

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**BÁRBARA RECH DORNELLAS**

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS *LEAN MANUFACTURING* EM UMA LINHA DE  
PRODUÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS – ESTUDO DE CASO**

**CURITIBA**

**2022**

**BÁRBARA RECH DORNELLAS**

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS *LEAN MANUFACTURING* EM UMA LINHA DE  
PRODUÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS – ESTUDO DE CASO**

**APPLICATION OF LEAN MANUFACTURING CONCEPTS ON A HEAVY-DUTY  
VEHICLES PRODUCTION LINE – CASE STUDY**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Me. Osvaldo Verussa Júnior  
Coorientador(a): Valderi Aparecido de Oliveira.

**CURITIBA**

**2022**



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**BÁRBARA RECH DORNELLAS**

**APLICAÇÃO DE CONCEITOS *LEAN MANUFACTURING* EM UMA LINHA DE  
PRODUÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 28/Novembro/2022

---

Oswaldo Verussa Junior  
Mestrado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Cleina Yayoe Okoshi  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Tiago Rodrigues Weller  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2022**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente ao meu pai, Eduardo Dias Dornelas, meu porto seguro e minha inspiração, que sempre fez o possível e o impossível para que eu chegasse até aqui, sem ele nada disso seria possível.

Agradeço e dedico este trabalho a minha irmã, Laura Rech Dornellas (*in memorian*), e minha mãe, Adriana Cristina Rech Dornelas (*in memorian*), por todo apoio para que eu chegasse até aqui.

Ao meu namorado, meus amigos e a minha família, por terem sido compreensivos e por todo o suporte durante toda a trajetória.

Agradeço ao meu orientador Prof. Osvaldo Verussa Júnior, pelo apoio e dedicação durante todo o projeto. Ao meu co-orientador, Valderi Aparecido de Oliveira, por ter me ensinado tanto profissionalmente e por acreditar em mim

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

## RESUMO

O setor automotivo pesado tem grande impacto no cenário econômico brasileiro, representou 20% do PIB industrial no ano de 2021, e apresenta projeção de aumento de produção de 8,2% no ano de 2022, além de uma perspectiva positiva a longo prazo devido ao envelhecimento da frota de caminhões no país. Para acompanhar o ritmo de vendas, o setor industrial encara desafios para suprir a demanda. O presente trabalho teve como objetivo aplicar ferramentas de *lean manufacturing* para adequar uma célula de produção ao *takt time* da linha principal, por meio da metodologia A3, com a definição do estado atual da montagem, verificando *muri*, *mura* e *muda*, e atuando principalmente na análise dos desperdícios. Posteriormente aplicou-se ações de melhorias, como simulação via AutoCAD para posterior alteração de *layout*, tendo como resultado o ganho de produtividade, que apresentou diminuição de 41,6% do tempo de processo em um dos produtos, além de eliminar pontos negativos de ergonomia e segurança levantados durante a análise. Com essa metodologia, foi possível atingir o objetivo principal, que consistia na eliminação do risco de parada de linha por falta de componentes e adequar o tempo de processo da célula de pré-montagem ao *takt time* da linha de produção principal.

Palavras-chave: *lean manufacturing*; linha de produção; alteração de *layout*; desperdícios.

## ABSTRACT

The heavy-duty automotive sector has a major impact on the Brazilian economic scenario, representing 20% of the industrial GDP in 2021, and it's projected to increase by 8.2% in 2022, in addition to a positive long-term perspective due to aging of the truck fleet in the country. To keep up with the sales volume, the manufacturing sector faces challenges to meet customer demand. The present work aimed to apply lean manufacturing tools to adapt a production cell to the takt time of the main line, following A3 methodologic, with the definition of the current state of the assembly, checking *muri*, *mura* and *muda*, and acting mainly in the waste analysis. Subsequently, improvement actions were applied, such as simulation with AutoCAD, and after a layout change, resulting in a gain in productivity, which showed a decrease of 41.6% in the process time in one of the products, in addition to eliminating negative ergonomics and safety points raised during the analysis. With this methodology, it was possible to achieve the main objective, which consisted in eliminating the risk of line stoppages due to lack of components and adapt the process time of the pre-assembly cell to the takt time of the main production line.

Keywords: lean manufacturing; production line; layout; waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Informativo de vendas do mercado interno brasileiro no setor automotivo de caminhões + ônibus .....	13
Figura 2 – Informativo de produção do mercado interno brasileiro no setor automotivo de caminhões + ônibus .....	14
Figura 3 - Informativo de projeções da produção, exportação e comércio para autoveículos em 2022 .....	15
Figura 4 - Esquemático da linha de produção e suas células de pré-montagem .....	16
Figura 5 - Exemplo de Diagrama de <i>Spaghetti</i> .....	27
Figura 6 - Caixa de Dados (MFV).....	29
Figura 7 - Dados de processo e estoque.....	29
Figura 8 - Fluxo de material (MFV).....	30
Figura 9 - Fluxo da informação (MFV) .....	30
Figura 10 - Exemplo de mapa do fluxo de valor. ....	31
Figura 11 - Zonas Ergonomicas de trabalho.....	32
Figura 12 - Fluxograma da metodologia utilizada no estudo .....	33
Figura 13 - <i>Layout</i> atual 2D da estação .....	37
Figura 14 - Fluxo de máquinas e operadores no <i>layout</i> atual .....	39
Figura 15 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> do produto A .....	40
Figura 16 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> do produto B .....	40
Figura 17 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> do produto C .....	41
Figura 18 - Análise 4M e 5 porquês para o problema no processo .....	42
Figura 19 - <i>Layout</i> final da célula de pré-montagem .....	45
Figura 20 - Fluxo de montagem do estado futuro .....	45
Figura 21 - Posições de montagem no <i>layout</i> futuro .....	47
Figura 22 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> do Estado Futuro do produto A. ....	49
Figura 23 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> do Estado Futuro do produto B. ....	49
Figura 24 - Diagrama de <i>Spaghetti</i> do Estado Futuro do produto C. ....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - 1.1 - Cronoanálise inicial.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabela 2 - Cronoanálise das combinações de montagem dos componentes ...</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 3 - Cronoanálise do Estado Futuro.....</b>	<b>48</b>



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de <i>muda</i> .....	23
Quadro 2 - Comparativo entre tempo de ciclo e produtividade .....	25
Quadro 3 - Tipos de <i>layout</i> .....	26
Quadro 4 - Resumo das 7 etapas do relatório A3.....	28
Quadro 5 - Combinações possíveis entre o produtos .....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Caracterização da oportunidade .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4</b>	<b>Etapas do trabalho .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Ferramentas utilizadas do Sistema Toyota de Produção (TPS).....</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Muri, Mura e Muda</i> .....</b>	<b>21</b>
2.2.1	Tipos de desperdícios ( <i>Muda</i> ) .....	21
2.2.2	Tipos de mura e muri (desbalanceamento e sobrecarga) .....	23
<b>2.3</b>	<b>Tempo de ciclo e <i>Takt Time</i>.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4</b>	<b><i>Layout</i>.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5</b>	<b>Diagrama de <i>Spaghetti</i>.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Relatório A3 .....</b>	<b>27</b>
<b>2.7</b>	<b>Mapa de fluxo de valor (MFV) .....</b>	<b>28</b>
<b>2.8</b>	<b>Ergonomia.....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Estado Futuro .....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE A - Formulário A3.....</b>	<b>55</b>

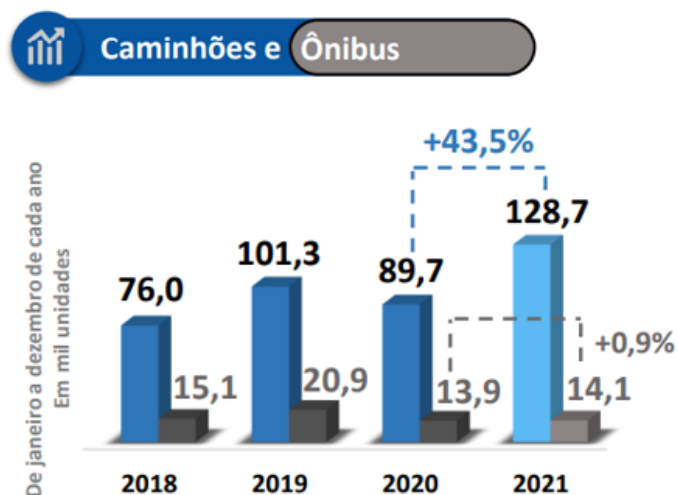
## 1 INTRODUÇÃO

O setor automotivo de veículos tem grande importância no cenário socioeconômico do país, segundo a ANFAVEA, Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, este setor corresponde a 20% do PIB industrial brasileiro, e uma capacidade produtiva anual de 4,5 milhões de veículos. Dentre esses, destaca-se a produção de caminhões, responsáveis pelo escoamento de bens duráveis e não duráveis, presentes do início ao final da cadeia produtiva, desde o transporte da matéria prima, até o recebimento do produto final na residência do consumidor (RIATO, 2022).

O cenário da pandemia de COVID-19 trouxe incertezas ao início de 2020 para todo o setor automobilístico, principalmente o setor de veículos pesados, marcado por grandes paradas de produção para as principais montadoras do país. No entanto, o crescimento no setor do agronegócio e construção civil impulsionou de forma rápida a retomada produtiva, reduzindo a expectativa de perda inicialmente de 40% para 18% ao final de 2020 (RAMOS, 2022).

Em 2021 o cenário continuou promissor, apesar de todas as dificuldades enfrentadas pela pandemia de COVID-19 e a falta de componentes, principalmente de semicondutores. Esse crescimento foi comprovado pelo ganho no setor de vendas, conforme mostra a Figura 1 (RAMOS, 2022).

**Figura 1 - Informativo de vendas do mercado interno brasileiro no setor automotivo de caminhões + ônibus**

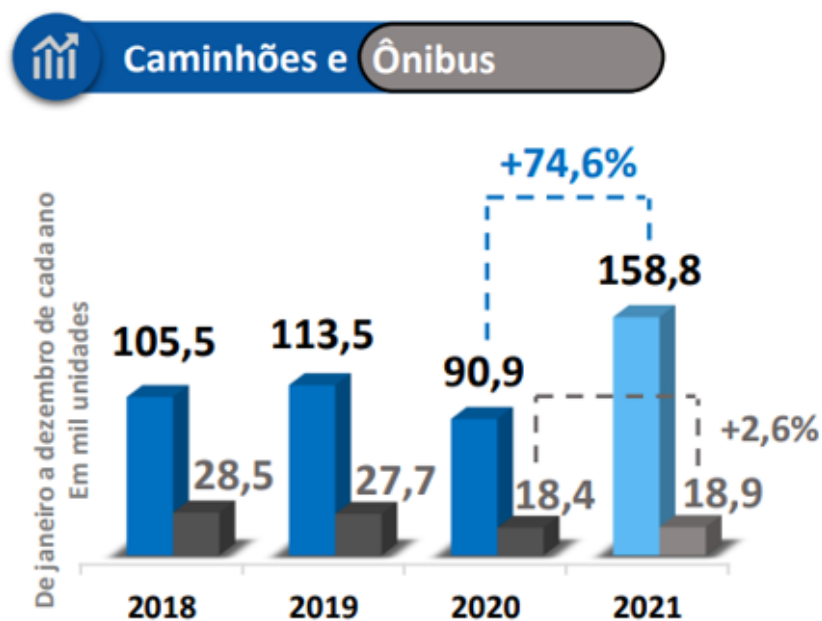


Fonte: ANFAVEA (2022)

Na Figura 1 percebe-se a evolução nas vendas dos veículos pesados, segundo a Fenabrave, Federação Nacional Distribuição de Veículos Automotores, que reúne as concessionárias de veículos, a venda de veículos pesados teve um crescimento consistente de 43,5% em 2021, representando mais de 12 mil caminhões emplacados neste mesmo ano (ANFAVEA, 2022).

O aumento das vendas impulsionou o setor industrial a nível nacional, aumentando consideravelmente o número de caminhões produzidos no ano de 2021, como mostra a Figura 2. Já no âmbito estadual, o Paraná foi o terceiro estado em maior crescimento, segundo o Governo do Estado do Paraná (2022), impulsionado pela produção de maquinário pesado agrícola e no setor de veículos, com a produção de caminhões.

**Figura 2 – Informativo de produção do mercado interno brasileiro no setor automotivo de caminhões + ônibus**



Fonte: ANFAVEA (2022)

Na Figura 2 é possível verificar o aumento expressivo da produção de caminhões de forma ainda mais intensa do que o setor de vendas, apresentando alta de 74,6% no ano de 2021 quando comparado ao ano anterior (ANFAVEA, 2022). Já no cenário estadual, o aumento em relação a 2020 representou 49,6% (AEN, 2022)

Embora a falta de componentes ainda esteja comprometendo o dia a dia das montadoras, as projeções econômicas para 2022 são positivas, indicando aumento nas áreas de licenciamento, exportações e produção, conforme mostra a Figura 3.

**Figura 3 - Informativo de projeções da produção, exportação e comércio para autoveículos em 2022**

Autoveículos: Automóveis, Comerciais leves, Caminhões e Ônibus		Realizado 2020	Realizado 2021		Projeções 2022	
		Mil unidades	mil Unidades	Δ %	mil unidades	Δ %
Licenciamento	<b>TOTAL</b>	<b>2.058</b>	<b>2.120</b>	<b>3,0</b>	<b>2.300</b>	<b>8,5</b>
	Veículos leves	1.955	1.977	1,1	2.143	8,4
	Veículos pesados	104	143	37,8	157	10,0
Exportações	<b>TOTAL</b>	<b>324</b>	<b>376</b>	<b>16,0</b>	<b>390</b>	<b>3,6</b>
	Veículos leves	307	349	13,8	361	3,3
	Veículos pesados	17	27	55,1	29	7,7
Produção	<b>TOTAL</b>	<b>2.014</b>	<b>2.248</b>	<b>11,6</b>	<b>2.460</b>	<b>9,4</b>
	Veículos leves	1.905	2.071	8,7	2.268	9,5
	Veículos pesados	109	178	62,5	192	8,2

Fonte: ANFAVEA (2022)

A Figura 3, elaborada pelo informativo da ANFAVEA, define a expectativa para o mercado de 2022, o qual espera um aumento de 8,2% na produção de veículos pesados, além de um crescimento de 10% no licenciamento destes, e 7,7% na exportação (ANFAVEA, 2022).

### 1.1 Caracterização da oportunidade

O setor automotivo pesado, apresentou uma alta demanda no ano de 2021, mesmo sofrendo com as consequências da falta de componentes e outras adversidades trazidas pela pandemia do coronavírus (RAMOS, 2022). Segundo o presidente da ANFAVEA, o setor tem vários elementos necessários para crescer, devido ao envelhecimento da frota brasileira de caminhões, acordos comerciais com países importadores, além da necessidade de redução da emissão de carbono dos veículos (RIATO, 2022).

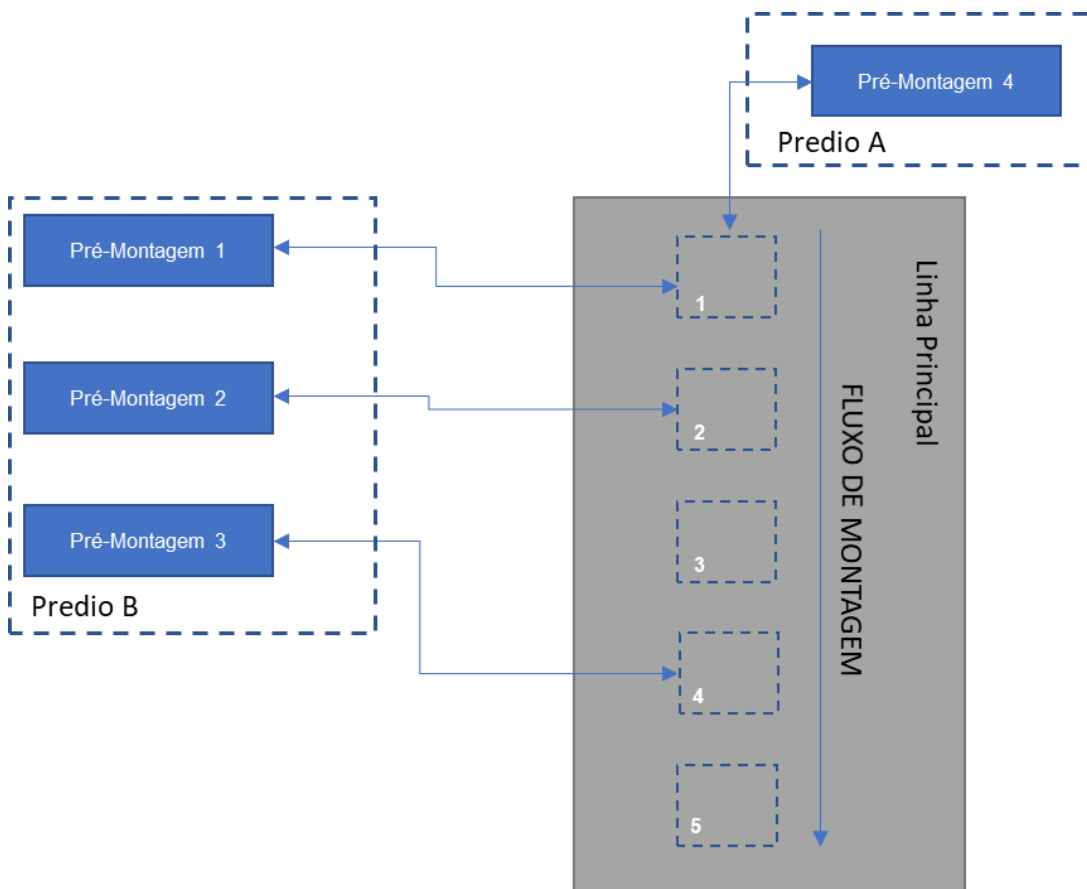
Devido as projeções de aumento de vendas para os próximos anos, é necessário adequar as linhas de produção para conseguirem suprir as demandas de mercado, de forma rápida e eficiente. Um dos pontos de partida para atingir esse patamar produtivo consiste em contornar os empecilhos, ou gargalos, de produção.

Neste contexto econômico atual, uma montadora de veículos pesados localizada no estado do Paraná também enfrenta seus desafios para o aumento de vendas esperado. Esta montadora possui alguns empecilhos para seu aumento de produção, como a necessidade de espaço produtivo coberto ao lado das linhas de produção, para alocar células de pré-montagem, e também a necessidade de ruas

largas em locais com grande fluxo de máquinas responsáveis pelo transporte de material. Focado nestes pontos, foi realizada uma revisão no fluxo de produção, onde foram oportunizadas algumas ações de melhoria que resultariam em aumento de produtividade da fábrica.

Atualmente o *layout* da fábrica conta com linhas de produção principais, as quais são abastecidas com subprodutos montados em células de pré-montagens, que funcionam como pequenas linhas de montagem de produtos específicos, como mostra a Figura 4.

**Figura 4 - Esquemático da linha de produção e suas células de pré-montagem**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Figura 4 demonstra um dos fluxos existentes na fábrica, onde existem pré-montagens localizadas em dois prédios: A e B. O Prédio A possui um intenso fluxo de transportadores logísticos para outras linhas de montagem e apenas uma célula de pré-montagem remanescente, enquanto o prédio B representa um complexo com mais células de pré-montagem e um fluxo de abastecimento para a linha principal melhor disposto. Além disto, o *layout* também demonstra uma outra característica importante desta linha de produção em estudo, o *stop and go*, ou seja, cada estação

de montagem do produto (representado pelas posições enumeradas) leva um tempo igual e pré-determinado para enviar o produto para a próxima estação.

Para melhorar o fluxo de transporte no prédio A e consolidar todas as células de pré-montagem em um mesmo prédio, foi necessária a realocação da célula de pré-montagem localizada neste prédio. No entanto, o *layout* do novo local disponível para essa célula era diferente do inicial, resultando em uma nova condição para as peças e dispositivos, aumentando seu tempo de montagem em aproximadamente 10 minutos a mais do que o arranjo inicial. Conseqüentemente, a alteração também resultou no aumento de tempo do subproduto para a linha principal, resultando em paradas de linha.

Em função deste problema, foi verificada a oportunidade de um estudo aprofundado neste novo local de pré-montagem, tema do trabalho atual proposto. O estudo apresenta a análise dessa célula de pré-montagem, responsável pela preparação de três subprodutos (A, B, C), com tempo de processo incompatível com a linha principal de produção.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral reduzir o tempo de processo de uma célula de pré-montagem de uma linha de produção, aplicando conceitos de *lean manufacturing*.

Para alcançar o objetivo geral supracitado, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar a Análise de Estado Atual da linha de pré-montagem dos produtos A, B e C;
- Avaliar os desperdícios da análise de estado atual;
- Aplicar ferramentas de *lean manufacturing* para redução da não agregação de valor da linha de produção atual;
- Elaborar a Análise de Estado Futuro da linha de pré-montagem dos produtos A, B e C;
- Analisar possibilidades de alteração de *layout* utilizando a ferramenta virtual AutoCAD;
- Melhorar a condição ergonômica de montagem;
- Adequar o processo ao *takt time* da linha principal de montagem.

### **1.3 Justificativa**

A área de gestão da produção faz parte do escopo do curso de Engenharia Mecânica na UTFPR, e possui grande aplicabilidade do mercado de trabalho. Este caso permite a aplicação de ferramentas de *lean manufacturing* de forma a retomar o ciclo de produção e evitar distúrbios no processo de montagem principal, reduzindo a não agregação de valor e os desperdícios no processo. Desta forma, o desenvolvimento deste estudo possibilita a prática dos conceitos vistos na teoria em sala de aula, e torna o conhecimento tangível, de forma benéfica para a empresa envolvida.

### **1.4 Etapas do trabalho**

Para estruturar o tema, inicia-se na seção 1 pela contextualização do tema e a caracterização da oportunidade, seguido dos objetivos gerais e específicos, finalizando com as justificativas encontradas para o presente trabalho. Posteriormente, na seção 2, foi descrito o referencial teórico utilizado como base para o projeto realizado.

Na seção 3 foi elaborada a metodologia utilizada no projeto, focada principalmente na cronoanálise e em estudo de *layout* para a definição do Estado Atual e Estado futuro. Em seguida, na seção 4, foram apresentados os resultados e discussões acerca dos dados obtidos, além das particularidades encontradas durante a execução do projeto. Por fim, na seção 5, dá-se a conclusão do projeto, comparando o objetivo esperado aos resultados finais.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A alta competitividade no setor industrial demanda que as empresas entendam cada vez mais o que agrega valor ao seu cliente final, de forma a tornarem-se cada vez mais competitivas, aumentando sua produtividade por meio da redução de desperdícios em toda a cadeia produtiva, sem reduzir a qualidade final esperada.

Para tornar tangíveis tais objetivos, o conceito de *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta, foi utilizado pelos autores Daniel Ross, James P. Womack e Daniel T. Jones, no livro *A máquina que Mudou o Mundo*, lançado em 1990, trazendo um estudo de caso sobre o processo produtivo na indústria automobilística. De maneira simples e contínua, essa filosofia defende a identificação dos desperdícios do processo produtivo, além do zero defeitos, custos mais baixos e maior flexibilidade.

Em 1945, posteriormente à Segunda Guerra Mundial, o Japão encontrava-se economicamente vulnerável, sem perspectiva de crescimento e tendo recursos limitados. Surge então a necessidade de desenvolvimento de uma nova metodologia que contornasse tal cenário. Diante disto, Taiichi Ohno, engenheiro e chefe da produção da Toyota Motor Co., desenvolveu um modelo de produção em massa que rompeu com as premissas do gerenciamento convencional (GHINATO, 1995).

O sistema criado por Ohno permitiria a produção ágil e enxuta, reduzindo o desperdício e utilizando a escassez dos produtos a favor da empresa, reduzindo desta forma os estoques, introduzindo no mercado o conceito de produção Just-in-Time, focando na produção certa, na hora certa. Surge assim o Sistema Toyota de Produção, ou *Toyota Production System*, TPS (YAMASHINA, 2016).

Segundo Monden (2015), o TPS revolucionou a forma de produção, otimizando o sistema de produção em massa, pregado pelo fordismo, e o sistema de gestão da produção por tempo, também conhecido como taylorismo. Para o autor, existem 3 pilares imprescindíveis, que caminham lado a lado à redução de custos, sendo eles: fluxo produtivo adequado, atendendo com exatidão e flexibilidade a demanda quanto à quantidade e variedade, segundo o *takt time*; garantia da qualidade, concretizando o conceito de zero defeitos (não comprar ou vender defeitos durante a cadeia produtiva) (GHINATO, 1995); respeito às pessoas (MONDEN, 2015).

Em 1998, Mike Rother e John Shook, pesquisadores do TPS, depararam-se com uma forma de otimizar aplicação do conceito de *lean manufacturing* e publicaram o livro *Aprendendo a Enxergar*. Este exemplar trouxe uma abordagem diferente para

o cenário acadêmico e industrial, focado na visualização do processo produtivo como um todo (ROTHER e SHOOK, 2012).

Para Rother e Shook (2012), o conceito de agregação de valor era pouco falado na Toyota, o que abriu oportunidade para que eles desenvolvessem um método de estudo voltado para a análise de agregação de valor do processo produtivo. Com base nesse conceito, foi desenvolvido o Mapa de Fluxo de Valor, ou MFV, focado no estudo do fluxo de agregação da valor de um insumo até seu estado final (baseado no conceito de valor para o cliente).

A respeito do MFV, os autores Rother e Shook (2012, p. 20) definem como: “... toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto: (1) o fluxo de produção, desde a matéria-prima até os braços do consumidor, e (2) o fluxo do projeto do produto, da concepção até o lançamento “. Essa metodologia de mapeamento utiliza conceitos já conhecidos pelo TPS, reorganizando-os em forma de fluxograma no qual constam o estado atual do cenário produtivo, com dados reais, e a análise do estado futuro, num *loop* de melhoria contínua (*kaizen*).

Desde o desenvolvimento do TPS, várias outras metodologias surgiram com base nos mesmos princípios, focado na redução de desperdícios e otimização dos resultados, uma destas metodologias foi o *World Class Manufacturing*, também conhecido como WCM. Segundo o Dr. Hajime Yamashina (2016), um dos principais difusores do WCM no Brasil e no mundo, o WCM descreve a metodologia como: “...O sistema é muito simples, precisamos identificar qual é o problema, a sua perda, o método a ser adotado e depois controlar os resultados...”

Com a consolidação mundial do WCM, várias multinacionais desenvolveram suas próprias metodologias baseadas nos mesmos princípios deste, visando a utilização de ferramentas *lean* para maximização dos lucros e aumento de performance.

## **2.1 Ferramentas utilizadas do Sistema Toyota de Produção (TPS)**

Muitas vezes os desperdícios passam despercebidos pelo dia a dia do trabalho, mas para a filosofia dos japoneses, a redução de desperdícios deve ser feita de maneira constante, também chamando de *kaizen* (melhoria contínua), termo muito utilizado atualmente nas montadoras que aplicam sistemas de produção derivados do

toyotismo. Dentre os conceitos trazidos pelo TPS, três conceitos, os 3Ms, permeiam a base para a melhoria contínua: *muda*, *mura* e *muri*.

O conceito *kaizen*, também conhecido como melhoria contínua, é uma das ferramentas mais utilizadas pelo TPS, e contempla a “análise de um fluxo completo de valor ou de um processo individual, a fim de se criar mais valor com menos desperdício” (LEAN INSTITUTE, 2011).

Um dos pilares do TPS é representado pelo *Just-in-Time*, ou JIT. Monden (2015) define o JIT como o ato de produzir as unidades necessárias, na quantidade necessária, dentro do tempo necessário. O método JIT reduz a quantidade de estoque, embora não possa ser aplicado em sua total essência para empresas que utilizam o sistema de MRP, *material requirement planning*, planejamento das necessidades de materiais, como é o caso das montadoras de veículos.

## **2.2 Muri, Mura e Muda**

O primeiro M representa o *Muda*, o mais fácil de ser percebido, consiste na redução dos desperdícios, sendo ele mão de obra, defeitos e inspeções, espera, desperdício de conhecimento, entre outros. Este problema também é conhecido como não agregação de valor - NAV (YAMASHINA, 2016).

O segundo M representa o *Mura*, descrevendo a falta de regularidade em uma operação, falta de padronização entre as operações, ritmos ins constantes, distribuição irregular de trabalho, e afins (KAWAKAME, 2016).

O *Muri*, o último M dos três citados, significa tarefas difíceis e não naturais, representando a sobrecarga de pessoas e equipamentos, com operações. Para sua eliminação é necessário avaliar a ergonomia dos postos de trabalho (KAWAKAME, 2016).

No dia a dia da fábrica, é mais fácil e intuitivo iniciar as análises e a redução do *muda*, no entanto, é de extrema importância também analisar o *mura* e *muri*, pois sem considerá-los, o desperdício eliminado pode retornar e a redução inicial do *muda* ser ineficaz (LEAN INSTITUTE, 2006).

### **2.2.1 Tipos de desperdícios (*Muda*)**

Ao desenvolver o TPS, Taiichi Ohno descreveu os sete tipos de *muda* possíveis de ocorrência durante o processo produtivo, para ele, desperdício

representa tudo o que não agrega valor ao produto final, ou seja, que não transforma-o, mas consome recursos. Para Womack (2005), a melhor forma de eliminar tais desperdícios é entendendo o significado de valor para a empresa/produto analisado (BOTERO, 2010).

Segundo *LEAN INSTITUTE* (2006), é uma vantagem começar com o processo de análise de *muda* pois muitos desperdícios podem ser removidos rapidamente de áreas pequenas, sem perturbar o sistema de produção. Essas melhorias podem ser realizadas por meio de *kaizen*.

É importante ressaltar que nem todo tipo de desperdício pode ser retirado do processo de trabalho, alguns destes são considerados desperdícios por não alterarem de fato o produto final, mas são necessários para finalizá-lo, como processos de planejamento, testes, relatórios e afins (PICCHI, 2017). Estes são imprescindíveis para a garantia da qualidade dos produtos finais, logo, podem ser caracterizados como:

- Desperdícios necessários (*muda* tipo 1) – também chamado de trabalho incidental, tarefas que não podem ser retiradas do processo por agregarem qualidade ao produto final, ou outros tipos de dados de análise que resultarão numa qualidade final. Devem ser analisados de forma a alterar o processo/produto possibilitando a introdução de *pokayoke* (dispositivos a prova de erros);
- Desperdícios puros (*muda* tipo 2) – não agregam nenhum tipo de valor ao produto final, como por exemplo esperas entre processos. Esses desperdícios devem ser eliminados tão logo seja possível.

Segundo a caracterização de Ohno, os desperdícios podem ser classificados em sete tipos, e de forma e exemplificar os tipos de *muda* presentes em um ambiente produtivo, foi desenvolvido o Quadro 1.

**Quadro 1 - Tipos de muda**

<b>Tipo de Muda</b>	<b>Descrição</b>
1. Defeitos e Inspeção	Reparos por não-conformidade, que resultam em custo e perda de tempo. Inspeções podem indicar não-qualidade e não garantia do processo
2. Superprodução	Onde é produzido mais do que o esperado, em um ritmo maior do que o esperado, causando um excesso de produção. Esse excesso pode ser percebido como tempo fora do <i>takt time</i> da linha e descompassar o ritmo dos demais processos. É necessário seguir a regra de ouro: “Produzir o que o cliente espera, na hora em que o cliente precisa”.
3. Espera	Não ter o insumo necessário no tempo certo ocasiona insaturação de processo. Esse insumo pode ser representado pela espera por uma pré-montagem, reparos por danos a equipamentos e afins, que ocasionam perdas em toda a cadeia por espera.
4. Deslocamento	Movimentos não necessários dos operadores não agregam valor ao produto. Representam consumo de tempo e espaço. Podem ser ocasionados pela má gestão de <i>layout</i> do processo.
5. Transporte	Deslocar o produto não modifica-o, logo, não agrega valor ao produto final. Representa consumo de tempo, espaço e capital, além de aumentar o risco de afetar a qualidade do produto a ser entregue.
6. Estoque	Representado pelo excesso de material, que pode ser causado pelo risco de uma demanda inesperada ou não conformidade de peças. Esse estoque excessivo aumenta o custo de armazenamento por impostos, dificultando o fluxo de organização e distribuição deste material, além de aumentar a necessidade de armazéns.
7. Superprocessamento	Caracteriza-se como uma atividade extra que não agrega valor ao consumidor final, não é algo que o cliente esteja disposto a pagar, aumentando o custo do produto final. Ocasiona disfunções no <i>layout</i> por excesso de material/maquinário, além da disposição destes na linha de produção. Para revertê-los é necessário entender o que agrega valor de fato para o consumidor final.

Fonte: Adaptado de (BOTERO, 2010) e (KANBANIZE, 2022)

### 2.2.2 Tipos de mura e muri (desbalanceamento e sobrecarga)

O processo de mura, também são conhecidos como desnivelamentos de processo, causados pela falta de padronização entre as operações, devido a ritmo de trabalho irregular. A característica principal deste problema é a “alternância entre períodos de sobrecarga e de subutilização dos recursos”(KANBANIZE, 2022).

O processo de muri é representado pela sobrecarga no processo, podendo ser na mão de obra ou de maquinário, por um período maior do que podem suportar. Essa sobrecarga pode afetar a qualidade final do produto, além de afetar a qualidade de trabalho do operador, aumentando o nível de *stress* o qual este será submetido. Essa cadeia de sobrecarga também pode ocasionar riscos de segurança e custos adicionais para o processo (PICCHI, 2017).

### 2.3 Tempo de ciclo e *Takt Time*

O tempo de ciclo, ou *cycle time*, representa o tempo necessário para executar uma tarefa, contemplando o tempo gasto na produção mais o tempo de espera (instaturação). Este dado é um importante indicador para a produção, servindo como base para o cálculo de peças, custo de produção, entre outros. A formula de cálculo do tempo de ciclo é definida na Equação 1 (KOO, 2020).

$$\text{Tempo de ciclo} = \frac{\text{Tempo líquido de produção}}{\text{Número de unidades produzidas}} \quad (\text{Eq. 1})$$

O *takt time*, também definido como produtividade, representa o ritmo constante que a produção deve seguir para suprir as demandas do cliente, sendo menor que o tempo total do tempo necessário para completar uma determinada zona da produção, sua fórmula de cálculo é definida na Equação 2 (KOO, 2020).

$$\text{Takt Time (produtividade)} = \frac{\text{Tempo disponível para a produção}}{\text{Número de unidades solicitadas}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Segundo Ferro (2008), o *takt time* é : “...o denominador comum da estabilização de todas as áreas produtivas que devem produzir de forma sincronizada e eficiente, entregando sempre de acordo com o planejado (na hora certa, na quantidade necessária e na qualidade esperada).”

Ambos conceitos, tempo de ciclo e *takt time*, são amplamente utilizados no dia a dia da produção, regulando a quantidade de material pedida e a quantidade total de peças produzidas. Para diferenciar os dois conceitos e explicar a relação entre estes foi elaborado o Quadro 2.

**Quadro 2 - Comparativo entre tempo de ciclo e produtividade**

<b>Tempo de Ciclo &gt; Produtividade</b>	Atende a demanda dentro do prazo, pode resultar em um prazo menor do que o esperado.
<b>Tempo de Ciclo = Produtividade</b>	Atende a demanda conforme o prazo esperado.
<b>Tempo de Ciclo &lt; Produtividade</b>	Não atende a demanda dentro do cronograma, prazo de entrega maior do que o esperado.

Fonte: Adaptado de (KOO, 2022).

Para o *Lean Institute* (2009), o tempo takt é o elemento mais importante do conceito de *lean manufacturing*, sendo a determinação mais importante no Mapa de Fluxo de Valor, MFV, pois este é um fator importante para a determinação do estado futuro, determinando o ritmo de puxada de demanda.

## 2.4 Layout

A estrutura onde se realiza as operações de montagem é crucial para a performance da fábrica. A disposição das peças, das máquinas, a sequência de montagem do processo, a área disponível para a realização do trabalho. Todo este conjunto de fatores influenciam no tempo final de processo, na qualidade do produto fabricado, além da quantidade de *muri*, *mura* e *muda*.

Martins e Laugeni (2008, p.60), no livro *Administração da Produção*, definem o conceito de linha de produção como:

“...uma série de trabalhos comandados pelo operador, que devem ser executados em sequência e que são divididos em postos de trabalho, nos quais trabalham um ou mais operadores com ou sem o auxílio de máquinas. O que se procura nesse tipo de *layout* é otimizar o tempo dos operadores e das máquinas, realizando o que se denomina balanceamento da linha”.

Para a elaboração de um *layout* eficiente, primeiro deve-se definir a quantidade a ser produzida, posteriormente a quantidade de estoque e o número de máquinas, por fim, o tipo de *layout* a ser definido. Martins e Laugeni (2008) definem cinco tipos de layout, resumidos no Quadro 3.

**Quadro 3 - Tipos de *layout***

<b>Tipo de <i>Layout</i></b>	<b>Características</b>
1. Funcional	Quem se desloca é o material. Agrupa-se os produtos semelhantes na mesma área, assim como processos e equipamentos. Ideal para produtos diversificados com demandas variáveis, para produções em pequenas e médias quantidades.
2. Linha	Máquinas e estações fixas, quem se desloca é o material em uma sequência pré-definida. Ideal para pouca variação de produto e grandes quantidades. Apresenta elevado custo de instalação.
3. Celular	Produto inteiro é fabricado em um só local, com diversos equipamentos. Processo muito flexível, ideal para uma mesma família de produtos. Apresenta redução de transporte e estoque.
4. Posição Fixa	Quem se desloca são as máquinas, ideal para produtos muito grandes e processos não-repetitivos.
5. Combinados	Mescla os <i>layouts</i> em linha e funcionais aproveitando os benefícios de cada um para melhor atender o processo.

Fonte: Adaptado de Martins e Laugeni (2008)

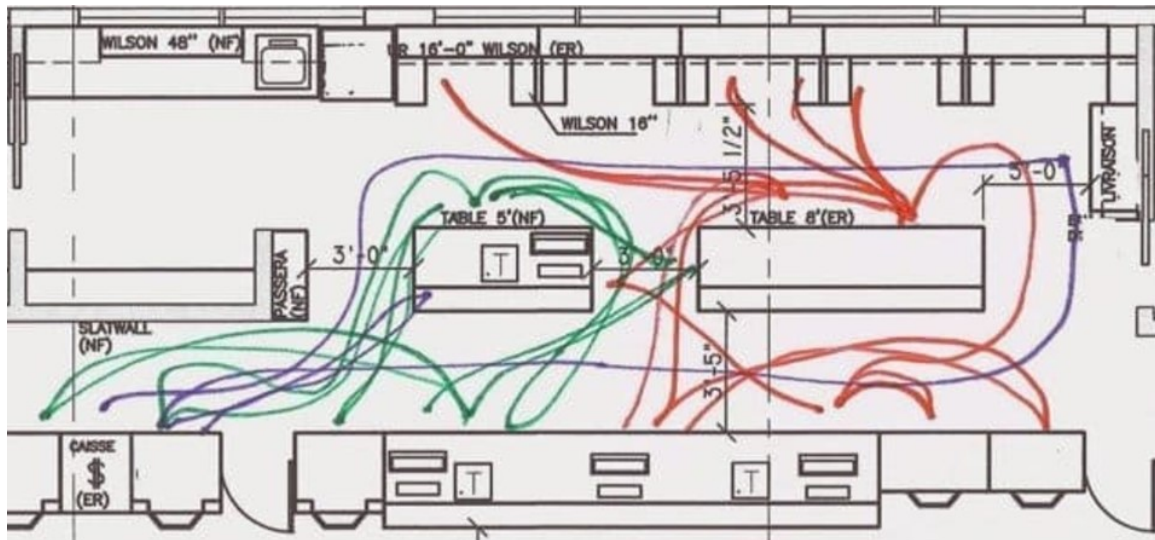
## 2.5 Diagrama de *Spaghetti*

Uma das ferramentas que auxilia na análise do estado atual do processo e posteriormente nas oportunidades de melhoria do processo por *muda* é o Diagrama de *Spaghetti*. Segundo o *Lean Institute* (2011), o diagrama é: "...caminho percorrido por um produto na medida em que ele é movimentado ao longo de um fluxo de valor. É assim chamado, pois, na produção em massa, a rota dos produtos comumente se parece com um prato de espaguete".

Com base na planta atual, contemplando maquinário e disposição atual das peças, é possível traçar o deslocamento realizado pelo operador para a montagem do produto. A cada deslocamento é necessário traçar uma linha contemplando posição inicial e final, e sobre esta, indicar os passos realizados para executar a tarefa, assim sucessivamente, até que o ciclo da operação esteja completo, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Exemplo de Diagrama de *Spaghetti*



Fonte: NOVIDA (2022)

A Figura 5 apresenta um exemplo de um Diagrama de *Spaghetti*, onde os processos de diferentes operadores são demonstrados por cores distintas, representando os deslocamentos iniciais e finais para a execução da operação.

Segundo o *Lean Institute* (2011), com base no *Léxico Lean*: "...as etapas de processo para diferentes famílias de produtos são realizadas, sempre que possível, em uma seqüência bem definida de processos, de modo que quantidades pequenas do produto possam fluir diretamente de etapa a etapa, a partir da puxada do próximo processo fluxo abaixo e do cliente final".

## 2.6 Relatório A3

Dentre as ferramentas desenvolvidas pelo TPS, o relatório A3 apresenta-se como um diferencial para a solução de problemas, funcionando como um guia sistematizado, documentando os problemas iniciais e as propostas de melhoria (KOSAKA, 2006). O relatório recebe esse nome por ser escrito em um papel A3, de cima para baixo, da esquerda para direita, setorizado em 7 passos, os quais foram resumidos no Quadro 4.

A ferramenta possui muitos benefícios, como a necessidade de documentação das análises, e a facilidade de execução da mesma, que pode ser realizada por quem está inserida no processo, além de demandar pouco treinamento para realizá-la. Por fim, a natureza dos diagramas tornam a análise do problema mais

realista e mais eficiente (KOSAKA, 2020). Atualmente na indústria, a ferramenta é utilizada para estruturar procesos de *kaizen*.

**Quadro 4 - Resumo das 7 etapas do relatório A3**

1. Tema/Contexto	Processo descritivo do problema (Como, porquê, importancia, partes envolvidas, experiências anteriores)
2. Estado Atual	Desenho do diagrama atual, deve conter todos os dados quantitativos do problema e devem ser coletados no local.
3. Análise da Causa Raíz	Utiliza-se ferramentas da qualidade para análise da causa raíz (4M, 5 porques, diagrama de Ishikawa).
4. Condição Alvo/Objetivos	Com base em contramedidas planejadas, estipula-se uma condição alvo para atingir com o estudo.
5. Plano de Implementação	Planejamento de implementação, contendo os responsáveis e as datas planejadas para execução.
6. Monitoramento/Indicadores	Incluir dados quantitativos que validem as contramedidas
7. Relatórios/Padronização	Acompanhamento dos resultados e padronização para que o problema não retorne ao estado inicial.

**Fonte: Adaptado de (KOSAKA, 2020)**

## 2.7 Mapa de fluxo de valor (MFV)

A metodologia de fluxo de valor foi desenhada por Mike Rother e John Shook em 1998, com o livro *Aprendendo a Enxergar*, focada na análise de todo o fluxo de processamento do produto até seu destino final, de forma a otimizar as partes, olhando para o todo.

As etapas do fluxo de valor tem inicio com a definição de uma familia de produtos, os quais objetos do estudo do fluxo, em seguida é desenhado o mapa de estado atual. Após o desenho do fluxo atual é possível visualizar melhorias do processo, logo, desenha-se o estado futuro desejado, para posterior implementação de tais melhorias.

O responsável pelo mapa é denominado gerente do fluxo de valor, ele é o responsável pelo entendimento do fluxo de valor de uma familia de produtos, e pelas melhorias associadas a esta. O fluxograma é desenhado com elementos padrão, por meio de caixinhas de entrada, conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7, e setas para

diferentes tipos de fluxo, como o da informação e o fluxo do material, como mostram as Figuras 8 e 9.

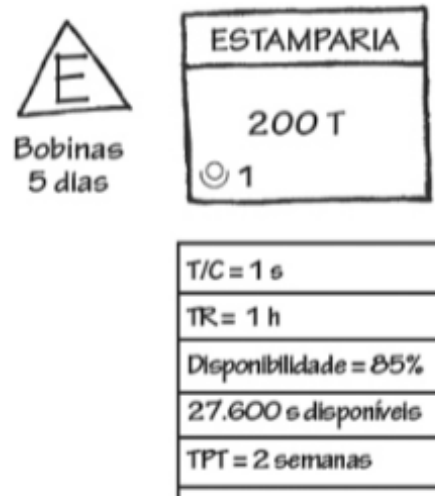
**Figura 6 - Caixa de Dados (MFV)**



Fonte: ROTHER e SHOOK (2012)

Na Figura 6 ilustra-se os dados de entrada o MFV, como a caixinha “Fábrica” ilustrando a planta do cliente, seguida da caixa de dados onde entram informações sobre os pedidos de cada peça, o tamanho dos lotes enviados para o cliente e sua capacidade produtiva, como a quantidade de turnos disponíveis de produção (ROTHER e SHOOK, 2012).

**Figura 7 - Dados de processo e estoque.**



Fonte: ROTHER e SHOOK (2012).

Na Figura 7 demonstra-se uma caixa de processo, onde consta as etapas realizadas durante a produção e as informações sobre a planta produtora, como turnos, tempo de operação, disponibilidade da máquina, operadores necessários para a realização da operação e outras informações associadas. Nesta imagem também exemplifica-se como inserir as informações de estoque disponível entre as etapas.

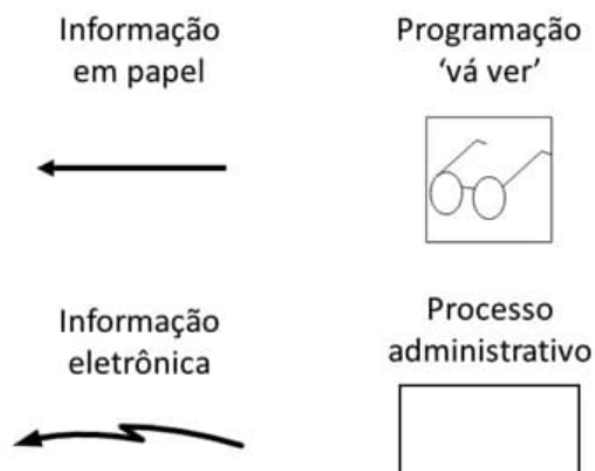
**Figura 8 - Fluxo de material (MFV)**



Fonte: SANDRINI (2020)

Na Figura 8 é possível verificar as formas de desenho do fluxo de material, dependendo do meio como este é transportado, e também como demonstrar no MFV o fornecedor externo que abastece a planta produtora, e o cliente final, para onde será enviado o produto (SANDRINI, 2020).

**Figura 9 - Fluxo da informação (MFV)**

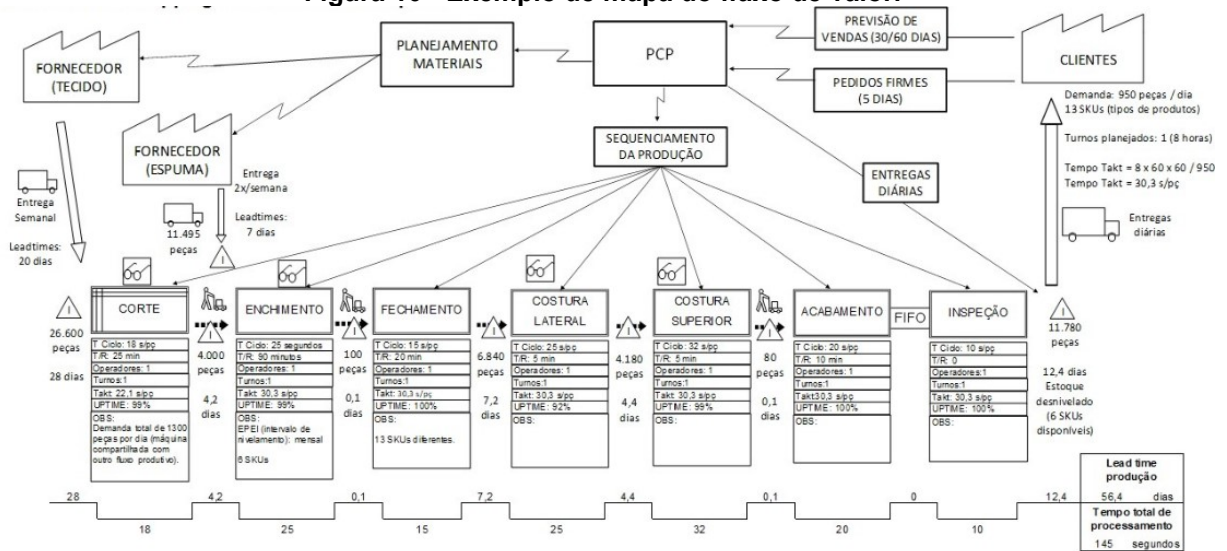


Fonte: SANDRINI (2020)

A Figura 9 demonstra como descrever o fluxo da informação dentro do MFV, dependendo do meio por onde ela é transmitida, seja *online* ou por sistemas de *fax* por exemplo. Outro ponto abordado na imagem são as indicações de processos administrativos e as instruções de verificar no local a informação, uma das bases do TPS.

Outro dado importante para o desenho do mapa de estado atual são os tempos de cada processo, os quais são inseridos abaixo das etapas de processo e servirão para o cálculo do *takt time*. Com base em todos os elementos descritos, o fluxograma de mapa de estado atual é desenhado, conforme mostra a Figura 10.

**Figura 10 - Exemplo de mapa do fluxo de valor.**



A Figura 10 representa o mapa de fluxo de valor atual, com todos os elementos descritos anteriormente. Com este fluxograma é possível verificar oportunidades de melhoria dentro do processo, o que resulta no desenho de um mapa de estado futuro, utilizando esses mesmos elementos gráficos, no entanto, aplicando melhorias ao processo, aumentando sua produtividade.

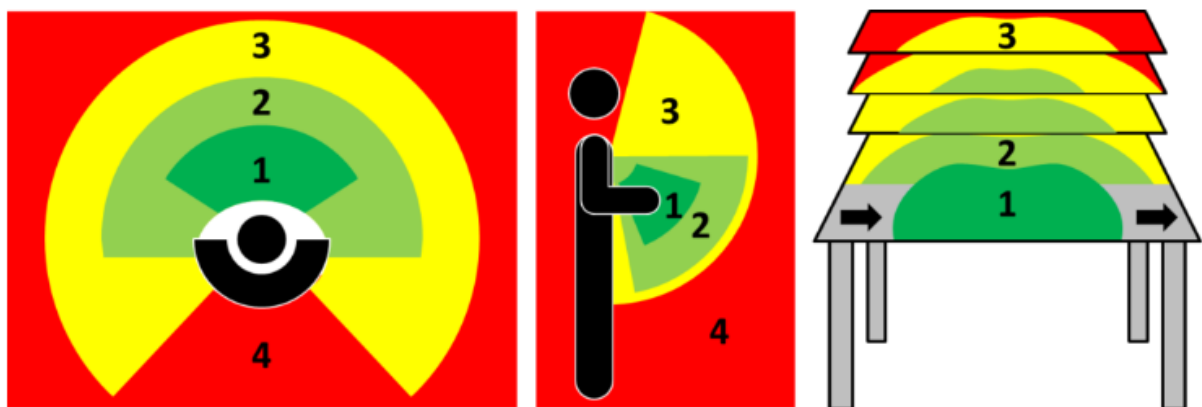
### 2.8 Ergonomia

A ergonomia é um ponto muito importante no dia a dia do trabalho, pois afeta diretamente em *muri*. Trata-se da avaliação do posto de trabalho e as atividades realizadas pelos operadores, sua frequência, o local em que ela se insere e as condições nas quais são executadas (altura, postura, peso), entre outros. Esse

conjunto de fatores afetam diretamente a saúde do operador e a produtividade do posto de trabalho. A avaliação ergonomia é realizada durante uma avaliação denominada de MEC, *Manufacturing Engineering Checklist*, a qual retorna todos os pontos de atenção (Material Interno, 2017).

Um dos conceitos avaliados durante a MEC é o conceito de *goldenzone*, que corresponde a área ideal de trabalho do operador na qual as atividades não naturais são reduzidas, e reduz-se também movimentos que não agreguem valor (NAV), como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Zonas Ergonomicas de trabalho.



Fonte: ROSER (2017)

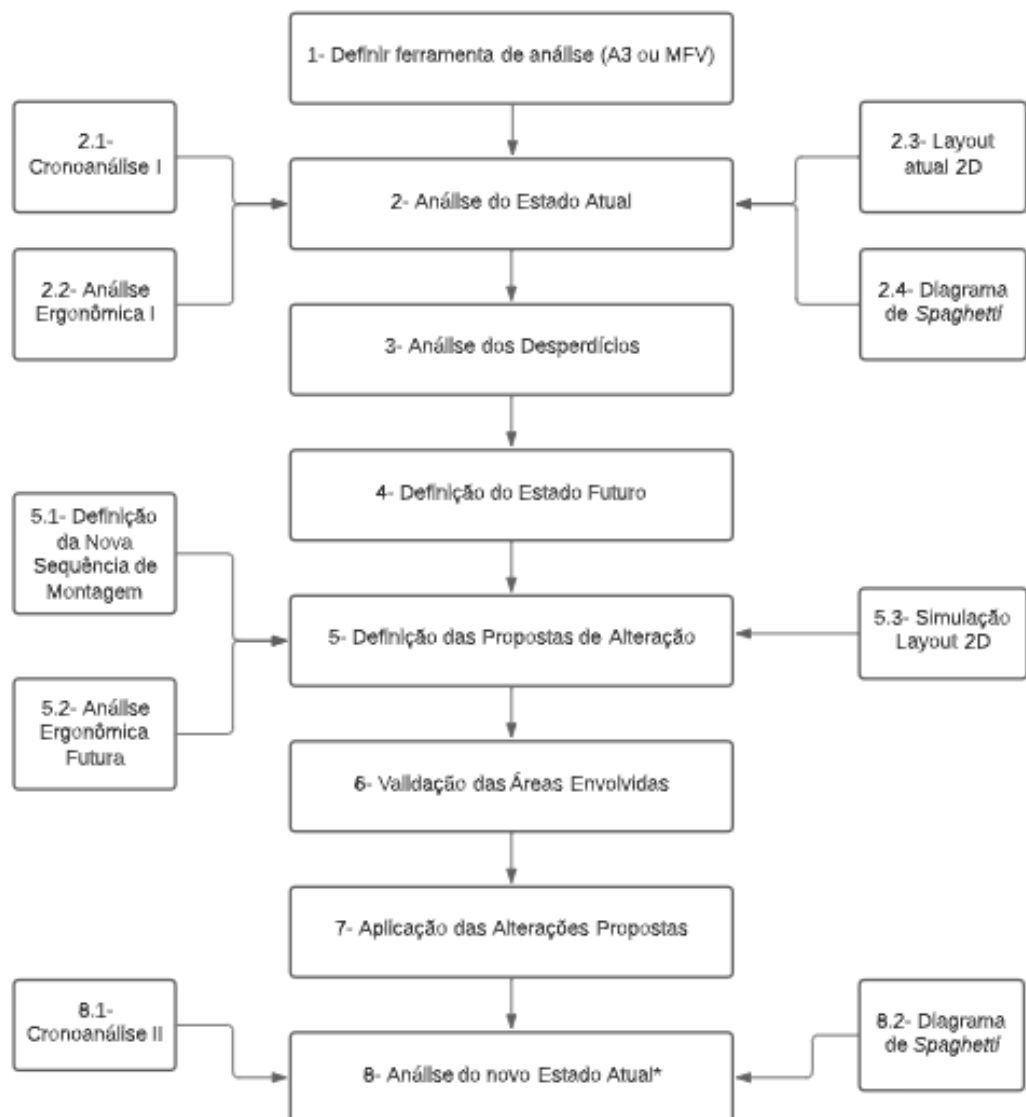
A Figura 11 representa a goldenzone do montador, na horizontal e vertical, auxiliando o mapeamento de atividades com risco ergonomia, como por exemplo, pega se peça e locais altos, inclinação da coluna, giro de tronco, entre outras. A cor identifica o nível do risco e quão imediata deve ser a ação de contenção.

A zona vermelha, representada pelo número 4, determina o movimento que deve ser evitado a todo custo, e caso tenham movimentos nessa região, é necessário uma ação de curto prazo para resolvê-lo, representando assim uma zona de alto risco ergonômico. A zona amarela, representada pelo número 3 refere-se a movimentos que precisam ter atenção, não são tão críticos quanto os vermelhos, mas precisam ser eliminados quando possíveis, a ação de correção neste caso pode ser de médio prazo. Por fim, as zonas verdes, exemplificadas pelos números 2 e 1, representam a *goldenzone* do montador, onde o movimento não oferece risco ergonômico para o montador, é o local ideal de trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Para a realização do estudo será necessário a criação de uma equipe multidisciplinar, englobando todas as áreas envolvidas (produção, engenharia de produção e engenharia logística). Após o grupo de trabalho ser definido, será realizado o planejamento das tarefas a serem executadas, com o propósito de criar o mapa de fluxo de valor atual, confrontando com os dados atuais da linha de produção principal. A Figura 12 exemplifica, na forma de fluxograma, a metodologia que será utilizada para execução das atividades do projeto.

**Figura 12 - Fluxograma da metodologia utilizada no estudo**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Conforme mostra a Figura 12, a elaboração terá início pela definição da metodologia adotada: relatório A3 ou Mapa de Fluxo de Valor. Ambas tem como

objetivo a análise do estado atual e a definição do estado futuro, e a empresa em questão tem a prática de utilização das duas metodologias, logo, será decidido entre o time multifuncional qual ferramenta utilizar.

Após realizada a definição da metodologia, inicia-se o passo 2 por meio dos dados de entrada necessários para o estado atual, relevantes à operação estudada e fundamentais para atingir o mapa de estado futuro. O item 2.1 Cronoanálise I contemplará a análise de tempo dos seguintes produtos: Produto A, Produto B, Produto C, todos na mesma linha de produção secundária, responsável por alimentar a linha de produção principal.

Como produto desta análise, tem-se o tempo de ciclo para cada um dos produtos, no entanto, a linha principal pode demandar a produção das combinações listadas no Quadro 5 , dependendo do fluxo de produção definido pela área de PCP, planejamento e controle da produção.

**Quadro 5 - Combinações possíveis entre o produtos**

Produto
A
C
A + C
B
B + C
B + 2C

**Fonte: A autoria própria (2022)**

O item 2.2 Análise Ergonômica I tem como objetivo a verificação da postura do operador durante o processo de montagem dos produtos analisados, focada principalmente na postura de pega das peças, as quais devem estar disponíveis para este dentro de sua *goldenzone*. Esta área representa o espaço ideal de trabalho para o colaborador, garantindo o menor NAV do processo, além da questão ergonômica. Em função do elevado número de peças associados a montagem, foram avaliadas as peças mais utilizadas e de maior peso associado.

Para desenhar o *layout* atual da linha de produção no item 2.3 *Layout Atual* 2D, utilizou-se o *software* AutoCAD contemplando a disposição das peças ao longo do fluxo de montagem, além da localização dos principais dispositivos e máquinas utilizados, para futuro mapeamento de desperdícios de deslocamento.

Uma vez definido o estado atual (item 1) e analisado os desperdícios encontrados (item 2), estes dados foram confrontados com o takt time da linha de



produção principal, a qual é responsável por ditar o ritmo das células de pré-montagem. O produto dessa análise correspondeu ao mapa de estado futuro desejado.

Por conseguinte, será definido a nova sequência de montagem, representada pelo item 5.1, focada no processo com menor não agregação de valor. Esta nova sequência também levará em consideração melhorias propostas para a ergonomia do montador, considerada no item 5.2 Análise Ergonômica Futura.

Para essa nova sequência foram realizadas simulações de *layout*, representada no item 5.3 Simulações de *Layout* 2D, também focada na redução de deslocamentos desnecessários apontada no levantamento de desperdícios (item 2). As peças e máquinas serão distribuídas pelo novo *layout* em cada simulação e foram realizadas avaliações do Diagrama de *Spaghetti* para validação de cada proposta.

Após a validação das áreas envolvidas e a execução das alterações planejadas, foram medidas as novas condições de processo por meio do item 8.1 Cronoanálise II e 8.2 Diagrama de *Spaghetti*. Esses dois passos foram utilizados para a confecção do novo Estado Atual (item 8). Neste ponto, o trabalho dá-se como finalizado, concluindo seu objetivo de adequação ao ritmo da linha principal.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto foi desenvolvido com base na metodologia descrita na seção 3, Figura 12. Para mapear o estado atual foram descritas as restrições de montagem de cada componente, seguido da cronoanálise da montagem de cada componente, avaliação do *layout*, Diagrama de *Spaghetti* e avaliação ergonômica da célula de pré-montagem. Todos os dados foram comparados ao objetivo final: montagem dos componentes dentro do *takt time* da linha de produção final: 22 minutos e 18 segundos.

O processo avaliado consiste na montagem de 3 principais componentes: A, B e C. O caminhão necessariamente deverá contemplar o componente A ou B, sendo a restrição da linha de montagem a seguinte: os produtos A podem passar em sequência, mas o produto B obrigatoriamente deverá intercalar na proporção 1:1 com o produto A, devido a complexidade de montagem.

O produto C depende apenas da configuração do caminhão para sua montagem, sendo possível as seguintes configurações: A, A+C, B+C, B+2C. Obrigatoriamente o produto B deverá ser montado junto ao produto C. Os dados iniciais foram obtidos com base em cronoanálise (Item 1.1), e estão descritos no Quadro 6. Para compilar esses dados cada montagem foi analisada em 3 horários do dia: manhã, próximo ao almoço e ao final da tarde.

**Tabela 1 - 1.1 - Cronoanálise inicial**

Produto	Tempo inicial
A	18 minutos e 45 segundos
B	22 minutos e 16 segundos
C	6 minutos

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Tabela 1 mostra o tempo unitário para montar cada componente. Segundo esta, o tempo de montagem para os produtos A e C atendem ao *takt time* da linha principal, 22 minutos e 18 segundos, no entanto, quando comparado às possíveis combinações entre os componentes, descritas no Quadro 5, o tempo de montagem excede o tempo de rodada da linha principal, como mostra a Tabela 2.

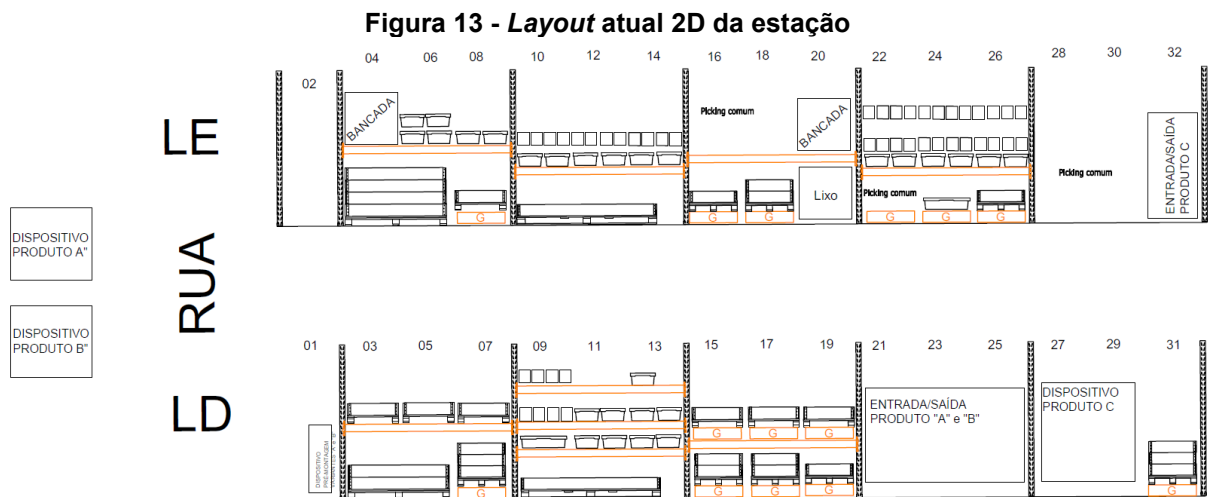
**Tabela 2 - Cronoanálise das combinações de montagem dos componentes**

Produto	Tempo inicial
A	18 minutos e 45 segundos
C	6 minutos
A + C	24 minutos e 45 segundos
B	32 minutos
B + C	38 minutos e 03 segundos
B + 2C	44 minutos e 03 segundos

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 2 resume o tempo de montagem total da célula de pré-montagem conforme a configuração do veículo. Como já descrito, o *takt time* da linha principal é de: 22 minutos e 18 segundos, logo, todas as montagens que excedem essa medida estão fora do ideal para o abastecimento e podem causar distúrbios. Segundo esse levantamento, apenas o produto A pode ser montado sem causar atrasos.

A análise ergonômica do posto foi realizada após a cronoanálise de montagem, conforme previsto na metodologia, no entanto, para melhor compreensão do posto de trabalho, o *layout* da estação em 2D será abordada antes, ilustrando de forma mais eficaz a realidade da célula. O desenho foi projetado por meio do *software* AutoCad, disponibilizado pela empresa, e está apresentado na Figura 13.



Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 13 mostra o *layout* da célula de pré-montagem dos componentes A, B e C. A vista utilizada no desenho é uma junção das vistas frontal e superior, e não é padronizada como utilizado dentro do curso da engenharia mecânica nos conceitos de desenho técnico, no entanto, essa abordagem é a forma utilizada pela empresa

para simulação de *layouts* de montagens, portanto, o projeto seguiu este mesmo padrão.

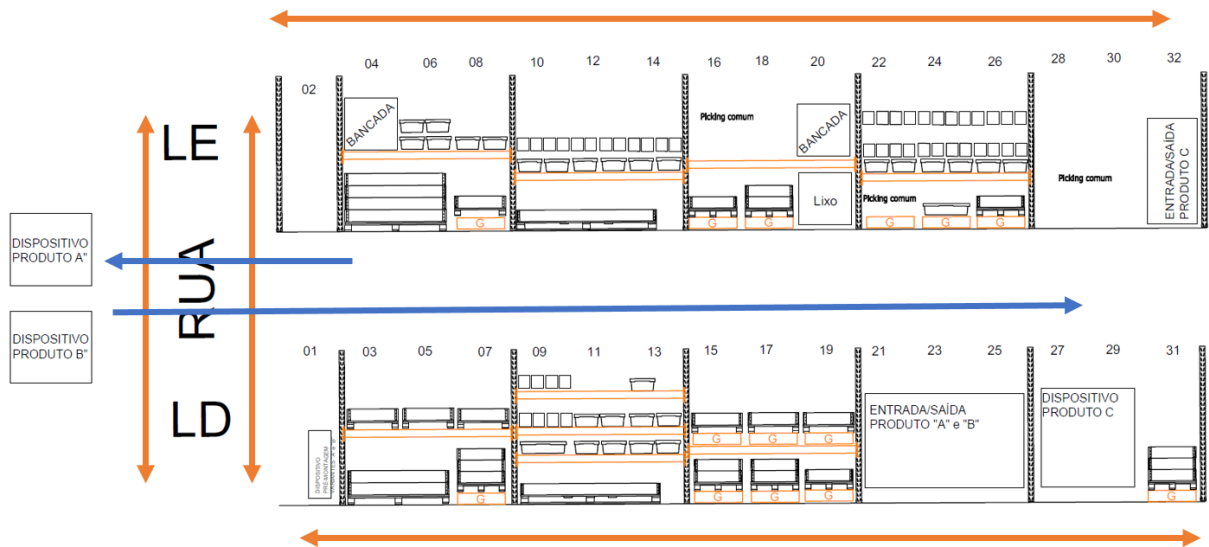
Esse *layout* situa-se dentro de um prédio com varios porta-pallets de diversos andares de altura, estes são alocados em duplas mais próximas, seguidos por um espaço maior de distância, onde passa o fluxo de máquinas de abastecimento e armazenamento de peças. Nesses locais onde os porta-pallets estão mais próximos não transitam máquinas, logo, existem zonas de pré-montagem seguras onde o montador pode permanecer e fazer pré-montagens específicas de componentes, aproveitando melhor todo o espaço útil da fábrica.

As siglas “LE” e “LD” correspondem, respectivamente, às duas faces da rua de pré-montagem lado esquerdo e direito, rodeada por porta-*pallets* em toda sua extensão, exceto nas pontas para saída e entrada de produtos e pessoas. A numeração em cima de cada “bloco” do porta-pallet é meramente ilustrativa e serve como guia para o projetista ter noção do dimensional: o bloco é dividido em três partes iguais, onde cada uma comporta a composição de gaveta+caixa no tamanho P, correspondente a maioria das peças situadas nesses locais de pré-montagem.

As gavetas foram identificadas na imagem pela letra “G”, e as demais caixas que não estão sobre essas gavetas ou estão diretamente sobre o piso, ou estão alocadas nas estruturas indicadas em laranja, que correspondem a barras metálicas indexadas à estrutura do porta-*pallet*, formando prateleiras com elevada capacidade de peso.

Os dispositivos indicados por quadrados brancos no *layout* correspondem a diversos carrinhos onde ocorrem as pré-montagens dos componentes, sendo a maioria dos carrinhos de estrutura metálica e contendo rodízios para que possam se deslocar entre o local de pré-montagem até a linha de produção final. Também existem carrinhos formados por tubos de alumínio, na industria hoje denominados *trilogic*, os quais também são móveis, porém deslocam-se apenas dentro do *layout* e são utilizados em montagem de sub-componentes dos componentes principais, sendo que sua necessidade depende da especificação do caminhão para ter essa variante em questão. A sequência de montagem dentro do *layout* resumida para os três produtos foi demonstrada na Figura 14.

**Figura 14 - Fluxo de máquinas e operadores no *layout* atual**



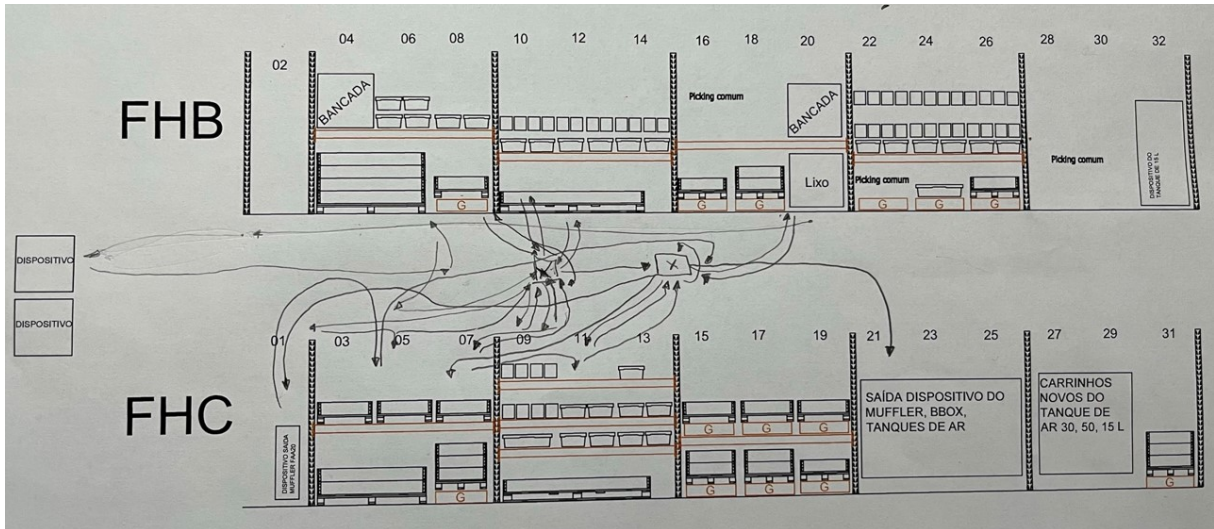
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na figura 14 o fluxo de máquinas é representado pelas setas laranjas e o fluxo do operador para realização das montagens é representado pela seta azul. No encontro dessas setas, que ocorre na rua entre os porta-pallets, há um risco de segurança associado a travessia do operador. Esse risco foi pontuado pelo departamento de segurança e será considerado nos itens de melhoria necessária nesse projeto.

Após realizado o projeto do *layout* atual em 2D, foi realizada a análise dos deslocamentos realizados pelo operador para a montagem de cada um dos produtos. Todos os trajetos foram considerados iniciando na verificação de instrução de montagem, disponível eletronicamente no local especificado como bancada, e tiveram seu término nesse mesmo local, para poder padronizar a análise.

Também foi considerado para todos os casos a pior configuração de variantes que esse subproduto poderia ter, com base na especificação do caminhão na linha de produção final. Para finalizar esses três diagramas foram necessários vários dias de acompanhamento do posto de trabalho, a fim de mitigar variações de processo por qualquer eventual distúrbio. O primeiro diagrama realizado foi o do produto A, apresentado pela figura 15.

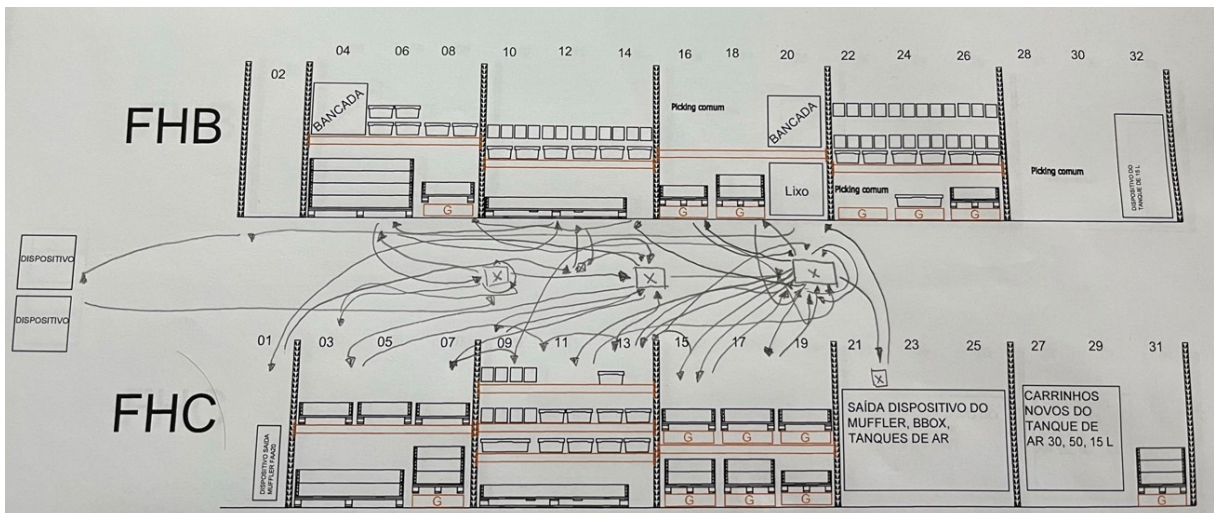
**Figura 15 - Diagrama de Spaghetti do produto A**



Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 15 descreve o deslocamento realizado pelo operador para a montagem do produto A e seus componentes variantes. O processo contempla o uso de tampa para pegar o principal componente do produto A, que tem peso elevado, e o uso de dispositivo de pré-montagem móvel, representado no desenho por um quadrado com X. Esse mesmo formato de representação foi utilizado no Diagrama de Spaghetti do produto B, representado pela Figura 16.

**Figura 16 - Diagrama de Spaghetti do produto B**

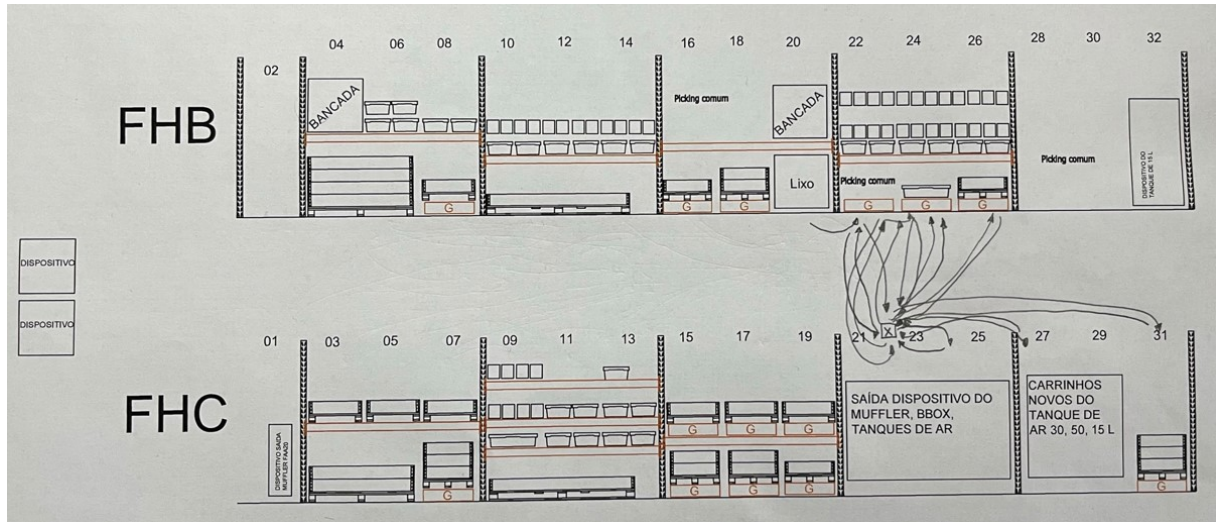


Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 16 contempla o processo de montagem do produto B e seus componentes variantes. Esse processo também necessita o uso de tampa para manuseio de peças pesadas, assim como dispositivo de pré-montagem móvel. Nesse

diagrama nota-se que o deslocamento é ainda maior do que o apresentado na Figura 14, demonstrando a maior complexidade deste produto. Por fim, a montagem do produto C foi descrita na Figura 17.

**Figura 17 - Diagrama de *Spaghetti* do produto C**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Figura 17 apresenta o Diagrama de *Spaghetti* do processo de montagem do produto C. Este, diferente dos anteriores, é um componente utilizado como acessório aos outros dois produtos, então não é montado em todos os caminhões, no entanto, possui um elevado deslocamento em relação a sua baixa complexidade de montagem.

Por fim, foi realizada a análise ergonômica inicial do posto, uma avaliação por produto, devido as diferenças entre cada processo. A avaliação foi realizada junto a uma profissional da área da saúde, integrante do time multidisciplinar de trabalho do projeto. Devido a similaridade dos componentes A e B, os pontos levantados na MEC para cada um destes foram similares, desta forma, destacam-se os casos de mais atenção para estes:

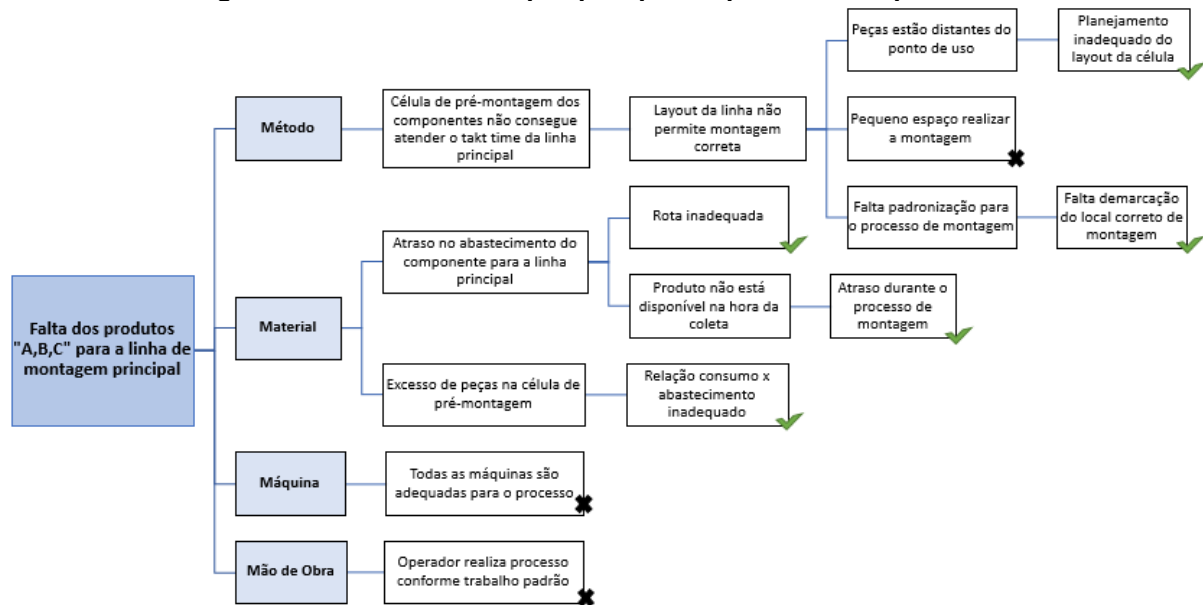
- I. Postura inadequada para abertura de gaveta: necessário puxá-la e abaixar a cada pega de componente.
- II. Postura inadequada ao realizar o deslocamento com o componente principal por meio de talha até o dispositivo de montagem.
- III. Postura inadequada para pegar peças na prateleira: dificuldade de colocar a mão para pega da peça – pequeno espaço para realizá-lo, além de inclinação da coluna para alcançar a peça.

- IV. Deslocamento com peças na mão – sobrecarga muscular.
- V. Postura inadequada ao realizar um dos apertos do componente principal.

Essas quatro análises realizadas: cronoanálise, *layout* 2D, Diagrama de *Spaghetti* e ergonomia compoem a análise de estado atual do processo, caracterizando as principais. No entanto, ainda faz-se necessária uma maior caracterização dos desperdícios encontrados nestas análises, para então projetar a análise de estado futuro.

Com base nos dados levantados, foi realizada uma análise 4M e 5 porquês, para avaliar as possíveis causas raízes no problema, descritos na Figura 18. A análise dos porquês tem início logo após o primeiro quadrado de cada classificação (método, material, máquina ou mão de obra), e maiores detalhes da análise podem ser verificados no Apêndice A.

**Figura 18 - Análise 4M e 5 porquês para o problema no processo**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Figura 18 demonstra as análises realizadas para encontrar as possíveis causas-raiz da falta de produtos A, B e C para a linha de montagem frontal. Os itens descartados estão identificados com um “X”, e as possíveis causas estão marcadas em verde. O ponto levantado sobre o atraso durante o o processo de montagem é



evidenciado, no entanto, não é causa raiz e sim parte do problema, então foi retirado dessa listagem. São as possíveis causa-raiz do problema:

- I. Planejamento inadequado do *layout* da célula;
- II. Falta demarcação do local correto para montagem dos componentes;
- III. Rota de abastecimento logístico inadequado;
- IV. Relação de consumo *versus* abastecimento inadequado.

Para validar as possíveis causas foram utilizados os dados levantados no *gemba* (local real, ou chão de fábrica), assim como os dados já demonstrados durante a análise de estado atual do processo. Outro ponto importante para a validação destas causas foram os conceitos iniciais apresentados, como os 7 tipos de desperdícios, descritos na seção 2.

Conforme demonstram as Figuras 15, 16 e 17 nota-se o deslocamento excessivo para pega de peças, devido ao posicionamento inicial dessas peças. Várias destas são armazenadas em caixas grandes, dispostas sobre gavetas para facilitar a pega. Essas caixas consomem um grande espaço próximo a *goldenzone* do montador, tornando a célula de montagem mais extensa para que seja possível comportar todas essas peças. Esse ponto valida a causa I, demonstrando o planejamento inadequado da célula de montagem.

O transporte dos dispositivos de montagem de forma não regular, sem um local padronizado para que este permaneça e que sejam realizadas as pré-montagens, acaba onerando o processo. Esse fato verifica-se também pelo Diagrama de *Spaghetti*, onde o operador desloca o dispositivo, mas retorna para a posição inicial apenas para pega de peças, uma vez que ele poderia ter pego tais peças na posição anterior ao deslocamento. Esse ponto valida a causa II, acerca da falta de local adequado para montagem dos componentes.

Durante a avaliação também foram verificadas peças em quantidade maior do que o consumo necessário até o próximo abastecimento. O abastecimento de matérias é feito conforme o ciclo programado da logística, neste caso, 5 horas a cada novo abastecimento. Com esse mapeamento, verificou-se que determinadas peças ocupavam dois espaços na prateleira, ao invés de um, o que possibilita a remoção do excedente para dar mover outras para locais mais próximos. Esse ponto valida a causa IV, sobre a relação de consumo *versus* abastecimento inadequado.

O ponto III, rota de abastecimento logístico inadequado não foi validado, embora levantado durante a análise. A rota padronizada para esse processo mostra-

se eficaz sempre que o produto está disponível para coleta no local certo, na hora certa (JIT).

Ainda finalizando as análises sobre os 7 desperdícios que foram avaliados no processo, os problemas associados a superprodução, superprocessamento e defeitos e inspeção não foram evidenciados durante a análise. O desperdício por espera é notado quando avaliado o fluxo completo de processo: quando o tempo de montagem da célula torna-se maior do que o tempo da linha de produção final, essa tem que aguardar até que o componente seja abastecido.

Os exemplos avaliados foram de *muda*, no entanto, torna-se fácil evidenciar *muri* também, em função do retorno da avaliação ergonômica, como por exemplo o item de sobrecarga muscular apontado, além da possível fadiga devido a postura inadequada apontada em algumas partes do processo. Por fim, as análises norteiam quais os próximos passos para adequar o processo e, com base nestes, desenhar o estado futuro desejado.

#### 4.1 Estado Futuro

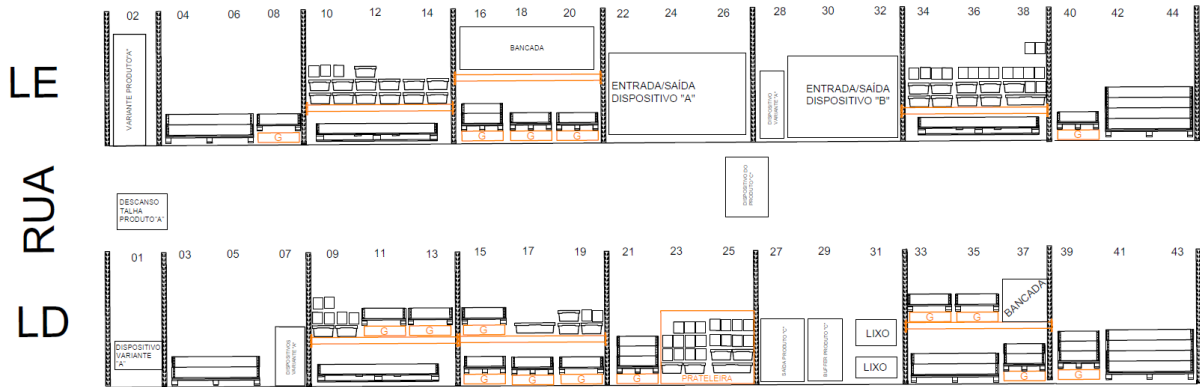
De modo a priorizar as alterações necessárias para de estado futuro, destacam-se as seguintes atividades:

- I. Atender a necessidade de montagem dentro do *takt time* da linha principal: 22 minutos e 18 segundos;
- II. Acomodar os dispositivos de pré-montagem dentro da célula de pré-montagem, eliminando a condição insegura de atravessar a rua compartilhada com as máquinas;
- III. Confeccionar um dispositivo adequado para o descanso do conjunto talha e garra do componente;
- IV. Definir a sequência de montagem com a menor quantidade de deslocamentos necessária;
- V. Aproximar as peças do ponto correto de montagem;
- VI. Determinar o local adequado para montagem de cada componente, utilizando demarcações no piso;
- VII. Ajustar a quantidade de peças necessárias na estação, aproximando as peças de maior consumo para a *goldenzone* do montador;

Para atingir esses objetivos foram necessários 7 estudos de *layouts* diferentes, alterando a posição das peças, conseqüentemente, a montagem de

componentes que não tinham restrição de sequência de montagem. O *layout* final 2D testado e validado está representado pela Figura 19.

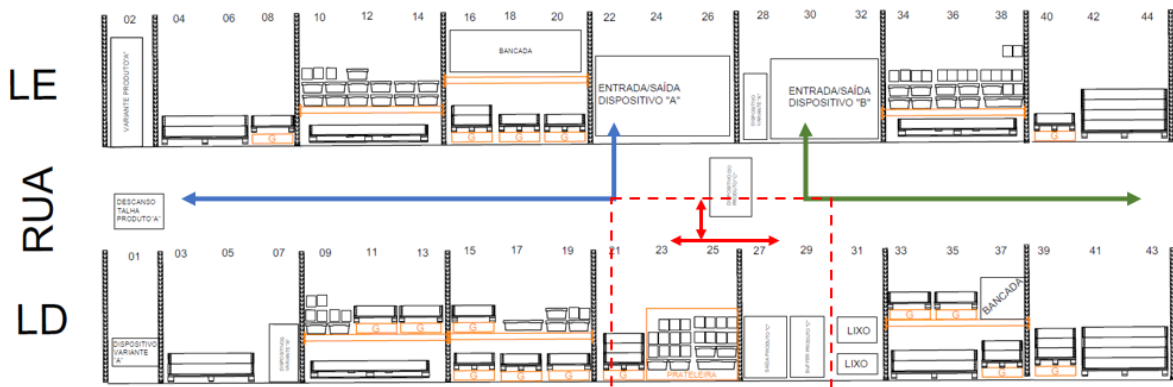
**Figura 19 - Layout final da célula de pré-montagem**



Fonte: Autoria própria (2022)

Primeiramente, para que fosse possível a alteração do *layout* foram necessárias algumas considerações importantes: não seria possível adequar o processo montando os dois componentes na mesma sequência de montagem, pois toda vez que a peça para o produto A era aproximada do ponto de uso, as peças do produto B ficavam longe, isto porque ambos tinham início no mesmo local. A forma de resolver esse problema foi separar os componentes principais na mesma célula de montagem, como mostra a Figura 20.

**Figura 20 - Fluxo de montagem do estado futuro**



Fonte: Autoria própria (2022)

Conforme mostra a Figura 20, o produto A terá sua sequência de montagem realizada da esquerda para a direita no *layout*, representado pela seta azul, e o

produto B, da direita para a esquerda, representado pela seta verde. O produto C será montado no meio do *layout*, demonstrado pelo conjunto de setas vermelho.

Outro ponto muito importante foi a necessidade de maior espaço para o *layout*. Embora essa possível causa raiz tenha sido descartada na análise de 4M, devido ao *layout* anterior comportar a montagem, com a necessidade de separação dos componentes em lados diferentes da rua, o espaço anterior não seria suficiente para execução do novo *layout*. Desta forma, foi necessário realocar uma pré-montagem que ficava ao lado da célula deste projeto para outro prédio, o que não foi um problema, uma vez que essa alteração já vinha sendo considerada pela companhia.

Tendo as duas principais premissas da alteração validadas: separação da sequência de montagem e maior espaço para realizar a alteração, foi possível entrar no nível de detalhe para redução dos desperdícios e solucionar os pontos enumerados de I a VII.

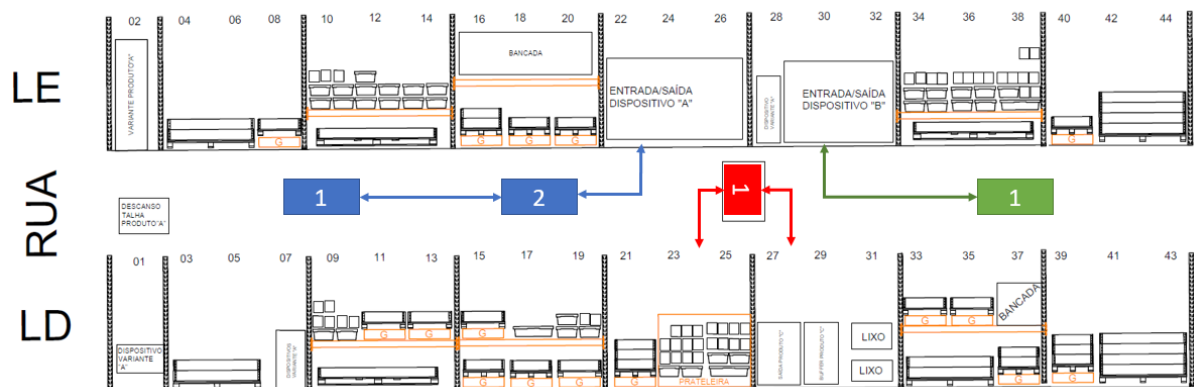
No *layout* anterior os componentes principais compartilhavam a mesma talha, somente alterando a garra que era indexada no componente. Com a alteração, foi necessária a instalação de uma outra talha no outro ponto do *layout*, além de mais uma máquina angular programável para realizar os apertos e não ser necessário descolar-se com uma eventual máquina compartilhada entre os produtos.

Uma vez definida o sentido das montagens de cada componente, o próximo passo foi o teste dos locais de cada peça, o qual foi realizado inicialmente via simulação 2D no autocad, com reuniões semanais com a produção para validação do novo local destas. Após validado o conceito via 2D, foi utilizado um dia de linha para teste no físico do novo local.

Outro fluxo estudado foi o dos dispositivos de pré-montagem que anteriormente eram abastecidos do outro lado da rua. Durante o teste no físico para validação do *layout* foi verificada a possibilidade de abastecimento de cada dispositivo do seu respectivo lado da célula. Esse fluxo foi testado e validado com sucesso.

Quanto a posição correta de montagem de cada componente, estas foram definidas com base no local das peças de cada componente. As posições de montagem foram exemplificadas na Figura 21, utilizando a mesma legenda de cores mencionada anteriormente.

**Figura 21 - Posições de montagem no *layout* futuro**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Na Figura 21 os pontos de parada para os produtos foram identificadas por cores e números, sendo a numeração a ordem de parada durante a sequência de montagem. Para o produto A, foi necessário colocar duas paradas, devido a quantidade de peças que vão nesses componentes e o tamanho de suas respectivas caixas. Já para o produto B foi possível manter apenas um ponto de montagem, alinhado a instalação da nova talha e da nova máquina de aperto, sem aumentar o deslocamento do operador.

Para o produto C foi adotado também um ponto de parada para montagem, porém, o dispositivo de pré-montagem desse componente não é móvel. O montador pega a peça na caixa ao lado e monta sobre este dispositivo, após finalizado, esse componente é mantido numa prateleira com outros iguais, essa prateleira é utilizada como *buffer*, para que o operador possa montar esse componente sempre que o tempo de sua montagem permitir. Assim, quando a especificação do caminhão pedido, basta pegar na prateleira e enviar para a linha principal.

Prosseguindo com a metodologia programada, a validação do conceito foi realizada com todas as partes envolvidas e aprovado. Posteriormente foram realizados testes de *layout* no *gamba*, com apenas algumas unidades de cada peça no novo local, simulando os fluxos desenhados, os quais obtiveram sucesso e validaram o conceito.

A alteração foi realizada durante 5 dias de linha de produção parada, dividida em três etapas principais: alterações estruturais, instalações elétricas e de rede e alteração do posicionamento das peças. Ao final foram realizadas algumas montagens

de produtos para validar o conceito final e garantir que a célula estivesse pronta para o retorno de produção.

A alterações estruturais consistiram na alteração das vigas horizontais dos porta pallets que sustentam as prateleiras e gavetas sobre estes. Antes das alterações todos os box dos porta pallets continham estas vigas, no entanto, para liberar espaço para o produto final foi necessário manter 4 dos 14 box sem essas vigas. Essa alteração foi realizada com o estudo e autorização do responsável pela estrutural do prédio. Nesta etapa também foi realizada a instalação de vigas primárias e pontes rolantes para sustentação da nova talha do produto B.

A próxima etapa consistiu na instalação elétrica para a talha, além dos novos pontos de tomada ao longo do *layout*, necessária para as máquinas, controladores e computadores, além de ponto de rede de internet. Por fim, foi alterado o local das gavetas e prateleiras para posteriormente alocar as peças nos locais validados.

O *start* da linha de produção deu-se um dia após a finalização das alterações. Para esse início foram deslocados dois operadores, de forma que o operador responsável tivesse tempo para se acostumar ao novo arranjo de peças e que a linha de produção principal não sofresse por desabastecimento, o que não ocorreu. Ao final do segundo dia, a célula de montagem já estava operando com apenas uma mão de obra conforme desejado, sem distúrbios de abastecimento na linha principal.

Na metade da segunda semana do novo *layout* deu-se início as medições do estado futuro, de forma a comprovar os ganhos de tempo, ergonomia e segurança esperados. O primeiro dado coletado consistiu na cronoanálise, que foi resumida na Tabela 3.

**Tabela 3 - Cronoanálise do Estado Futuro**

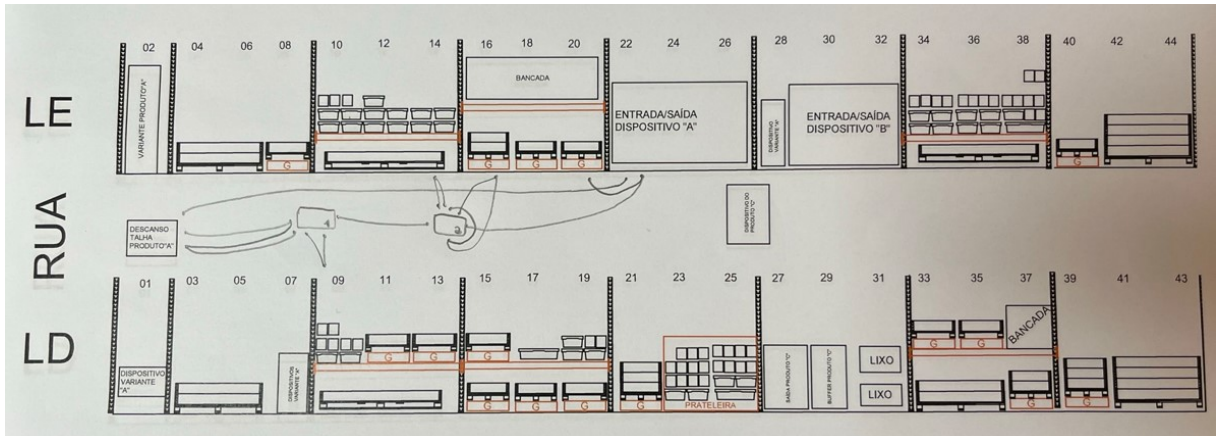
Produto	Tempo inicial	Tempo final	Redução percentual
A	18 minutos e 45 segundos	14 minutos	25,3%
B	22 minutos e 16 segundos	19 minutos e 9 segundos	40,2%
C	6 minutos	3 minutos e 30 segundos	41,6%

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

A Tabela 3 compara o tempo inicial com o tempo final obtido nesta última cronoanálise realizada. Por meio dessa comparação nota-se que o tempo de montagem dos três produtos permanece abaixo do *takt time* da linha de produção final, que corresponde a 22 minutos e 18 segundos, eliminando o risco de parada de linha devido ao tempo elevado de montagem.

O motivo para a redução significativa do tempo de montagem é perceptível quando analisados os Diagramas de *Spaghetti* de cada subproduto e comparamos-os com os anteriores. A redução no deslocamento é considerável, como mostra a Figura 22.

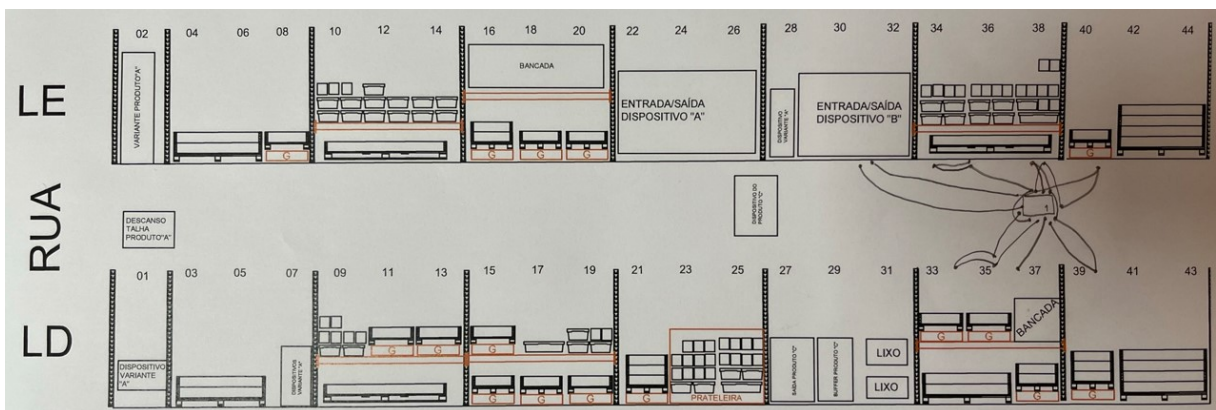
**Figura 22 - Diagrama de *Spaghetti* do Estado Futuro do produto A.**



Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 22 mostra o Diagrama de *Spaghetti* de montagem do produto A na célula de pré-montagem, na parte superior. Nota-se que a seqüência de montagem além da nova disposição de peças no *layout* foram eficientes para a redução de *muda*, consequentemente reduzindo o tempo de montagem. Essa mesma lógica ocorreu no processo de montagem do produto B, como mostra a Figura 23.

**Figura 23 - Diagrama de *Spaghetti* do Estado Futuro do produto B.**

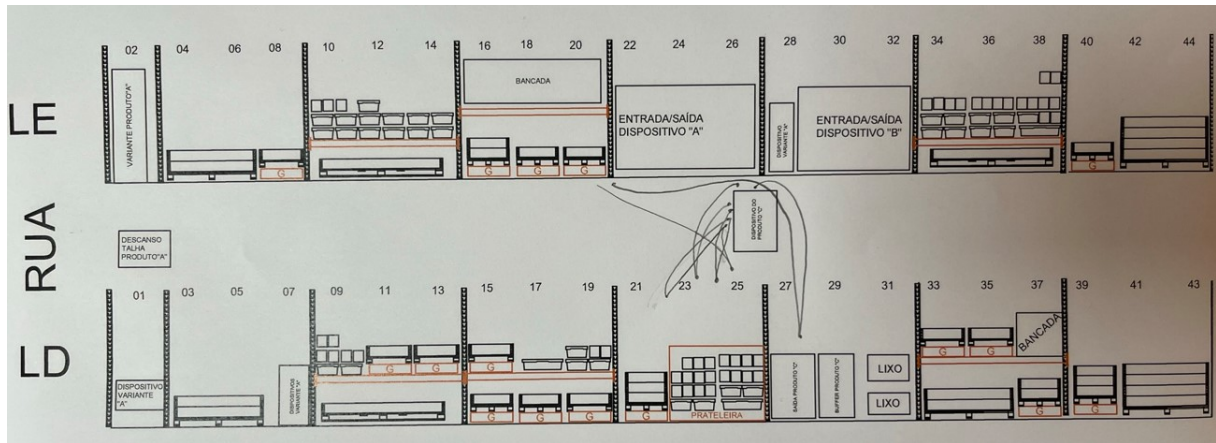


Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 23 mostra o Diagrama de *Spaghetti* de montagem do produto B na célula de pré-montagem. Neste caso, a nova alocação do produto para um espaço dedicado apenas para suas peças foi eficiente, demonstrando a redução de

deslocamentos necessária para a montagem do produto. A alteração de local de montagem também foi eficaz para o produto C, como mostra a Figura 24.

**Figura 24 - Diagrama de *Spaghetti* do Estado Futuro do produto C.**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

A Figura 24 representa o Diagrama de *Spaghetti* de montagem do produto C, onde a redução de tempo correspondeu a 41,6% do tempo anterior de montagem, maior redução percentual em comparação aos demais produtos. A criação de uma prateleira dedicada para peças pequenas e a aproximação do dispositivo de montagem desta prateleira evitou deslocamentos desnecessários.

A avaliação ergonômica do novo *layout* também foi realizada, e quando comparada a avaliação do estado de montagem antes, a melhoria foi comprovada. O ponto de postura inadequada para abertura da gaveta foi solucionado com método: manter a gaveta sempre aberta, até que a caixa seja esvaziada e substituída pela logística.

Outra alteração realizada no *layout* foi a altura das prateleiras para a *goldenzone* do montador, resolvendo o outro ponto levantado pela ergonomia, de má posição postural. Também foi confeccionado um carrinho para apoio da garra que indexa na tábua e no principal componente, evitando que este fique sobre o chão e que o montador tenha que se abaixar para pegá-lo.



## 5 CONCLUSÃO

O projeto de pesquisa teve como objetivo principalmente adequar o tempo de montagem da célula de pré-montagem ao *takt time* da linha de montagem principal, eliminando o risco de parada de linha devido a falta de componentes pré-montados. Utilizou-se uma metodologia estruturada de análise do estado atual do processo, propostas e ações de melhoria, e análise do estado futuro pós alterações. Grande parte das melhorias realizadas visaram a retirada de desperdícios (*muda*) do processo, principalmente por transporte e deslocamento, analisados por meio do Diagrama de *Spaghetti*.

Ao longo do desenvolvimento do estudo, foi levantado um ponto específico: qual metodologia seria a mais adequada para nortear o projeto, o relatório A3 ou o Mapa de Fluxo de Valor, uma vez que, inicialmente, ambos poderiam satisfazer a condição inicial de mapeamento do fluxo e propostas de melhoria. Durante a execução do projeto, verificou-se que a metodologia mais adequada e condizente com a realidade do problema foi o relatório A3, devido a sequência lógica de análise. Todas as 7 etapas foram executadas: definição do tema, estado atual, análise da causa raiz, definição dos objetivos, plano de implementação, monitoramento e indicadores, relatórios e padronização. O relatório em sua versão integral consta no Apêndice A.

Durante a Análise de Estado Atual verificou-se a divergência entre o *takt time* da linha de produção principal, 22 minutos e 18 segundos, e o tempo de produção da célula de pré-montagem, que contabilizava na soma dos tempos de montagem dos produtos associados (B+C), 28 minutos e 16 segundos. Além dos pontos ergonômicos de má postura e de segurança, com a alocação inadequada de dispositivos.

Para a definição do *layout* final foram simulados 7 *layouts* via AutoCAD, planejados e testados por um time multifuncional englobando engenharia, produção e logística. Ao final das simulações virtuais foram realizados testes de montagem no *gamba*, para validação do conceito. Após aprovado, as alterações de *layout* foram realizadas com a linha parada com sucesso.

Foi realizado a Análise de Estado Futuro, contemplando as cronoanálises da solução, além da avaliação ergonômica do posto. Com isto, foi mapeado uma redução de 41,6% do tempo de montagem do produto C, 40,2% do produto B e 25,3% do produto A. Todos os tempos de montagem dentro do *takt time* da linha de produção final.

O *buffer* de peças para o produto C também foi fundamental para as sequências de produção que solicitem produtos B+C na sequência de 1 para 1 com o produto A. Desta forma, com o tempo restante da montagem do produto A, foi possível montar o produto C, para quando solicitado apenas realizar a compra deste na prateleira. Uma vez que esse desbalanceamento de tempos entre o produto A e B são características do produto e não podem ser modificadas, intercalar a montagem do produto C nivela os tempos e reduz o tempo improdutivo do operador a cada novo ciclo.

Por fim, o projeto atingiu seus objetivos gerais esperados, e não somente efetivou os ganhos de produtividade, ergonomia e segurança, mas também validou a metodologia proposta e oportunizou a padronização desta para outras atividades similares. A aplicação dos conceitos de *lean manufacturing* pra atinir o objetivo foram fundamentais e eficazes.

## REFERÊNCIAS

AEN. **Com avanço de 9%, indústria paranaense foi a terceira que mais cresceu em 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Com-avanco-de-9-industria-paranaense-foi-terceira-que-mais-cresceu-em-2021>. Acesso em: 12 maio 2022.

ANDREA RAMOS (ed.). **Mercado de caminhões cresce 43% em 2021; veja os mais vendidos**. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/mercado-de-caminhoes-cresce-43-em-2021-veja-os-mais-vendidos/>. Acesso em: 30 mar. 2022.

ANFAVEA. **CONDUZINDO O FUTURO DA MOBILIDADE NO BRASIL**. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/>. Acesso em: 07 maio 2022.

BOTERO, Paula Andrea Gómez. "Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad. **Gestión y Sociedad**, [s. /], v. 3, n. 2, p. 75-88, dez. 2010. Disponível em: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=gs>. Acesso em: 17 maio 2022.

GHINATO, Paulo. Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente just-in-time. **Production**, Kobe, v. 5, n. 2, p. 169-189, dez. 1995. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/bRXLyrMFFK6WZGCvYNxC8sR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 maio 2022.

INSTITUTE, Lean. **Mura, Muri, Muda** 2006. Disponível em: <https://www.lean.org.br/artigos/350/mura-muri-muda-.aspx>. Acesso em: 10 maio 2022.

INSTITUTE, Lean. **Léxico Lean**. 2011. Disponível em: <https://www.lean.org.br/vocabulario.aspx>. Acesso em: 12 maio 2022.

INSTITUTE, Lean. **O que é Kaizen?** 2011. Disponível em: <https://www.lean.org.br/conceitos/61/o-que-e-kaizen.aspx>. Acesso em: 12 maio 2022.

KOO, Jenna. **Tempo de Ciclo, Prazo de Entrega e Produtividade na Manufatura Enxuta**. 2020. Disponível em: <https://www.konitech.com.br/tempo-de-ciclo-prazo-de-entrega-e-produtividade-na-manufatura-enxuta/>. Acesso em: 07 maio 2022.

KANBANIZE. **Gestão Lean: guia prático para aplicar as práticas da gestão lean**. Guia prático para aplicar as práticas da gestão Lean. Disponível em: <https://kanbanize.com/pt/gestao-lean>. Acesso em: 27 abr. 2022.

KAWAKAME, Marcelo. **MINICURSO : Golden Zone e a Metodologia do QSB na Melhoria do Posto de Trabalho**. Disponível em: [file:///C:/Users/A343677/Downloads/Semana\\_EPQ\\_2016\\_Golden\\_Zone%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/A343677/Downloads/Semana_EPQ_2016_Golden_Zone%20(1).pdf). Acesso em: 23 maio 2022.

KOSAKA, Diogo. **Relatório A3: ferramenta para melhorias de processos**. ferramenta para melhorias de processos. 2006. Disponível em:

<https://www.lean.org.br/artigos/90/relatorio-a3-ferramenta-para-melhorias-de-processos.aspx>. Acesso em: 07 maio 2022.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. *Administração da Produção*. São Paulo: Saraiva, 2008.

MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de Produção**: uma abordagem integrada ao just-in-time. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

NOVIDA. **Diagrama de Espaguete: Aplique ao seu negócio**. Disponível em: <https://www.novida.com.br/blog/diagrama-de-espaguete/>. Acesso em: 29 maio 2022.

PICCHI, Flávio Augusto. **Empresas precisam eliminar muda, mura e muri**. 2017. Disponível em: <https://www.lean.org.br/artigos/1114/empresas-precisam-eliminar-muda-mura-e-muri.aspx>. Acesso em: 10 maio 2022.

RIATO, Giovanna. **Montadoras terão novo encontro com o governo para “organizar indústria automotiva”**. 2022. Disponível em: <https://automotivebusiness.com.br/pt/posts/setor-automotivo/montadoras-terao-novo-encontro-com-o-governo-para-organizar-industria-automotiva/>. Acesso em: 03 maio 2022.

ROSER, Christoph. **Golden Zone**. Disponível em: <https://www.allaboutlean.com/structure-assembly-1/ergonomic-zones/>. Acesso em: 25 out. 2017.

ROTHER, Mike; SHOOK, John. **Aprendendo a Enxergar**. Lean Institute Brasil, 2012.

SANDRINI, Guilherme. **Como aplicar o Value Stream Mapping? (VSM ou Mapeamento de Fluxo de Valor)**. 2020. Disponível em: <https://www.kimia.com.br/value-stream-mapping-vsm-como-fazer-mfv/#mapa-atual-passo1>. Acesso em: 23 maio 2022.

YAMASHINA, H. **World Class Manufacturing Introduction**. Material interno da empresa em estudo, 2016.

**APÊNDICE A - Formulário A3**

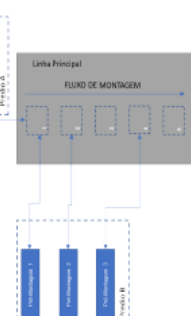
## Relatório A3

### 1. INCÔMODO / OPORTUNIDADE

Célula de pré-montagem dos produtos A, B e C foi movida de um prédio para outro. Com isto, o novo tempo de processo da célula excedeu o takt time (22 minutos e 18 segundos) da linha principal de montagem, local onde o produto pré-montado é abastecido.


- Risco de parada da linha principal por falta de componentes;

- Riscos ergonômicos no novo local de montagem

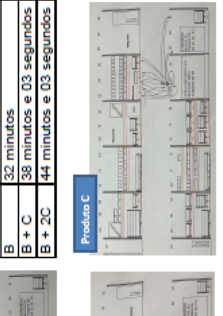


### 2. MAPA ESTADO ATUAL


Fluxo de montagem



Produto	Tempo inicial
A	18 minutos e 45 segundos
A + C	8 minutos
B	24 minutos e 45 segundos
B + C	32 minutos
B + 2C	38 minutos e 03 segundos
B + C	44 minutos e 03 segundos



### 3. ANÁLISE DA CAUSA RAIZ

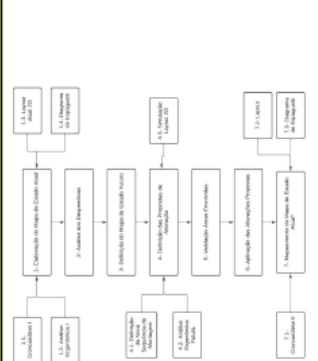


Causa raiz principal  
O tempo de montagem da célula de pré-montagem excedeu o takt time

### 4. META / OBJETIVO / MAPA DO ESTADO FUTURO

Adesquar o processo ao takt time da linha principal de montagem;  
Elaborar um Mapa de Estado Atual dos produtos A, B e C;  
Analisar os desperdícios do mapa de estado atual;  
Elaborar o Mapa de Estado Futuro dos produtos A, B e C;  
Melhorar a condição ergonômica de montagem;  
Aplicar ferramentas de lean manufacturing para redução do NAV.

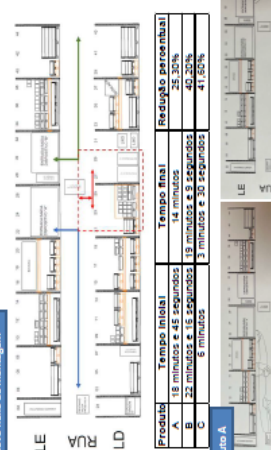
### 5. PLANO DE AÇÃO




1. Elaboração do Mapa de Estado Atual
2. Análise de Desperdícios
3. Análise de Desperdícios
4. Análise de Desperdícios
5. Análise de Desperdícios
6. Análise de Desperdícios
7. Análise de Desperdícios
8. Análise de Desperdícios
9. Análise de Desperdícios
10. Análise de Desperdícios
11. Análise de Desperdícios

### 6. MONITORAMENTO

Novo Fluxo de montagem



Produto	Tempo inicial	Tempo final	Redução percentual
A	18 minutos e 15 segundos	18 minutos e 9 segundos	40,20%
B	32 minutos e 15 segundos	3 minutos e 30 segundos	41,80%
C	6 minutos		



Eliminação dos 5 pontos de atenção de ergonomia;

Eliminação do risco de segurança ao atravessar a rua

### 7. PADRONIZAÇÃO

Alteração do layout via AutoCAD;  
Simulação e Alteração do layout físico;  
Registro da nova avaliação ergonômica;  
Montadores treinados e validados

### 7.1. APROVAÇÃO

Área	Pré Estudo	Aceite Final	Expansão Horizontal
Engenharia Produção	Sim	Validado	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
Engenharia Logística	Sim	Validado	
Materiais	Sim	Validado	
Produção	Sim	Validado	
Segurança	Sim	Validado	
Ergonomia	Sim	Validado	
Qualidade	Sim	Validado	

Célula de pré-montagem dos produtos A, B e C