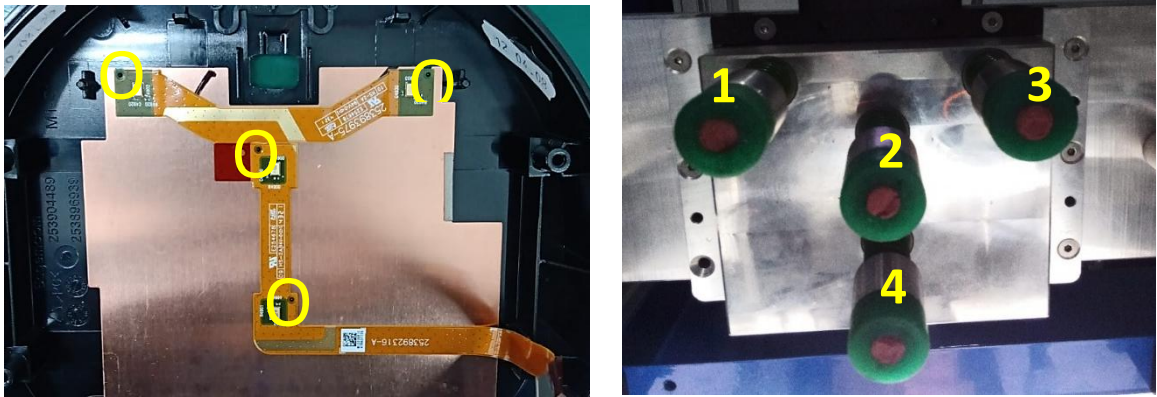
Figura 23 – Teste de prensagem do cabo *flex* no *Top Cover* com *foams* já montados



Fonte: autora, 2022.

A análise de risco realizada pela Qualidade baseou-se no fato de que cada *slot* da prensa possui 4 pistões que fazem a prensagem em locais-chave, estes pontos são identificados por pequenos pinos-guia no *Top Cover* (Figura 24).

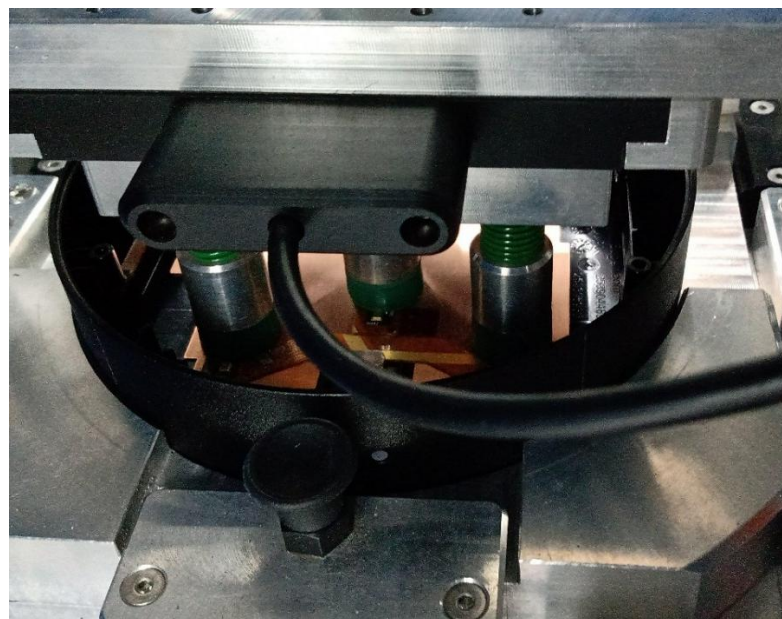
Figura 24 – Pistões da prensa pneumática e seus respectivos pinos-guia no *Top Cover*



Fonte: autora (2022)

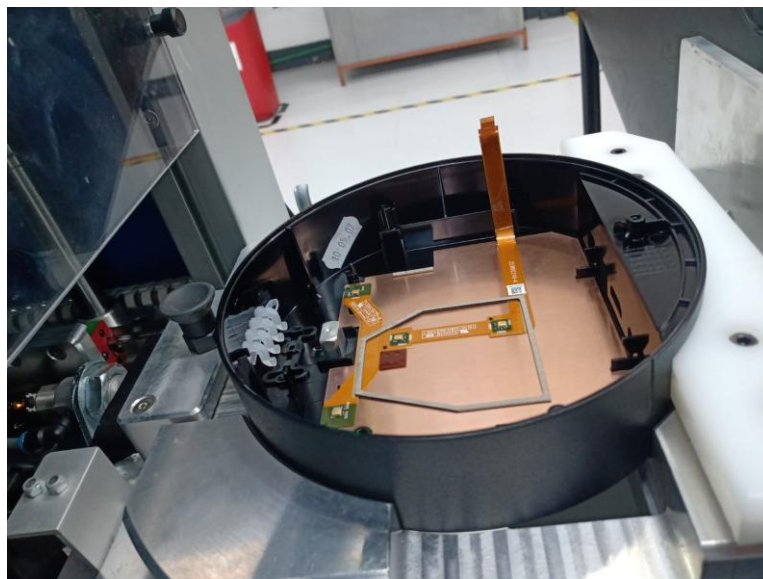
Durante a montagem do cabo *flex*, estes pinos são utilizados como forma de guiar o encaixe, de modo que todos os pontos e seus respectivos LCDs estejam devidamente fixos à superfície do *Top Cover* (Figura 25). Já na Figura 26, foi registrado as condições dos *foams* e do cabo *flex* para garantir que não houve dano a ambos os componentes.

Figura 25 – *Top Cover* em processo de prensagem (Visão interna da prensa)



Fonte: autora, 2022.

Figura 26 – Top Cover com cabo *flex* prensado e *foams* já montados



Fonte: autora, 2022.

Adicionalmente, as intervenções no *layout* dos postos, como a bandeja reaproveitada para alocar seis *Covers* na montagem do cabo *flex*, foram cruciais. A instalação desta estrutura otimizou o espaço e criou uma área útil, que passou a ser utilizada para posicionar as bandejas do cabo *flex* logo atrás dos *covers*. Essa mudança traria os componentes essenciais para a área de alcance primário do operador, tornando o processo de montagem mais ágil e prático.

Entretanto, o processo de melhoria não cessou na primeira implementação. A observação direta do novo método ainda na fase de Verificação (*Check*) do PDCA identificou que a bancada plana obrigava o operador a manter a cabeça inclinada para baixo por longos períodos. Tal condição representava um risco ergonômico e, criticamente, comprometia a qualidade da inspeção visual do cabo *flex*.

A solução final, concebida em uma ação conjunta com as equipes de Manutenção e EHS (Segurança, Meio Ambiente e Saúde), foi modificar a bancada para que esta tivesse uma inclinação de 45°. Esta intervenção está alinhada aos preceitos da ergonomia, que, segundo Iida (2005), sugere que o projeto do posto de trabalho deve garantir posturas adequadas e ângulos de visão confortáveis, reduzindo a carga biomecânica e, conseqüentemente, melhorando a precisão da montagem e a eficácia da inspeção de qualidade.

Figura 27 – Bancada de Montagem do Kit Flex após modificações



Fonte: Autora, 2022.

A reorganização física dos equipamentos, a eliminação de movimentos desnecessários e a padronização das tarefas contribuíram para a estabilidade do fluxo produtivo, assegurando um ritmo contínuo e reduzindo os registros de *Downtime*.

A etapa final do acompanhamento do ciclo PDCA (*Act*) foi focada na consolidação, padronização e disseminação dos ganhos obtidos (Figura 28). A primeira e mais crucial ação desta fase foi a padronização do novo *layout* e balanceamento da linha. Esta atividade, representa a formalização da melhoria. A padronização não se refere à implementação física (executada na fase *Do*), mas à atualização de toda a documentação de engenharia de processo. As Instruções de Trabalho (ITs) e os documentos de fluxo da linha STB como o Flow Chart foram revisados e aprovados pelos responsáveis, refletindo o novo fluxo de materiais.

Figura 28 – Representação da fase *Act* no relatório A3 do projeto

7. EVALUATE RESULTS	ACT																
<p>- Com a melhoria, foi obtido uma melhoria quase 44% no processo e assim, evitando downtimes futuros.</p> <p>- ITs: 13-IE30-4100-00589-C / 13-IE30-4100-00590-C;</p> <p>- ECR: 440192</p>																	
22/06/2022 10:00:00 AM																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Mfg Area</th> <th>Productivity%</th> <th>Downtime</th> <th>Department%</th> </tr> <tr> <th>Lines</th> <th>ISS</th> <th>Total</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MA_Manual Insertion</td> <td style="background-color: #90ee90;">100%</td> <td style="background-color: #90ee90;">0%</td> <td style="background-color: #90ee90;">0%</td> </tr> <tr> <td>SAGEMCOM.SUBASSY.STB.7</td> <td style="background-color: #90ee90;">100%</td> <td style="background-color: #90ee90;">0%</td> <td style="background-color: #90ee90;">0%</td> </tr> </tbody> </table>	Mfg Area	Productivity%	Downtime	Department%	Lines	ISS	Total		MA_Manual Insertion	100%	0%	0%	SAGEMCOM.SUBASSY.STB.7	100%	0%	0%
Mfg Area	Productivity%	Downtime	Department%														
Lines	ISS	Total															
MA_Manual Insertion	100%	0%	0%														
SAGEMCOM.SUBASSY.STB.7	100%	0%	0%														
<p>- Melhoria sem custo de implementação com foco em organização, padronização, definição de valor e 5S</p>																	

Fonte: Autora, 2022.

Em paralelo à documentação, previsto no plano de ação (Quadro 4) na etapa de Implementação da Mudança, foi feito o treinamento dos operadores no novo *layout*. Esta etapa foi fundamental para assegurar que o novo método fosse compreendido e executado corretamente por todos os colaboradores, garantindo a aderência ao novo padrão e a obtenção dos resultados de forma consistente.

A fase *Act* também formaliza a sustentabilidade do ganho. No plano de ação do Quadro 4 existe a etapa de Validação da Mudança. Isso demonstra a transição da gestão do projeto para a gestão da rotina; a equipe de Engenharia e Produção continuam a monitorar os indicadores de performance para garantir que o processo permaneça estável e não ocorram regressões ao método de trabalho anterior.

Finalmente, esta fase serve como um mecanismo de disseminação do conhecimento, conhecido no meio *Lean* como *Yokoten* (compartilhamento horizontal). Com a publicação do projeto A3 no sistema interno da empresa, é possível apresentar as melhorias implementadas para as demais áreas e até a gerência, além de incentivar e informar os colaboradores gerando oportunidade de replicação da melhoria em outras linhas.

Com isso, o sucesso do projeto A3 na linha do *Set-top Box* é transformado em um aprendizado organizacional validado, que agora será ativamente estudado para replicação em outros processos com características similares, multiplicando o impacto positivo do estudo na planta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar e demonstrar os impactos da aplicação de melhorias utilizando ferramentas do *Lean Manufacturing* e da metodologia A3 em uma linha de montagem manual de uma indústria de eletrônicos localizada no Polo Industrial de Manaus (PIM). A pesquisa buscou compreender de que forma a aplicação sistemática dessas ferramentas poderia contribuir para a redução de desperdícios e o aumento da produtividade, em um ambiente caracterizado pela alta dependência de operações manuais e pela ocorrência recorrente de paradas não programadas (*Downtime*).

A partir da análise dos indicadores internos de desempenho, como a produtividade e o *Downtime*, verificou-se que os principais gargalos estavam relacionados à disposição física dos postos e à ausência de padronização operacional, o que resultava em um fluxo de materiais ineficiente e frequentes interrupções no processo. A metodologia empregada foi fundamentada na observação direta, cronoanálise e uso de ferramentas da qualidade, o que permitiu identificar as causas raízes dos problemas e estabelecer contramedidas estruturadas no formato 5W2H. Essa abordagem corroborou também a importância do método científico aplicado à engenharia de produção, conforme defendem Slack et al. (2018), ao enfatizar que a análise sistemática de processos é condição essencial para o aumento da eficiência operacional.

A aplicação das ferramentas *Lean* possibilitou a reorganização dos postos de trabalho, a redução de movimentações desnecessárias e a melhoria do fluxo produtivo, o que culminou na diminuição dos tempos de ciclo e no aumento da produtividade global da linha. A redução de 43,8% no tempo de ciclo, além de expressiva, representou um avanço estrutural no desempenho da linha, pois foi convertida em maior produtividade, maior estabilidade do fluxo e eliminação das paradas recorrentes por falta de *Top Cover*.

Ao eliminar a causa-raiz das interrupções e otimizar a distribuição das atividades, a linha passou a operar de forma mais sincronizada, evidenciando o impacto positivo da reorganização dos postos e da padronização operacional. Com isso, comprovou-se não apenas o ganho quantitativo, refletido no aumento da produtividade, mas também o ganho qualitativo, traduzido na melhoria da ergonomia e segurança, na fluidez do processo e na previsibilidade operacional. Tais resultados

confirmam as considerações de Shingo (1996), segundo as quais a estabilidade e a previsibilidade dos processos são alcançadas por meio da eliminação sistemática de desperdícios e da simplificação das atividades.

Além disso, a utilização do método A3 mostrou-se eficiente para integrar diferentes setores da empresa como Engenharia, Qualidade, Produção e Planejamento em torno de um objetivo comum. O relatório A3, ao estruturar o raciocínio lógico do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), permitiu registrar com clareza a evolução das etapas do projeto, desde o diagnóstico até o acompanhamento dos resultados. Essa integração reforça a importância do pensamento científico e colaborativo na solução de problemas industriais, como apontam Lorenzi e Ferreira (2018), ao destacarem que o método A3 promove não apenas melhorias pontuais, mas também o aprendizado organizacional contínuo.

No contexto da fase *Act* do ciclo PDCA, as práticas bem-sucedidas foram padronizadas e incorporadas à rotina operacional, garantindo a sustentabilidade das melhorias alcançadas. O trabalho evidenciou que a manutenção dos novos padrões de trabalho requer acompanhamento constante e comprometimento da liderança, de modo a evitar o retorno a práticas anteriores. Essa constatação está em consonância com os princípios da melhoria contínua de Deming (1990), que reforça a importância da padronização como base para o avanço progressivo da qualidade.

Por fim, o estudo demonstrou que a aplicação de metodologias enxutas em linhas de montagem manuais é plenamente viável e gera resultados expressivos, desde que sustentada por uma cultura organizacional voltada ao aprendizado e à participação dos colaboradores. A pesquisa contribui para o campo da Engenharia de Produção ao evidenciar que pequenas intervenções estruturadas e fundamentadas em dados podem gerar ganhos significativos de desempenho sem gerar custo, confirmando a relevância da integração entre teoria e prática. Sugere-se, como continuidade, o monitoramento a longo prazo dos resultados obtidos, a replicação da metodologia em outros processos produtivos e a incorporação de tecnologias digitais de acompanhamento em tempo real, fortalecendo a cultura de melhoria contínua e inovação operacional.

REFERÊNCIAS

- AMOS, Alison *et al.* **Assessing the quality of the A3 thinking tool for problem solving.** *In: Advances in the human side of service engineering*, v. 494, p. 49–61, jul. 2017.
- ANIS, Gerson Castiglieri. **A importância dos estudos de tempos e métodos para controle da produtividade e qualidade.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Qualidade e Produtividade) – Universidade Nove de Julho. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/tempometodos/14525238>. Acesso em: 26 set. 2025.
- BARBOSA, R. A. *et al.* **Elaboração e implementação de um plano de manutenção com auxílio do 5S: metodologia aplicada em uma microempresa.** *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 29., 2009, Salvador. Anais [...]. Salvador, BA: ENEGEP, 2009. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_tn_sto_091_619_13510.pdf. Acesso em: 15 de set. 2025.
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- BASSUK, J. A.; WASHINGTON, I. M. **The A3 problem solving report: a 10-step scientific method to execute performance improvements in an academic research vivarium.** *PLOS ONE*, v. 8, n. 10, p. 1-9, 2013. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0076833&type=printable>. Acesso em: 25 set. 2025.
- BEAUREGARD, Michael R. **Process downtime reduction: how to minimize waste from breakdowns, setups, supply chain issues, and staffing constraints.** New York: Productivity Press, 2023.
- BETTS, J.; MAHMOUD, K. I. **A method for assembly line balancing, engineering costs and production economics**, v. 18, p. 55–64, 1989.
- BORBA, Mirna de *et al.* **Comparação dos métodos de análise de tempos pré-determinados MTM-A1 e MTM-UAS: um estudo de caso junto a uma linha de montagem de telefones.** *In: SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção*, 15., 2008, Bauru, SP. Anais [...]. Bauru, SP: UNESP, 2008. Disponível em: http://www.peteps.ufsc.br/novo/attachments/078_artigo_mtm_telefone.pdf. Acesso em: 26 set. 2025.
- BRUM, Tarcisio Costa. **Oportunidades da aplicação de ferramentas de gestão na avaliação de políticas públicas: o caso da política nacional de resíduos sólidos para a construção civil.** Disponível em: https://www.ufff.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2012_3_Tarcisio.pdf. Acesso em: 14 set. 2025.

CANEN, A. G.; WILLIAMSON, G. H. **Facility layout overview: towards competitive advantage**. *Facilities*, v. 16, n. 7, 1996.

CORRÊA, L. E. A.; **Estudo de tempos e movimentos**. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, [S. l.]*, v. 11, n. 19a, p. 22–42, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/88269>. Acesso em: 19 set. 2025.

DA SILVA, R. P. **Lean manufacturing: princípios e práticas na indústria brasileira**. São Paulo: Atlas, 2020.

DEMBOGURSKI, R. A.; OLIVEIRA, M. de; NEUMANN, C. **Balanceamento de linha de produção**. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 28.*, 2008, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_069_490_11644.pdf. Acesso em: 16 set. 2025.

DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração**. 3. ed. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.

DHONDT, S.; BENDERS, J.; **Missing links: production structures and quality of working life in the clothing industry**. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 18, n. 12, 1998.

FERREIRA, B. A. *et al.* **Aplicação dos princípios do Lean Manufacturing na análise do processo de enfardamento de fibras de carbono**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – PUC Minas, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://bib.pucminas.br/pergamumweb/vinculos/000005/00000515.pdf>. Acesso em: 7 set. 2025.

FREITAS, J. **Criação de fluxo numa indústria de acrílicos**. Mestrado, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2019.

FESTUGATTO, J. R.; BRAMBILLA, N.; FOLLMANN, A. F.; OLIVEIRA, G. A. **Aplicação da metodologia de balanceamentos de linhas na empresa Atlas Eletrodomésticos Ltda**. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26.*, 2006, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza, CE: ENEGEP, 2006. Disponível em: <http://www.pg.cefetpr.br/ppgep/Ebook/ebook2006/Artigos/8.pdf>. Acesso em: 23 set. 2025.

GISMONTI, W. R.; MENEZES, J. O.; MONTEIRO A. **Aplicação de uma metodologia do programa 5S para empresas de reparadores automotivos: um estudo de caso na região metropolitana do Rio de Janeiro**. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 29.*, 2009, Salvador. Anais [...] Salvador: ENEGEP, 2009.

GUTIERREZ, R. M. V.; ALEXANDRE, P. V. M. **Complexo Eletrônico Brasileiro e Competitividade**. BNDES Setorial, n. 18, p. 165–192, 2003. Disponível em:

https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivo/s/conhecimento/bndeset/set1805.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.

GUIMARAES, G. E. *et al.* **Analysis of the results of Lean Manufacturing implementation in a metal-mechanical company from Panambi–Rio Grande do Sul–Brazil.** *In: New Global Perspectives on Industrial Engineering and Management.* Cham: Springer, 2019. p. 273–280. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Gil-Guimaraes/publication/327320818_Analysis_of_the_Results_of_Lean_Manufacturing_Implementation_in_a_Metal-Mechanical_Company_from_Panambi-Rio_Grande_do_Sul-Brazil_International_Joint_Conference_ICIEOM-ADINGOR-IISE-AIM-ASEM/links/5c9f6e6e299bf1116951097c/Analysis-of-the-Results-of-Lean-Manufacturing-Implementation-in-a-Metal-Mechanical-Company-from-Panambi-Rio-Grande-do-Sul-Brazil-International-Joint-Conference-ICIEOM-ADINGOR-IISE-AIM-ASEM.pdf. Acesso em: 18 set. 2025.

HALL, D. J.; FORD, T. Q. **A quality approach to factory design:** Industrial Management and Data Systems, v. 98, n. 6, 1998.

HELGESON, W. B.; BIRNIE, D. P. **Assembly line balancing using the ranked positional weight technique.** Journal of Industrial Engineering, v. 12, n. 6, p. 394–398, 1961.

INDEZEICHAK, J. **Gestão da qualidade:** teoria e prática. São Paulo: Atlas, 2005.

JURAN, J. M. **Controle da Qualidade (Handbook).** 4. ed. São Paulo: Makron Books, 1991.

KROGSTIE, L.; ULONSKA, S.; WELO, T.; ANDERSEN, B. **On knowledge-based development:** how documentation practice represents a strategy for closing tolerance engineering loops. Procedia CIRP, v. 21, p. 318–323, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114007173?via%3Dihub>. Acesso em: 16 set. 2025.

LIKER, J. K.; HOSEUS, M. **A cultura Toyota:** a alma do modelo Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2009.

LORENZI, C. I.; FERREIRA, J. C. E. **Failure mapping using FMEA and A3 in engineering to order product development:** a case study in the industrial automation sector. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 11, n. 7, p. 1399–1422, 2018.

LISBOA, M. G. P.; GODOY, L. P. **Aplicação do método 5W2H no processo produtivo do produto:** a jóia. Universidade de Santa Catarina - UFAC, v. 4, n. 7, p. 36–38, 2012. Disponível em: <http://stat.ijie.incubadora.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/1585/pdf>. Acesso em: 13 set. 2025.

MARTINS, P. G. **Administração da produção.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MARTINS, P. G. **Gestão da qualidade: um enfoque estratégico**. São Paulo: Atlas, 2007.

MAYNARD, H. B. **Manual de Engenharia de Produção – Seção 5: Padrões de tempos elementares pré-determinados**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

MEYERS, F. E. **Motion and Time Study: for lean manufacturing**. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

MIGUEL, Paulo A. C. (org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, 2012.

MIYAUCHI, I. **5S: Concept (Revolutionary Management)**. JUSE – Union Japanese Scientists and Engineers, mai. 1992.

MONDEN, Y.; IMAM. **Produção sem estoques: uma abordagem prática ao sistema de produção da Toyota**. São Paulo: IMAM, 1984.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

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

OLIVEIRA, D. P.; ALLORA, D. B.; SAKAMOTO, A. **Ferramentas da qualidade: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2006.

PUGLIESI, Adelson *et al.* **Desafios atuais e a importância do layout: um fator estratégico para o sucesso e a otimização dos processos de uma olaria**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Logística) – ETEC Deputado Ary de Camargo Pedroso, Piracicaba, 2023. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/21940/1/logistica_2023_2_adelsonpugliesi_desafiosatuaiseaimportancia.pdf. Acesso em: 10 set. 2025.

ROCHA, D. R. **Balanceamento de Linha: um enfoque simplificado**. 2005. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/95436370/Balanceamento-de-Producao>. Acesso em: 20 set. 2025.

RODRIGUES, Maria Eduarda Ferreira *et al.* **Proposta de um layout ergonômico que atenda o fluxo de atividades do setor de colagem da célula X**. *In*: INOVA+ Cadernos de Graduação da Faculdade da Indústria, n. 4, v. 1, p. 700–736, fev. 2023. Disponível em: <http://app.fiepr.org.br/revistacientifica/index.php/inovamais/article/view/780>. Acesso em: 18 set. 2025.

ROTHER, M.; HARRIS, R. **Creating continuous flow: An action guide for managers, engineers & production associates**. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2001.

SHA, D.; CHEN, J. **Reconfiguration of manufacturing systems: theory and practice**. International Journal of Production Research, v. 39, n. 16, p. 3599–3615, 2001.

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHOOK, John. **Managing to learn: using the A3 management process to solve problems, gain agreement, mentor and lead**. Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute, 2010.

SHOOK, John. **Toyota's secret**. MIT Sloan Management Review, v. 50, n. 4, p. 30, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2018. Disponível em: http://www.folqueral.com.br/producao/arquivos/administracao_da_producao/capitulo_1-administracao_da_producao.pdf. Acesso em: 20 set. 2025.

SOBEK I.; Durward K.; SMALLEY, A. **Understanding A3 thinking: a critical component of Toyota's PDCA management system**. Boca Raton, FL: Productivity Press, 2008.

SOUZA, M. *et al.* **Aplicação do 5S no setor de autopeças e cabos óticos: exemplo de simplicidade e funcionalidade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2009, Ouro Preto. **Anais [...]** Ouro Preto: ENEGEP, 2009.

TAKASHINA, Newton T. **Indicadores da Qualidade e do Desempenho**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1999.

TOLEDO, I. F. B. **Cronoanálise**. 8. ed. São Paulo: Assessoria Escola Editora, 2004b.

TOLEDO, I. F. B. **Tempos & Métodos**. 8. ed. São Paulo: Assessoria Escola Editora, 2004a.

WERKEMA, Cristina. **Lean Seis Sigma: introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. Disponível em: [https://www.kufunda.net/publicdocs/Lean_Seis_Sigma_\(Cristina_Werkema\).pdf](https://www.kufunda.net/publicdocs/Lean_Seis_Sigma_(Cristina_Werkema).pdf). Acesso em: 26 set. 2025.

WOMACK, James P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: Lean Thinking**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, James P. **Value stream mapping: manufacturing engineering**, v. 136, n. 5, p. 145-156, 2006.

WOLNIAK, R.; BAMFORD, D. R.; GREATBANKS, R. W. Downtime in the Automotive Industry Production Process: Cause Analysis. **Quality Innovation Prosperity**, [S. l.],

v. 23, n. 2, p. 101–118, 2019. Disponível em: <https://www.qip-journal.eu/index.php/QIP/article/view/1259>. Acesso em: 26 set. 2025.

YANG, T.; SU, C. T.; HSU, Y. R. Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 20, n. 11, 2000.

ZHU, Linjia. **Integrating failure documentation with A3 template to improve product design quality**. 2011.