



NOVA

NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE
Engenharia Mecânica e Industrial

João Santos Domingues

Licenciado em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Aplicação de Ferramentas *Lean* para a Melhoria da Eficiência de uma Linha de Montagem de Painéis de Instrumentos para Automóveis

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Abril, 2024



Aplicação de Ferramentas *Lean* para a Melhoria da Eficiência de uma Linha de Montagem de Painéis de Instrumentos para Automóveis

JOÃO SANTOS DOMINGUES

Licenciado em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Radu Godina,
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA

Júri:

Presidente: Ana Sofia Matos,
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA

Arguentes: Eduardo Manuel Godinho Rodrigues,
Professor Auxiliar, Instituto Superior Técnico | IST UL

Orientador: Radu Godina,
Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA

Aplicação de Ferramentas *Lean* para a Melhoria da Eficiência de uma Linha de Montagem de Painéis de Instrumentos para Automóveis

Copyright © João Santos Domingues, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero aqui deixar os meus profundos agradecimentos e o meu reconhecimento a quem deixou a sua marca, de alguma forma, no desenvolvimento deste trabalho e na minha pessoa.

Ao Professor Radu Godina e à Engenheira Patrícia Carvalho, pela orientação desta dissertação. Agradeço-lhes todo o tempo dispensado, por todos os conselhos e por todos os conhecimentos transmitidos.

Ao Engenheiro Tomás Ribeiro e ao Engenheiro Duarte Parra, que tive o prazer de conhecer com a realização do estágio no qual foi desenvolvido o estudo. Agradeço todos os almoços bem passados ao longo dos meus 5 meses de estágio.

Aos meus pais pelo apoio e dedicação que me proporcionaram toda a minha vida. Tenho a agradecer-lhes a educação que me foi dada e o investimento que possibilitou a caminhada até aqui. E principalmente o exemplo que me foi dado por eles, que representa imenso esforço e dedicação. Aproveito também para agradecer ao meu irmão que sempre me ajudou em vários capítulos da minha vida. Deixo aqui expressa a grande admiração que tenho pelos três.

Aos restantes membros da minha família por mostrarem sempre bastante preocupação e darem apoio relativamente às várias etapas da minha vida. Agradeço-lhes toda a motivação que me oferecem.

Aos meus amigos e colegas de curso Hugo Bastos, Miguel Moura, Pedro Cardoso, Rafael Pacheco e Rodrigo Marques. Agradeço-lhes por terem tornado estes cinco anos inesquecíveis, por estarem sempre presentes nas melhores memórias que foram criadas ao longo deste percurso. Espero que sejam criadas muitas mais daqui para a frente. Agradeço também aos meus amigos de Torres Novas, com quem cresci. Agradeço-lhes todos estes anos de amizade, partilha e bons momentos.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer à minha namorada e melhor amiga, Francisca Governo. Agradeço-lhe todo o apoio nos piores momentos, por conseguir tornar os bons momentos em algo ainda melhor, por estar presente todos os momentos de descanso, na praia, em jantares, mas também nos momentos mais trabalhosos. Acima de tudo, gostaria de lhe agradecer por ser quem é, a sua determinação, dedicação, força de vontade, são a minha motivação. A todos, o meu maior e mais sincero obrigado.

Resumo

A complexidade dos componentes eletrônicos tem vindo a aumentar de forma muito acentuada, especialmente com o aparecimento dos automóveis elétricos. Também o crescimento da indústria automóvel traduz-se num aumento procura de componentes para automóveis, estes fatores resultam num aumento da competitividade entre as empresas deste setor, de forma a satisfazer as necessidades do cliente.

Neste sentido torna-se essencial para as empresas a aplicação de certas medidas que contribuam para o aumento na eficiência dos seus processos, tentando manter uma filosofia de melhoria continua em toda a organização. A redução dos custos de produção, é um dos principais objetivos das empresas, existindo diversas formas de o alcançar, tais como a redução de desperdícios, melhorias nos processos tanto a nível produtivo como logístico, redução na variabilidade entre processos e melhorias na qualidade do produto final.

Na presente dissertação é realizado um estudo sobre linha de montagem de painéis de instrumentos para veículos de passageiros numa empresa multinacional, com o intuito de aumentar a sua capacidade produtiva, a partir da melhoria da sua eficiência. Para tal foi decidido seguir os princípios da metodologia *Lean*, e foram também utilizadas algumas das suas ferramentas, nomeadamente, VSM, diagramas de esparguete e *kanban*. Com os a aplicação dos métodos selecionadas foi então possível a identificação de oportunidades de melhoria e posterior melhoria da eficiência de certos processos da linha de montagem.

Os objetivos propostos foram alcançados, ao mostrar que é possível obter uma redução no tempo de ciclo da linha de montagem em 5,27% e uma redução de distância nos percursos de reabastecimento de 53,8%. Os resultados obtidos equivalem a um aumento de 15,5 dias úteis de trabalho anuais. Tal permite que a empresa se foque noutra tipo de melhorias, noutros setores.

Palavras-chave: *Lean*, VSM, melhoria continua, diagrama de esparguete

ABSTRACT

The complexity of electronic components has increased dramatically, especially with the advent of electric cars. The growth of the automotive industry has also led to an increase in demand for automotive components, resulting in increased competitiveness between companies in this sector in order to satisfy customer needs.

In this sense, it is essential for companies to apply certain measures that contribute to increasing the efficiency of their processes, trying to maintain a philosophy of continuous improvement throughout the organization. Reducing production costs is one of the main objectives for companies, and there are various ways of achieving this, such as reducing waste, improving processes at both the production and logistics levels, reducing variability between processes and improving the quality of the end product.

In this dissertation, a study is carried out on the assembly line for passenger car instrument panels in a multinational company, with the aim of increasing its production capacity by improving its efficiency. To this end, it was decided to follow the principles of Lean methodology, and some of its tools were also used, namely VSM, spaghetti diagrams and kanban. By applying the selected methods, it was then possible to identify opportunities for improvement and subsequently improve the efficiency of certain processes on the assembly line.

The proposed objectives were achieved, showing that it is possible to obtain a reduction in the assembly line's cycle time of 5.27% and a 53.8% reduction in the distance travelled for replenishment. The results obtained are equivalent to an increase of 15.5 working days per year. This allows the company to focus on other types of improvements in other sectors.

Keywords: *Lean*, VSM, continuous improvement, spaghetti diagram

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1. Contextualização do Estudo	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodologia Investigação	3
1.4. Estrutura da Dissertação	5
Capítulo 2 - Lean Manufacturing e a Indústria dos Painéis de Instrumentos	7
2.1. Indústria Automóvel no Mundo	7
2.2. Indústria Automóvel em Portugal	8
2.3. Indústria dos Painéis de Instrumentos para Automóveis.....	9
2.3.1. Origem dos Painéis de Instrumentos para Automóveis	9
2.3.2. Tecnologia dos Painéis de Instrumentos para Automóveis	12
2.4. Componentes Painéis de Instrumentos Digitais	14
2.4.1. Printed Circuit Board	14
2.4.2. Thin Film Transistor Liquid Crystal Display.....	14
2.4.3. Capa Traseira e Dianteira.....	15
2.5. Lean Manufacturing.....	16
2.5.1. Pilares conceptuais de Lean Manufacturing	18
2.5.2. Princípios.....	19
2.5.3. Desperdícios	20
2.5.4. Ferramentas e metodologias do paradigma Lean Manufacturing	22
2.5.5. Lean na Indústria dos Painéis de instrumentos para Automóveis	30
2.6. Teoria dos Grafos	31
Capítulo 3 Estudo de Caso.....	33
3.1. Apresentação da Empresa Visteon Portuguesa.....	33
3.2. Manufatura Visteon Corporation	33
3.2.1. Área de Injeção de Magnésio (Thixomolding)	33

3.2.2. Área de Injeção de Plástico	34
3.2.3. Área de Pre Assembly	34
3.2.4. Área de Board Preparation (Board Prep)	34
3.2.5. Área de Final Assembly.....	35
3.3. Caracterização da Linha de Montagem	35
3.3.1. Abastecimento da Linha	35
3.3.2. Linha de Montagem	36
3.4. Obtenção de Dados	46
3.4.1. Obtenção de Tempos	46
3.4.2. Falhas.....	49
3.4.3. Formulação do VSM Current State.....	51
Capítulo 4 Identificação de Problemas e Propostas de Medidas	55
4.1. Identificação de Oportunidades de Melhoria.....	55
4.1.1. OP 20 e OP 30	56
4.1.2. OP 70 e OP 80	58
4.1.3. Reabastecimento.....	61
4.2. Apresentação de Medidas Propostas.....	70
A. OP 20 e OP 30	70
B. OP 70 e OP 80	73
C. OP 85	78
D. Reabastecimento	81
4.3. Discussão de Resultados.....	88
Capítulo 5 - Conclusões e Trabalhos Futuros	93
5.1. Conclusão	93
5.2. Desafios e Limitações.....	95
5.3. Proposta de Trabalhos Futuros	95
Referências Bibliográficas.....	97

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Metodologia utilizada na dissertação	4
Figura 2.1- Previsão do tamanho do mercado de painéis de instrumentos	11
Figura 2.2- Comparação da penetração da tecnologia nos painéis de instrumentos analógicos vs digitais	13
Figura 2.3 - Printed circuit board de um painel de instrumentos digital	14
Figura 2.4 - Thin film transistor liquid crystal display de um painel de instrumentos digital .	15
Figura 2.5- Traseira de um painel de instrumentos digital	15
Figura 2.6- Dianteira de um painel de instrumentos digital	16
Figura 2.7- Casa de Lean Manufacturing	18
Figura 2.8 - Simbologia Utilizada no VSM	26
Figura 2.9- Cartões kanban de requisição e kanban de produção	28
Figura 2.10 - Diagrama de Esparguete Antes e depois da sua Otimização	30
Figura 2.11 - Exemplo da representação de grafos.....	32
Figura 4.1 - Gráfico de comparação de tempos de ciclo com target rate e takt time atual. ..	55
Figura 4.2 - Primeira situação de espera no processo de elevação	59
Figura 4.3 - Segunda situação de espera no processo de elevação	60
Figura 4.4 - Terceira situação de espera no processo de elevação	60
Figura 4.5 - Quarta situação de espera no processo de elevação	60
Figura 4.6 - Planta da linha de montagem com identificação de operações e zona de armazenagem	62
Figura 4.7 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 10	63
Figura 4.8 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 20	64
Figura 4.9 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 30	64
Figura 4.10 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 40b.....	65
Figura 4.11 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 50	66
Figura 4.12 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 60	66

Figura 4.13 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 70.	67
Figura 4.14 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 80.	68
Figura 4.15 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 85.	68
Figura 4.16 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 90.	69
Figura 4.17 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 120.	69
Figura 4.18 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 20 (atual).	70
Figura 4.19 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 30 (atual).	71
Figura 4.20 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 20 com as alterações propostas	72
Figura 4.21 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 30 com as alterações propostas	72
Figura 4.22 - Sequência de aparafusamento atual das operações OP 70 e OP 80.	74
Figura 4.23 - Grupos de furos na traseira do painel de instrumentos.	75
Figura 4.24 - Proposta da nova sequência de aparafusamento das operações OP 70 e OP 80.	78
Figura 4.25 - Sequência de aparafusamento atual da operação OP 85.	79
Figura 4.26 - Proposta da nova sequência de aparafusamento da operação OP 85.	81
Figura 4.27 - Planta da linha de montagem com as novas zonas de armazenagem.	82
Figura 4.28 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 10.	83
Figura 4.29 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 20.	83
Figura 4.30 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 30.	84
Figura 4.31 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 70.	84
Figura 4.32 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 80.	85
Figura 4.33 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 85.	85
Figura 4.34 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 90.	86
Figura 4.35 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 120.	86
Figura 4.36 - Esquema de kanban de altifalantes.	87
Figura 4.37 -Gráfico de comparação de tempos de ciclo com target rate e takt time proposto.	91

Índice de Tabelas

Tabela 2.1- Comparação entre Lean Manufacturing e Produção em massa.....	17
Tabela 2.2 - Comparação entre Produção em Massa e Lean Manufacturing.	17
Tabela 2.3 - Principais características de Kaizen.	23
Tabela 2.4 - Principais características de Gemba Walk.....	24
Tabela 2.5 - Principais características de um VSM.	25
Tabela 2.6 - Principais características de Kanban.....	27
Tabela 2.7 - Principais características de um diagrama de espaguete.	29
Tabela 2.8 - Ferramentas Lean utilizadas na indústria dos painéis de instrumentos.	31
Tabela 3.1 - Descrição das tarefas da operação OP 10	37
Tabela 3.2 - Descrição das tarefas da operação OP 20	38
Tabela 3.3 - Descrição das tarefas da operação OP 30	38
Tabela 3.4 - Descrição das tarefas da operação OP 40a.....	39
Tabela 3.5 - Descrição das tarefas da operação OP 40b.....	40
Tabela 3.6 - Descrição das tarefas da operação OP 50	40
Tabela 3.7 - Descrição das tarefas da operação OP 60	41
Tabela 3.8 - Descrição das tarefas das operações OP 70 e OP 80	42
Tabela 3.9 - Descrição das tarefas da operação OP 85	42
Tabela 3.10 - Descrição das tarefas da operação OP 90.....	43
Tabela 3.11 - Descrição das tarefas da operação OP 100.....	43
Tabela 3.12 - Descrição das tarefas da operação OP 110.....	44
Tabela 3.13 - Descrição das tarefas da operação OP 115.....	44
Tabela 3.14 - Descrição das tarefas da operação OP 120.....	45
Tabela 3.15 - Tempos de paragens por disponibilidade das operações da linha de montagem.	49

Tabela 3.16 - Tempos de paragens por disponibilidade das operações da linha de montagem (continuação)	50
Tabela 3.17 - Otenção do OEE da linha de montagem	53
Tabela 4.1 - Tarefas da operação OP 20	56
Tabela 4.2 - Tarefas da operação OP 30	57
Tabela 4.3 - Subtarefas da tarefa OP 20.01	57
Tabela 4.4 - Subtarefas da tarefa OP 30.01	57
Tabela 4.5 - Matéria-prima de cada operação.	62
Tabela 4.6 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 20 (atuais).	70
Tabela 4.7 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 30 (atuais)	71
Tabela 4.8 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 20 com as alterações propostas. ..	72
Tabela 4.9 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 30 com as alterações propostas. ..	73
Tabela 4.10 - Matriz de distâncias entre furos na traseira do paine de instrumentos.	76
Tabela 4.11 - Distâncias percorridas do novo percurso de reabastecimento de cada operação.	87
Tabela 4.12 - Resultados das alterações nos percursos de reabastecimento.	90

Acrónimos

CIM - *Computer Integrated Manufacturing*

FTT - *First Time Through*

FF - *Front Frame*

JIT - *Just in Time*

LCD - *Liquid Crystal Display*

LG - *Light Guides* **USW** - *Ultrasonic Stir Welding*

NNVA - *Necessary Non Value Added*

NVA - *Non Value Added*

OLED - *Organic Light-Emitting Diode*

PCB - *Printed Circuit Board*

PAFP - *Pre Assembly's Final Product*

TFT - *Thin-film transistors*

VA - *Value Added*

VSM - *Value Stream Mapping*

WIP - *Work in Progress*

OEE - *Overall equipment effectiveness*

SMT - *Surface Mount Technology*

RAC - *Robotic Arm Cell*

Capítulo 1 - Introdução

O presente estudo insere-se no âmbito do desenvolvimento da dissertação em ambiente empresarial, uma componente integrante do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, na Nova School of Science and Technology. Este estudo foi realizado na empresa Visteon Portuguesa Lda, produtora de componentes eletrónicos para veículos.

Como capítulo introdutório, este destina-se primeiramente à identificação do enquadramento do tema e dos seus respetivos objetivos a atingir. Seguidamente, é apresentada a metodologia de investigação utilizada e por fim será descrita a estrutura e a organização do presente documento.

1.1. Contextualização do Estudo

Nos dias de hoje, é possível testemunhar um avanço tecnológico rápido e impactante no mercado, tornando-o notavelmente competitivo. A capacidade de uma organização cumprir a sua missão com mais sucesso do que outras empresas que atuam no mesmo mercado, torna-se um dos principais focos da alta gestão para alcançar o sucesso [1].

Como tal, o alcance das metas propostas obriga a que as empresas operem de forma eficiente e constante para que seja possível acompanhar procura crescente e, que se mantenham assim, competitivas. Os clientes, por sua vez, estão a tornar-se cada vez mais exigentes, ao procurar uma qualidade superior nos produtos, tempos de produção reduzidos e preços mais acessíveis. Este ambiente desafiante leva a que as empresas inovem e aprimorem tanto os seus processos como os seus produtos, com o intuito de permanecerem competitivas no mercado, e ir ao encontro das expectativas dos consumidores [2].

Esta situação pode ser vista como uma oportunidade para as organizações melhorarem e crescerem, desde que sejam tomadas decisões que levem à melhoria dos seus métodos e processos. As estratégias empresariais tradicionais já não são suficientes para garantir a sobrevivência das organizações nos mercados, pelo que a inovação e a aplicação de novas metodologias de produção devem ser procuradas [1].

A indústria dos painéis de instrumentos para veículos é uma das indústrias afetadas pelos problemas inumerados, resultando numa elevada procura dos componentes utilizados na construção dos automóveis, entre eles os painéis de instrumentos que são um componente

essencial dos automóveis [2]. Logo com o aumento da procura dos painéis de instrumento, também nesta indústria se procuram soluções, com o intuito de melhorar a produtividade e a eficiência das organizações de forma a manterem-se competitivas.

A implementação do paradigma de gestão *lean* na produção é um meio que permite às organizações atingir os objetivos pretendidos para uma melhor competitividade no mercado. Este paradigma, juntamente com as várias metodologias que lhe estão associadas, permite a uma organização focar-se na racionalização e na redução ou eliminação de todas as atividades que não acrescentam valor ao produto. Esta filosofia tem vindo a provar-se muito eficaz na indústria automóvel uma vez que tem resultado numa redução de desperdícios, em melhorias nos seus processos, e ainda na colaboração, não só dos fornecedores mas também dos clientes [3].

Existem muitas ferramentas inseridas na metodologia *lean* com inúmeras vantagens na sua aplicação, entre elas o *Value Stream Mapping* (VSM), esta é uma ferramenta de análise do fluxo de material e de informação de um certo produto. O *Value Stream Mapping* utiliza uma simbologia própria para designar as várias entidades incluídas em todo o seu fluxo, de forma a melhor compreender e visualizar todos os processos existentes na produção de um produto. Como tal esta é uma ferramenta bastante importante na identificação de oportunidades de melhoria ao longo dos vários processos envolvidos não só na manufatura, mas também noutras áreas. Logo esta foi uma das ferramentas selecionadas para o desenvolvimento da presente dissertação, pois apresenta inúmeros benefícios na análise não só dos estados atuais dos processos, mas também para entender como as medidas tomadas impactam todos os processos envolvidos na fabricação de um produto [4].

Kanban é outro contributo para a presente dissertação, introduzido pela mesma filosofia. *Kanban* é uma ferramenta utilizada em variadas indústrias como forma de organização da informação relativa à troca de materiais, sejam estes, produtos acabados ou matéria-prima. O uso desta ferramenta pode trazer bastantes vantagens relativamente ao controlo do material e à comunicação dentro das fábricas por estes motivos, tem vindo a mostra-se bastante útil para a melhoria da eficiência dos processos fabris [5].

1.2. Objetivos

A concretização deste estudo surgiu devido à necessidade apresentada pela empresa Visteon Portuguesa Lda., de melhorar o sistema produtivo de uma das suas linhas de montagem de forma a aumentar a eficiência e a produtividade da linha. Como tal, o objetivo do presente estudo é aumentar a capacidade produtiva a partir de reduções no tempo de ciclo. Adicionalmente, foi proposto o aumento da eficiência dos processos da linha de montagem em estudo, que difere do aumento da capacidade produtiva por se focar na redução de esforços e desperdícios. Como forma de atingir o objetivo pretendido é necessário analisar os diversos processos intrínsecos nesta linha, o que vem possibilitar a proposta de certas alterações nos seus procedimentos, com o intuito de os tornar mais eficientes, a partir da redução de desperdícios.

Neste estudo é fundamental realizar uma análise detalhada às operações realizadas no processo de montagem devido à diversidade e número de processos que a linha apresenta. Para tal será utilizada a metodologia *Lean Manufacturing* e algumas das suas ferramentas como auxílio a esta análise e para a proposta de implementação de certas medidas, visto que, esta metodologia tem vindo a mostrar-se bastante útil na redução de desperdícios produtivos, de custos e por sua vez aumento de produtividade segundo inúmeros estudos.

1.3. Metodologia Investigação

O desenvolvimento da presente dissertação segue a metodologia apresentada no esquema da figura 1.1. Esta metodologia encontra-se dividida em 5 partes, a definição dos objetivos, a revisão bibliográfica, a análise do estudo de caso, a apresentação das medidas propostas e, por fim, a análise de resultados e as conclusões.

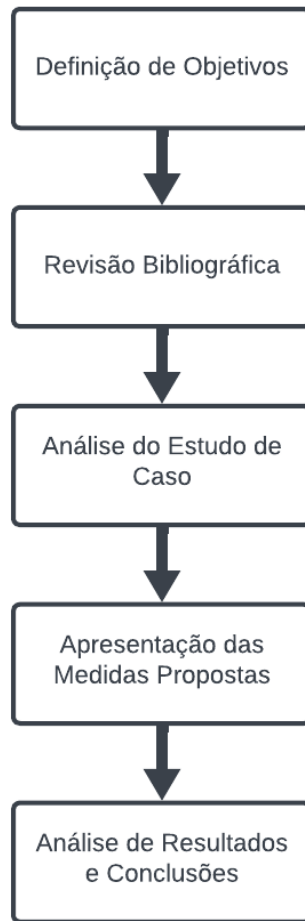


Figura 1.1 - Metodologia utilizada na dissertação

Assim serão apresentados e explicados em que consistem cada uma das etapas que juntas formulam a metodologia utilizada:

Definição de Objetivos: Esta etapa trata-se da compreensão do desafio proposto pela empresa de forma a perceber quais serão as possíveis abordagens ao tema de forma a ser possível prosseguir para a seguinte etapa já com uma ideia em mente.

Revisão de Literatura: Nesta etapa é realizada um breve estudo à indústria em questão de forma a perceber-la melhor e poder agir de uma melhor forma. No entanto o principal foco trata-se do estudo da metodologia *Lean*, a sua metodologia, ferramentas e como estas podem ser utilizadas de forma eficaz para conseguir obter melhores resultados.

Análise do Estudo de Caso: Nesta etapa é realizada uma análise à empresa e às suas diferentes áreas, e também às várias etapas pelas quais o produto necessita de passar até este poder ser chamado de produto final. É também realizada uma análise mais aprofundada aos processos produtivos da situação em estudo, e uma recolha de dados relevantes ao processo.

Apresentação das Medidas Propostas: Na presente etapa são apresentadas as medidas propostas seguida da aplicação da metodologia *Lean* e das suas ferramentas para realizar uma análise detalhada aos pontos críticos no sistema produtivo em estudo e também para a utilização das mesmas no aumento da capacidade produtiva.

Análise de Resultados e Conclusões: Na etapa final é realizada uma comparação dos resultados obtido com os dados atuais de forma a perceber quais as vantagens da aplicação da metodologia *Lean* na indústria em questão. Finalizando são apresentadas as conclusões finais e apresentadas propostas de futuros trabalhos que darão seguimento a este estudo.

1.4. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos onde cada um foi cuidadosamente planeado para garantir uma progressão lógica e coerente na apresentação dos temas abordados.

Introdução

No presente capítulo e o primeiro desta dissertação é realizada uma contextualização, fornecendo uma introdução abrangente sobre o tema em foco, onde é explorado o objetivo principal do estudo realizado e os métodos utilizados, estabelecendo as bases para a compreensão da importância do estudo.

Lean Manufacturing e Indústria dos Paineis de Instrumentos

O segundo capítulo é dedicado ao estudo da indústria em questão, fornecendo um melhor conhecimento da área na qual a produção desta fábrica se insere. Neste são também estudadas ferramentas *Lean* assim como a própria metodologia e a maneira de como estas podem ser aplicadas nesta indústria de forma mais eficiente ao estudar trabalhos de outros autores.

Estudo de Caso

No terceiro capítulo é detalhado o estudo de caso proposto pela empresa, apresentando uma análise detalhada da fábrica assim como a linha de montagem, o foco desta dissertação. São descritas as várias áreas da empresa, os seus métodos produtivos, tal como a obtenção dos dados mais tarde utilizados, para facilitar a compreensão das medidas propostas no capítulo subsequente.

Identificação de Problemas e Propostas de Melhorias

O quarto capítulo dedica-se à apresentação das medidas propostas para aumentar a eficiência da linha de montagem, onde são detalhados todos os passos que levaram às propostas finais. Finalizando com a análise dos resultados e explicando qual o impacto que estas medidas têm nos processos produtivos.

Conclusões e Trabalhos Futuros

O último capítulo da dissertação estrei as conclusões fundamentadas a partir dos resultados obtidos e o seu impacto na produção final. São discutadas as contribuições do estudo realizado e a importância da aplicação dos métodos utilizados. Finalizando com uma proposta para possíveis futuros trabalhos relacionados com o tema da dissertação.

Capítulo 2 - *Lean Manufacturing* e a Indústria dos Painéis de Instrumentos

O presente capítulo destina-se a introduzir os fundamentos teóricos que serviram de apoio ao longo deste estudo. Desta forma, visto que o foco do presente estudo trata-se da melhoria de processos de uma linha de montagem, é realizada uma apresentação da metodologia *Lean Manufacturing*, assim como os seus princípios, principais pilares e ferramentas. Além de uma breve introdução à indústria na qual este desafio se insere explicando também informação sobre o próprio produto a ser produzido na linha de montagem em questão.

2.1. Indústria Automóvel no Mundo

Desde a invenção do automóvel em 1885 por Carl Benz, que o desenvolvimento de diversos conceitos de produção de veículos tem sido constante; esta evolução revelou-se ser muito significativa e importante na, e para, a sociedade atual [6]. Em 1890, a produtora de automóveis, que se realçava relativamente às restantes, era a P&L que utilizava o método de fabrico artesanal. Este método era demorado visto que a sua capacidade produtiva era de apenas algumas centenas de automóveis por ano, e que a própria qualidade dos produtos não era controlada, pois não existia um sistema de medida padrão na época [7].

Através do método de fabrico artesanal, os automóveis eram vendidos a um preço muito elevado, tornando-se por isso acessíveis apenas para as famílias mais privilegiadas, enquanto a maioria das pessoas não podia adquirir um veículo. Tendo isto em conta, o objetivo de Henry Ford era construir um veículo movido por um motor a combustão, que a maioria das pessoas pudesse comprar, sendo produzido pelos melhores profissionais da área, a partir dos designs mais simples concebidos pela engenharia da época [8].

Em 1908, o primeiro Model T foi produzido, tornando-se muito popular pouco tempo depois do seu lançamento. No entanto, o tempo de produção era elevado, resultando na fabricação de apenas 13840 carros no mesmo ano, o que era insuficiente para satisfazer a procura [9]. Como tal, a Ford procurou aprimorar os seus métodos de produção, inspirando-se numa fábrica de embalamento de carnes em Chicago, nos Estados Unidos da América, onde as linhas de montagem funcionavam através do transporte de animais pendurados ao longo de estações de

trabalho estacionárias. Como resultado, a Ford foi capaz de transformar as suas linhas de produção e de montagem, em semelhança à empresa previamente mencionada, de forma a que estas fossem muito mais eficientes. Com estas simples modificações e, produzindo o Model T em massa, a sua produção aumentou até 170211 carros apenas nesse mesmo ano [8] [10].

Em 1929 após a visita da empresa japonesa Toyota Motor Company às instalações da Ford, esta ficou interessada com os seus métodos de fabrico, no entanto o Japão sofria uma baixa procura neste setor, o que impossibilitou a empresa de utilizar o método de produção em massa. Deste modo e, de forma a competir com estes baixos custos de produção, a Toyota foi obrigada a trabalhar de forma mais eficiente, aumentando a sua capacidade produtiva [11].

Devido a estas necessidades da Toyota, o seu método de produção ficou conhecido até aos dias de hoje (Toyota Production System ou TPS), e tinha como base os princípios JIT (Just-in-time), sendo por isso necessário maximizar a produção, o que poderia ser feito através do aumento da eficiência das linhas, da redução dos custos, da eliminação dos desperdícios, ou da minimização da variação dos processos produtivos. Este método de produção veio dar origem a um conceito conhecido como *Lean Manufacturing* [12].

Até aos dias de hoje a produção de veículos tem vindo a aumentar cada vez mais, tendo sofrido uma significativa diminuição em 2020 face à pandemia de Covid-19. No entanto, e apesar de estes números ainda não terem sido regularizados, a produção a nível mundial foi cerca de 85 milhões de veículos em 2022, liderada pela China contribuindo com mais de 31% desta produção [13].

2.2. Indústria Automóvel em Portugal

A indústria automóvel em Portugal teve início em 1959 com operações de montagem de veículos, sendo que o objetivo do governo português era evitar a importação ao investir na produção nacional. Durante a década de 1970 o foco de Portugal passou a ser outro, nesta década era promovida a exportação de veículos e os seus componentes. A indústria automóvel em Portugal começou a crescer, o que levou ao aparecimento de uma fábrica da Renault em Setúbal em 1980, esta fábrica tornou-se a primeira empresa com uma produção quase integral de um automóvel em Portugal, o que significa que necessitava de bastantes componentes, conduzindo à necessidade de recorrer a fornecedores nacionais [14].

Em 1991 foi criada uma empresa, - inicialmente pertencente à Ford e à Volkswagen mas tornando-se mais tarde apenas do domínio da Volkswagen - a Volkswagen AutoEuropa, que iniciou a sua produção em 1995. A partir do aparecimento desta empresa, os resultados de Portugal variaram bastante em apenas vinte anos. A empresa anteriormente referida veio a tornar-se a mais dominante na indústria automóvel em Portugal em 2015, apesar de existirem apenas quatro fabricas cujo foco era a produção de automóveis, a AutoEuropa era responsável por 65% da produção de veículos em Portugal com 102.158 de 156.626 veículos produzidos. Em 2017 a produção de veículos em Portugal chegou a exceder os 170.544 aumentando a sua produção em 22% [14]. Existe também uma robusta indústria de componentes para automóveis em Portugal, a qual corresponde a 7% do emprego total na indústria de manufatura, totalizando 46.500 postos de trabalho. Além disso, este setor contribui com 5% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, gerando 7,6 mil milhões de euros em exportações [15].

No ano de 2020 devido às dificuldades que a COVID-19 veio trazer à indústria automóvel, houve uma diminuição da produção de automóveis a nível mundial [16], sendo que Portugal sofreu uma redução na produção de 24% [17]. No entanto, a partir de 2022, e apesar do setor ainda ser impactado pelo cenário pandémico anteriormente vivido, a produção automóvel no país aumentou 11% relativamente a 2021, refletindo-se numa produção 322.404 veículos comparativamente aos 289.954 produzidos no ano anterior [13]. Os números apresentados previamente, colocam Portugal na lista dos 30 maiores produtores de automóveis a nível mundial.

2.3. Indústria dos Painéis de Instrumentos para Automóveis

Na montagem de um automóvel são necessários inúmeros componentes, sendo que existem várias indústrias completamente distintas encarregues da produção destes componentes. Desta forma, a indústria dos painéis de instrumentos pode ser considerada ser bastante específica e também pouco reconhecida. Neste subcapítulo é apresentada a evolução desta indústria bem como o mercado em que esta se insere, para além de uma breve explicação da tecnologia utilizada num destes produtos.

2.3.1. Origem dos Painéis de Instrumentos para Automóveis

Os painéis de instrumentos são o componente mais importante nos automóveis modernos relativamente à interface com o condutor. A informação que este geralmente apresenta é a velocidade do veículo, o tacómetro que informa o condutor sobre as rotações do motor, o conta-

quilómetros, variadas luzes de aviso como falha no ABS (sistema de travagem anti-bloqueio), baixo nível do óleo dos travões, temperatura do óleo lubrificante do motor, nível de combustível, entre outras [18]. No entanto existiu uma grande evolução nos painéis de instrumentos até estes se apresentarem como descrito [19].

Quando o primeiro automóvel surgiu em 1885, este não possuía nenhum tipo de painel de instrumentos, a velocidade a que se circulava tinha que ser estimada pelo condutor, e foi apenas em 1902 que um engenheiro alemão produziu o primeiro velocímetro que funcionava a partir de um cabo conectado à caixa de velocidades. Henry Ford, mais uma vez, revelou-se muito inovador ao implementar, não só, este instrumento, mas também algumas luzes de aviso para certas funções mais cruciais, tendo-se vindo a tornar obrigatória a sua presença no Ford Model T em 1932 [18].

Estes instrumentos eram individuais visto que eram colocados no veículo de forma individual, e assim foi até ao início da década de 1960 onde surgiram os primeiros painéis de instrumentos, ou seja, todos os instrumentos presentes encontravam-se separados. Ao longo dos anos os painéis vieram a predominar relativamente aos instrumentos individuais devido ao seu inferior custo de produção, maior fiabilidade e facilidade de produção e instalação no veículo [19].

Durante cerca de quinze anos após o desenvolvimento do primeiro painel de instrumentos para automóveis, utilizou-se uma tecnologia eletromecânica que exibia a informação de forma análoga. Apenas mais tarde, em 1976, surgiram pela primeira vez, os painéis de instrumentos digital no automóvel Aston Martin Lagonda [18]. Com a disponibilidade de ecrãs padrão fixos, começaram a surgir no mercado instrumentos digitais. Esse tipo de representação de informações ganhou popularidade nos Estados Unidos da América e no Japão, principalmente em veículos de alta classe [18].

As tentativas de introduzir instrumentos digitais no mercado europeu, como no Audi Quattro e no Fiat Tipo na década de 1980, tiveram uma receção limitada na Europa. Como resultado, os conjuntos de instrumentos digitais foram abandonados na Europa. Os painéis de instrumentos analógicos continuaram a ser a forma predominante de representação de informações na indústria europeia. No entanto, embora o aspeto ótico dos instrumentos com ponteiro não tenha sofrido alterações significativas na Europa, houve uma mudança substancial no que está por trás do painel. Os motores passo-a-passo substituíram as tecnologias mais

antigas de acionamento de ponteiros e são agora muito comuns devido às suas vantagens em termos de dinâmica, dimensões e custos [18].

Outra mudança não significativa a nível visual, foi a substituição dos volumosos odômetros mecânicos por ecrãs de cristal líquido (LCD) que reduziram significativamente a profundidade do painel de instrumentos [19].

Com o aumento da produção e venda de veículos, naturalmente, tem vindo a ocorrer também um aumento na produção e vendas de painéis de instrumentos e é espectável que este aumento de mercado se mantenha ao longo dos próximos anos. Em 2022 o mercado de painéis de instrumentos foi aproximadamente igual a 8,66 mil milhões de euros, sendo que é previsto que este valor ultrapasse os 16.62 mil milhões de euros em 2032, registando uma taxa de crescimento anual de 6,74% num espaço de dez anos [20], tal como apresentado na figura 2.1.

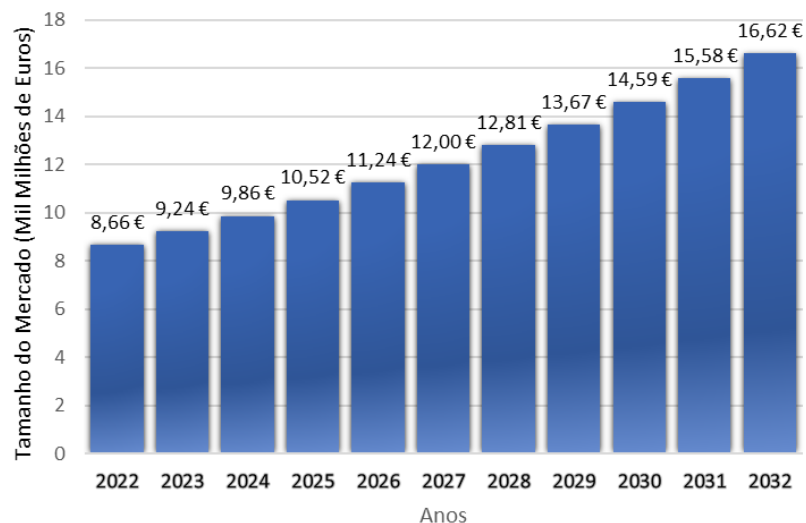


Figura 2.1- Previsão do tamanho do mercado de painéis de instrumentos

As empresas que mais contribuem para este crescimento encontram-se maioritariamente sedeadas em três países, os Estados Unidos da América, a Alemanha e o Japão, e encontram-se listadas de seguida [21]:

- Robert Bosch GmbH (Alemanha)
- Continental AG (Alemanha)
- NVIDIA Corporation (EUA)
- Intel Corporation (EUA)

- Visteon Corporation (EUA)
- DENSO Corporation (Japão)
- Yazaki (Japão)
- Nippon Seiki Co. Ltd. (Japão)
- Panasonic (Japão)

2.3.2. Tecnologia dos Painéis de Instrumentos para Automóveis

Com a evolução da tecnologia tem vindo a surgir também algumas novidades nas funcionalidades dos painéis de instrumentos. Como referido anteriormente, os painéis de instrumentos são a principal interface entre o condutor e o veículo para apresentar informações relacionadas com a condução. Essas informações devem ser comunicadas ao condutor de maneira eficiente e ergonômica para evitar sobrecarregar visualmente o condutor, especialmente em ambientes urbanos complexos com alta densidade de informações.

Nos dias de hoje praticamente todos os modelos de automóveis de alta gama possuem painéis de instrumentos programáveis, o que permite reconfigurar o seu conteúdo. Informações irrelevantes podem ser ocultadas, e informações importantes podem ser reposicionadas para que o condutor se concentre mais facilmente nas informações essenciais [22].

A utilização de ecrãs como método de disposição de informação, teve origem nos automóveis com níveis de acabamento superiores e com preços mais elevados, contudo, a tendência de utilização de ecrãs tem vindo a chegar a todos os tipos de automóveis. Um exemplo disso é o painel de instrumentos digital de 12,3 polegadas da Volkswagen (VW), atualmente disponível em toda a gama de modelos da empresa nos EUA e na Europa, incluindo o Golf, o Jetta, o Tiguan, o Passat, o Arteon e o Atlas. Na Europa, uma versão de 11,7 polegadas deste ecrã pode ser encontrada em modelos como o Polo e o T-Roc (produzido em Portugal). Entre 2020 e 2026, a IHS Markit prevê que a taxa de instalação de painéis de instrumentos digitais passe de 11,5 milhões de unidades para 31,9 milhões de unidades, representando um aumento de 16,5% para 34,1% no mercado dos veículos ligeiros de passageiros, como representado na figura 2.2 [23].

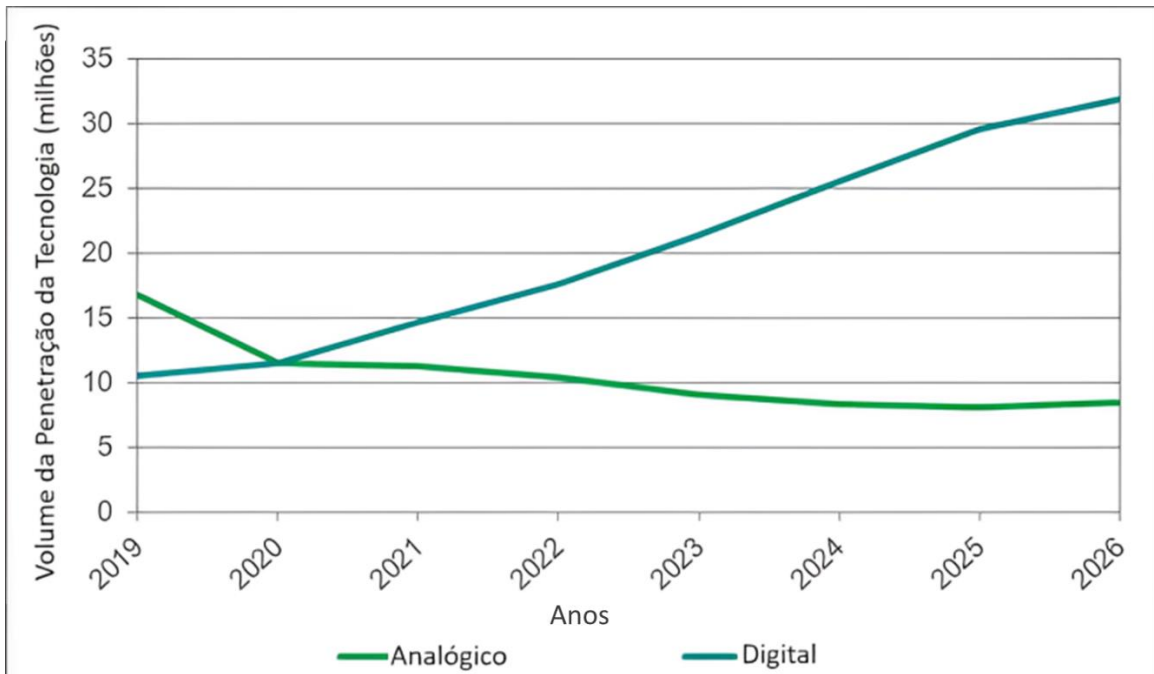


Figura 2.2- Comparação da penetração da tecnologia nos painéis de instrumentos analógicos vs digitais [23]

Quanto ao tipo de ecrã utilizado nos painéis de instrumentos digitais, estes podem ser segmentados em LCD, OLED e TFT-LCD. Estamos a observar uma transição dos grupos de instrumentos analógicos para grupos de LCD e baseados em transístores de película fina (TFT). O ecrã baseado em TFT oferece uma interface gráfica melhorada e uma variedade de informações digitais. O aumento da utilização de conteúdos relevantes, como o modo de condução, a vista de estacionamento e a navegação, resulta numa previsão do aumento da procura por painéis de instrumentos TFT LCD até 2029 [21].

Neste momento no mercado já existe uma grande variedade de tamanho dos ecrãs dos painéis de instrumentos, como tal e, de forma a serem mais facilmente identificados estes são classificados em três intervalos de tamanhos, os de 5 a 8 polegadas, de 9 a 11 polegadas e superiores a 12 polegadas. Prevê-se que o painel de instrumentos digitais de 9-11 polegadas seja o maior mercado no futuro e o que apresentará o crescimento mais rápido nos painéis de instrumentos totalmente digitais entre 2023 e 2029. Estima-se ainda que este crescimento será mais notável na América do Norte devido à sua importância na indústria automóvel e na própria indústria dos painéis de instrumentos [21].

2.4. Componentes Painéis de Instrumentos Digitais

Na montagem de painéis de instrumentos digitais apesar de serem necessários componentes secundários, são necessários 5 componentes principais, as printed circuit boards, os TFTs liquid displays as capas tanto traseiras como dianteiras. As figuras 2.3, 2.4, 2.5 e 2.6, seguidamente apresentadas não são de produtos da Visteon Portuguesa, Lda., sendo meramente ilustrativas.

2.4.1. Printed Circuit Board

Uma Printed Circuit Board (PCB) (figura 2.3) é um componente elétrico constituído por uma ou mais camadas de condutores elétricos separados por material isolante. Componentes elétricos específicos são fixados na parte superior e inferior da PCB para criar um circuito elétrico completo. As PCBs são uma parte crucial de qualquer sistema de hardware, facilitando a ligação elétrica e o suporte mecânico dos componentes ativos e passivos [24].

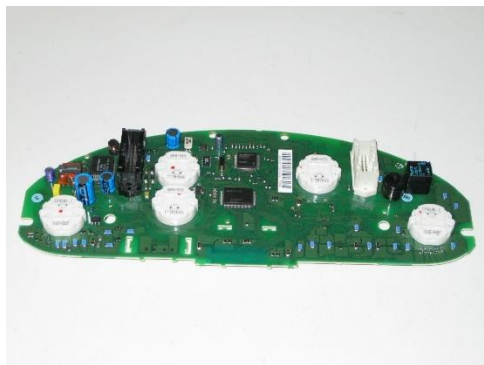


Figura 2.3 - Printed circuit board de um painel de instrumentos digital [25]

2.4.2. Thin Film Transistor Liquid Crystal Display

Um Thin Film Transistor Liquid Crystal Display (TFT-LCD) (figura 2.4) é um tipo de ecrã de cristal líquido (LCD), ou seja, este é o componente que permite a visualização da informação disponibilizada nos painéis de instrumentos. Enquanto que os LCDs tradicionais utilizam apenas uma camada de transístores, os TFT-LCD utilizam múltiplas camadas [26]. Esta característica permite uma melhor qualidade da imagem imitada, bem como um menor tempo de resposta relativamente à transmissão da imagem e oferecem um menor consumo de energia, todas estas qualidades são satisfeitas obtendo também um ecrã com espessura inferior [27].



Figura 2.4 - Thin film transistor liquid crystal display de um painel de instrumentos digital [28].

2.4.3. Capa Traseira e Dianteira

A presença destes dois componentes não é necessária para o funcionamento do dispositivo a curto prazo, no entanto, a médio-longo prazo é crucial para a proteção dos componentes de produção e emissão de imagem, protegendo-os da interação com o exterior, como por exemplo prevenção de entrada de impurezas, que ao interferirem com as conexões eletrônicas do dispositivo aumentam a probabilidade de falha do painel de instrumentos.

Para além da função anteriormente mencionada, estes dois componentes têm ainda como objetivo fixar os componentes no interior do dispositivo, de forma a que a sua movimentação seja mínima. A capa dianteira, apresentada na figura 2.5, é composta por um vidro no centro para possibilitar a exibição da imagem, e em seu redor é composta por certos tipos de polímeros tornando-a mais resistente. No que toca à capa traseira, apresentada na figura 2.6, esta é inteiramente composta por um certo tipo de plástico visto que a sua funcionalidade principal é a proteção do interior do painel de instrumentos.



Figura 2.5- Traseira de um painel de instrumentos digital [29].



Figura 2.6- Dianteira de um painel de instrumentos digital [30].

2.5. *Lean Manufacturing*

No século XIX o modo de produção em vigor nas indústrias era a o sistema americano de manufatura. Este método foi desenvolvido pela equipa de Eli Whitney e, a sua metodologia de produção consiste na produção individual de um produto com recurso a operadores que, ainda que pouco qualificados, conseguiam produzir rapidamente relativamente a outros métodos de produção da altura, e com a mesma qualidade. No entanto, o sistema americano de manufatura era um sistema de produção muito limitado [9].

Ainda no mesmo século, e face à necessidade de aprimorar os métodos de produção, surgiu a produção em massa definida por três conceitos fundamentais: a divisão de trabalho, a permutabilidade de partes e a mecanização das operações. Com este novo modo de produção, o custo de produção unitário reduz com o aumento da produção [31].

Em 1908, Henry Ford começou a produção do Model T, um veículo mais acessível monetariamente, no entanto sentiu algumas dificuldades em satisfazer a procura deste novo modelo da Ford. Por esse mesmo motivo Henry Ford foi o pioneiro na implementação deste novo modo de produção na indústria automóvel e em 1913 construiu a primeira linha de montagem com produção em massa, numa tentativa de procurar satisfazer a procura dos clientes [9].

A *Toyota Motor Company* ao observar os excelentes resultados apresentados pela Ford e outras empresas ocidentais, necessitou de alterar o seu método de produção [9]. Em 1950 Eji Toyoda, um jovem japonês visitou as instalações da Ford, esta visita deixou-o interessado ao ver a produção em massa da Ford em funcionamento [32]. No entanto, o fim da segunda guerra mundial impactou negativamente o Japão, fragilizando o poder económico de certas empresas, nomeadamente a *Toyota*, e reduzindo a procura no mercado automóvel. Tal não permitiu a Toyota fazer uso do método de produção em massa, e por isso a empresa foi forçada a tomar medidas relativamente aos seus métodos de produção [7].

Após algumas modificações no seu modo de produção, e de forma a responder às necessidades do mercado automóvel japonês, a Toyota desenvolveu um novo sistema, o *Toyota Production System* (TPS), que teve origem no trabalho de Taiichi Ohno. O principal objetivo do TPS é o aumento da eficiência da produção através da eliminação cuidadosa e persistente de desperdícios. As práticas deste novo sistema vão ao encontro da filosofia que hoje é conhecida como *Lean Manufacturing* ou, em português, *Manufatura Magra* [32]. Por este motivo considera-se que o conceito *Lean Manufacturing* surgiu no Japão, sendo que o TPS foi o primeiro sistema a utilizar as práticas desta filosofia [33].

O princípio fundamental do conceito *Lean* é que os clientes não pagam por erros ou desperdícios, mas sim pelo valor do produto [34]. Esta filosofia permite que se utilize menos material, que sejam requeridos menores investimentos, a redução do inventário, consumo do mínimo de espaço na unidade fabril, utilização apenas do número de operadores necessário, e acima de tudo, ter a capacidade de prever de forma a reduzir incertezas e a desordem típica das fábricas.

Estas simples mudanças não só beneficiam as empresas financeiramente ou em termos de aproveitamento de espaço, mas também psicologicamente, visto que as pessoas trabalham com maior confiança, mais facilidade, e de forma mais tranquilidade relativamente a fábricas que não seguem a metodologia *Lean* [35]. É fácil de notar que as diferenças entre a produção *Lean* e produção em massa são consideráveis; na *tabela 2.2* estão apresentadas, de forma clara, algumas diferenças entre estes dois métodos de produção.

Tabela 2.2 - Comparação entre Produção em Massa e Lean Manufacturing.

	Produção em massa	Lean Manufacturing
Origem	Ford Motor Company	Toyota Motor
Trabalhadores - design	Profissionais pouco qualificados	Equipas de profissionais e polivalentes a todos os níveis da organização
Trabalhadores - produção	Trabalhadores não qualificados ou pouco qualificados	Equipas de profissionais qualificados e polivalentes a todos os níveis da organização
Equipamento	Despendiosos, com um único objetivo	Sistemas manuais e automáticos, com a capacidade de produzir grandes volumes com elevada variedade

2.5.1. Pilares conceptuais de *Lean Manufacturing*

A casa de *Lean Manufacturing* ilustrada na figura 2.7, esquematiza os objetivos da aplicação da filosofia em estudo, os principais conceitos que constituem os seus pilares, assim como aqueles que a sustentam, representados pela fundação da casa [35].

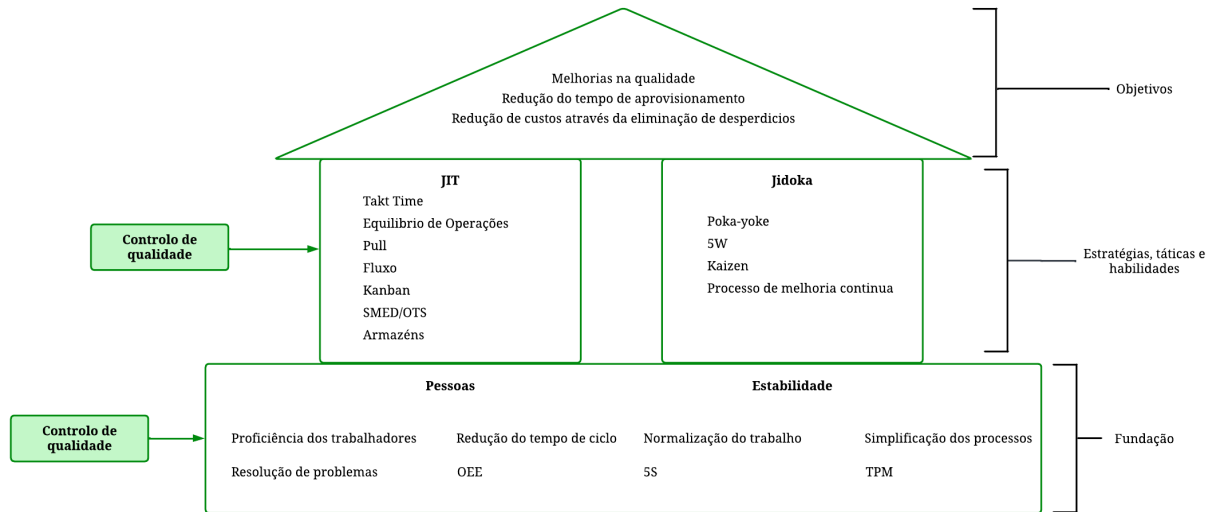


Figura 2.7- Casa de Lean Manufacturing [37]

Como é possível observar na figura 2.7, os pilares da filosofia *Lean Manufacturing* são os conceitos JIT (Just In Time) e Jidoka.

O conceito JIT é um conjunto de princípios, ferramentas e técnicas que possibilita a uma empresa produzir e entregar produtos em pequenas quantidades, com prazos de entrega curtos, para satisfazer as necessidades específicas dos clientes. Em termos simples, o JIT fornece os artigos certos no momento certo e nas quantidades certas. O poder do JIT permite responder às mudanças diárias na procura dos clientes, que era exatamente o que a Toyota precisava desde o início [36].

Por outro lado, o conceito Jidoka trata-se de uma série de questões culturais e técnicas relacionadas com a utilização conjunta de máquinas e mão-de-obra, utilizando as pessoas para tarefas únicas e permitindo que as máquinas se autorregulem em termos de qualidade. Tecnicamente, o Jidoka utiliza ferramentas como o poka-yoke e os andons (ecrãs visuais, como luzes, para indicar o estado do processo, especialmente anomalias) e a inspeção é realizada

100% pelas máquinas. É o conceito de que nenhuma peça defeituosa pode avançar na linha de produção [35].

2.5.2. Princípios

De acordo com a filosofia *Lean* tem por base cinco princípios cuja aplicação é fundamental para uma gestão mais eficiente das organizações. Em seguida, estão apresentados os princípios que ajudam na identificação e a posterior eliminação de desperdícios [32].

- A. **Valor** - O conceito de valor é o ponto de partida fundamental na implementação da filosofia *Lean Manufacturing*. A premissa é que o valor de um produto deve ser determinado pelo cliente final e não pela organização. A definição de valor ganha significado quando expressa em termos de um produto específico que cumpre com os requisitos do cliente, não só em termos de preço, mas também no tempo que este demora a estar na sua posse [37].
- B. **Cadeia de Valor** - Uma cadeia de valor compreende o conjunto de todas as atividades específicas e necessárias para desenvolver e fornecer um produto concreto ao cliente final. Descrever detalhadamente todas as etapas da fabricação de um produto é crucial, pois isso possibilita a identificação dos desperdícios inerentes ao processo produtivo. Geralmente, ao construir uma cadeia de valor, tornam-se visíveis grandes quantidades de desperdícios nas organizações destacam a existência de três tipos distintos de atividades que podem ser identificadas em uma cadeia de valor [37]:
 - a) Atividades de valor acrescentado (VA), estas são aquelas que inequivocamente acrescentam valor ao produto para o cliente final.
 - b) Atividades de valor não acrescentado, mas necessárias (NNVA), estas são as que não acrescentam valor para o cliente, no entanto devido a certas características da linha, como por exemplo a sua disposição ou a tecnologia utilizada, tornam-se necessárias para a produção do produto.
 - c) Atividades de valor não acrescentado (NVA), aquelas que não acrescentam valor ao produto, desta forma deve-se trabalhar para que sejam eliminadas ou, se não for possível, reduzir o tempo dispensado para as executar.
- C. **Fluxo** - O conceito de fluxo refere-se ao movimento contínuo dos materiais durante um processo produtivo. Os materiais não devem ficar parados, exceto nos momentos em que estão a ser processados, ou seja, nas estações de trabalho onde são realizadas tarefas de valor acrescentado. Idealmente, a sincronização dos postos de trabalho deve

estar otimizada, e deve existir um nível mínimo de stock em cada um deles. Como tal, a aplicação deste conceito incentiva a produção apenas do que é necessário e quando é necessário, visando a redução ou a eliminação de desperdícios. Além disso, com o intuito de gerar um fluxo contínuo de produção, é necessário reduzir os tempos associados às trocas de ferramentas e garantir que o layout do sistema produtivo é adequado, de modo a existir uma sequência correta no alinhamento dos equipamentos [37].

- D. **Pull** - O sistema de produção Pull, ou em português, "puxar" ou "puxado", estabelece que a produção só é iniciada quando há um pedido do cliente, ou seja, uma ordem do cliente. Esse método assegura que a quantidade necessária seja produzida quando o cliente solicita, evitando assim excessos de inventário, sobreprocessamento e produtos em curso de fabrico [37].
- E. **Perfeição** - Este princípio baseia-se na procura constante da perfeição e envolve todas as pessoas, desde as chefias até aos colaboradores, no esforço contínuo de reduzir esforço, tempo, espaço, custos e erros, proporcionando ao consumidor aquilo que ele realmente deseja sem que seja direcionado qualquer tipo de recurso para atividades sem valor acrescentado. A procura da perfeição enfatiza a eliminação total de desperdícios, reiterando que, na situação ideal, todas as atividades realizadas no fluxo de produção devem acrescentar valor ao produto [37].

2.5.3. Desperdícios

A eliminação de desperdícios é uma das formas mais eficazes para aumentar a rentabilidade de qualquer empresa. Os processos acrescentam valor ou desperdício à produção de um bem ou serviço. Para eliminar o desperdício, é importante compreender exatamente o que é o desperdício e onde é que ele existe. Embora os produtos difiram significativamente entre fábricas, os desperdícios típicos encontrados em ambientes de fabrico são bastante semelhantes [38]. Em seguida encontram-se apresentados os sete desperdícios de *Lean*.

- A. **Excesso de produção** - Em termos simples, o excesso de produção ocorre quando um artigo é fabricado antes de ser realmente necessário, o que é altamente dispendioso para uma fábrica pois interrompe o fluxo regular de materiais e prejudica a qualidade e a produtividade. O Sistema de Produção Toyota, também conhecido como "Just in Time", destaca-se por fabricar cada artigo exatamente quando é necessário. A produção excessiva, é referida como "Just in Case", e resulta em tempos de espera excessivos, custos elevados de armazenamento e dificuldade na deteção de defeitos. A solução

simples para a produção excessiva, consiste em programar e produzir apenas o que pode ser imediatamente vendido ou expedido [39].

- B. Esperas** - O desperdício da espera ocorre sempre que as mercadorias não estão em movimento ou a ser processadas. No fabrico tradicional por lotes e filas, mais de 99% do tempo de vida de um produto é frequentemente gasto à espera de ser processado. A maior parte desse tempo de espera está relacionado com a espera pela próxima operação, muitas vezes devido a deficiências no fluxo de materiais, ciclos de produção demasiado longos e distâncias consideráveis entre os centros de trabalho [39].
- C. Transporte** - O transporte de produtos entre processos representa uma despesa que não agrega valor ao produto. Movimentos e manuseios excessivos podem causar danos e são uma oportunidade para a perda de qualidade. O uso de manipuladores de materiais para transporte implica custos organizacionais adicionais que não proporcionam qualquer valor ao cliente. No entanto, reduzir os custos de transporte pode ser desafiante, devido à percepção dos custos associados ao aproximar os equipamentos aos processos, e determinar quais os processos que devem estar próximos uns dos outros pode ser uma tarefa complexa. O mapeamento dos fluxos de produtos pode facilitar a visualização e a identificação de oportunidades de otimização nesse sentido [39].
- D. Sobreprocessamento** - Muitas organizações utilizam equipamentos dispendiosos de elevada qualidade precisão quando ferramentas mais simples seriam suficientes. Isto resulta frequentemente numa má disposição das instalações, porque as operações precedentes ou subsequentes estão localizadas a uma grande distância umas das outras. Além disso, encorajam uma elevada utilização dos ativos para recuperar o elevado custo deste equipamento, resultando numa produção excessiva. A Toyota é famosa pela sua utilização de automação de baixo custo, combinada com máquinas de manutenção, muitas vezes mais antigas. Ao investir em equipamento mais pequeno e mais flexível, sempre que possível, criar células de fabrico e combinar etapas. Torna-se assim possível reduzir consideravelmente o desperdício de um processamento inadequado.
- E. Inventário** - O trabalho em curso (WIP) é o resultado direto da sobreprodução e da espera. O excesso de inventário tende a esconder problemas no chão de fábrica, que devem ser identificados e resolvidos de forma a melhorar o desempenho operacional. O excesso de inventário aumenta os prazos de entrega, consome espaço produtivo, atrasa a identificação de problemas e inibe a comunicação. Ao conseguir um fluxo

contínuo entre os centros de trabalho, muitos fabricantes têm conseguido melhorar o serviço ao cliente e reduzir os stocks e os custos associados.

- F. Movimentação** - Este desperdício inclui qualquer tipo de movimentação desnecessária de uma pessoa, está relacionado com a ergonomia e verifica-se em situações em que um trabalhador se curva, estica, desloca, levanta ou alcança algo. Estas questões também têm relevância em termos de saúde e segurança, sendo que, numa sociedade cada vez mais litigiosa, têm vindo a tornar-se um desafio crescente para as organizações. Os postos de trabalho com movimentos excessivos devem ser analisados e redesenhados para serem melhorados com o envolvimento dos trabalhadores da fábrica.
- G. Defeitos** - Com um impacto direto no resultado final, os defeitos de qualidade que resultam em retrabalho ou desperdício representam um custo enorme para as organizações. Os custos associados incluem a reinspeção, a reprogramação, a perda de capacidade e a colocação do inventário em quarentena. Em muitas organizações, o custo total dos defeitos é frequentemente uma percentagem significativa do custo total de fabrico.

2.5.4. Ferramentas e metodologias do paradigma *Lean Manufacturing*

Existem inúmeras técnicas e ferramentas que estão inseridas na metodologia *Lean* e que podem ser utilizadas para a implementação desta metodologia. Estas ferramentas, apresentadas e explicitadas em seguida, podem ser muito úteis no auxílio de propostas de medidas.

2.5.4.1. Kaizen

Kaizen é um termo japonês que significa melhoria contínua (Kai - mudança; zen - fazer melhor). A ferramenta *Kaizen* é baseada nos fundamentos de análises científicas, ou seja, os elementos do processo devem ser analisados com o intuito de se compreender o seu funcionamento, de modo a descobrir oportunidades de melhoria. Este tipo de mentalidade é considerado a base de toda a filosofia *Lean* [40].

As suas principais características são as seguintes:

Tabela 2.3 - Principais características de Kaizen.

Características	Descrição
Melhoria Contínua	<i>Kaizen</i> enfatiza a ideia de que a melhoria é um processo contínuo e incremental. Encoraja os indivíduos e as equipas a procurarem formas de melhorar os processos ou serviços de forma constante [41].
Envolvimento dos Trabalhadores	<i>Kaizen</i> promove o envolvimento de todos os funcionários, independentemente da sua posição na hierarquia da organização, no processo de melhoria. Todos aqueles que colaboram para um certo processo têm a oportunidade de o melhorar. Reconhece que as pessoas mais próximas de um processo têm muitas vezes conhecimentos valiosos sobre como este pode ser melhorado [42].
Padronização	Enquanto encoraja a melhoria contínua, <i>kaizen</i> também reconhece a importância da padronização dos processos para manter a consistência e a eficiência. Os processos padronizados, ou seja, em que as suas variações são mínimas, fornecem uma base estável sobre a qual as melhorias podem ser feitas[43].
Eliminação de Desperdícios	O objetivo de <i>Kaizen</i> é identificar e eliminar o desperdício nos processos. Isto inclui tudo o que não acrescenta valor ao produto ou serviço, como o excesso de stock, passos desnecessários ou defeitos [42].
Foco na Qualidade	A melhoria da qualidade é um aspeto fundamental de <i>kaizen</i> . Ao melhorar continuamente os processos, espera-se que a qualidade dos produtos ou serviços aumente ao longo do tempo [44].
Colaboração e Trabalho em Equipa	<i>Kaizen</i> incentiva o trabalho em equipa e a colaboração entre os trabalhadores. São frequentemente formadas equipas multifuncionais para tratar de questões específicas ou oportunidades de melhoria, desta forma todos podem oferecer algo, que resulta em resultados mais otimizados [42].
Gestão Visual	O uso de ferramentas visuais, tais como tabelas, gráficos, diagramas e outros recursos visuais, é comum em <i>kaizen</i> . Estas ferramentas ajudam a tornar as informações sobre processos e desempenho facilmente acessíveis, promovendo a transparência e a compreensão, desta forma a resolução de problemas torna-se mais fácil devido à sua interpretação facilitada [43].

Apesar de *Kaizen* estar normalmente associado ao Sistema de Produção Toyota, este tem vindo a ser aplicado em várias indústrias e sectores para além da produção, incluindo os cuidados de saúde [43], o desenvolvimento de software e as indústrias de serviços [41]. Esta

ferramenta provou ser eficaz na promoção de uma cultura de melhoria contínua e adaptabilidade nas organizações.

2.5.4.2. Gemba Walk

A palavra *Gemba* vem da palavra japonesa *genbutsu* e significa um lugar real, logo, *Gemba Walk* trata-se de uma “caminhada” no sítio onde são realizadas as operações, ou seja, uma visita de funcionários superiores ao local onde um determinado processo de produção está a ser executado, com o objetivo de ver pessoalmente a execução destes processos [44]. *Gemba Walk* é uma parte integrante das práticas de *Lean Manufacturing* que proporciona à equipa responsável pela melhoria de processos, a oportunidade de visualizar os problemas, identificar as suas causas e empenhar-se na resolução [45].

As suas principais características são as seguintes:

Tabela 2.4 - Principais características de *Gemba Walk*.

Características	Descrição
Observação do local de trabalho	O principal objetivo do <i>Gemba walk</i> é observar o trabalho no seu ambiente natural, sendo que este pode existir numa fábrica, num centro de serviços, ou noutra local onde seja criado valor. A ideia é que as equipas vejam o processo, compreendam como o trabalho é efetuado e, identifiquem oportunidades de melhoria [46].
Envolvimento com os operadores	Durante o <i>Gemba walk</i> , as equipas interagem com os funcionários da linha da frente fazendo perguntas, procurando as suas perspetivas e compreendendo os seus desafios. Esta interação direta promove a comunicação e cria um sentido de colaboração entre a gestão e os funcionários [45].
Resolução de problemas	O <i>Gemba walk</i> não se limita à observação; também envolve a abordagem de questões e a resolução de problemas em tempo real. Ao estarem fisicamente presentes no local de trabalho, os líderes podem responder rapidamente aos desafios, tomar decisões e apoiar os funcionários na procura de soluções [46].
Respeito pelos operadores	O <i>Genba walk</i> foca-se no princípio do "respeito pelas pessoas", um princípio fundamental do pensamento <i>lean</i> . Ao irem ao <i>Gemba</i> , as equipas demonstram respeito pelo conhecimento e experiência dos trabalhadores da linha da frente e demonstram um compromisso em compreender os seus desafios e contribuições [44].

Value Stream Mapping (VSM)

O Mapa de fluxo de valor (VSM) é uma técnica que foi originalmente desenvolvida pela Toyota, e é uma ferramenta visual e analítica utilizada na melhoria dos processos empresariais, particularmente no contexto do fabrico e da gestão otimizados [35].

O principal objetivo do VSM é analisar, compreender e melhorar o fluxo de materiais e de informação necessários para que um produto ou serviço seja realizado desde o início (como as matérias-primas ou os requisitos) até ao fim (entrega ao cliente). No entanto, a vantagem do VSM pode igualmente ser uma desvantagem associada ao facto de por vezes ser difícil identificar grandes desperdícios que não são detalhados nos VSMs [35].

As suas principais características são as seguintes:

Tabela 2.5 - Principais características de um VSM.

Características	Descrição
Fluxo de Valor	Um fluxo de valor representa todas as atividades, tanto as que acrescentam valor como as que não acrescentam valor, necessárias para fornecer um produto ou serviço a um cliente. Engloba tudo, desde o pedido inicial até à entrega do produto final [37].
Fluxo de Material e de Informação	O VSM ilustra o fluxo de materiais e informações ao longo de todo o processo. Isto inclui o movimento de itens físicos, bem como a comunicação e a troca de dados entre diferentes departamentos, ou até mesmo dentro dos mesmos, em várias fases do processo [37].
Etapas do processo	O mapa descreve cada etapa do processo, desde o pedido ou encomenda inicial do cliente até à entrega do produto final. Cada etapa é examinada de forma a obter os tempo de cada etapa do processo, o número de operadores, os modos de transporte entre outros, para identificar gargalos, atrasos e ineficiências [47].
Lead Time e Tempo de Ciclo	O Lead Time é o tempo total necessário para satisfazer uma encomenda de um cliente, enquanto que o tempo de ciclo é o tempo necessário para completar uma unidade de um produto ou serviço. O VSM ajuda a compreender e a reduzir tanto o tempo de execução como o tempo de ciclo [37].
Atividades com Valor Acrescentado (VA) e sem Valor Acrescentado (NVA)	O VSM diferencia as atividades que acrescentam diretamente valor ao produto ou serviço das que não o fazem. O objetivo é identificar e eliminar as atividades que não acrescentam valor (desperdício) ao processo [47].

Ao realizar um VSM é necessário ter em conta que existe uma linguagem gráfica padronizada que são utilizados de forma a haver uma melhor precessão por parte daqueles que o analisam. Alguns dos símbolos utilizados encontram-se apresentados na figura 2.8.

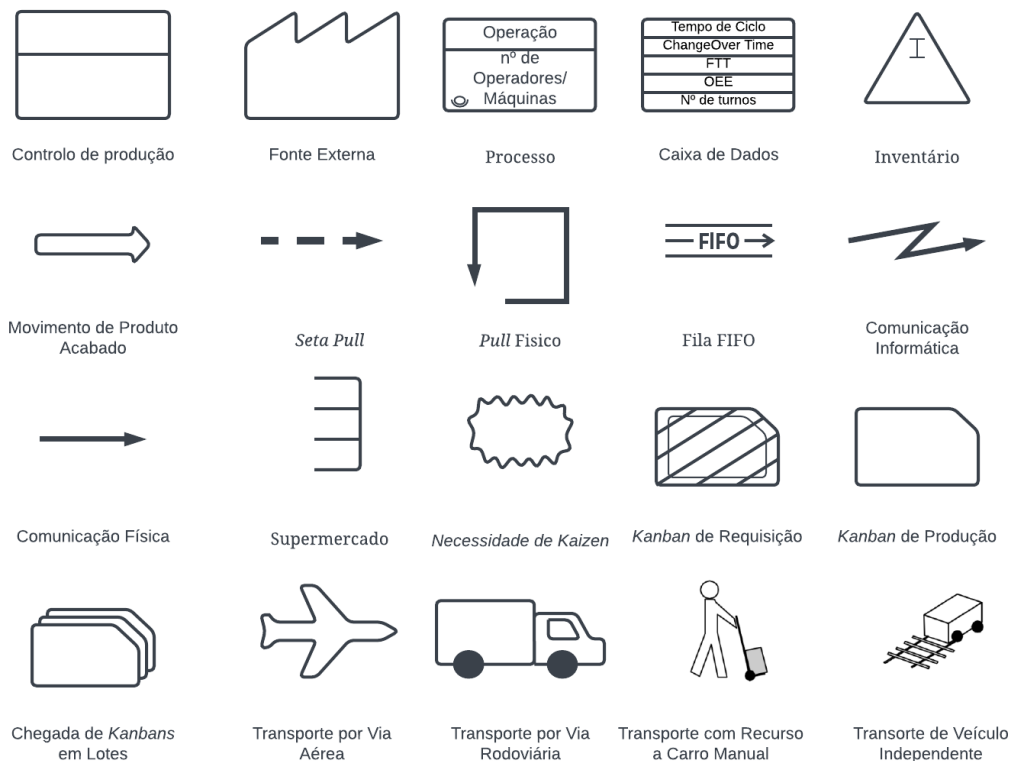


Figura 2.8 - Simbologia Utilizada no VSM

Kanban

Kanban é o termo japonês para registo visível ou placa visível [48]. O método *Kanban* é uma ferramenta que permite que todos os elementos comuniquem entre si de uma forma simples e sem problemas, indicando aos processos seguintes onde, quando e em que quantidade os produtos são necessários, por meio de um pequeno cartão denominado cartão *Kanban* podendo-se assim afirmar que esta ferramenta é um meio pela qual a produção JIT é executada. O sistema *Kanban* pode ser utilizado entre todos os processos que tenham procura, sendo que os cartões *Kanban* podem ser utilizados em todas as fases da produção, tal como todas as fases de abastecimento [49].

Na seguinte tabela estão apresentadas algumas características da ferramenta *kanban*:

Tabela 2.6 - Principais características de Kanban

Características	Descrição
Quadro <i>kanban</i>	O <i>Kanban</i> utiliza um quadro visual para representar o fluxo de trabalho. Geralmente, o quadro é dividido em colunas que representam diferentes fases do processo. Cada coluna contém cartões <i>kanban</i> que representam tarefas individuais ou itens de trabalho [50].
Limites do <i>Work in Progress</i> (WIP)	O <i>Kanban</i> dá ênfase à limitação do <i>Work in Progress</i> num determinado momento. São definidos limites de WIP para cada fase do processo, evitando a sobrecarga e garantindo que o trabalho seja concluído antes de iniciar novas tarefas [51].
Sistema <i>Pull</i>	O <i>Kanban</i> opera num sistema <i>Pull</i> , onde o trabalho é movido para a próxima fase do processo apenas quando há capacidade e demanda para fazê-lo. Tal ajuda a evitar gargalos e garante uma alocação eficiente de recursos [37].
Melhoria Contínua	O <i>Kanban</i> promove uma cultura de melhoria contínua. As equipas revisam regularmente seu desempenho, identificam oportunidades de aprimoramento e implementam mudanças incrementais para aumentar a eficiência [37].
Flexibilidade e Adaptabilidade	O <i>Kanban</i> é conhecido pela sua flexibilidade e adaptabilidade. As equipas podem responder facilmente à alteração das prioridades, e o método adapta-se às variações de complexidade e dimensão das tarefas [52].

Existem dois tipos de *kanban*, o *kanban* de requisição e o *kanban* de produção apresentados na figura 2.9. Enquanto um *kanban* de requisição especifica a quantidade necessária nos processos subsequentes (que devem ser retiradas dos processos precedentes), um *Kanban* de produção ordena que os processos precedentes produzam peças de reposição [48].

Os cartões *kanban* são colocados num quadro onde pode ser feita a análise das atividades relativamente ao momento em que estas devem ser realizadas. O quadro referido encontra-se geralmente dividido em três colunas, sendo estas, atividades que devem ser realizadas, atividades que estão a ser executadas naquele momento e atividades finalizadas; desta forma os trabalhadores tem a informação relativa à realização de atividades atualizada [50].

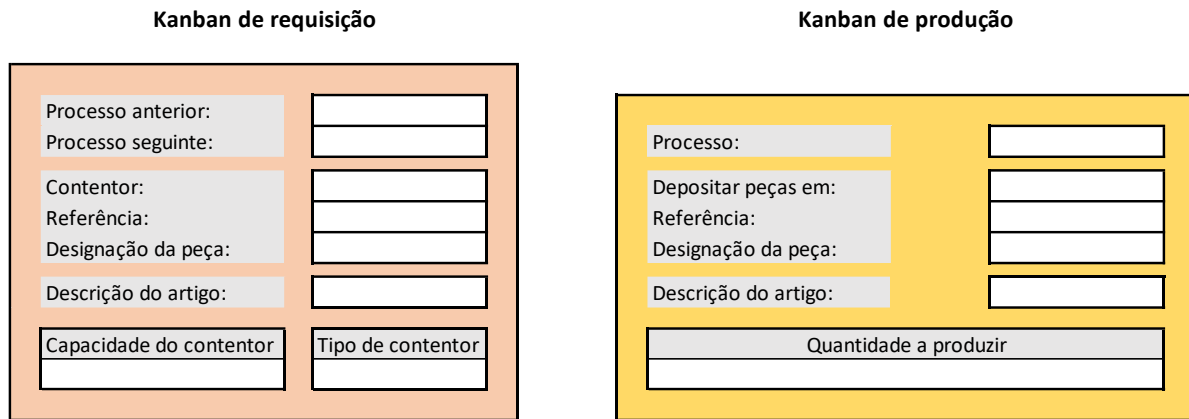


Figura 2.9- Cartões kanban de requisição e kanban de produção [53]

Two Bin System

Two Bin System, inserido no método *kanban* é um sistema de abastecimento simples em que são utilizados dois contentores de matéria-prima semelhantes. A matéria-prima é retirada de um dos contentores de acordo com a necessidade, e quando este fica vazio, a posição dos contentores é alternada, ou seja, o contentor vazio é colocado atrás do contentor cheio e este é colocado de forma a que o trabalhador tenha fácil acesso. Desta forma, o contentor vazio serve como sinal para reabastecimento e, como tal, a identificação da necessidade de abastecimento é facilitada e o processo de reabastecimento torna-se mais simples e organizado [54].

Este tipo de sistema é muito popular porque não requer um sistema de informação sofisticado, nem a manutenção de um registo de inventário permanente, e é consistente com os princípios fundamentais do JIT, ou seja, é simples, funcional e visualmente intuitivo. Devido às suas características e facilidade de implementação este tem sido vastamente utilizado em diversas áreas, principalmente na indústria mas também no retalho e, mais recentemente na área da saúde [55].

Diagrama de Esparguete

Um diagrama de esparguete, é uma representação visual do fluxo ou movimento de pessoas, materiais ou informações num processo ou espaço físico. O nome "diagrama de esparguete" deriva da semelhança visual das linhas desenhadas no diagrama com um prato de esparguete entrelaçado. O objetivo da criação de um diagrama de esparguete é analisar e compreender os caminhos e movimentos reais envolvidos num processo, com o objetivo de identificar ineficiências, gargalos e oportunidades de melhoria [56].

As principais características do diagrama de esparguete são:

Tabela 2.7 - Principais características de um diagrama de espaguete.

Características	Descrição
Visualização do Processo	Os diagramas de esparguete fornecem uma representação visual da disposição e do fluxo dos processos ao traçar fisicamente os percursos de indivíduos, materiais ou informações ao longo do decorrer do processo. As linhas são desenhadas para representar os trajetos reais onde podem ser identificados movimentos desnecessários ou estrangulamentos. Estas ineficiências geralmente estão associadas a perdas de tempo e o diagrama ajuda na sua identificação e posterior melhoria [57].
Otimização da Disposição das Operações	A representação visual permite a avaliação da disposição física de um espaço de trabalho. Tal é particularmente útil em setores como a indústria transformadora ou os cuidados de saúde, onde a disposição do equipamento, dos postos de trabalho e das áreas de armazenamento pode ter um impacto significativo na eficiência [57].
Trabalhadores	Este diagrama não serve apenas para a redução de tempos e eliminação de desperdícios em termos de tempo de processamento, mas também a nível do esforço físico realizado pelos trabalhadores, ao reduzir, muitas vezes significativamente, a distância dos trajetos percorridos pelos mesmos [57].

A formulação de um diagrama de esparguete facilita a visualização dos trajetos percorridos e facilita a formulação de um novo trajeto, tal como é possível observar pela figura 2.10. Nos diagramas representados a baixo, é notável a redução da distância percorrida o que por sua vez se traduz num trajeto mais organizado, com redução de tempo e redução na fadiga dos trabalhadores.

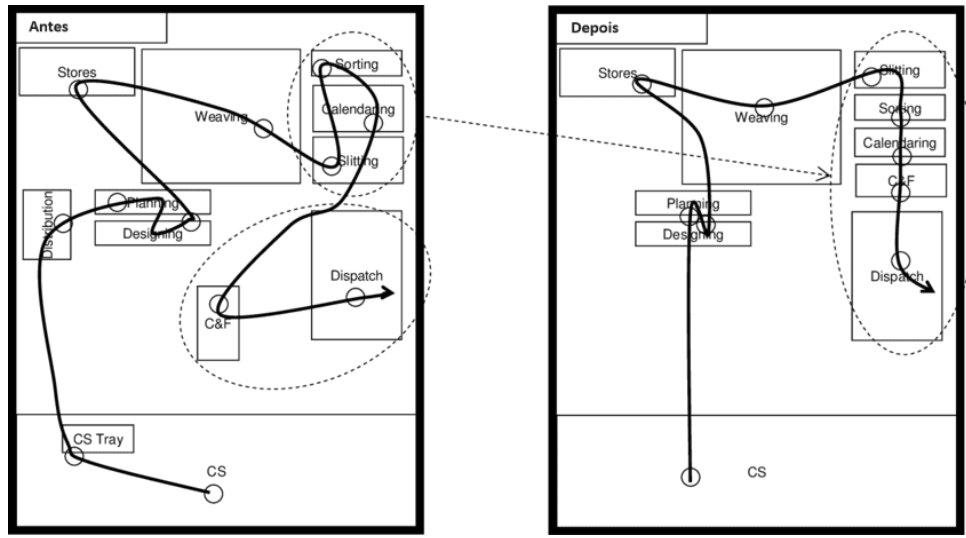


Figura 2.10 - Diagrama de Esparguete Antes e depois da sua Otimização [58].

2.5.5. *Lean* na Indústria dos Painéis de instrumentos para Automóveis

A filosofia *Lean manufacturing* é utilizada na otimização de processos de variadas áreas industriais, incluindo a indústria de ecrã digitais, na qual são utilizadas as ferramentas desta filosofia de várias maneiras. Num estudo realizado relativo à otimização de processos de uma linha de montagem de televisões, o objetivo principal é a otimização da linha de montagem com recurso a ferramentas *Lean*. Com o intuito de analisar a linha criou-se um VSM para facilitar a compreensão do fluxo de valor da linha de montagem em estudo e a identificar desperdícios [59]. Após a análise do VSM e o cálculo do Takt time, foi identificada uma atividade cujo tempo de ciclo excede o Takt time indicando um possível problema. De forma a reduzir o tempo de ciclo optou-se pela utilização das ferramentas de *Lean Manufacturing* 5S (método de organização no local de trabalho), tendo sido esta selecionada devido à perda de tempo associada à desorganização e movimentação desnecessária na procura de ferramentas fundamentais à montagem do produto e Load leveling (técnica utilizada para equilibrar a carga de trabalho) que foi, por sua vez, selecionada com o objetivo de regularizar a carga de trabalho na linha com vista a aumentar o *Takt time* [59].

Noutro estudo relativo à alteração da estratégia de produção de TFT-LCDs, foi também uma análise do sistema através de um VSM, de forma a medir o tempo de ciclo da linha de produção. Realizada a análise do sistema foram obtidas três oportunidades de melhoria: um elevado nível de WIP, uma baixa percentagem de tempo no qual é acrescentado valor ao produto, e a

produção de cada estação, que é baseada no calendário de produção de cada estação respectivamente [60]. Com o objetivo de solucionar os problemas anteriormente referidos os autores utilizam uma estratégia de *lean-pull*, com o objetivo de não apenas melhorar o WIP mas também reduzir o tempo de atividades sem valor acrescentado, na qual são implementados Buffers (área designada a armazenar produtos intermediários ou materiais necessários ao longo da produção) com o objetivo de suavizar o fluxo de produção [60]. A seguinte tabela apresenta as ferramentas utilizadas nos estudos anteriormente referidos e os objetivos de melhoria de cada ferramenta de forma simplificada.

Tabela 2.8 - Ferramentas Lean utilizadas na industria dos painéis de instrumentos.

Ferramentas	Objeto de melhoria
5S	<ul style="list-style-type: none"> • Organização • Redução do tempo na procura de ferramentas • Redução da movimentação desnecessária
<i>Load Leveling</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar a sobrecarga no trabalho • Nivelar a carga de trabalho
<i>Estratégia Lean-pull</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir WIP • Reduzir o tempo das atividades de valor não acrescentado
<i>Buffers</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Suavização do fluxo de produção • Redução do tempo de espera

2.6. Teoria dos Grafos

Um grafo é um objeto matemático composto por dois conjuntos: nós (também denominados de vértices) e arestas (também denominadas de arcos), encontrando-se as conexões entre pares de nós exemplificadas na figura 2.11. O grafo mais elementar consiste apenas nesses dois elementos, sem características adicionais, representando uma estrutura abstrata. Portanto, as posições dos nós não têm significado num diagrama que representa o

grafo. As arestas devem conectar nós nas suas extremidades, significando que enquanto os nós não podem ter arestas, cada aresta necessita de dois nós. Os nós podem ser conectados por arestas com base em vários critérios, o que afetará o grau de conectividade [61].

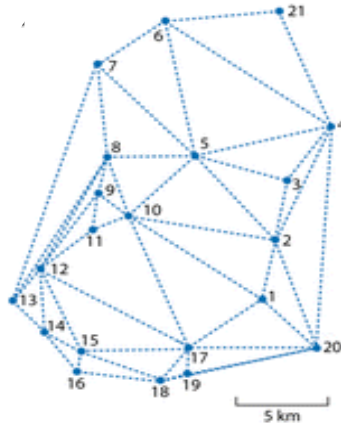


Figura 2.11 - Exemplo da representação de grafos [61].

Em termos práticos, um grafo é uma forma de modelar relações, onde os vértices podem representar uma coleção de entidades. Essas entidades podem ser pessoas, sistemas, routers, endereços IP, amostras de malware, entre outras. As arestas, por sua vez, representam as relações entre as entidades. Ao formular um grafo há que ter em conta os vários tipos de grafos existentes: grafos direcionados (cujas arestas têm uma direção definida), grafos não direcionados (arestas sem direção definida) [62], grafos bipartidos cujos vértices podem ser divididos em dois conjuntos distintos V e W , de forma a que não existam arcos a conectar nós pertencentes ao conjunto V , o mesmo acontece com os nós do conjunto W , entre outros [63].

Grafos podem ser aplicados para solucionar ou auxiliar a obtenção de uma solução em diversas áreas e problemas no qual existam conexões complexas, por exemplo na área da saúde, manufatura aditiva, planeamento de trajetórias, entre outros [61][62][63]. No estudo foi aplicada a teoria dos grafos com o objetivo de propôr um novo método para representar doenças cardíacas congénitas. Este método foi selecionado devido às conexões anormais e complexas existentes entre vasos sanguíneos e órgãos envolvidas neste tipo de doenças [64].

Por fim e num estudo relativo ao mesmo tema a teoria dos grafos foi utilizada a fim de desenvolver um algoritmo eficiente cujo objetivo consistia em medir a semelhança entre de trajetórias individuais de navios [66].

Capítulo 3 Estudo de Caso

O presente capítulo caracteriza-se pela análise do estudo de caso desta dissertação, iniciando com uma breve descrição do ambiente fabril e dos métodos e áreas produtivas da fábrica em questão. Posteriormente é realizada uma análise à linha de montagem na qual é focado este estudo, incluindo a obtenção dos vários dados referentes à mesma.

3.1. Apresentação da Empresa Visteon Portuguesa

O estudo de caso foi conduzido na empresa Visteon Portuguesa Ltd, mais concretamente numa das suas fábricas, situada em Palmela, Setúbal, Portugal. Fundada em 1918, a Visteon Portuguesa é uma das principais empresas do setor automotivo em Portugal, produzindo uma ampla gama de produtos eletrónicos, incluindo rádios, painéis de instrumentos e centralinas para veículos. Os seus principais clientes são as principais de montagem de automóveis, incluindo a Volkswagen, a Ford, a Renault-Nissan e a PSA Peugeot Citroen.

A Visteon Portuguesa é uma empresa que valoriza a inovação e o desenvolvimento de novas tecnologias, com um forte compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade social. Como tal, a empresa tem investido significativamente na pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, bem como em iniciativas de sustentabilidade, incluindo a redução do consumo de energia e a minimização do impacto ambiental das suas operações.

3.2. Manufatura Visteon Corporation

A fábrica na qual foi realizado o presente estudo foca-se essencialmente na produção de componentes do seu produto final, o seu principal produto final ser painéis de instrumentos para automóveis para o qual são necessárias diferentes áreas de produção. Neste subcapítulo são enumeradas e respetivamente descritas as várias áreas produtivas presentes nesta unidade fabril.

3.2.1. Área de Injeção de Magnésio (*Thixomolding*)

A área de injeção de magnésio é responsável pela produção dos componentes metálicos dos produtos finais produzidos e comercializados pela empresa onde é utilizado um processo denominado de *Thixomolding*.

O *Thixomolding* é um processo de fabrico inovador e economizador de energia que pode ser utilizado para produzir componentes de magnésio, a partir da injeção de ligas de magnésio fundido em moldes para obter o componente desejado. As ligas de magnésio fundido são cada vez mais utilizadas na indústria automóvel devido à sua flexibilidade de fabrico e à elevada relação resistência/peso [67].

3.2.2. Área de Injeção de Plástico

Na área de injeção de plástico, é realizada uma etapa que envolve a inserção de materiais poliméricos para criar componentes que são essenciais no produto final. O polímero, que vem em forma de pequenos grânulos, é transportado através de um sistema de tubulação, que funciona a partir de vácuo, até chegar à máquina de injeção. Antes da sua introdução, o material passa por um processo de aquecimento a altas temperaturas, permitindo que este se funda e que possa ser injetado num molde que dará forma ao produto final desejado.

Este processo é fundamental para a fabricação, na qual são utilizadas peças plásticas, exigindo um controlo vigoroso das condições de temperatura e pressão para garantir a qualidade e consistência do produto final.

3.2.3. Área de *Pre Assembly*

A área de *Pre Assembly* é de preparação de materiais destinados à linha de *Final Assembly*. Geralmente, as linhas de produção nesta área são bastante compactas e operam numa cadência mais elevada em comparação a outras áreas, devido à simplicidade dos processos envolvidos. Nessa etapa, ocorre o agrupamento de matérias-primas por meio de encaixe de peças e soldadura. Além disso, é realizada uma inspeção visual preliminar das *pre assembly final product* (PAFP) antes de serem encaminhadas para a seguinte área.

3.2.4. Área de *Board Preparation* (Board Prep)

A área de board preparation é a responsável pela montagem e teste das PCBs utilizadas nos produtos obtidos na fábrica. O processo adotado atualmente é a tecnologia de montagem em Superfície (Surface Mount Technology - SMT), que engloba a conexão dos componentes eletrónicos com a PCB por meio de soldadura.

O procedimento começa com a aplicação de uma pasta de solda em pontos previamente definidos na PCB, correspondentes aos distintos componentes eletrónicos. Posteriormente, os componentes são posicionados nas respetivas áreas da placa, e uma vez estabelecidos, os

componentes eletrônicos são submetidos a um processo de soldadura, que se trata do transporte da PCB através de um forno. Após a conclusão dessas etapas, a placa é submetida a vários testes, e se esta estiver conforme os requisitos da qualidade, é então armazenada em contentores específicos para as PCBs no final da linha de produção.

3.2.5. Área de *Final Assembly*

A área de *Final Assembly* é onde a montagem do produto final é realizada. Aqui, os produtos acabados das outras divisões são reunidos, juntamente com itens adquiridos externamente, para criar o produto final que será entregue aos clientes.

A maior parte das linhas de montagem neste setor é configurada como células de Braços Robóticos (Robotic Arm Cell - RAC), que compreendem uma unidade com braços robóticos responsáveis por conduzir a transferência dos produtos entre os diferentes processos. Assim como ocorre na área de Preparação de Placas, após a montagem, o produto passa por testes para garantir sua qualidade.

3.3. Caracterização da Linha de Montagem

Um período de observação detalhada foi realizado com o objetivo de compreender todas as operações na linha de montagem. Durante essa interação com os operadores, foram esclarecidas dúvidas sobre cada operação e compreendida a função de cada máquina e operador. Posteriormente, a linha foi dividida em várias operações, e cada operação foi fragmentada em diversas tarefas. Esta divisão é fundamental para a análise da linha de montagem pois, possibilita um estudo mais aprofundado e a identificação de áreas que podem ser aprimoradas ou otimizadas.

3.3.1. Abastecimento da Linha

Este processo é realizado com recurso a um *mizusumashi*, que ao longo do processo de montagem reabastece com a respetiva matéria-prima todas as operações completamente manuais e semi-automáticas que o requerem. A reposição é feita para as operações operação OP 02a (3 componentes), operação OP 02b (1 componente), operação OP 10 (2 componentes), operação OP 50 (2 componentes), operação OP 60 (1 componente). O transporte do material é feito com recurso a um veículo com vários compartimentos que podem ser utilizados para

transportar apenas um material ou vários, sendo que não existe mais que um tipo de matéria-prima no mesmo compartimento.

Nas operações totalmente automatizadas, a reposição de matéria-prima é uma responsabilidade do técnico da linha. Esse processo de reposição exige um conhecimento prévio sobre o funcionamento das máquinas, uma vez que cada tipo de máquina tem uma abordagem específica para o reabastecimento, e é necessário interromper temporariamente o funcionamento da máquina. Geralmente, a reposição de matéria-prima é realizada somente quando a máquina não consegue mais operar devido à falta de recursos.

3.3.2. Linha de Montagem

A linha de montagem em questão é constituída principalmente por máquinas, com apenas algumas operações semiautomáticas nas quais entra a mão de obra de operadores. As peças são transportadas em paletes adaptadas para o encaixe apropriado das peças, e estas paletes são transportadas através de tapetes rolantes divididos em secções. Desta forma, é possível a movimentação de certas peças enquanto outras se mantêm paradas, de acordo com a sua necessidade.

3.3.2.1. Operação OP 10

A operação OP 10 a primeira operação da linha de *Final Assembly*, consiste na entrada material base desta linha, ou seja, colocação do PAFP e do TFT nas paletes. Trata-se de uma operação que requer a intervenção de um operador na limpeza, inspeção superficial da material e colocação da mesma na linha de montagem, que posteriormente será sujeita a testes elétricos, de forma a verificar se está tudo conforme para evitar falhas e paragens.

É também nesta operação que é definido o modelo que será montado na linha de forma a que as várias maquina consigam analisar e executar as tarefas de acordo com as características relativas a cada modelo.

A operação OP 10 é dividida em oito tarefas diferentes, cuja descrição e o recurso utilizado se encontram apresentados na seguinte tabela.

Tabela 3.1 - Descrição das tarefas da operação OP 10

Tarefa	Descrição
OP 10.01	Pressionar o botão verde para imprimir a etiqueta de processo (operador)
OP 10.02	Retirar a etiqueta da impressora e colocar na parte superior esquerda do PAFP (operador)
OP 10.03	Utilizar uma pistola que liberta ar comprimido para limpar o PAFP (operador)
OP 10.04	Colocar o PAFP na palete da linha de montagem, com a lente virada para baixo (operador)
OP 10.05	Inspeccionar o PAFP, a etiqueta de processo e verificar a presença de chips metálicos (máquina)
OP 10.06	Retirar o TFT do carro e inspecioná-lo (operador)
OP 10.07	Colocar o TFT na palete e remover película protetora do ecrã (operador)
OP 10.08	Ler o código de barras do TFT (máquina)

3.3.2.2. Operação OP 20

Após a finalização da operação anteriormente referida realiza-se a operação OP 20. Esta trata-se de uma operação totalmente automatizada, cujo a material é totalmente manuseado por um braço robótico, este tem a função de colocar fitas adesivas na parte superior e inferior frontal do TFT que, mais tarde, irão facilitar a sua fixação ao PAFP. Por fim, é realizado um teste elétrico de forma a confirmar que ambas as fitas adesivas estão corretamente colocadas.

A operação OP 20 é dividida em cinco tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.2 - Descrição das tarefas da operação OP 20

Tarefa	Descrição
OP 20.01	Remover a fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal lateral esquerda do TFT
OP 20.02	Colocar na parte frontal superior do TFT a fita adesiva e remover a sua película e colocar no depósito de películas
OP 20.03	Remover a segunda fita adesiva do rolo de fitas
OP 20.04	Colocar na parte frontal inferior do TFT a fita adesiva, remover a sua película e colocar no depósito de películas
OP 20.05	Verificar se as fitas adesivas estão presentes no TFT e bem posicionadas

3.3.2.3. Operação OP 30

Concluída a segunda operação, segue-se a operação OP 30 que de forma muito semelhante à operação anterior é totalmente automatizada; as suas tarefas são idênticas e realizadas por um braço robótico. A diferença entre estas duas operações está na colocação das fitas adesivas, que neste caso é feita na parte frontal lateral esquerda e direita.

A operação OP 30 é dividida em cinco tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.3 - Descrição das tarefas da operação OP 30

Tarefa	Descrição
OP 30.01	Remover a fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal lateral esquerda do TFT
OP 30.02	Remover película da fita adesiva e colocar no depósito de películas
OP 30.03	Remover a segunda fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal lateral direita do TFT
OP 30.04	Remover película da fita adesiva e colocar no depósito de películas
OP 30.05	Verificar se as fitas adesivas estão presentes no TFT e bem posicionadas

3.3.2.4. Operação OP 40a

Prosseguindo a sequência de operações, o tapete rolante transporta a palete até à operação OP 40a, sendo que esta é, mais uma vez, totalmente automatizada, e realizada por uma máquina que retira o TFT da palete, enquanto aspira possíveis impurezas e coloca-o no interior do PAFP. A OP 40a é a primeira operação da linha de *Final Assembly* que não necessita de abastecimento de material.

A operação OP 40a é dividida em três tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.4 - Descrição das tarefas da operação OP 40a

Tarefa	Descrição
OP 40a.01	Retirar o TFT da palete e colocá-lo no fixador
OP 40a.02	Aspirar TFT, rodá-lo 180° de modo a ficar com a fita adesiva virada para baixo e colocá-lo no interior do PAFP
OP 40a.03	Pressionar TFT de forma a que as fitas adesivas fiquem em total contacto com o PAFP

3.3.2.5. Operação OP 40b

Concluída a operação OP 40a, segue-se a operação OP 40b. Esta consiste na colocação de cola estrutural nos quatro cantos entre o PAFP e o TFT de forma a melhorar a fixação deste componente para evitar movimentação do mesmo. Num cenário no qual esta movimentação acontece, a localização das margens do ecrã do painel de instrumentos poderiam sofrer alterações, diminuindo a qualidade do produto. Finalizada a tarefa anterior, é realizado um teste que confere a colocação da cola estrutural foi colocada corretamente. Esta operação é totalmente automatizada, visto que é completamente realizada pela máquina.

A operação OP 40b é dividida em duas tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.5 - Descrição das tarefas da operação OP 40b

Tarefa	Descrição
OP 40b.01	Aplicar cola estrutural entre o PAFP e os quatro cantos do TFT
OP 40b.02	Verificar se a cola foi aplicada corretamente

3.3.2.6. Operação OP 50

Prosseguindo com a sequência de operações, a palete segue para a operação OP 50. Esta é uma operação semi-automática, pelo que necessita da intervenção de um operador e de uma máquina, sendo que este operador está responsável por esta operação assim como a que a sucede.

O objetivo principal desta operação é acrescentar dois componentes, a PCB e o altifalante, estes são acrescentados à palete pelo operador. Da parte da máquina é realizada a junção destes dois componentes e a colocação dos mesmos no interior do PAFP na parte traseira do TFT. Por fim são realizados testes de modo a confirmar se os componentes estão colocados adequadamente.

A operação OP 50 é dividida em cinco tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.6 - Descrição das tarefas da operação OP 50

Tarefa	Descrição
OP 50.01	Retirar a PCB da caixa e o altifalante da caixa e inserir o altifalante nos respetivos furos na PCB (operador)
OP 50.02	Verificar a presença da PCB na palete e ler a etiqueta para verificar o modelo (máquina)
OP 50.03	Colocar a PCB com o altifalante na palete (operador)
OP 50.04	Verificar a presença da PCB e do altifalante(máquina)
OP 50.05	Colocar a PCB com o altifalante no PAFP, e pressionar de forma a permanecer fixo (máquina)

3.3.2.7. Operação OP 60

Como referido anteriormente, a operação OP 60 necessita da intervenção do operador. Tal como na operação anterior, este executa as tarefas desta operação enquanto as tarefas realizadas pela máquina da operação OP 50 estão a ser executadas.

Esta operação trata-se da conexão do cabo *Flex* da PCB ao TFT seguida de um teste de validação de conexão, da colocação da tampa traseira do painel de instrumentos, e por fim é realizado, mais uma vez, um teste de validação de posicionamento.

A operação OP 60 é dividida em quatro tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.7 - Descrição das tarefas da operação OP 60

Tarefa	Descrição
OP 60.01	Conexão do cabo “ <i>Flex</i> ” do TFT à PCB (operador)
OP 60.02	Verificar se a conexão do cabo “ <i>Flex</i> ” à PCB foi executada corretamente (máquina)
OP 60.03	Colocação da tampa traseira do painel de instrumentos e pressionar (operador)
OP 60.04	Verificar se tampa traseira colocada é a correspondente ao modelo para o qual a máquina está programada (máquina)

3.3.2.8. Operação OP 70 e OP 80

As operações OP 70 e OP 80 são duas operações totalmente automatizadas, que se encontram posicionadas em série, contudo executam exatamente as mesmas tarefas em simultâneo, o que significa que um produto nunca é processado nas duas operações.

A tarefa realizada nestas operações consiste na fixação da tampa através de parafusos. O funcionamento destas máquinas é semelhante ao de uma impressora 3D, ou seja, esta movimenta-se de acordo com os eixos xyz para que a ponta da aparafusadora, onde se encontra a chave de aperto, chegue ao local correto. Nestas operações são utilizadas plataformas elevatória de forma a que as paletes que estão a ser processadas possam circular livremente.

As operações OP 70 e OP 80 realizam apenas uma tarefa cada, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.8 - Descrição das tarefas das operações OP 70 e OP 80

Tarefa	Descrição
OP 70.01/OP 80.01	Realização do processo de aparafusamento no qual são colocados 4 parafusos que seguram a tampa traseira ao PAFP

3.3.2.9. Operação OP 85

A operação OP 85 é a operação que sucede as operações OP 70 e OP 80, e trata-se de uma operação muito semelhante às anteriores. Consiste numa estação de aparafusamento totalmente automatizada, com a particularidade que aqui é utilizado um braço robótico no aparafusamento de 5 parafusos na tampa traseira do painel de instrumentos, e tem capacidade para apenas um produto cada vez que opera.

A operação OP 85 realiza apenas uma tarefa, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.9 - Descrição das tarefas da operação OP 85

Tarefa	Descrição
OP 85.01	Realização do processo de aparafusamento, no qual são colocados 5 parafusos que seguram a tampa traseira ao PAFP

3.3.2.10. Operação OP 90

A OP 90 é uma operação totalmente automatizada, onde é instalado o *software* de cada painel de instrumentos. Esta operação pode ser muito demorada e erros que provocam que a instalação seja refeita são bastante comuns. Portanto, esta operação utiliza 16 postos de instalação que realizam a instalação do *software* simultaneamente e o transporte dos painéis de instrumentos para os postos de instalação é realizado com o auxílio de um braço robótico.

A operação OP 90 é dividida em cinco tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.10 - Descrição das tarefas da operação OP 90

Tarefa	Descrição
OP 90.01	Retirar, realizar o transporte e rotação do painel de instrumentos até um dos 16 ninhos de instalação que esteja disponível. Este transporte é realizado com o auxílio de um braço robótico
OP 90.02	Realizar a instalação do <i>software</i> respetivo ao modelo em produção
OP 90.03	Transporte e rotação do painel de instrumentos do ninho de instalação até à zona da impressora de etiquetas. Este transporte é realizado com o auxílio de um braço robótico
OP 90.04	Imprimir e colocar a etiqueta na parte de trás do painel de instrumentos
OP 90.05	Transporte e rotação do painel de instrumentos até ao tapete rolante e colocá-lo numa palete

3.3.2.11. Operação OP 100

Nesta operação o painel de instrumentos está finalizado e inicia-se o controlo de qualidade. São realizados alguns testes e calibrações de forma a verificar a conformidade do produto com 2 máquinas que operam paralelamente.

A operação OP 100 é realizada apenas uma tarefa, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.11 - Descrição das tarefas da operação OP 100

Tarefa	Descrição
OP 100.01	Realização do teste de calibração do ponto branco, o teste de calibração dos <i>Ambient</i> LG's, o teste de verificação dos níveis de contraste, e o teste de verificação de funcionamento do TFT

3.3.2.12. Operação OP 110

A operação OP 110 dá continuidade ao controlo de qualidade com um teste de performance do painel de instrumentos, opera com 3 máquina em paralelo sem qualquer assistência de operadores.

A operação OP 110 é realizada em apenas uma tarefa, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.12 - Descrição das tarefas da operação OP 110

Tarefa	Descrição
OP 110.01	Realização o teste final de performance

3.3.2.13. Operação OP 115

A operação OP 115 realiza uma inspeção ao exterior do painel de instrumentos certificando-se que não existem anomalias de forma totalmente automatizada, e finalizado este teste, o produto é colocado num tapete rolante o transporta até a operação seguinte com auxílio de um braço robótico.

A operação OP 115 é dividida em duas tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentada na seguinte tabela.

Tabela 3.13 - Descrição das tarefas da operação OP 115

Tarefa	Descrição
OP 115.01	Realização dos testes paramétricos
OP 115.02	Colocação da peça no tapete rolante

3.3.2.14. Operação OP 120

Esta é a última operação da linha de montagem onde é realizada um último controlo de qualidade, com foco principal na inspeção visual. Neste posto existem tarefas realizadas pelo operador e por uma máquina. Nesta operação é possível serem processadas dois painéis de instrumentos ao realizar tarefas realizadas pelo operador e pela máquina em simultâneo.

Finalizada esta inspeção, os painéis de instrumentos que cumprem com os critérios de qualidade são colocados num carro para mais tarde serem colocados num tapete rolante que dá acesso à área de embalamento.

A operação OP 120 é dividida em sete tarefas diferentes, cuja descrição se encontra apresentado na seguinte tabela.

Tabela 3.14 - Descrição das tarefas da operação OP 120

Tarefa	Descrição
OP 120.01	Realizar uma inspeção superficial visual da parte frontal do painel de instrumentos (operador)
OP 120.02	Realizar uma inspeção superficial visual da parte traseira do painel de instrumentos (operador)
OP 120.03	Colocar o painel de instrumentos no fixador da máquina (operador)
OP 120.04	Verificação do funcionamento do altifalante (máquina)
OP 120.05	Realizar inspeção visual com o painel de instrumentos ligado, realizar inspeção de homogeneidade da luz, realizar de inspeção de funcionamento do sinal de aviso, verificar existência de fugas de luz e os seus diferentes padrões, e por fim realizar uma inspeção cosmética (operador). Para cada um destes testes são transmitidas pelo painel de instrumentos diferentes imagens, a transição entre estas imagens é realizada através de um botão que é pressionado pelo operado assim que este acaba de realizar cada teste
OP 120.06	O botão é pressionado pela última vez caso o painel de instrumentos esteja conforme as métricas definidas (máquina)
OP 120.07	Retirar o painel de instrumentos do fixador e verificar visualmente se a etiqueta se encontra colocada corretamente (operador)

- OP 120.01 - Realizar uma inspeção superficial visual da parte frontal do painel de instrumentos (operador);
- OP 120.02 - Realizar uma inspeção superficial visual da parte traseira do painel de instrumentos (operador);
- OP 120.03 - Colocar o painel de instrumentos no fixador da máquina (operador);
- OP 120.04 - Verificação do funcionamento do altifalante (máquina);
- OP 120.05 - Realizar inspeção visual com o painel de instrumentos ligado, realizar inspeção de homogeneidade da luz, realizar de inspeção de funcionamento do sinal de aviso, verificar existência de fugas de luz e os seus diferentes padrões, e por fim realizar uma inspeção cosmética (operador). Para cada um destes testes são transmitidas pelo painel de instrumentos diferentes imagens, a transição entre estas imagens é realizada através de um botão que é pressionado pelo operado assim que este acaba de realizar cada teste;
- OP 120.06 - O botão é pressionado pela última vez caso o painel de instrumentos esteja conforme as métricas definidas (máquina);
- OP 120.07 - Retirar o painel de instrumentos do fixador e verificar visualmente se a etiqueta se encontra colocada corretamente (operador).

3.4. Obtenção de Dados

A obtenção de dados referentes à linha de montagem em questão é essencial para este estudo, para que estes possam ser analisados com o objetivo de perceber quais os pontos mais críticos desta linha, para posteriormente atuar sobre os mesmos. Desta forma, neste capítulo são apresentados todos os métodos utilizados na obtenção de dados, assim como os dados finais.

3.4.1. Obtenção de Tempos

Atualmente a fábrica utiliza dois tipos de sistemas de recolha dados, o CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) e o ProdB. A principal diferença entre estes dois sistemas é que o CIM é utilizado no controlo da produção, ao longo do tempo, de cada uma das linhas da fábrica, e o respetivo FTT (First Time Through), enquanto o ProdB recolhe a informação sobre a produção atual.

O CIM possibilita a análise da produção e do FTT desde o presente até exatamente um ano atrás, sendo que esta análise pode ser mensal, semanal, diária ou horária. A informação é enviada para o sistema, de forma automatizada a partir de algumas das máquinas das linhas de produção, e demora um certo tempo a ser enviada. Este atraso na atualização de informação que não é relevante para a obtenção do FTT, pois esta é um indicador de desempenho que não necessita da informação atualizada ao minuto mas sim ao fim de um certo período de tempo, visto que problemas na qualidade são comuns. No entanto é necessário controlar se estas problemas seguem um certo padrão comum. Caso este padrão se altere de forma significativa então há que tomar certas medidas.

Quando se trata da informação sobre a produção, mais uma vez, esta apenas é fiável ao fim de horas completas, devido ao atraso no envio da sua informação não é possível analisar a produção atual a partir do CIM.

Enquanto o CIM fornece a informação sobre a produção a longo prazo, o ProdB é útil quando se necessita saber o estado das linhas de produção no momento, ou seja, se estas se encontram em funcionamento ou paradas devido a falhas ou outro tipo de paragens planeadas. O ProdB também fornece a informação sobre quais os modelos que foram, estão e serão produzidos, assim percebe-se o melhor momento para ir às linhas dependendo do que se pretende fazer, por exemplo analisar a produção de um modelo específico. O ProdB também contém informação sobre a disponibilidade de cada uma das operações das linhas sendo esta informação atualmente colocada manualmente no sistema por trabalhadores das linhas de montagem.

Ambos os sistemas são muito úteis e complementam-se quando se trata de informação sobre a produção. No entanto, como referido anteriormente, apenas algumas das máquinas enviam a sua informação para os sistemas, e por isso foi necessário adotar outro método, a cronometragem para a recolha de dados com o fim de obter os tempos de ciclo médio e o Lead Time.

3.4.1.1. Estudo dos métodos e tempos

O método de cronometragem utilizado, considera que os tempos de ciclo observados seguem uma distribuição Normal e o tamanho aceitável da amostra é obtido a partir de quatro parâmetros, o erro a assumir (A), o intervalo de confiança assumido (Z), o desvio padrão estimado da amostra (\bar{S}), e o valor médio dos tempos da amostra (\bar{x}) [68].

O número de observações necessárias para que o tamanho da amostra seja aceitável é dado pela seguinte equação:

$$n = \left(\frac{Z \times \bar{S}}{A \times \bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

Para a aplicação desta equação é necessário, em primeiro lugar, considerar que os tempos de ciclo observados seguem uma distribuição Normal, e para tal é necessário recolher pelo menos 30 observações. De seguida é calculada a média e o desvio padrão dos respetivos tempos, e atribuindo valores, que se considerem aplicáveis, ao erro associado e ao intervalo de confiança, é possível retirar o número de observações necessário para que o tamanho da amostra seja aceitável.

Na atividade de cronometragem, foram cronometradas as tarefas de cada uma das operações realizadas na linha apenas para um modelo, pois apesar dos vários e diferentes modelos produzidos, as tarefas de cada operação executadas não diferem entre modelos obtendo assim tempos de ciclo e de *lead time* semelhantes.

De modo a cronometrar os tempos de ciclo e os *lead times* da linha corretamente existem certos aspetos a ter em conta, tais como, a operação em questão necessita de estar livre à jusante, as máquinas devem estar completamente alimentadas para evitar paragens, é necessário existir mais do que um produto à montante da operação em questão. Durante a cronometragem caso exista uma eventual paragem da máquina devido a falhas, falta de matéria-prima, ou qualquer outro fator fora do seu funcionamento comum, esse tempo não deve ser contabilizado.

Tendo isto em conta, foi então iniciada a cronometragem dos tempos de ciclo de cada tarefa das operações da linha de montagem, para tal foi utilizado um cronómetro digital, foram registados os tempos, a respetiva média, o desvio padrão e o número de observações aceitável para cada operação. As folhas de registo desta atividade encontram-se disponibilizadas no apêndice da tabela A.1 até à tabela A.15, tal como a folha de registo da cronometragem dos tempos de Lead times, tabela A.16.

Finalizada a recolha das amostras de trinta observações é então necessário verificar se o tamanho da amostra é suficiente para garantir o intervalo de confiança e o respetivo erro associado. Visto que a linha de montagem é constituída por operações realizadas por máquinas

e operações, foram definidos dois valores diferentes para cada um dos parâmetros anteriormente referidos.

Para operações totalmente automatizadas considerou-se pertinente verificar se o tamanho da amostra é suficiente para garantir um intervalo de confiança de 99% e um erro de 1%, visto que se tratam de operações com baixa variabilidade. Por outro lado, atividades com intervenção humana que embora executadas por operadores experientes, visto que estes trocam de estação de trabalho frequentemente, e a nem todos executam as suas tarefas seguindo o mesmo protocolo, está geralmente associada uma maior variabilidade a estas operações, logo pretende-se garantir um intervalo de confiança de 95% e um erro de 2%.

Posteriormente, visto que os tempos cronometrados foram relativos às tarefas, foi necessário estudar a sequência de tarefas para cada uma das operações de forma a poder ser obtido o tempo de ciclo de cada operação. Para tal foram realizados diagramas de Gantt que estão apresentados nos apêndices desde a figura A.1 até à A.10. Estes diagramas apresentam cada tarefa de cada operação indentificando-as com 2 diferentes cores, sendo cor de laranja para tarefas realizadas por máquinas e azul tarefas realizadas por operadores. Não foram realizados diagramas de Gantt para as operações que são consideradas ter apenas uma tarefa.

No caso da operação OP 120 foi realizado o diagrama de Gantt para três ciclos como forma de perceber qual é o seu tempo de ciclo real, visto que nesta operação podem ser processados dois painéis de instrumentos em simultâneo.

3.4.2. Falhas

Com o auxílio do ProdB foi possível retirar o tempo de paragens por disponibilidade de cada uma das operações ao longo do mês de maio, as causas das paragens não estão especificadas no programa. Os respetivos valores estão apresentados na seguinte tabela.

Tabela 3.15 - Tempos de paragens por disponibilidade das operações da linha de montagem.

Operação	Tempo de paragem (h)
OP 10	1,4
OP 20	22,78
OP 30	25,5
OP 40a	0
OP 40b	3,36

Tabela 3.16 - Tempos de paragens por disponibilidade das operações da linha de montagem (continuação)

Operação	Tempo de paragem (h)
OP 50	0
OP 60	0
OP 70	19,36
OP 80	19,95
OP 85	2,03
OP 90	2,1
OP 100	0
OP 110	0
OP 115	0
OP 120	0

As operações com os tempos de paragem mais elevados são as operações OP 20 e OP 30, devido a duas causas principais. Depois de algum tempo em funcionamento sem realizar uma limpeza a estas máquinas, no processo da aplicação da cola estrutural é possível a criação de “fios” de cola que seguem a ponta do dispensador de cola que podem acabar na parte frontal do TFT. Deste modo, no fim da operação quando é realizado o controlo de qualidade, e são detetados estes “fios”, a operação é interrompida até que a paleta a ser processada seja retirada ou até que o TFT seja limpo de forma a passar no controlo de qualidade.

A segunda causa é bastante semelhante, pois trata-se de uma calibração não adequada relativamente à quantidade de cola estrutural colocada, normalmente proveniente de diferenças nas propriedades do dispensador de cola (defeito do fornecedor), o que pode resultar num excesso de cola com a possibilidade de acabar na parte frontal do TFT, fazendo mais uma vez com que esta operação seja interrompida até que um dos procedimentos explicados anteriormente seja realizado.

Outras operações com tempos de paragem bastante elevados são as operações OP 70 e OP80. Tal se deve a uma causa que já se encontra em estudo, pois as paletes desta linha de montagem são perfeitamente adequadas para certos modelos, logo existe a possibilidade de existirem folgas entre o produto e a paleta, resultando assim na movimentação indesejada do produto.

No momento de aparafusamento destas operações, caso o parafuso esteja a ser colocado, ou seja, fora do centro do furo da capa traseira, sendo a pressão utilizada insuficiente para o aparafusamento, ocorre um erro na máquina acabando por interromper a operação.

3.4.3. Formulação do VSM *Current State*

Com o objetivo de compreender melhor o fluxo produtivo da linha em estudo, foi criado um VSM do estado atual. Foi necessário realizar um levantamento completo de todos os fluxos de informação e de materiais relevantes. Deste modo, todos os cálculos efetuados para a elaboração dos diagramas do estado atual (*Current State*) serão apresentados de forma sequencial em seguida.

3.4.3.1. Changeover time

O *Changeover time* é algo que está já bastante otimizado nesta linha, sendo que apenas é necessário realizar *changeover* numa das suas máquinas, e fazer a substituição de matéria-prima em três operações na linha de montagem.

O *changeover* é realizado apenas na máquina presente na primeira operação, a OP10, tal como na linha anterior, isso é facilitado através de um painel de controle, onde é possível alterar o tipo de modelo a ser produzido. É importante destacar que essa alteração afeta todas as máquinas da linha simultaneamente.

As operações realizadas ao longo da linha são bastante semelhantes entre os diferentes modelos, sendo que a principal variável considerada é a adaptação das máquinas às novas dimensões específicas de cada modelo. No caso desta linha de montagem, é importante salientar que o tempo total de troca de modelo, ou *changeover*, é extremamente eficiente, levando apenas 10 segundos para ser concluído. Essa eficiência é um indicativo notável de otimização no processo de transição entre diferentes modelos.

Quando ocorre um *changeover*, é também necessário realizar a substituição de matéria-prima, o que acontece nas operações OP10, OP50 e OP60. É importante ressaltar que o tempo necessário para essa troca não é contabilizado no tempo de *changeover*. Tal acontece porque a matéria-prima que necessita de ser substituída é colocada nas operações correspondentes por meio de um *mizusumashi* tempo antes do término da montagem do modelo anterior. Portanto, não há perda de tempo na troca de matéria-prima, garantindo a eficiência nas alterações de modelos em montagem.

3.4.3.2. Takt time

O Takt time do sistema representa a taxa de produção necessária para corresponder à procura do mercado. Esta medida representa a cadência de produção necessária para satisfazer a procura do cliente, expressa em segundos por produto, e para o seu cálculo, é necessário o conhecimento da procura prevista, a qual, neste caso, foi fornecida pelo departamento de logística e contemplou esta estimativa semanal.

Além disso, é ainda necessário considerar o tempo total, em segundos, dedicado ao trabalho durante o mesmo intervalo de tempo. O Takt time é obtido através da seguinte equação:

$$Takt\ time = \frac{Dias\ da\ semana \times Segundos\ trabalhados\ por\ dia}{Procura\ semanal\ prevista} \quad (2)$$

A linha opera em três turnos, totalizando sete horas e trinta minutos de trabalho diárias por turno, que, após a exclusão dos períodos ociosos, resulta em 20 horas de trabalho por dia. Nu, regime de trabalho padrão, são realizados apenas cinco dias de trabalho por semana. A procura semanal prevista média fornecida pelo departamento logístico da empresa é de 10651 unidades por semana e com isto podemos então retirar o Takt time da linha, 33,79 segundos/unidade.

3.4.3.3. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Para o cálculo do OEE é necessário ter em conta os seus três parâmetros: a disponibilidade, a performance, e a qualidade da linha.

Para calcular a disponibilidade (D), é necessário primeiramente obter o tempo possível de produção, que geralmente corresponde ao horário de trabalho completo dos operários ou das máquinas. Em seguida, deseja-se determinar o tempo de produção real, no qual são subtraídos a este tempo todos os períodos de paragens planeadas e os períodos de paragem devido à disponibilidade.

Obtendo os valores dos parâmetros anteriormente mencionados, podemos então proceder ao cálculo da disponibilidade que é dada pela seguinte equação:

$$Disponibilidade(D) = \frac{Tempo\ de\ Produção\ Real}{Tempo\ de\ Produção\ Total} \quad (3)$$

Para calcular a performance (P), inicialmente é necessário obter o número de painéis de instrumentos realmente produzidos, que pode ser encontrado nos dados históricos do CIM.

O valor médio encontrado foi de 45162 produtos produzidos no período de um mês. Em seguida, deseja-se determinar o número de peças produzidas em produção ideal, ou seja, o número de peças produzidas durante o tempo de produção real. O tempo de produção real foi algo previamente obtido no cálculo da disponibilidade, sendo que para tal foi calculada cadência da linha, a partir do tempo de ciclo na linha, determinado anteriormente.

$$Performance(P) = \frac{Peças\ Realmente\ Produzidas}{Peças\ Produzidas\ em\ Produção\ Ideal} \quad (4)$$

A qualidade (Q) foi um dos parâmetros que não necessitou de cálculos para a sua obtenção, conforme mencionado anteriormente, a empresa disponibiliza dados históricos para cada linha de produção no CIM, incluindo o FTT (First-Time Through) mensal, que representa a percentagem de produtos processados em uma determinada operação sem ocorrência de erros ou falhas durante o processo. Em outras palavras, o FTT representa a qualidade de cada operação em percentagem. Portanto, ao multiplicar os valores de qualidade de cada operação ao longo da linha, obtemos a qualidade total da linha. No caso da linha de *Final Assembly* em análise, esse valor é de 85,76%.

Depois de se ter obtido os valores da disponibilidade, performance e qualidade da linha em estudo torna-se então possível o calcular o OEE a partir da equação 4.

$$OEE = D \times P \times Q \quad (5)$$

Os valores obtidos estão detalhados na tabela 3.2. É evidente que o OEE é reduzido. Esses resultados indicam uma oportunidade de melhoria na eficiência e no desempenho da linha de produção, visando alcançar níveis mais elevados de eficiência e produtividade.

Tabela 3.17 - Otenção do OEE da linha de montagem

Disponibilidade	Performance	Qualidade	OEE
78,07%	87,35%	87,33%	59,55%

Obtidos todos os dados necessários foi então realizado um VSM *Current State* pode ser encontrado na figura A.11 nos apêndices.

Capítulo 4 Identificação de Problemas e Propostas de Medidas

Após a obtenção dos dados necessários para proceder com este estudo, estes são analisados no presente capítulo, com o objetivo de identificar quais as principais ineficiências da linha de montagem que a previnem de satisfazer a procura existente, posteriormente são ainda apresentadas as medidas propostas. Finalizando é também realizada uma análise de resultados que apresenta todos os possíveis benefícios que surgem com a implementação das medidas.

4.1. Identificação de Oportunidades de Melhoria

Uma das ferramentas utilizadas para a análise de dados foi a formulação de um gráfico de barras de forma a comparar todos os tempos de ciclo entre si mesmos, mas também com o takt time (33,80 s/un) e a target rate (22,54 s/un) da respetiva linha, de forma a perceber qual das operações apresenta uma maior restrição à capacidade produtiva, ou seja identificar o gargalo de cada uma das linhas.

Ao identificar esta operação torna-se possível atuar sobre a mesma com o objetivo de reduzir o seu tempo de ciclo, para que se chegue mais perto da satisfação da procura. De seguida está apresentado o referido gráfico para a linha de montagem em estudo.

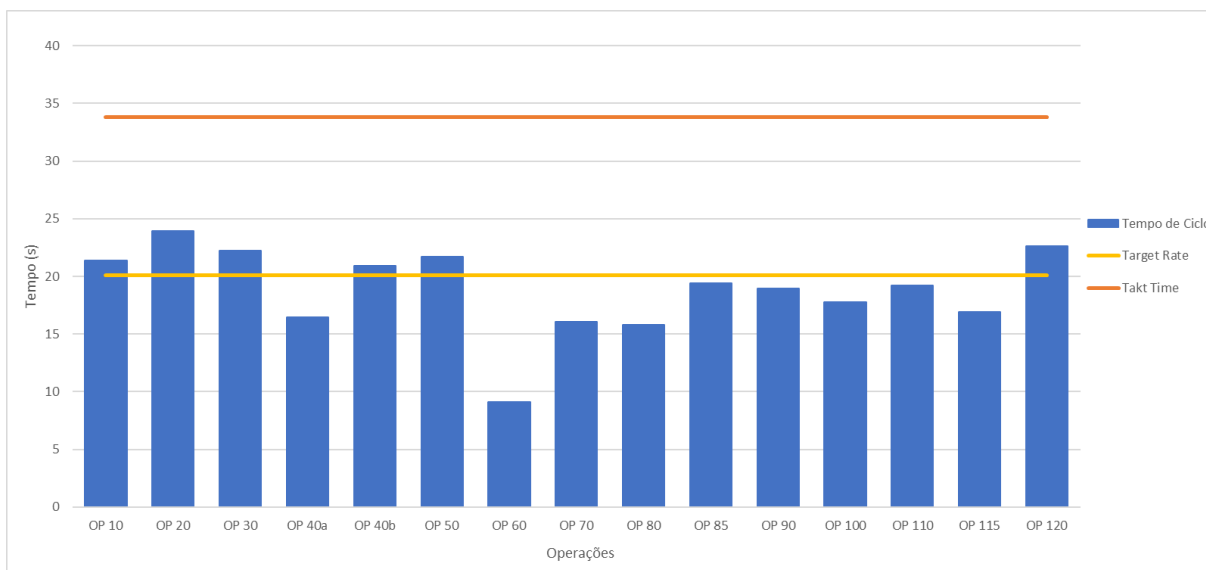


Figura 4.1 - Gráfico de comparação de tempos de ciclo com target rate e takt time atual.

Nesta imagem é possível observar que praticamente nenhuma operação se encontra abaixo da linha da target rate, o que significa que neste momento a linha não é capaz de satisfazer a procura. Tal justifica, mais uma vez, a necessidade de produzir em horário extraordinário. Também é visível que as operações com maior tempo de ciclo são as operações OP 20, gargalo, com 23,92 segundos e OP 30 com 22,22 segundos, logo nasce a necessidade de fazer algumas alterações nos seus processos de modo a minimizar desperdícios.

Desta forma, as tarefas das respetivas operações foram analisadas com o intuito de encontrar possibilidades de melhorias. A operação OP 120 também apresenta um tempo de ciclo bastante elevado, no entanto visto que é a última estação da linha de produção, a chegada das peças a esta estação é, geralmente, um pouco mais elevada devido a eventuais atrasos ao longo da linha, logo não foi tida em conta como uma operação crítica.

4.1.1. OP 20 e OP 30

Ao longo da análise da linha de montagem, foi notado que duas operações retardam a produção dos painéis de instrumentos. As operações OP 20, identificada como o gargalo, e OP 30, apesar de executarem funções distintas apresentam tarefas bastante semelhantes - os recursos utilizados são exatamente os mesmos alterando o comprimento das fitas adesivas colocadas nos TFTs. Como tal, a análise realizada para ambas as operações foi bastante semelhante.

Inicialmente foi atribuído valor a cada uma das tarefas de forma a perceber se existia alguma na qual se poderia atuar, obtendo-se as seguintes tabelas:

Tabela 4.1 - Tarefas da operação OP 20

Tarefa	Descrição da Tarefa	Valor	Tempo de Execução
OP 20.01	Remover a fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal superior do TFT	VA	6,14s
OP 20.02	Remover película da fita adesiva e colocar no depósito de películas	NVA	3,43s
OP 20.03	Remover a segunda fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal inferior do TFT	VA	7,21s
OP 20.04	Remover película da fita adesiva e colocar no depósito de películas	NVA	3,30s
OP 20.05	Verificar se as fitas adesivas estão presentes no TFT e bem posicionadas	NNVA	3,84s

Tabela 4.2 - Tarefas da operação OP 30

Tarefa	Descrição da Tarefa	Valor	Tempo de Execução
OP 30.01	Remover a fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal lateral esquerda do TFT	VA	6,30s
OP 30.02	Remover película da fita adesiva e colocar no depósito de películas	NVA	2,75s
OP 30.03	Remover a segunda fita adesiva do rolo de fitas e colocar na parte frontal lateral direita do TFT	VA	6,53s
OP 30.04	Remover película da fita adesiva e colocar no depósito de películas	NVA	2,77s
OP 30.05	Verificar se as fitas adesivas estão presentes no TFT e bem posicionadas	NNVA	3,85s

Foram identificadas duas tarefas sem valor acrescentado, a segunda e quarta tarefa de cada uma das operações. No entanto, estas tarefas correspondem à remoção da uma película protetora que evita com que as características da fita adesiva sejam perdidas, o que torna a presença desta película essencial para a qualidade do produto. Sendo a película um fator essencial, a própria tarefa de as remover torna-se uma necessidade.

Através uma análise mais aprofundada notou-se que nas tarefas OP 20.01, OP 20.03, OP30.01 e OP 30.03 poderiam ser divididas de forma vantajosa especialmente as duas primeiras tarefas de cada operação. Dado isto, foi realizada uma divisão destas duas tarefas em duas sub-tarefas e cronometrado o tempo de ciclo de ambas, utilizando o mesmo método de cronometragem que anteriormente, apresentado nas seguintes tabelas. As folhas de registo de cronometragem destas subtarefas poder ser encontrado nos apêndices nas tabelas A.17 e A.18.

Tabela 4.3 - Subtarefas da tarefa OP 20.01

Sub-tarefa	Descrição da Tarefa	Valor	Tempo de Execução
OP 20.01a	Remover a fita adesiva do rolo de fitas	NVA	5,07
OP 20.01b	Colocar a fita adesiva na parte frontal superior do TFT	VA	1,03

Tabela 4.4 - Subtarefas da tarefa OP 30.01

Sub-tarefa	Descrição da Tarefa	Valor	Tempo de Execução
OP 30.01a	Remover a fita adesiva do rolo de fitas	NVA	5,24s
OP 30.01b	Colocar a fita adesiva na parte frontal lateral esquerda do TFT	VA	1,08s

Após esta divisão identificou-se uma sub-tarefa sem valor acrescentado em cada uma das operações, a OP 20.01a e a OP 30.01a, com um elevado tempo de execução, 5,07 segundos e 5,24 segundos, respetivamente.

4.1.2. OP 70 e OP 80

As operações OP 70 e OP 80 com tempos de ciclo razoavelmente baixos foram, no entanto, identificadas como operações com tempo de ciclo elevado, de acordo com a análise visual realizada.

Estas operações encontram-se posicionadas em série na linha de montagem, no entanto, realizam a mesma operação (i.e. a mesma peça), e apesar do seu percurso incluir as duas operações, esta não é processada em ambas mas apenas numa. Assim sendo, de forma a que as operações sejam realizadas em paralelo, existe um elevador em cada operação que eleva a peça para que, enquanto esta está a ser processada, outras paletes possam circular livremente.

Encontra-se em seguida o funcionamento das duas operações passo a passo:

- 1- Peça 1 avança para a operação OP 70;
- 2-Elevador 1 eleva a peça 1 e esta é fixada à aparafusadora 1;
- 3-Elevador 1 retorna à posição inicial;
- 4- Peça 2 avança para operação OP 80;
- 5- Elevador 2 eleva a peça 2 e esta é fixada à aparafusadora 2;
- 6- Elevador 2 retorna à posição inicial;
- 7- Peça 1 acaba de ser processada;
- 8- Elevador 1 ascende e coloca a peça 1 no tapete rolante;
- 9-Peça 1 avança para a operação OP 85;
- 10-Peça 3 avança para operação OP 70;
- 11-Elevador 1 eleva a peça 3 e esta é fixada à aparafusadora 1;
- 12- Elevador 1 retorna à posição inicial;

13-Peça 2 acaba de ser processada;

14-Elevador 2 ascende e coloca a peça 2 no tapete rolante;

15-Peça 2 avança para operação OP 85.

Este método foi implementado com o intuito de minimizar o tempo em fila de espera das peças a serem processadas por estas duas operações. Contudo, existem grandes perdas de tempo na esperas pelos elevadores pois, a partir do momento em que existe a ascensão de um elevador, a circulação das paletes fica impossibilitada, e apenas retornam o seu percurso quando o elevador regressa à sua posição inicial. Isto proporciona quatro possíveis situações de espera:

1ª- Quando o elevador da operação OP 70 se encontra fora da posição inicial e não existe nenhuma peça na operação OP 80 (figura 4.2)

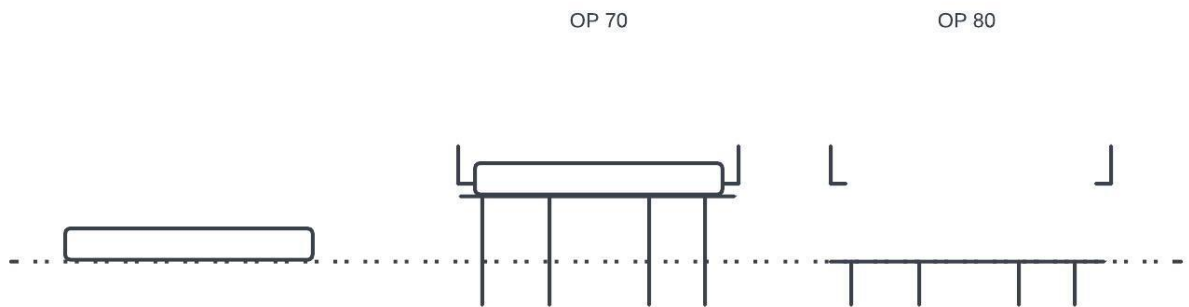


Figura 4.2 - Primeira situação de espera no processo de elevação

2ª- Quando o elevador da operação se encontra fora da posição inicial e a peça acabada de processar na operação OP 70 está pronta para avançar para a operação OP 85 (figura 4.3)

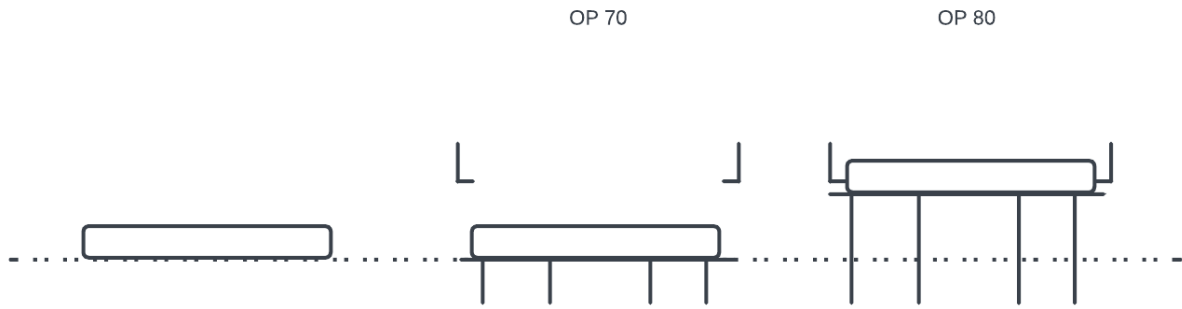


Figura 4.3 - Segunda situação de espera no processo de elevação

3ª- Quando uma peça avança para a operação OP 80 e em simultâneo a peça na operação OP 70 acaba de ser processada (figura 4.4)

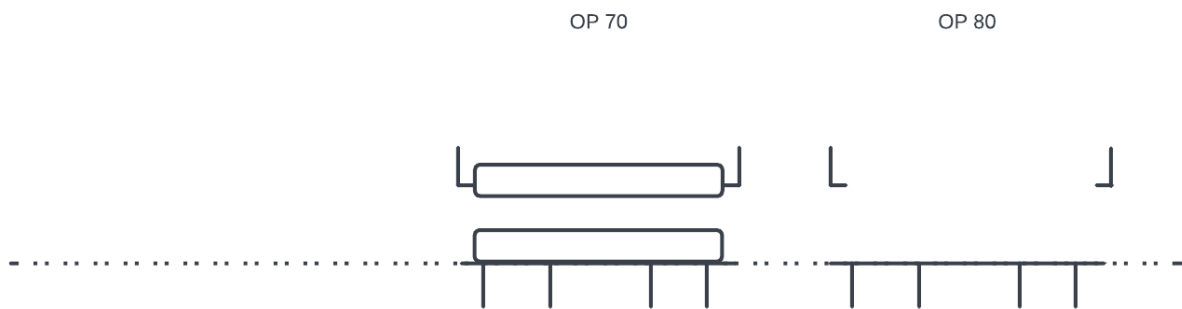


Figura 4.4 - Terceira situação de espera no processo de elevação

4ª- Quando uma paleta acabada de processar avança para a operação OP 85 e em simultâneo a peça na operação OP 80 acaba de ser processada (figura 4.5)

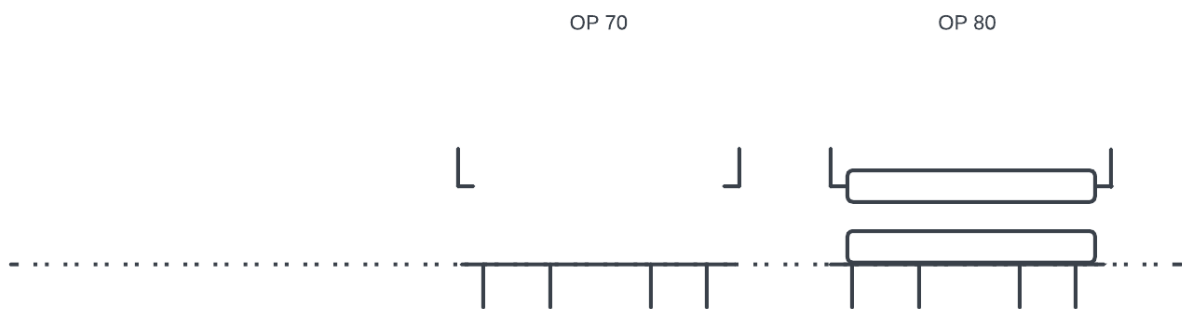


Figura 4.5 - Quarta situação de espera no processo de elevação

Visto que estas situações ocorrem apenas em certas condições, e que o tempo perdido é variável, o tempo de espera resulta das situações explicadas anteriormente é obtido a partir de uma estimativa. Este processo já tinha sido, anteriormente, objeto de estudo por parte da empresa, e por isso, este foi um dado fornecido pela empresa. O tempo de espera por peça estimado, englobando as quatro situações é cerca de 6,39 segundos.

Logo, de forma a obter o tempo de ciclo real destas operações foram adicionados 6,39 segundos a cada uma, obtendo um tempo de ciclo de 22,43 segundos para a operação OP 70, e um tempo de ciclo de 22,18 segundos para a operação OP 80, tornando-se assim operações com tempos de ciclo muito elevados e aproximados ao tempo de ciclo da linha.

4.1.3. Reabastecimento

Ao longo das várias estações incluídas na linha de montagem existem certas estações que operam com recurso a certas matérias-primas, tais como: parafusos, fitas adesivas, cola estrutural, microfones, etiquetas e certos componentes pré-fabricados. Na linha em questão o processo de reabastecimento é necessário pois, na maioria dos casos, este é realizado através de uma sinalização (Andon). Esta apenas indica a ocorrência de uma anomalia na máquina, e apenas ao observar o ecrã que cada operação possui (posicionado no interior da linha) é possível perceber qual a anomalia.

Uma das anomalias trata-se da rotura de matéria-prima, o que resulta numa paragem da operação que conseqüentemente faz com que a produção tenha de ser interrompida, pois impossibilita a passagem das peças que estão prestes a dar entrada na mesma.

De forma a entender melhor o processo de reabastecimento foram inicialmente identificadas as operações que o requeriam, na seguinte tabela encontram-se apresentadas as operações que utilizam matéria-prima, e a respetiva matéria-prima utilizada.

Tabela 4.5 - Matéria-prima de cada operação.

Operação	Matéria-prima
OP 10	PAFPs e Etiquetas
OP 20	Fitas adesivas
OP 30	Fitas adesivas
OP 40b	Cola estrutural
OP 50	Microfones e PCBs
OP 60	Capa traseira
OP 70	Parafusos
OP 80	Parafusos
OP 85	Parafusos
OP 90	Etiquetas
OP 120	Etiquetas

Após a identificação de todas as operações com necessidade de reabastecimento, começou-se por estudar a forma como cada operação é reabastecida de forma mais detalhada, incluindo o percurso realizado em cada reabastecimento.

Na figura 4.6 está apresentada a planta da linha de montagem com a identificação de cada operação e da respetiva zona de armazenagem, que será utilizada para demonstrar os percursos de reabastecimentos a partir de diagramas de esparguete. Nestes diagramas está representado a azul, o percurso a ser realizado desde a operação até ao local de armazenagem da respetiva matéria-prima, a vermelho, o percurso realizado desde o local de armazenagem da respetiva matéria-prima e até à operação, e a verde, está apresentado o percurso no caso de ser realizado o mesmo trajeto nas duas situações referidas anteriormente.

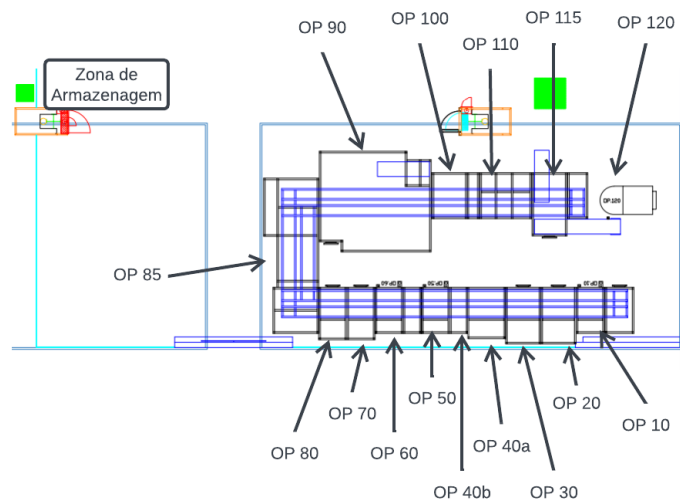


Figura 4.6 - Planta da linha de montagem com identificação de operações e zona de armazenagem

4.1.3.1. OP 10

Nesta operação é realizado o reabastecimento de duas matérias-primas. A primeira trata-se dos PAFPs que vêm diretamente da linha de *Pre Assembly* que produz de forma sempre satisfazer as necessidades da linha de *Final Assembly*. Os PAFPs são transportados em lotes de 80 unidades para a zona de armazenagem das linhas de montagem, estrategicamente posicionadas de forma a abastecer todas as linhas de montagem, onde permanecem até que sejam reabastecidos na linha de montagem, com recurso a um *mizusumashi*, quando o stock em linha é de 40 unidades.

A segunda matéria-prima trata-se de etiquetas que são colocadas nos PAFPs com o propósito de identificar cada painel de instrumentos, estas são abastecidas na impressora localizada na referida operação. As etiquetas são reabastecidas diretamente da zona de armazenagem da linha de *Final Assembly* em questão pelo técnico da linha num rolo de etiquetas que possui 2000 unidades, o que resulta num reabastecimento de aproximadamente uma vez por dia.

Foi estudado o percurso realizado pelo técnico da linha quando se esgotam as etiquetas na impressora desta operação (figura 4.7), sendo que este percorre uma distância total de 42 metros.

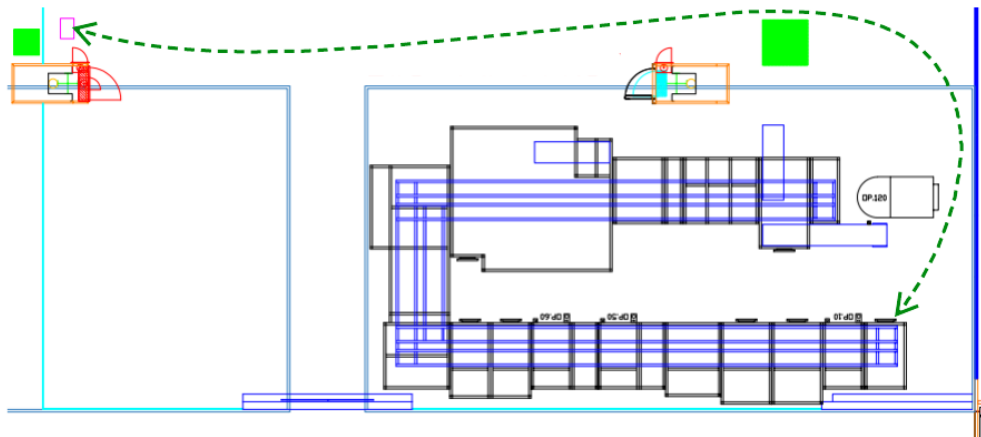


Figura 4.7 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 10

4.1.3.2. OP 20 e OP 30

Nestas operações é realizado o reabastecimento de uma matéria-prima comum a ambas as operações de *Final Assembly*, fitas adesivas. As fitas adesivas são reabastecidas num rolo que é armazenado na zona de armazenagem da linha de montagem num frigorifico para que as propriedades da cola estrutural não sejam perdidas. O rolo encontra-se na parte traseira da

máquina que faz uso das fitas adesivas, e contém 1300 fitas adesivas, o que se traduz numa média de 3 reabastecimentos por dia, sendo que são utilizadas duas fitas por cada painel de instrumentos.

A pessoa responsável pelo reabastecimento das fitas adesivas é o técnico da linha; na figura 4.8 e 4.9 encontra-se apresentado o percurso realizado pelo mesmo no reabastecimento, onde são percorridos 48 metros para cada uma das operações.

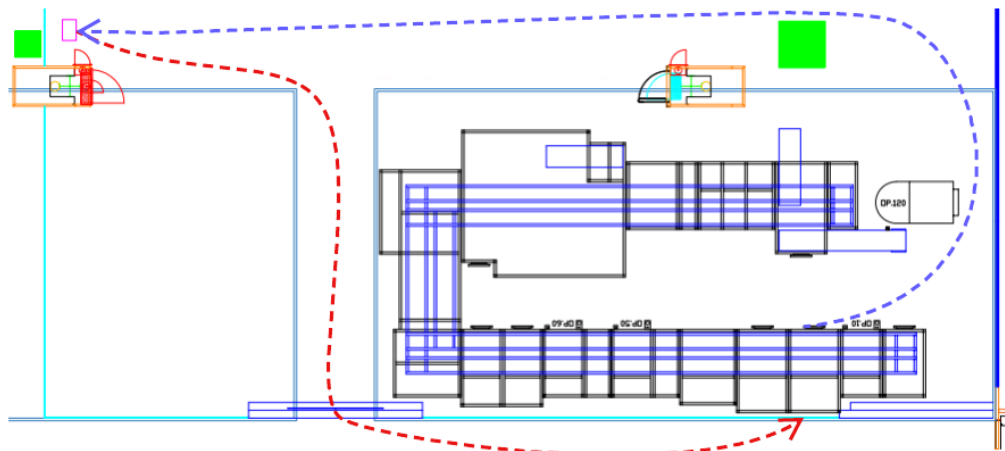


Figura 4.8 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 20

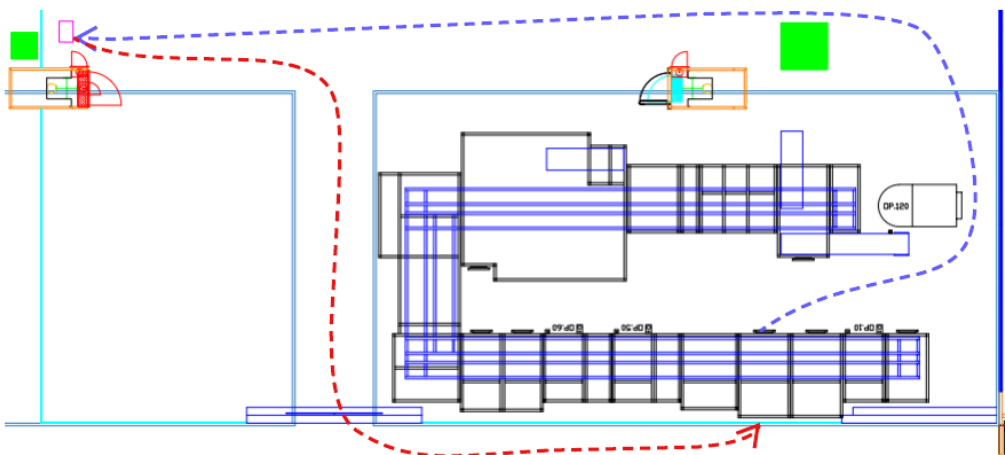


Figura 4.9 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 30

4.1.3.3. OP 40b

A operação OP 40 utiliza cola estrutural cuja numa embalagem de dispensação é reabastecida, pelo técnico da linha, a partir da parte traseira da máquina. Visto que a embalagem de dispensação se encontra armazenada num compartimento debaixo da máquina que pode ser acedido, também pela retaguarda, distância percorrida no percurso realizado pelo técnico no reabastecimento desta operação (figura 4.10) soma apenas de 22 metros, pois a zona de armazenagem é localizada na própria máquina.

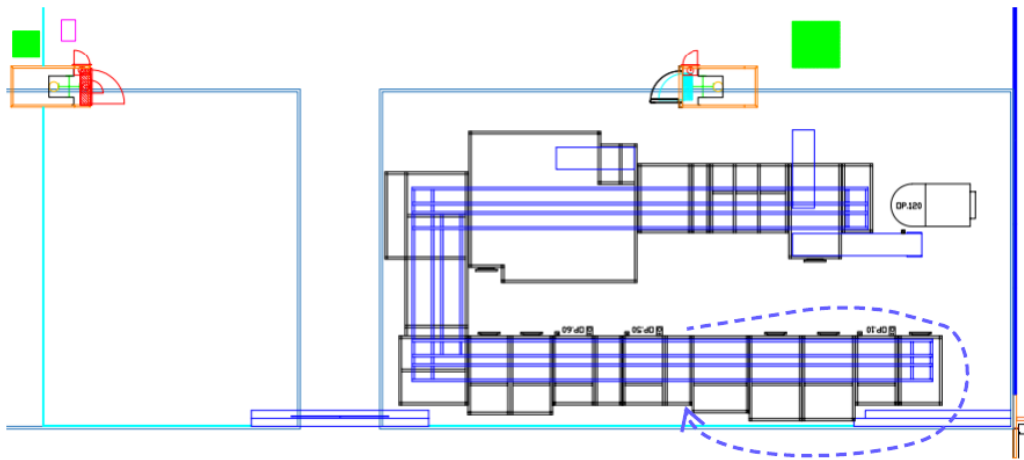


Figura 4.10 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 40b

4.1.3.4. OP 50 e OP 60

Na operação OP 50 são utilizadas duas matérias-primas que são aplicadas pelos operadores, estas são um altifalante, e uma PCB por painel de instrumentos produzido, sendo que se encontram na zona de armazenagem da linha de montagem, e que ambas são reabastecidas pelo *mizusumashi*. Na operação OP 60, por outro lado, é apenas utilizado um recurso, uma capa traseira do painel de instrumentos por peça, e estas são armazenadas no mesmo local que os recursos utilizados na operação anterior.

O momento de reabastecimento para ambas as operações é realizado a partir da comunicação entre o *mizusumashi* e o operador, que ao ver o *mizusumashi* num dos seus percursos de reabastecimento indica a necessidade de reabastecimento. Tal é realizado em lotes de 6 caixas de 25 unidades para os altifalantes, ou seja, 150 unidades no total, e no caso das PCBs, estas são reabastecidas em lotes de 80 unidades, o que resulta numa necessidade de

reabastecimento de cerca de 13 vezes por dia; para as capas traseiras a necessidade de reabastecimento é de 25 vezes por dia.

O percurso realizado pelo *mizusumashi* soma uma distância total de 48 metros para ambos os reabastecimentos, dos altifalantes e das PCBs, e no reabastecimento da operação OP 60 são percorridos 34 metros. Em seguida encontra-se o percurso realizado pelo *mizusumashi* em ambos os reabastecimentos das operações OP 50 e OP 60.

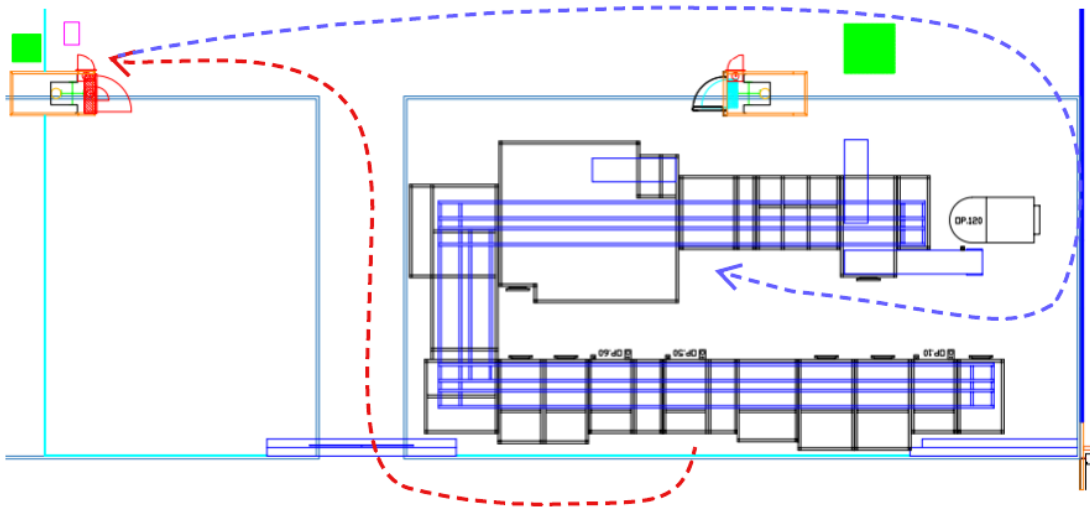


Figura 4.11 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 50

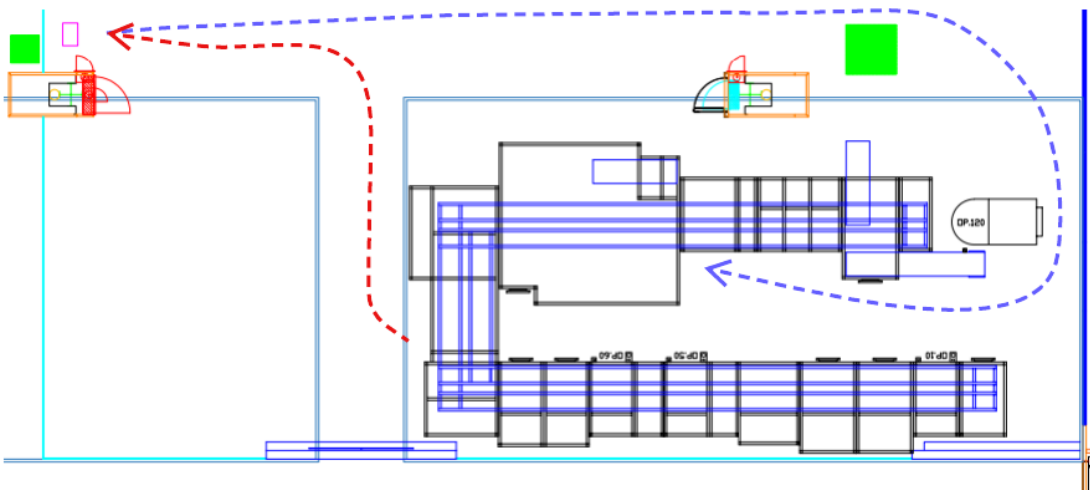


Figura 4.12 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 60

4.1.3.5. OP 70, OP 80 e OP 85

As operações OP 70 e OP 80 são bastante semelhantes, não só relativamente ao seu processo mas também aos recursos utilizados, como referido anteriormente. A operação OP 85 apesar de apresentar algumas diferenças comparativamente às duas operações referidas, o seu processo apresenta também algumas parecenças e, portanto, todas estas operações utilizam o mesmo recurso (parafusos). Estes são guardados na zona de armazenagem da linha de montagem e são reabastecidos pelo técnico da linha em lotes de 2000 unidades, resultando numa necessidade de reabastecimento de 2 vezes por dia, no caso das operações OP 70 e OP80 que colocam 4 parafusos por peça, e cerca de 5 vezes por dia no caso da operação OP 85 que coloca 5 parafusos por peça.

Nas seguintes imagens está representado o percurso percorrido pelo técnico da linha de montagem no reabastecimento em cada uma das três operações onde são percorridos 48 metros para ambas as operações OP70 e OP 80, e 64 metros para a operação OP 85.

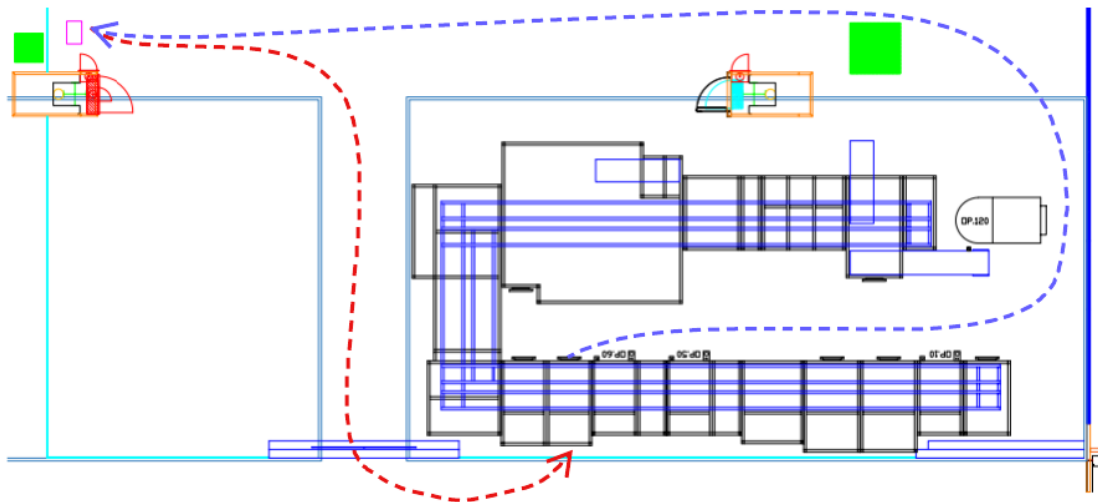


Figura 4.13 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 70.

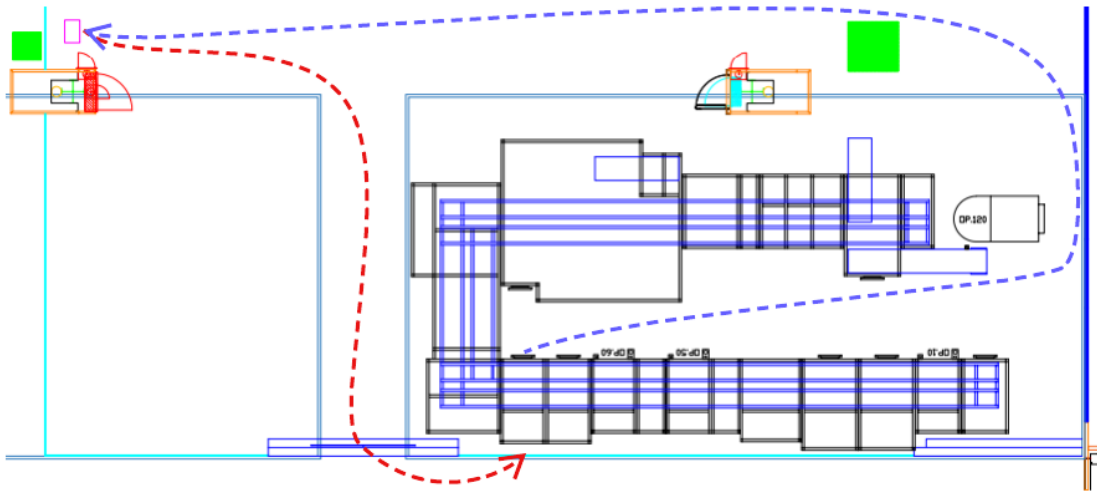


Figura 4.14 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 80.

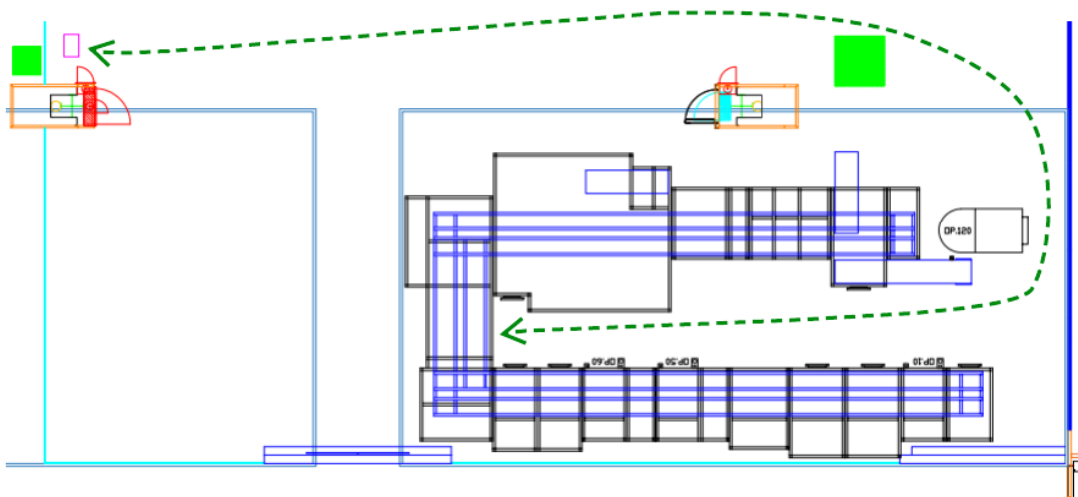


Figura 4.15 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 85.

4.1.3.6. OP 90

Nesta operação não é necessária a utilização de recursos para desenvolver as suas principais funções, no entanto, é colocada uma etiqueta, imprimida no momento, como forma de confirmar o software instalado no painel de instrumentos e também se este foi instalado corretamente. Estas etiquetas são, neste caso, o material com necessidade de reabastecimento, que é realizado pelo técnico da linha.

As etiquetas são guardadas na zona de armazenagem da linha de montagem, e vêm em rolos de 2000 etiquetas o que resulta numa necessidade de reabastecimento de 1 vez por dia. A

impressora fica localizada na traseira da zona onde é realizada a operação e o técnico da linha percorre 64 metros no seu percurso (figura 4.16).

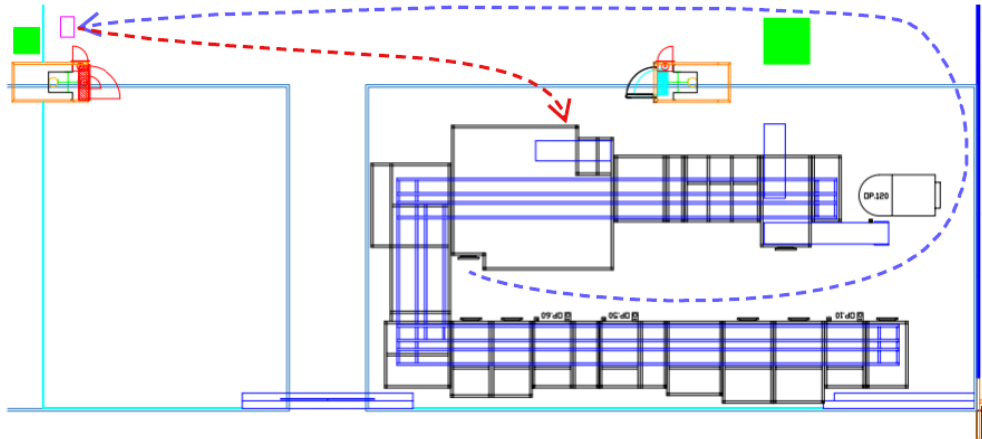


Figura 4.16 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 90

4.1.3.7. OP 120

Na última operação da linha de montagem onde são realizados vários tipos de testes, é também colocada uma etiqueta de forma a indicar se o produto está em conformidade com os requisitos da qualidade. Estas etiquetas são, armazenadas no mesmo local que as restantes, isto é, na zona de armazenagem da linha de montagem em rolos de 2000 unidades, e visto que é apenas colocada uma etiqueta por peça, é gerada uma necessidade de reabastecimento de 1 vez por dia, realizado pelo técnico da linha. No percurso (figura 4.17) realizado, a distância total soma 38 metros.

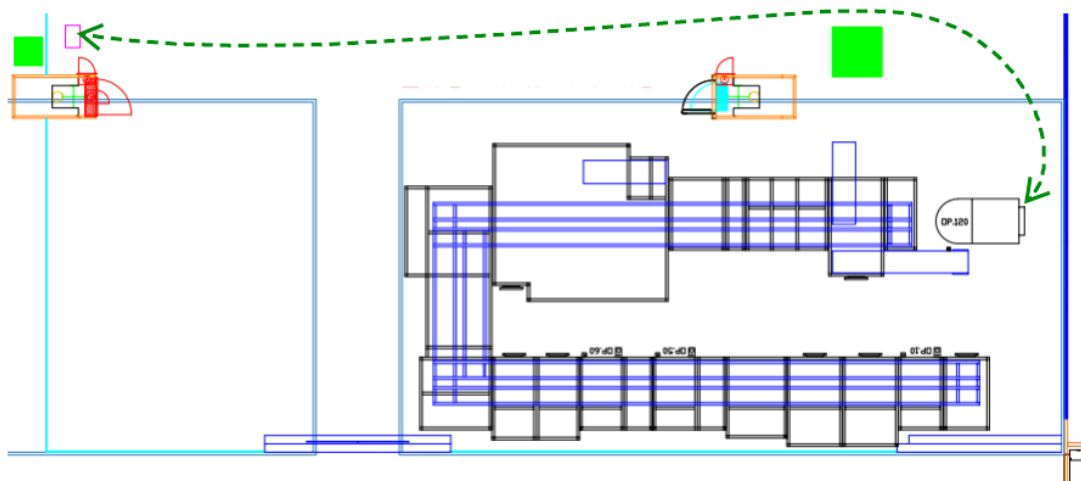


Figura 4.17 - Percurso de reabastecimento atual da operação OP 120.

4.2. Apresentação de Medidas Propostas

A análise realizada possibilitou a identificar as operações com mais impacto na capacidade produtiva da linha de montagem. Deste modo, são apresentadas no presente subcapítulo as medidas propostas para cada uma das operações.

A. OP 20 e OP 30

Com a análise realizada a ambas as estações notou-se que as sub-tarefas OP 20.01a e OP 30.01a não acrescentam valor ao produto, e por isso foi estudada uma forma de as retirar do processo. Começou-se por realizar uma adaptação dos diagramas de Gantt de ambas as operações, sendo que estes foram anteriormente mencionados para que fossem analisados, e consequentemente fosse possível compreender se estas sub-tarefas poderiam ser realocadas. Na figura 4.18 encontra-se o diagrama de Gantt referente às tarefas da operação OP 20.

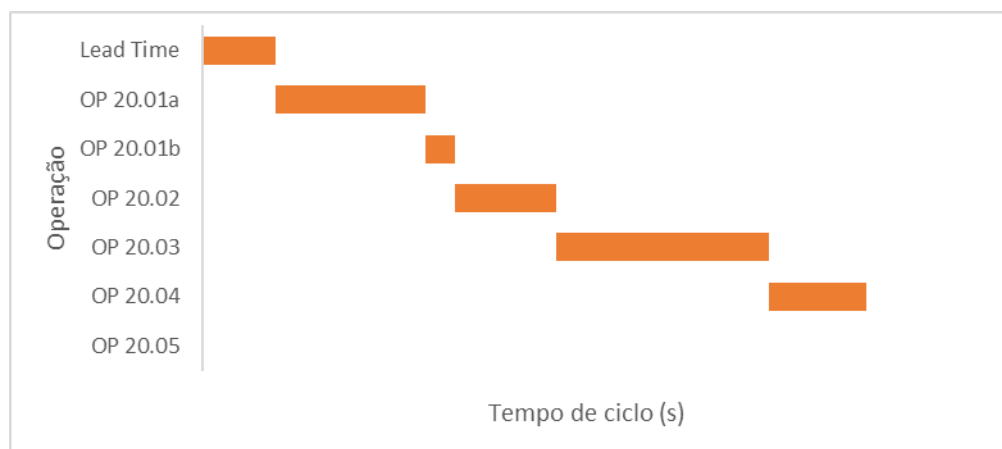


Figura 4.18 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 20 (atual).

Na tabela 4.6 encontram-se apresentados os tempos de ciclo de cada tarefa da operação OP 20.

Tabela 4.6 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 20 (atuais).

	Início da tarefa (s)	Tempo de ciclo (s)	Fim da tarefa (s)
Lead Time	0,00	2,498	2,50
OP 20.01a	2,50	5,07	7,57
OP 20.01b	7,57	1,03	8,60
OP 20.02	8,60	3,43	12,03
OP 20.03	12,03	7,21	19,24
OP 20.04	19,24	3,30	22,54
OP 20.05	22,54	3,84	26,38

Na figura 4.19 encontra-se o diagrama de Gantt referente às tarefas da operação OP 30.

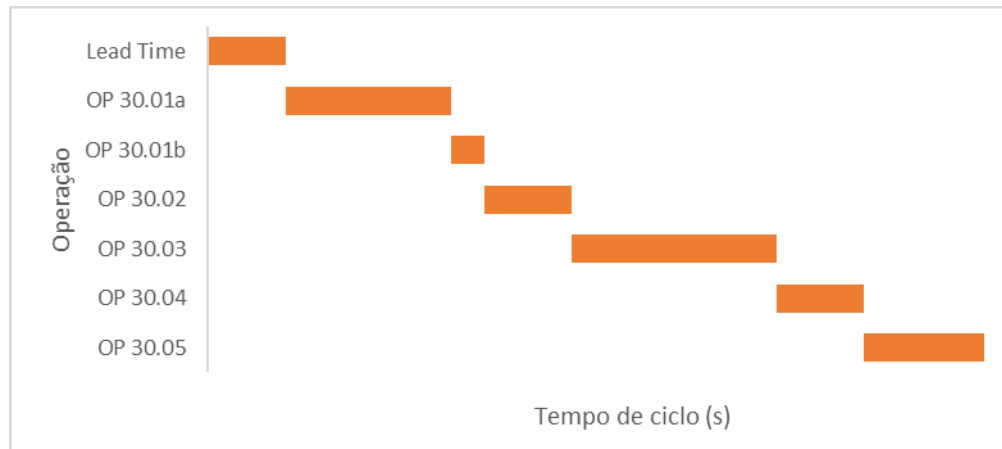


Figura 4.19 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 30 (atual).

Na tabela 4.7 encontram-se apresentados os tempos de ciclo de cada tarefa da operação OP 30.

Tabela 4.7 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 30 (atuais)

Tarefas	Início da tarefa (s)	Tempo de ciclo (s)	Fim da tarefa (s)
Lead Time	0,00	2,49	2,49
OP 30.01a	2,49	5,24	7,73
OP 30.01b	7,73	1,08	8,81
OP 30.02	8,81	2,75	11,56
OP 30.03	11,56	6,53	18,09
OP 30.04	18,09	2,77	20,86
OP 30.05	20,86	3,85	24,71

Visto que as sub-tarefas OP 20.01a e OP 30.01a não necessitam da presença da peça para serem realizadas, e existe um lead time de 2,5 segundos em ambas as operações, foi decidido que estas sub-tarefas poderiam começar a ser realizadas no momento em que a peça anterior acaba de ser processada. Assim sendo, obtêm-se os seguintes diagramas de Gantt e respectivos tempos de ciclo.

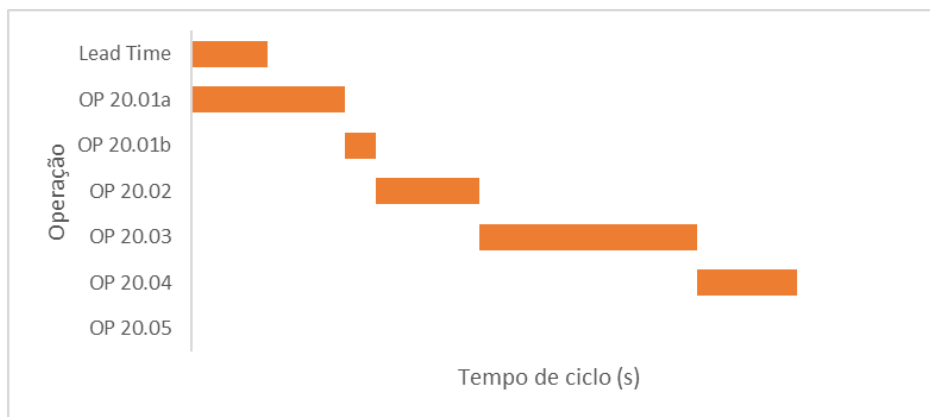


Figura 4.20 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 20 com as alterações propostas.

Na tabela 4.8 encontram-se apresentados os tempos de ciclo de cada tarefa da operação OP 20 com as alterações propostas.

Tabela 4.8 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 20 com as alterações propostas.

	Início da tarefa (s)	Tempo de ciclo (s)	Fim da tarefa (s)
Lead Time	0,00	2,498	2,50
OP 20.01a	0,00	5,07	5,07
OP 20.01b	5,07	1,03	6,10
OP 20.02	6,10	3,43	9,53
OP 20.03	9,53	7,21	16,74
OP 20.04	16,74	3,30	20,04
OP 20.05	20,04	3,84	23,88

Na figura 4.21 encontra-se o diagrama de Gantt referente às tarefas da operação OP 20.

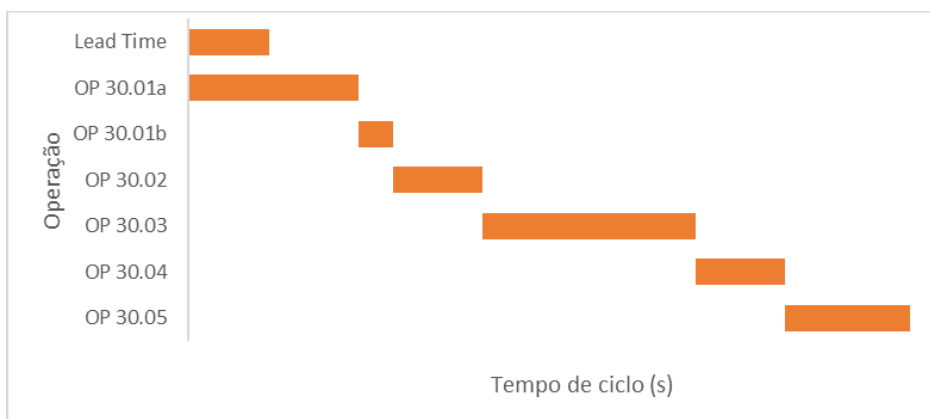


Figura 4.21 - Adaptação do Diagrama de Gantt da operação OP 30 com as alterações propostas.

Tabela 4.9 - Tempos de ciclo das tarefas da operação OP 30 com as alterações propostas.

Tarefas	Início da tarefa (s)	Tempo de ciclo (s)	Fim da tarefa (s)
Lead Time	0,00	2,50	2,5
OP 30.01a	0,00	5,24	5,24
OP 30.01b	5,24	1,08	6,32
OP 30.02	6,32	2,75	9,07
OP 30.03	9,07	6,53	15,6
OP 30.04	15,60	2,77	18,37
OP 30.05	18,37	3,85	22,22

Ao começar esta sub-tarefa assim que a última peça é processada obtém-se então uma redução no tempo de ciclo das operações OP 20 e OP 30 de 2,5 segundos por cada peça processada, passando de 26,38 segundos para 23,88 segundos, e 24,72 segundos para 22,22 segundos, respetivamente.

B. OP 70 e OP 80

a) Restrições

Ao estudar as operações OP 70 e OP 80 notou-se que a sequência de aparafusamento seguia um padrão que levava o equipamento a percorrer distâncias consideráveis e desnecessárias, a distância percorrida. Desta forma, surgiu a possibilidade da alteração da ordem pela qual os parafusos são colocados na capa traseira do painel de instrumentos.

As operações em questão realizam apenas uma tarefa que trata do aparafusamento de quatro parafusos da capa traseira do produto, sendo os restantes cinco aparafusados na operação OP 85. De forma a identificar os locais de cada parafuso foram atribuídos números a cada um de acordo com a ordem de aparafusamento utilizada atualmente. A disposição dos parafusos e o trajeto realizado pela aparafusadora nestas duas operações encontra-se representado através de um grafo na figura 4.22.

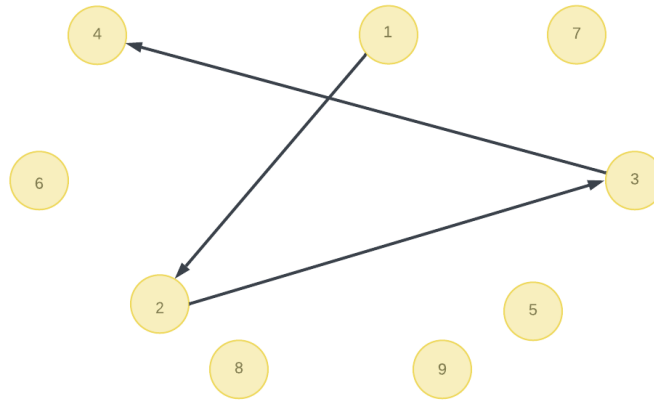


Figura 4.22 - Sequência de aparafusamento atual das operações OP 70 e OP 80.

A trajetória de aparafusamento apresentada anteriormente cumpre com certas restrições impostas pelo cliente, que evitam possíveis falhas neste processo percorrendo uma distância total de 67,5 centímetros por peça. O processo de aparafusamento requer uma alternância não só no lado em que os parafusos são colocados, mas também entre a parte superior e inferior da capa traseira. Essa restrição foi estabelecida para evitar uma ligeira elevação num dos lados da tampa, já que essa elevação pode resultar na incapacidade da aparafusadora em fixar os parafusos na parte elevada.

As restrições impostas pelo cliente requerem que os parafusos sejam colocados de forma alternada relativamente à parte inferior e superior e ao lado em que estes são colocados. No entanto, as possíveis trajetórias não são especificadas, por isso, com o intuito de facilitar o estudo de todas as trajetórias possíveis, foi proposta a divisão dos pontos de aparafusamento em quatro grupos. A divisão dos pontos de aparafusamento foi realizada da seguinte forma:

Grupo A: Furos 1 e 7

Grupo B: Furos 2, 6 e 8

Grupo C: Furos 3, 5 e 9

Grupo D: Furos 4

Para uma maior compreensão, os grupos encontram-se demonstrados na figura 4.23.

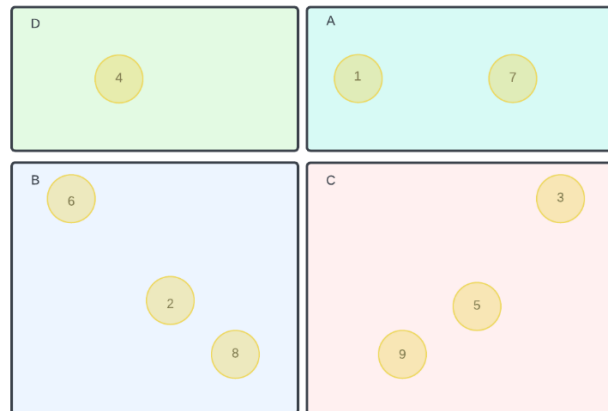


Figura 4.23 - Grupos de furos na traseira do painel de instrumentos.

Formulados os grupos avançou-se para o seguinte passo, a criação das restrições que cumpra com os requisitos do cliente. Depois de algumas reuniões e *brainstorming* chegou-se às seguintes restrições:

- 1^a- Não é permitido que mais do que 1 furo do mesmo grupo esteja presente na mesma sequência;
- 2^a- Uma sequência necessita de incluir pelo menos 1 ponto de cada grupo;
- 3^a- É necessário que furos do Grupo A e do Grupo B estejam posicionados consecutivamente na sequência, e o mesmo se aplica entre o Grupo C e o Grupo D.

As restrições impostas possibilitam apenas quatro sequências entre os grupos, (A-B-C-D), (A-B-D-C), (C-D-A-B) e (C-D-B-A), sendo que o sentido não é relevante pois não altera a distância percorrida. Desta forma os únicos dados em falta para a definição da melhor sequência de aparafusamento são as distâncias entre os furos da capa traseira do painel de instrumentos.

b) Código

Com uma régua de trinta centímetros foram retiradas todas as distâncias, em centímetros, entre o centro de cada furo apresentadas na tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Matriz de distâncias entre furos na traseira do paine de instrumentos.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	17,5	14,5	12	15	17	9	14	13
2	-	-	25	11,5	22,5	5,5	24	7	15,5
3	-	-	-	25	5,5	27,5	8	18,5	11
4	-	-	-	-	24	8	20,5	13,5	18,5
5	-	-	-	-	-	25	11,5	15,5	7
6	-	-	-	-	-	-	25	11	18,5
7	-	-	-	-	-	-	-	18,5	13,5
8	-	-	-	-	-	-	-	-	8,5
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Definidas as restrições para o percurso de aparafusamento e retiradas as distâncias entre furos, encontram-se todas as condições necessárias para obter o percurso com menor distância percorridas pelas aparafusadoras das operações OP 70 e OP 80, de acordo com os requisitos do cliente. Para tal foi utilizada a linguagem de programação Python, pois torna possível obter todas as possíveis sequências chegando assim mais facilmente à solução pretendida. Abaixo encontra-se o algoritmo utilizado, representado por pseudocódigo com o intuito de uma melhor percepção do código utilizado na resolução deste problema, que foi desenvolvido com recurso à biblioteca “itertools”, cuja função é gerar todas as combinações possíveis entre um certo número de elementos, neste caso entre nove elementos (existem nove furos), de um certo comprimento, neste caso comprimento quatro (sequência final contém apenas quatro furos)[69].

Algoritmo 1 - Cálculo da sequência ótima da trajetória realizada pelas aparafusadoras das operações OP 70 e OP 80

<p>Introduzir distâncias Import itertools</p> <p>Grupo_A = [1, 7] Grupo_B = [2, 6, 8] Grupo_C = [3, 5, 9] Grupo_D = [4]</p>	<p>Combinacoes = lista(itertools.combinations([1,2,3,4,5,6,7,8,9], 4))</p> <p>Melhor_combinacao=nenhuma</p> <p>Combinacoes_certas=[]</p> <p>Para Comb em Combinacoes:</p>
---	--

Algoritmo 1 - Cálculo da sequência ótima da trajetória realizada pelas aparafusadoras das operações OP 70 e OP 80 (continuação)

<p>Se algum(furo em Comb para furo em Grupo_A) e algum(furo em Comb para furo em Grupo_B) e algum(furo em Comb para furo em Grupo_C) e algum(furo em Comb para furo em Grupo_D) e Então adicionar Comb a Combinacoes_certas</p> <p>Numero_para_letra = {1: 'A', 2: 'B', 3: 'C', 4: 'D', 5: 'C', 6: 'B', 7: 'A', 8: 'B', 9: 'C'}</p> <p>Comb* = [('A','B','C','D'), ('A','B','D','C'), ('B','A','C','D'), ('B','A','D','C')]</p>	<p>Dicionario_letra_para_numero={}</p> <p>Combinacoes_todas=[]</p> <p>Para comb em Combinacoes_certas: Comb_letra=[numero_para_letra[num] para num em Comb]</p> <p>Para num em Comb: Dicionario_letra_para_numero[numero_para_letra[num]]=num</p> <p>Para ele em Comb*: Comb_todas=[Dicionario_letra_para_numero[letra] para letra em ele Adicionar Comb_todas a Combinacoes_todas</p> <p>Melhor_distancia=infinito</p> <p>Distancia_total=0</p> <p>Para combinação em Combinacoes_todas Para i em (1, 2, 3, 4) Distancia_total+= distancia entre i e i+1</p> <p>Se distancia_total < Melhor_distancia Então Melhor_distancia=distancia_total Então Melhor_rota=combinção</p> <p>Imprimir(Melhor_rota, Melhor_distancia)</p>
--	---

Após correr o código e chegar à sequência ótima, foi desenvolvido o algoritmo 2 representado por um pseudocódigo, de forma a perceber se existe mais do que uma sequência com a mesma distância percorridas.

Algoritmo 2 - Verificação de solução única no cálculo da sequência ótima para a trajetória das aparafusadoras das operações OP 70 e OP 80

<p>Melhor_distancia=infinito</p> <p>Para combinação em Combinacoes_todas Distancia_total=0</p> <p>Para i em (1, 2, 3, 4) Distancia_total+= distancia entre i e i+1</p> <p>Se Distancia_total==41,0: Imprimir combinação</p>
--

Finalizado o código obteve-se a sequência única e ótima (1, 8, 9, 4), apresentada na figura 4.24, com 41,0 centímetros percorridos, obtendo então uma redução de 26,5 centímetros no trajeto percorrido por ambas as aparafusadoras.

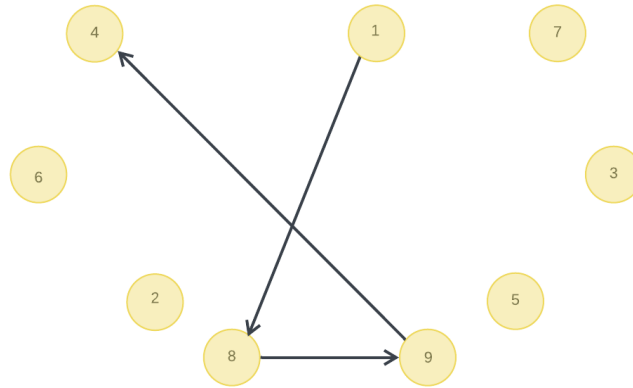


Figura 4.24 - Proposta da nova sequência de aparafusamento das operações OP 70 e OP 80.

C. OP 85

Tendo em conta que, após o processo de obtenção da melhor sequência para as operações OP 70 e OP 80 alguns dos parafusos antes aparafusados na operação OP 85 passaram a ser aparafusados nas duas operações anteriores, surgiu a necessidade de calcular, também, uma nova sequência de aparafusamento para a operação OP 85. Portanto, o processo para obtenção da melhor sequência desta operação segue os mesmos passos das operações anteriores.

a) Restrições

Os locais de parafusos que não estão presentes na sequência anterior são os furos 2, 3, 5, 6 e 7, e tendo em conta que a sequência atualmente utilizada nesta operação é (5, 6, 7, 8, 9), é então necessário a definição de uma nova sequência de aparafusamento incluído os furos 2 e 3 e excluindo os furos 8 e 9.

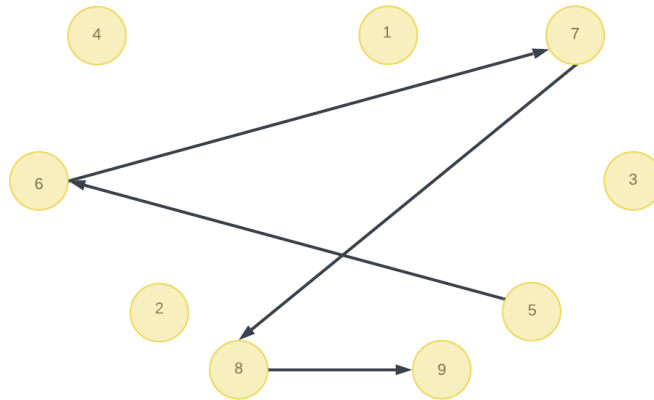


Figura 4.25 - Sequência de aparafusamento atual da operação OP 85.

O trajeto percorrido no percurso de aparafusamento atual da operação OP 85 percorre um total de 77 centímetros, seguindo as restrições impostas pelo cliente. As restrições a ter em conta na definição desta nova sequência são semelhantes às anteriores com a exceção de que, visto que neste caso existem cinco parafusos para serem aparafusados, apenas quatro deles necessitam de ser alternados entre si, não existindo a necessidade da existência desta alternância no último parafuso da sequência.

Inicialmente foi utilizada a mesma abordagem que na resolução do problema anterior, com a definição de grupos. No entanto, devido ao reduzido número de furos e de forma a facilitar a escrita do código, decidiu-se resolver utilizando apenas as designações dos próprios furos, o que aumenta o número de restrições. Desta forma avançou-se imediatamente para o passo seguinte, a definição das restrições, que, como referido anteriormente, são bastantes semelhantes às utilizadas anteriormente para as operações OP 70 e OP 80. As restrições são as seguintes:

- 1ª- Não é permitido que o furo 7 e o furo 3 estejam posicionados consecutivamente na sequência;
- 2ª- É necessário que o furo 5 e o furo 6 estejam posicionados consecutivamente e o mesmo se aplica para o furo 2 e o furo 3 ou para o furo 2 e 7;
- 3ª- A sequência é constituída por 5 furos.

Com a exceção de que não se aplica nenhuma destas restrições na definição do último ponto da sequência. Aplicando as respectivas restrições estas possibilitam apenas 16 sequências, mais uma vez tendo em conta que a ordem pela qual a sequência é realizada não é relevante.

b) Código

Definidas as restrições para o percurso de aparafusamento e com as distâncias entre furos anteriormente retiradas, é então possível mais uma vez utilizar a linguagem de programação Python para obter a sequência com menor distância percorrida. Abaixo encontra-se o pseudocódigo utilizado com o intuito de uma melhor percepção do código utilizado na resolução deste problema.

Algoritmo 3 - Cálculo da sequência ótima da trajetória realizada pela aparafusadora da operação OP 85

<pre> Inserir distâncias combinations = [("3", "2", "5", "6", "7"), ("3", "2", "6", "5", "7"), ("2", "3", "5", "6", "7"), ("2", "3", "6", "5", "7"), ("2", "7", "5", "6", "3"), ("2", "7", "6", "5", "3"), ("7", "2", "5", "6", "3"), ("7", "2", "6", "5", "3"), ("5", "6", "3", "2", "7"), ("5", "6", "2", "3", "7"), ("5", "6", "7", "2", "3"), ("5", "6", "2", "7", "3"), ("6", "5", "3", "2", "7"), ("6", "5", "2", "3", "7"), ("6", "5", "2", "7", "3"), ("6", "5", "7", "2", "3")] </pre>	<pre> melhor_distancia = infinito para combinacao em combinacoes: distancia_total = 0 Para i em (1, 2, 3, 4, 5) distancia_total+= distancia entre i e i+1 Se distancia_total < melhor_distancia Então melhor_distancia=distancia_total melhor_sequencia = combinação Imprimir melhor_sequencia </pre>
---	---

A obtenção desta nova sequência implicou um código bastante mais simples que no problema anterior pois, visto que as sequências possíveis eram relativamente poucas foi possível inseri-las manualmente no código, o que tornou possível a substituição das restrições que seriam bastante mais complicadas de serem descritas.

Foi então obtida a sequência (7, 2, 6, 5, 3), apresentada na figura 4.26 que resulta numa distância total de 60,0 centímetros, ou seja, uma redução de 17 centímetros no percurso realizado pela aparafusadora da operação OP 85.

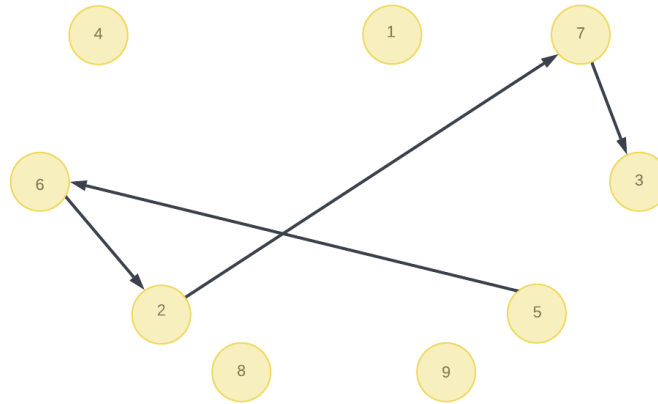


Figura 4.26 - Proposta da nova sequência de aparafusamento da operação OP 85.

D. Reabastecimento

Na análise do reabastecimento foi notada uma clara ineficiência no reabastecimento realizado tanto pelo técnico da linha como pelo *mizusumashi*, especialmente causada pela localização incorreta da zona de armazenagem da linha de montagem, e por isso foi estudada a alteração da localização da zona de armazenagem da linha.

No entanto o espaço na linha de montagem é escasso e existe também a necessidade da presença de uma tomada elétrica de forma a poder fornecer energia ao frigorífico onde são armazenadas as fitas adesivas. Ao analisar o espaço sem uso da linha de montagem foram encontrados 2 locais de armazenamento para onde se podem alterar o frigorífico e o material correspondente às operações OP 10, OP 70, OP 80, OP 85, OP 90 e OP 120, apresentados na figura 4.27.

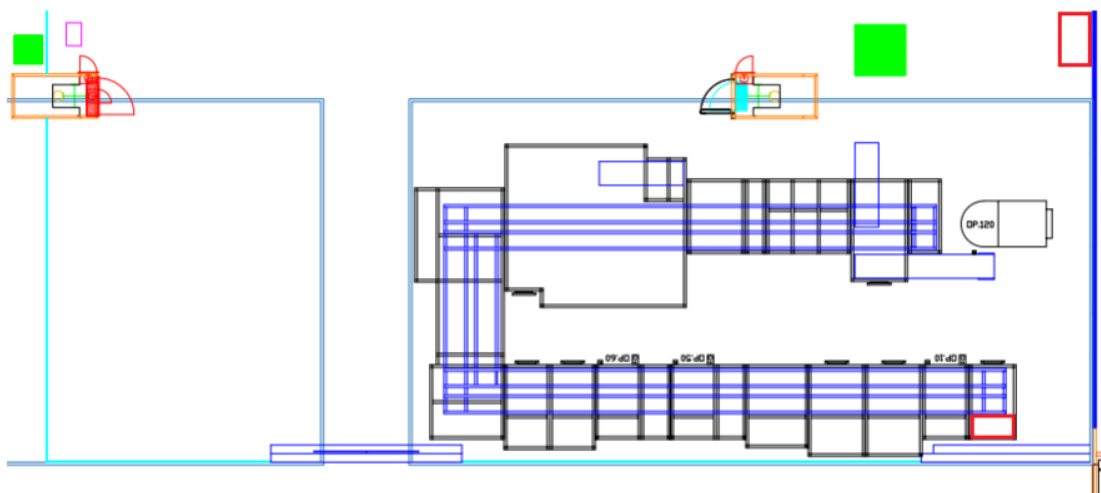


Figura 4.27 - Planta da linha de montagem com as novas zonas de armazenagem.

Os dois retângulos vermelhos representam a proposta das novas localizações, o primeiro local decidido para a nova zona de armazenagem da linha de montagem foi o retângulo colocado no início da linha, este é um espaço não utilizado onde está colocada a impressora das etiquetas utilizadas na primeira operação (OP 10). A impressora ocupa apenas uma pequena área deste local, deixando a maioria do espaço livre, o necessário para colocar todas as matérias primas utilizadas.

Contudo, nesta área não existe nenhuma fonte de energia, ou seja, não existe a possibilidade de armazenar as fitas adesivas utilizadas nas estações OP 20 e OP 30, logo foi decidido colocar o frigorífico no corredor superior e encostado à parede lateral direita, pois esta é uma zona fora de uso na qual existe uma tomada que consegue fornecer a energia necessária para o frigorífico trabalhar nas condições requeridas.

4.2.1.1. Percurso de reabastecimento

Com a alteração da localização da zona de armazenagem da linha de montagem, é alterado também o percurso realizado pelo técnico da linha, logo, de forma a demonstrar o novo percurso foram desenvolvidos diagramas de esparguete com o percurso realizado no reabastecimento de cada uma das operações reabastecidas pelo técnico da linha.

A figura 4.28 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 10.

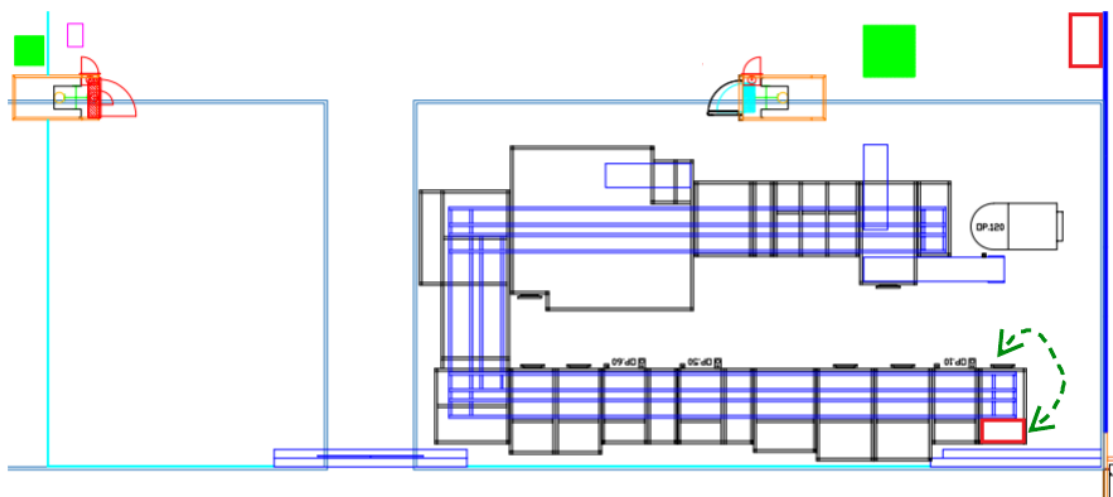


Figura 4.28 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 10.

A figura 4.29 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 20.

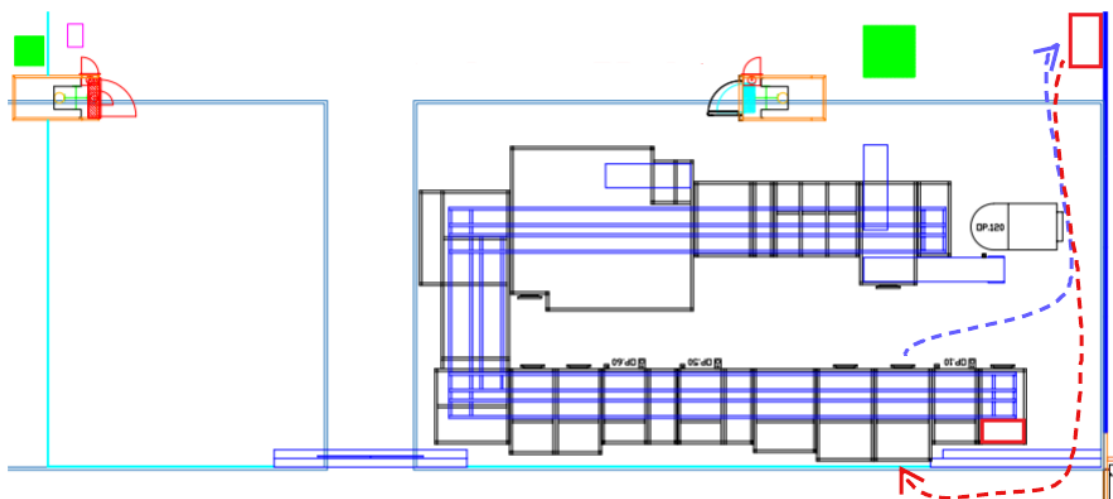


Figura 4.29 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 20.

A figura 4.30 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 30.

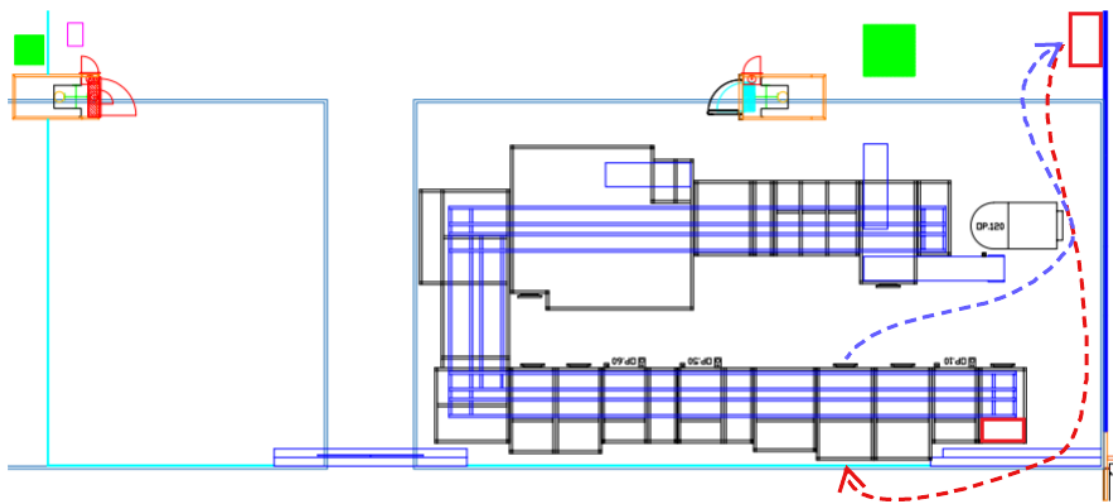


Figura 4.30 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 30.

A figura 4.31 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 70.

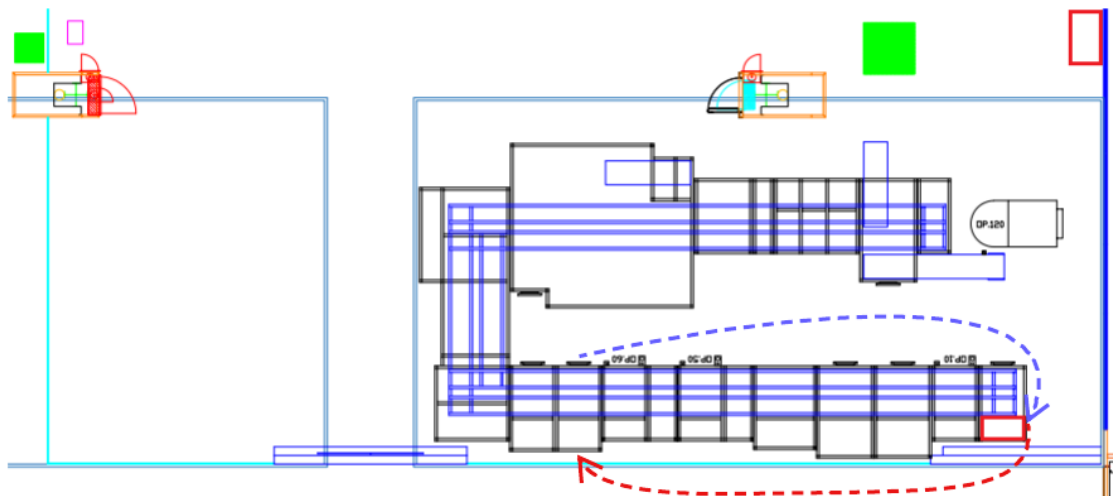


Figura 4.31 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 70.

A figura 4.32 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 80.

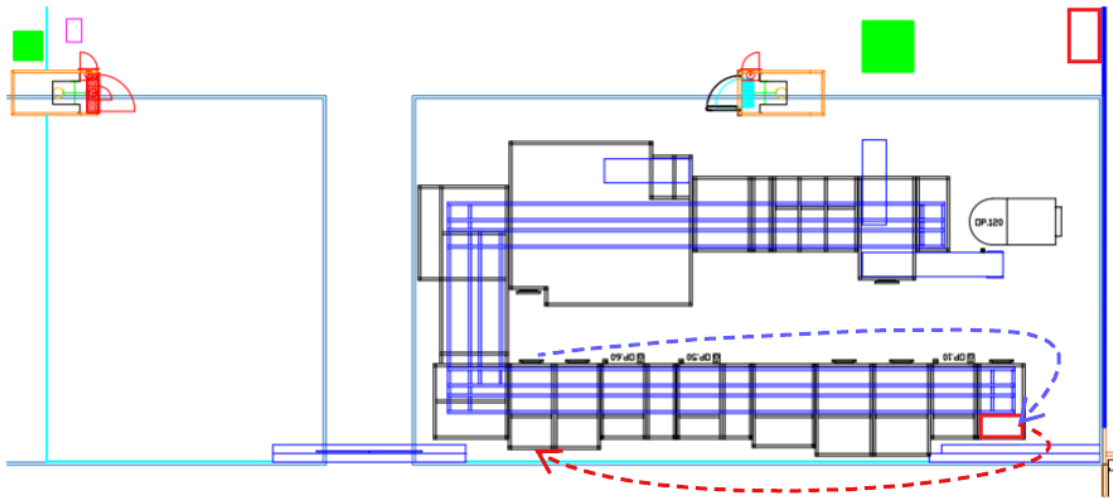


Figura 4.32 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 80.

A figura 4.33 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 85.

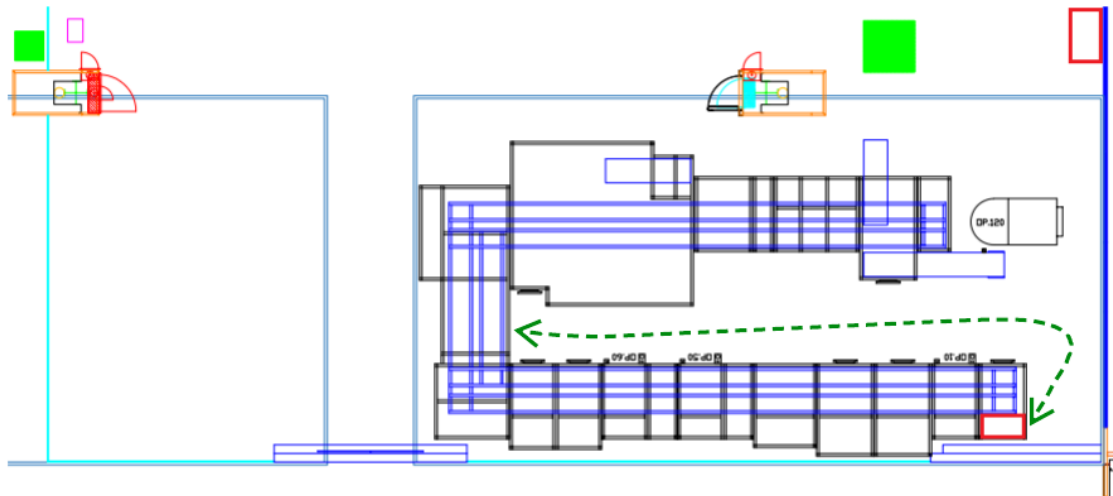


Figura 4.33 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 85.

A figura 4.34 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 90.

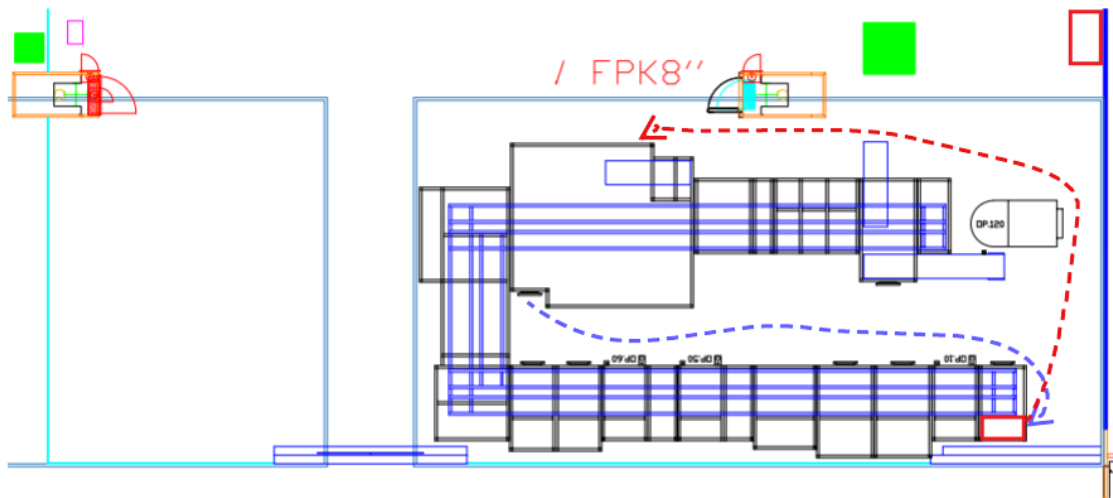


Figura 4.34 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 90.

A figura 4.35 é possível o percurso realizado pelo técnico da linha com as alterações propostas para o reabastecimento da operação OP 120.

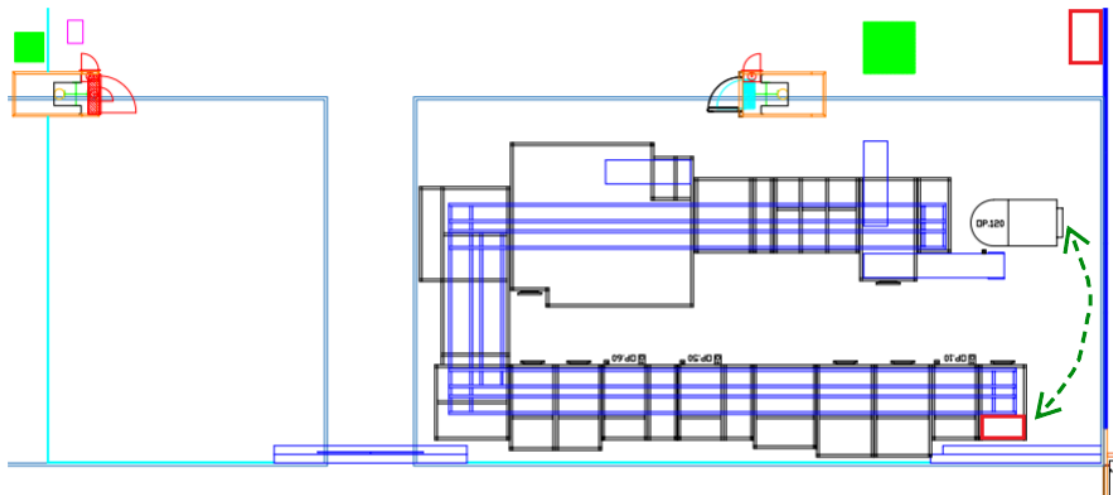


Figura 4.35 - Percurso de reabastecimento proposto da operação OP 120.

Com as alterações propostas, a distância do percurso de reabastecimento de todas as operações reabastecidas pelo técnico da linha, sofrem uma redução. Desta forma as distâncias percorridas no reabastecimento de cada uma destas operações são as seguintes:

Tabela 4.11 - Distâncias percorridas do novo percurso de reabastecimento de cada operação.

Operação	Distâncias (m)
OP 10	2
OP 20	21
OP 30	23
OP 70	31
OP 80	33
OP 85	30
OP 90	30
OP 120	6

4.2.1.2. OP 50

Nesta operação o processo de reabastecimento é pouco eficiente, uma vez que é realizado a partir da comunicação verbal entre o operador e o *mizusumashi*, o que pode gerar alguns atrasos, e por isso, foi estudada a possibilidade de o alterar.

Notou-se a existência de um compartimento com 2 prateleiras, com acesso à parte traseira da linha de montagem, entre as operações OP 50 e OP 60 com a largura necessária para uma caixa de altifalantes, altura para a mesma quantidade de caixas atualmente abastecidas (6 caixas), deixando uma certa folga para poderem ser retirados os altifalantes e profundidade para 2 caixas.

Desta forma foi sugerida a implementação de um sistema adaptado de *Kanban Two Bin System* onde a prateleira inferior é utilizada como o ponto de reabastecimento e a prateleira superior como ponto de retorno de caixas vazias (figura 4.36).

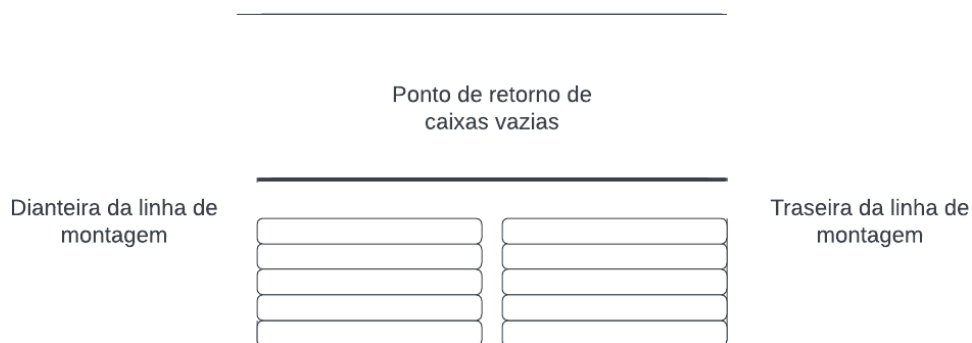


Figura 4.36 - Esquema de kanban de altifalantes.

Ao aplicar esta medida elimina-se a necessidade de comunicação verbal, visto que é facilmente identificável pelo *mizusumashi* a necessidade de reabastecimento a partir de uma análise visual, durante um dos seus percursos de reabastecimento, ao observar a existência de uma quantidade igual ou superior a seis caixas vazias na prateleira de retorno, este sabe que existe a necessidade de reabastecer outras seis caixas de altinates a esta operação.

4.3. Discussão de Resultados

Mediante a aplicação de certas ferramentas de *Lean* nas operações mencionadas, as propostas de melhoria realizadas permitiram o aumento na eficiência que estas têm nos processos abrangidos, ao nível produtivo, logístico e de manutenção de máquinas.

Iniciando pela primeira proposta nas operações OP 20 (gargalo) e OP 30 nas quais foi alterada a ordem da realização de tarefas, através da medida proposta estas sofrem uma redução no seu tempo de ciclo de 2,50 e 2,49 segundos, respetivamente. Esta é uma redução de cerca de 10,5% no tempo de ciclo da operação OP 20, e de cerca de 11,2% no tempo de ciclo da operação OP 30, o que resulta num tempo de ciclo total de 21,38 e 19,73 segundos, respetivamente. Com a implementação das medidas propostas o gargalo já não é localizado na operação OP 20, melhorando a produtividade da linha de montagem.

As operações OP 70 e OP 80, são operações nas quais é necessária alguma manutenção às máquinas nelas utilizadas, visto que são aparafusadoras nas quais atualmente são percorridos 67,5 centímetros por peça processada que resulta numa distância total anual percorrida por cada aparafusadora de cerca de 365 quilómetros em média.

Com a implementação da alteração na sequência de aparafusamento proposta, a distância de ambas as máquinas reduz para apenas 41,0 centímetros por peça processada, ou seja, uma redução de cerca de 39,3% na distância percorrida, esta redução traduz-se numa distância anual percorrida de apenas 222 quilómetros, o que representa uma redução de 143 quilómetros percorridos anualmente. Esta otimização da distância percorrida resulta numa redução bastante significativa na manutenção das máquinas, apesar de não ser possível quantificar este valor sem um certo período de experimentação.

No entanto, é também importante definir a redução no tempo de ciclo resultante desta proposta. Foi necessário recorrer à velocidade de movimentação das máquinas (aproximadamente 20 m/s) para obter o tempo dispensado por cada aparafusadora no percurso

realizado, obtendo-se o valor de 3,38 segundos ao percorrer o percurso atual, e 2,05 segundos ao percorrer o percurso proposto, reduzindo-se assim em 1,33 segundos o tempo despendido na sua movimentação e tempo total de cada uma das operações. Tal corresponde assim a uma redução de 8,3% no tempo de ciclo da operação OP 70 para 14,71 segundos e de 8,4% na operação OP 80 para 14,46 segundos e somando as perdas de tempo no processo de elevação das paletes obtém-se os tempos de ciclo 21,10 segundos e 20,85 segundos, respetivamente.

Por sua vez, foi necessário alterar o percurso de aparafusamento da operação OP 85 apesar de não ser uma das operações em foco neste estudo. A sua sequência de aparafusamento atual soma uma distância total de 77 centímetros por peça processada, o que equivale a cerca de 417 quilómetros por ano. Através da implementação das medidas propostas, estes valores são reduzidos para 60 centímetros e 325 quilómetros, esta é uma medida que reduz a frequência de manutenção da impressora, visto que existe uma redução na distância percorrida em 92 quilómetros, ou seja, 22,1% da distância percorrida atualmente.

Existem também vantagens na implementação desta medida relativamente ao tempo de ciclo, a aparafusadora utilizada apesar de diferente das anteriores, apresenta a mesma velocidade de movimentação, 20 m/s, e desta forma é possível reduzir o tempo de ciclo em 0,85 segundos, o que representa uma redução de 4,4% obtendo assim um tempo de ciclo de 18,53 segundos.

A última medida proposta é relativa aos percursos de reabastecimento realizados pelo técnico da linha e pelo muzusumashi, e permitiu reduzir as distâncias destes percursos significativamente. É tida como uma medida importante, visto que para além do percurso atual ser pouco eficiente, na maioria das operações este tempo de reabastecimento é equivalente a uma paragem da linha o que afeta a sua produção.

Com o intuito de calcular o tempo poupado com a implementação desta medida foi utilizada a velocidade média de um indivíduo ao andar, 1,15 m/s [70]. Na tabela 4.12 encontram-se a apresentadas as diferenças entre as distâncias atuais e com as medidas propostas, tal como a redução percentual e o tempo diário poupado nas operações nas quais foram propostas medidas.

Tabela 4.12 - Resultados das alterações nos percursos de reabastecimento.

Operações	Distância do percurso atual (m)	Distância do percurso proposto (m)	Diferença (m)	Redução (%)	Número de Abastecimentos por dia	Tempo Poupado (s/dia)
OP 10	42	2	40	95,2%	1	34,78
OP 20	48	21	27	56,3%	3	70,43
OP 30	48	23	25	52,1%	3	65,22
OP 70	48	31	17	35,4%	2	29,57
OP 80	48	33	15	31,3%	2	26,09
OP 85	64	30	34	53,1%	5	147,83
OP 90	47	31	16	34,0%	1	13,91
OP 120	38	6	32	84,2%	1	27,83
Total	383	177	206	53,8%	-	415,65

Ao fim de um dia de trabalho serão poupados 415,65 segundos, ou seja, quase 7 minutos poupados por dia de trabalho, devido à alteração da localização das zonas de armazenagem da linha de montagem e por sua vez os percursos de reabastecimento.

Finalizando, o sistema de *kanban* proposto para os altifalantes na operação OP 50 elimina ineficiências de comunicação entre o operador e o *mizusumashi* que poderiam gerar atrasos no reabastecimento, e que por sua vez, resultariam numa paragem da linha de montagem. Ao apurar os tempos de todos os tempos de ciclo com a implementação das medidas propostas foi então possível criar o VSM do estado futuro com todas as alterações propostas, este apresenta-se no apêndice.

Como é possível observar na figura 4.37 a redução nos tempos de ciclo foi notável visto que o gargalo foi alterado, alterando também o tempo de ciclo da linha de montagem de 23,92 segundos para 22,66 segundos. Tal foi conseguido após a implementação das medidas propostas, pela operação OP 120, a última estação da linha, e traduz-se numa redução no tempo de ciclo da linha de 1,26 segundos o que representa uma redução de 5,27% no tempo de ciclo atual.

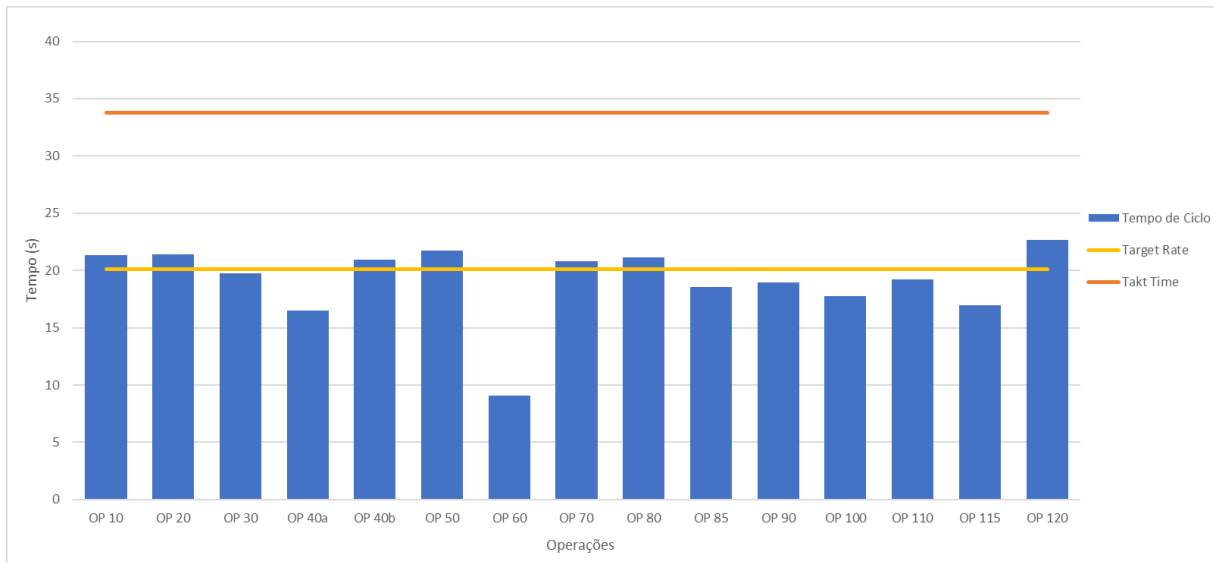


Figura 4.37 -Gráfico de comparação de tempos de ciclo com target rate e takt time proposto.

Com todos os resultados obtidos foi finalmente possível construir um VSM Future State, que se encontra apresentado na figura A.12 nos apêndices.

Capítulo 5 - Conclusões e Trabalhos Futuros

Na realização deste estudo foram obtidas certas conclusões e encontrados bastantes desafios. Como tal, o presente capítulo serve para descrever todas as conclusões obtidas assim como alguns dos principais desafios e algumas propostas de trabalhos futuros no âmbito deste estudo.

5.1. Conclusão

A Visteon Portuguesa é uma empresa de produção em massa de painéis de instrumentos para automóveis, e por isso, apresenta tempos de ciclo bastante reduzidos. Tal conduz a que pequenas alterações no seu processo produtivo possam vir a conseguir benefícios significativos na sua capacidade produtiva.

Na presente dissertação foi proposto o estudo de uma linha de montagem da Visteon Portuguesa Lda., com objetivo de aumentar a capacidade produtiva através da aplicação da metodologia *Lean* assim como das suas ferramentas. Para tal e, de forma a perceber melhor este tipo de indústria, foi realizado um estudo tanto da indústria automóvel como da indústria painéis de instrumentos para veículos.

A aplicação da metodologia *Lean* tem vindo a mostrar-se cada vez mais útil no aumento da eficiência, não só a nível produtivo, mas também ao nível logístico e de cadeia de abastecimento, por exemplo. Como tal, recorreu-se ao uso de ferramentas *Lean*, tais como VSM, *kanban*, diagramas de esparguete, entre outros, com o intuito de facilitar a identificação de ineficiências na linha de montagem, e conseqüentemente, possibilitar a proposta de melhorias nos processos com mais influência na sua capacidade produtiva.

Primeiramente, foi realizada uma análise geral à linha de montagem em questão com o intuito de compreender quais os processos com maior impacto na eficiência do sistema produtivo, que se traduzem também naqueles com um impacto mais acentuado diretamente na capacidade produtiva. Após a identificação destes processos, foi então realizada uma análise mais detalhada aos mesmos, de forma a perceber quais os subprocessos menos eficientes de cada processo identificado.

Em seguida, foram analisadas diversas alterações que teriam o efeito pretendido. Nesta análise foram identificadas as alterações que requeriam um menor investimento, e também

aquelas que apresentavam a melhor relação entre a facilidade de implementação e o aumento na eficiência da linha de montagem. Finalizando com uma proposta das medidas que melhor se enquadravam na análise previamente realizada.

Com a implementação das medidas propostas, relativas ao processo produtivo, é possível reduzir o tempo de ciclo da linha de montagem em 1,26 segundos, obtendo um tempo de ciclo de 22,66 segundos. Esta redução, apesar de aparentar ser insignificante, representa 5,27% do tempo de ciclo atual, o que resulta num aumento de cerca de 14 dias de trabalho ao longo de um ano, sem ter em conta desperdícios intrínsecos ao processo atual da linha de montagem.

Relativamente às medidas propostas, e à alteração de certas etapas do processo logístico, é proposta a alteração da zona de armazenagem de matéria-prima da linha de montagem, o que possibilita também uma redução no tempo do processo reabastecimento da linha de montagem em cerca de 415,65 segundos por dia, o que se traduz num aumento de cerca de 1,5 dias de trabalho ao longo de um ano.

A proposta de implementação de uma adaptação *kanban two bin system* numa das operações, facilita a identificação de falta de material na linha e acelera o processo de reabastecimento da operação. Somando dos benefícios trazidos à linha de montagem a partir da implementação das medidas propostas, é então possível obter um aumento do número de dias úteis de produção, em cerca de 15,5 dias.

Relativamente à aplicação da metodologia *Lean*, esta mostrou-se ser bastante útil no auxílio da descoberta de processos menos eficientes, permitindo a compreensão e a identificação, de forma mais facilitada, das oportunidades de melhoria nos pontos fulcrais, o que contribui, por sua vez, para o aumento da capacidade produtiva da linha de montagem em estudo. Posteriormente, revelou-se ser indispensáveis para as propostas de certas melhorias, como por exemplo a aplicação de *kanban*, tornando-se assim uma metodologia que se enquadra de uma excelente forma no estudo realizado.

Concluindo, é então possível afirmar que o objetivo do presente estudo foi alcançado, trazendo assim benefícios não só para a a linha de montagem da empresa em questão, mas também para futuros projetos de melhorias nesta indústria, que apresenta uma certa escassez em estudos divulgados.

5.2. Desafios e Limitações

Na realização desta dissertação foram encontrados vários desafios que tiveram que ser superados. Inicialmente, o estudo dos variados processos envolvidos na linha de montagem foi bastante desafiante, sendo que a recolha de dados foi um dos principais desafios encontrados.

Foram cronometradas todas as tarefas definidas para cada uma das operações, sendo que este é um procedimento bastante minucioso que requer extrema atenção e precisão, tendo em conta que os tempos de ciclo de cada tarefa são bastante reduzidos. Devido também ao reduzido tempo de ciclo da linha de montagem é notável a diferença de tempos de ciclo entre operações, sendo que na maioria das situações não era formada uma fila de espera, dificultado assim a atividade de cronometragem, visto que tornava difícil perceber o início e o fim de cada operação.

A proposta de alterações nos processos também se revelou ser bastante desafiante. Tal é devido ao facto da linha de montagem em questão apresentar um elevado nível de automatização, e uma monitorização bastante frequente relativamente aos seus processos, o que resultou numa enorme dificuldade na proposta de novas medidas.

Para além disso, existem certos processos na linha de montagem cujo seu procedimento ou ordem de tarefas, são definidos pelos clientes, e por isso não podem ser alterados sem o consentimento dos mesmos, reduzindo assim o número de alterações possíveis.

5.3. Proposta de Trabalhos Futuros

Tendo em conta que a presente dissertação se encontra inserida no âmbito da melhoria contínua, é importante referir que é necessário existir uma monitorização da linha de montagem como forma de encontrar novas oportunidades e identificação mudanças esporádicas nos seus processos devido à alteração de operadores ou certos componentes.

A Visteon Portuguesa, Lda. deve ter em conta que as medidas propostas podem ser muito relevantes pois, devido à elevada semelhança nas suas linhas de *Final Assembly*, estas podem ser aplicadas às restantes linhas de montagem sem necessidade de alterações complexas. A implementação de certas medidas que foram propostas à restante área de *Final Assembly* pode vir a trazer grandes benefícios ao nível da eficiência das linhas de montagem e consequentemente, um aumento na capacidade produtiva das mesmas. Para além disso, a organização deve também focar-se numa constante procura de novas metodologias de análise e

de métodos produtivos com o intuito de existir uma melhoria contínua na eficiência dos seus processos.

Referências Bibliográficas

- [1] E. L. Alvarez-Aros e C. A. Bernal-Torres, «Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0», *An. Acad. Bras. Cienc.*, vol. 93, n.º 1, 2021, doi: 10.1590/0001-3765202120191290.
- [2] A. Muis e A. D. Auliyaa, «Comprehensive digital instrument cluster for vehicle monitoring by using flutter framework», apresentado na IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference, R10-HTC, 2019. doi: 10.1109/R10-HTC47129.2019.9042456.
- [3] Z. G. dos Santos, L. Vieira, e G. Balbinotti, «Lean Manufacturing and Ergonomic Working Conditions in the Automotive Industry», *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 5947–5954, jan. 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.687.
- [4] N. V. K. Jasti e A. Sharma, «Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool a case study from auto components industry», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 5, n.º 1, pp. 89–116, 2015, doi: 10.1108/IJLSS-04-2012-0002.
- [5] M. Yurdakul, Y. T. İç, e M. Gulsen, «A Kanban Implementation Study in a Production Line», *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1216 AISC, pp. 228–234, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-51981-0_29.
- [6] H. Winner e W. Wachenfeld, «Effects of autonomous driving on the vehicle concept», em *Autonomous Driving: Technical, Legal and Social Aspects*, 2016, pp. 255–275. doi: 10.1007/978-3-662-48847-8_13.
- [7] J. P. Womack, D. T. Jones, e D. Roos, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Simon and Schuster, 2007.
- [8] N. Tomac, R. Radonja, e J. Bonato, «Analysis of Henry Ford's contribution to production and management», *Pomorstvo*, vol. 33, n.º 1, pp. 33–45, 2019, doi: 10.31217/p.33.1.4.
- [9] P. D. Hounshell, *From the American System to Mass Production, 1800-1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States*, First Edition. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1984.
- [10] F. Alizon, S. B. Shooter, e T. W. Simpson, «Henry Ford and the Model T: lessons for product platforming and mass customization», *Des. Stud.*, vol. 30, n.º 5, pp. 588–605, set. 2009, doi: 10.1016/j.destud.2009.03.003.
- [11] Ł. Dekier, «The Origins and Evolution of Lean Management System», *J. Int. Stud.*, vol. 5, n.º 1, pp. 46–51, mai. 2012, doi: 10.14254/2071-8330.2012/5-1/6.
- [12] M. Steinberg, «From Automobile Capitalism to Platform Capitalism: Toyotism as a prehistory of digital platforms», *Organ. Stud.*, vol. 43, n.º 7, pp. 1069–1090, 2022, doi: 10.1177/01708406211030681.
- [13] «2022 PRODUCTION STATISTICS», 2023. Acedido: 3 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2022-statistics/>
- [14] L. J. Truett e D. B. Truett, «The portuguese motor vehicle industry: an impossible dream?», *Glob. Econ. J.*, vol. 20, n.º 02, p. 2050012, jun. 2020, doi: 10.1142/S2194565920500128.

- [15] L. Fonseca, J. Fernandes, e S. Ramos, «Enabling factors for the competitiveness of the Portuguese automotive industry», *Proc. Int. Conf. Bus. Excell.*, vol. 13, n.º 1, pp. 1–12, mai. 2019, doi: 10.2478/picbe-2019-0002.
- [16] M. A. S. Kadakol, «Impact of Covid-19 on Automobile Industry: A Case Study of Selected Companies», *GBS Impact J. Multi Discip. Res.*, vol. 8, n.º 1, jul. 2022, doi: 10.58419/gbs.v8i1.812207.
- [17] «2020 PRODUCTION STATISTICS», 2021. Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2020-statistics/>
- [18] S. Nimara, D. B. Popa, e R. Bogdan, «Automotive instrument cluster screen content validation», em *2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR)*, nov. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/TELFOR.2017.8249425.
- [19] P. M. Knoll, «Some pictures of the history of automotive instrumentation», *J. Soc. Inf. Disp.*, vol. 25, n.º 1, pp. 44–52, 2017, doi: 10.1002/jsid.536.
- [20] «Instrument Cluster Market Size To Hit USD 18.07 Bn By 2032». Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.precedenceresearch.com/instrument-cluster-market>
- [21] «Automotive Instrument Cluster Market by Product Type (LCD, OLED, and TFT-LCD) by Application (Passenger Cars, Commercial Vehicles and Electrical Vehicles) by Industry Analysis, Volume, Share, Growth, Challenges, Trends and Forecast 2023-2029», 2023. Acedido: 22 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.profsharemarketresearch.com/automotive-instrument-cluster-market/>
- [22] A. Feierle, F. Bücherl, T. Hecht, e K. Bengler, «Evaluation of Display Concepts for the Instrument Cluster in Urban Automated Driving», *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 1026, pp. 209–215, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-27928-8_32.
- [23] D. Trippany, «The evolution of displays in the automotive cockpit», *S&P Global*, 13 de novembro de 2020. Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/the-evolution-of-displays-in-the-automotive-cockpit.html>
- [24] I. Grout, «CHAPTER 3 - PCB Design», em *Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs*, I. Grout, Ed., Burlington: Newnes, 2008, pp. 123–176. doi: 10.1016/B978-0-7506-8397-5.00003-9.
- [25] «BMW E46 Instrument Cluster Panel Circuit Board 6911308 New Genuine». Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.pantritrading.com/bmw-e46-instrument-cluster-panel-circuit-board-6911308.html?__SID=U
- [26] W. E. Howard, «Thin-film-transistor/liquid crystal display technology—An introduction», *IBM J. Res. Dev.*, vol. 36, n.º 1, pp. 3–10, jan. 1992, doi: 10.1147/rd.361.0003.
- [27] M. Katayama, «TFT-LCD technology», *Thin Solid Films*, vol. 341, n.º 1, pp. 140–147, 1999, doi: 10.1016/S0040-6090(98)01519-3.
- [28] «Tela de tela lcd do carro para foco C-max Galaxy Kuga Instrumento Cluster Dashboard Reparo de pixels», Fruugo. Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.fruugo.pt/tela-de-tela-lcd-do-carro-para-foco-c-max-galaxy-kuga-instrumento-cluster-dashboard-reparo-de-pixels/p-180862284-386475638>

- [29] mkIS, «Instrument cluster for RENAULT LAGUNA III Sport Tourer | Recife Used Parts». Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.recife.com.pt/en/detalhe/374041/parts/instrument-cluster-renault-laguna-iii-sport-tourer-2007-2008-2009-2010-2011-2012-2013-2014-2015>
- [30] «Amazon.com: Digital Dashboard Cluster | Qiilu Car Digital LCD Dashboard | Car LCD Screen Meter Digital Dashboard Cluster Instrument Replacement for 5 Series F10 F11 F18 GT F07 Auto Meter: Automotive». Acedido: 17 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.amazon.com/Dashboard-Qiilu-Dashboard%E4%B8%A8Car-Instrument-Replacement/dp/B0BDGKD54Q>
- [31] C. R. Duguay, S. Landry, e F. Pasin, «From mass production to flexible/agile production», *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 17, n.º 12, pp. 1183–1195, dez. 1997, doi: 10.1108/01443579710182936.
- [32] P. Ribeiro, J. C. Sá, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T. Pereira, e G. Santos, «The Impact of the Application of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic Company: a case study», *Procedia Manuf.*, vol. 38, pp. 765–775, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.104.
- [33] S. Gupta e S. K. Jain, «A literature review of lean manufacturing», *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.*, vol. 8, n.º 4, pp. 241–249, nov. 2013, doi: 10.1080/17509653.2013.825074.
- [34] M. Mahajan, K. B. Chistopher, Harshan, e P. H. C. Shiva, «Implementation of Lean techniques for Sustainable workflow process in Indian motor manufacturing unit», *Procedia Manuf.*, vol. 35, pp. 1196–1204, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.077.
- [35] L. Wilson, *How To Implement Lean Manufacturing*, 1st edition. New York, NY: McGraw-Hill Professional, 2009.
- [36] J. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, 1st edition. New York: McGraw Hill, 2004.
- [37] J. P. Womack e D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Simon and Schuster, 2010.
- [38] H. Sheikh-Sajadieh, M. Navabakhsh, e S. Karimi-Ghartemani, «Achieve to agility manufacturing by use of seven wastes through Lean manufacturing», 2013.
- [39] K. A. Harish e M. Selvam, «Lean Wastes: A Study of Classification from Different Categories and Industry Perspectives», *Asian Rev. Civ. Eng.*, vol. 4, n.º 2, Art. n.º 2, nov. 2015, doi: 10.51983/tarce-2015.4.2.2220.
- [40] Productivity Press Development Team, *Kanban For The Shopfloor*. TAYLOR & FRANCIS INC, 2002. [Em linha]. Disponível em: <https://www.wook.pt/livro/kanban-for-the-shopfloor-productivity-press-development-team/121534>
- [41] A. L. Vivan, F. A. H. Ortiz, e J. C. Paliari, «Model for Kaizen project development for the construction industry», *Gestao E Prod.*, vol. 23, n.º 2, pp. 333–349, 2016, doi: 10.1590/0104-530X2102-15.
- [42] M. F. Suárez-Barraza, J. Ramis-Pujol, e L. Kerbache, «Thoughts on kaizen and its evolution: Three different perspectives and guiding principles», *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 2, n.º 4, pp. 288–308, 2011, doi: 10.1108/20401461111189407.

- [43] N. Kisson, *The Toyota way or not? New lessons for health care*, vol. 36, 6 vols. Physician Executive Journal, 2010.
- [44] C. S. Martínez *et al.*, «Examination of the Protein Drug Supply Chain in a Swedish University Hospital: Focus on Handling Risks and Mitigation Measures», *J. Pharm. Sci.*, vol. 112, n.º 11, pp. 2799–2810, 2023, doi: 10.1016/j.xphs.2023.05.003.
- [45] E. Stolarska-Szeląg, «GEMBA WALK IN MANUFACTURING COMPANIES – IMPLEMENTATION PROCESS AND BENEFITS», 2022, doi: 10.5604/01.3001.0016.2178.
- [46] D. J. Powell, «The Virtual Sensei: Using Assisted Reality to Digitalize Gemba Walks», apresentado na IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2022, pp. 320–323. doi: 10.1109/IEEM55944.2022.9989898.
- [47] A. Sunk, P. Kuhlmann, T. Edtmayr, e W. Sihn, «Developments of traditional value stream mapping to enhance personal and organisational system and methods competencies», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 55, n.º 13, pp. 3732–3746, 2017, doi: 10.1080/00207543.2016.1272764.
- [48] H. M. Reda, «A review of “kanban”—the Japanese “Just-In-Time” production system», *Eng. Manag. Int.*, vol. 4, n.º 2, pp. 143–150, abr. 1987, doi: 10.1016/0167-5419(87)90019-6.
- [49] G. N. Yücenur e K. Şenol, «Sequential SWARA and fuzzy VIKOR methods in elimination of waste and creation of lean construction processes», *J. Build. Eng.*, vol. 44, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.103196.
- [50] P. Gandhi, «Data visualization techniques: Traditional data to big data», em *Data Visualization: Trends and Challenges Toward Multidisciplinary Perception*, 2020, pp. 53–74. doi: 10.1007/978-981-15-2282-6_4.
- [51] S. Nakazawa e T. Tanaka, «Development and application of kanban tool visualizing the work in progress», apresentado na Proceedings - 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, IIAI-AAI 2016, 2016, pp. 908–913. doi: 10.1109/IIAI-AAI.2016.156.
- [52] S. M. Gupta, Y. A. Y. Al-Turki, e R. F. Perry, «Flexible kanban system», *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 19, n.º 10, pp. 1065–1093, 1999, doi: 10.1108/01443579910271700.
- [53] B. S. López, «Kanban: Control de materiales y producción » *Ingenieria Industrial Online*, *Ingenieria Industrial Online*, 2 de novembro de 2019. Acedido: 8 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/kanban-control-de-materiales-y-produccion/>
- [54] C. Autry, T. Goldsby, J. Bell, e A. Hill, *Managing the Global Supply Chain (Collection) [Book]*. Pearson, 2013. Acedido: 5 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.oreilly.com/library/view/managing-the-global/9780133091724/>
- [55] J. J. Kanet e C. E. Wells, «Setting bin quantities for 2-Bin Kanban systems (version 3)», *Omega U. K.*, vol. 87, pp. 142–149, 2019, doi: 10.1016/j.omega.2018.08.010.
- [56] N. Daneshjo, V. Rudy, P. Malega, e P. Krnáčová, «Application of Spaghetti Diagram in Layout Evaluation Process: A Case Study», *TEM J.*, vol. 10, n.º 2, pp. 573–582, 2021, doi: 10.18421/TEM102-12.

- [57] B. Gladysz, K. Santarek, e C. Lysiak, «Dynamic spaghetti diagrams. A case study of pilot RTLS implementation», *Adv. Intell. Syst. Comput.*, vol. 637, pp. 238–248, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-64465-3_24.
- [58] T. Coutinho, «Diagrama de Espaguete: aprenda o que é e como fazer», *Blog Voitto*, 18 de janeiro de 2021. Acedido: 8 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/diagrama-de-espaguete>
- [59] S. Cuesta, L. Siguenza-Guzman, e J. Llivisaca, «Optimization of Assembly Processes Based on Lean Manufacturing Tools. Case Studies: Television and Printed Circuit Boards (PCB) Assemblers», *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 1195 CCIS, pp. 443–454, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-42531-9_35.
- [60] T. Yang, C.-H. Hsieh, e B.-Y. Cheng, «Lean-pull strategy in a re-entrant manufacturing environment: A pilot study for TFT-LCD array manufacturing», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 49, n.º 6, pp. 1511–1529, 2011, doi: 10.1080/00207540903567333.
- [61] M. R. T. Dale e M.-J. Fortin, «From Graphs to Spatial Graphs», *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, vol. 41, n.º 1, pp. 21–38, 2010, doi: 10.1146/annurev-ecolsys-102209-144718.
- [62] L. Metcalf e W. Casey, «Chapter 5 - Graph theory», em *Cybersecurity and Applied Mathematics*, L. Metcalf e W. Casey, Eds., Boston: Syngress, 2016, pp. 67–94. doi: 10.1016/B978-0-12-804452-0.00005-1.
- [63] K. Shimokawa, K. Ishihara, e Y. Tezuka, «Graph theory analyses of polymers», em *Topology of Polymers*, K. Shimokawa, K. Ishihara, e Y. Tezuka, Eds., em SpringerBriefs in the Mathematics of Materials. , Tokyo: Springer Japan, 2019, pp. 7–25. doi: 10.1007/978-4-431-56888-9_2.
- [64] Y.-T. Lee e S.-J. Chen, «Graph theory applications in congenital heart disease», *Sci. Rep.*, vol. 13, n.º 1, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-38233-3.
- [65] R. Yavari *et al.*, «Thermal modeling in metal additive manufacturing using graph theory – Application to laser powder bed fusion of a large volume impeller», *Addit. Manuf.*, vol. 41, 2021, doi: 10.1016/j.addma.2021.101956.
- [66] A. Lazarowska, «An efficient graph theory-based algorithm for ship trajectory planning», *Trans. R. Inst. Nav. Archit. Part Int. J. Marit. Eng.*, vol. 161, pp. A155–A161, 2019, doi: 10.3940/rina.ijme.2019.a2.530.
- [67] H. A. Patel, D. L. Chen, S. D. Bhole, e K. Sadayappan, «Microstructure and tensile properties of thixomolded magnesium alloys», *J. Alloys Compd.*, vol. 496, n.º 1–2, pp. 140–148, abr. 2010, doi: 10.1016/j.jallcom.2010.02.042.
- [68] P. G. de Carvalho, «Aplicação de um sistema híbrido TLS a uma linha de montagem multimodelo», masterThesis, 2019. Acedido: 12 de março de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/97938>
- [69] «itertools — Functions creating iterators for efficient looping», Python documentation. Acedido: 25 de fevereiro de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://docs.python.org/3/library/itertools.html>
- [70] K. Fitzpatrick, M. A. Brewer, e S. Turner, «Another look at pedestrian walking speed», *Transp. Res. Rec.*, n.º 1982, pp. 21–29, 2006, doi: 10.3141/1982-05.

Apêndices

Tabela A.0.1 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 10

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra		
OP 10.02	0,84	0,88	0,76	0,89	0,80	1,10	1,33	1,20	1,21	1,27	1,15	0,94	1,07	0,99	1,13	0,97	0,98	0,72	1,21	0,97	1,26	1,15	1,19	1,35	0,88	1,07	1,07	1,06	1,47	0,80								1,06	0,189	1,96	0,1	12,3	13
OP 10.03	2,50	2,84	2,66	3,03	3,79	3,27	2,91	2,72	2,99	3,60	2,89	2,72	2,41	2,97	2,87	2,70	2,91	2,82	2,44	2,63	2,33	2,58	3,31	4,05	3,66	3,16	2,80	3,66	3,15	3,60								3,00	0,444	1,96	0,1	8,4	9
OP 10.04	7,23	5,54	5,54	5,70	6,57	7,51	5,38	6,50	5,99	6,22	6,41	5,74	5,72	6,18	6,40	6,35	6,35	6,07	6,24	6,35	5,43	5,29	6,71	4,79	4,95	4,56	5,76	4,91	3,88	4,08								5,81	0,843	1,96	0,1	8,1	9
OP 10.05	2,67	1,86	2,06	1,73	1,94	1,91	1,98	1,77	1,87	1,91	2,16	1,75	2,10	1,59	3,00	2,29	2,06	2,21	1,42	1,68	1,93	1,84	1,80	3,38	1,51	2,68	2,00	2,62	1,75	2,09								2,05	0,436	1,96	0,1	17,4	18
OP 10.06	4,48	4,03	4,07	3,83	4,13	3,81	4,15	3,99	4,01	4,01	4,12	4,03	4,47	4,23	4,01	3,99	3,96	3,97	4,08	4,02	4,02	3,83	4,34	4,15	4,27	4,28	4,23	4,43	4,47	3,89	4,25	4,01	3,98	4,11	4,31	4,48	4,12	0,191	2,58	0,02	35,9	36	
OP 10.07	1,73	2,81	2,58	2,28	2,88	2,47	2,91	3,34	3,08	2,61	2,92	3,70	3,22	2,38	2,76	2,63	3,13	2,16	1,90	2,93	2,50	2,23	2,47	2,92	2,96	4,83	2,76	3,06	2,19	3,07								2,78	0,579	1,96	0,1	16,7	17
OP 10.08	2,04	2,02	2,10	2,66	2,38	2,97	2,52	2,17	2,74	3,76	3,48	2,42	2,07	1,58	2,80	2,38	2,03	1,99	2,02	2,11	2,12	2,48	2,12	4,01	2,13	2,25	2,10	4,38	3,47	3,46								2,56	0,690	1,96	0,1	27,9	28
OP 10.09	2,57	2,66	2,60	2,94	2,68	2,80	2,57	2,91	2,54	2,75	2,71	2,92	2,55	2,91	2,85	2,95	2,89	2,69	2,66	2,83	2,60	2,75	2,77	2,59	2,71	2,73	2,74	2,88	2,61	2,89	2,69	2,82	2,74	2,87	2,91	2,61	2,75	0,127	2,58	0,02	35,7	36	

Tabela A.0.2 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 20

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 20.01	6,33	6,10	6,30	5,93	6,20	6,32	6,43	6,06	6,26	6,19	6,07	6,11	6,44	6,06	6,20	6,05	5,96	5,78	6,22	6,06	6,22	6,08	6,13	6,12	6,34	5,86	6,24	6,18	6,16	5,94				6,14	0,156	2,58	0	10,8	11
OP 20.02	3,26	3,24	3,44	3,30	3,23	3,28	3,53	3,74	3,43	3,60	3,53	3,37	3,35	3,23	3,56	3,34	3,41	3,60	3,36	3,36	3,58	3,40	3,63	3,52	3,51	3,50	3,20	3,44	3,31	3,44				3,43	0,137	2,58	0	26,5	27
OP 20.03	7,36	7,38	7,28	7,25	7,32	7,36	7,03	6,98	7,19	7,17	7,15	7,52	7,17	7,29	7,13	7,36	7,35	7,11	7,28	7,21	7,21	7,37	7,06	7,10	6,84	7,22	7,09	7,30	7,25	7,16				7,21	0,140	2,58	0	6,3	7
OP 20.04	3,14	3,26	3,10	3,14	3,23	3,17	3,30	3,32	3,30	3,41	3,33	3,21	3,34	3,34	3,37	3,28	3,12	3,25	3,82	3,34	3,33	3,24	3,26	3,30	3,15	3,27	3,28	3,43	3,37	3,35				3,30	0,131	2,58	0	26,2	27
OP 20.05	3,84	3,81	3,97	4,03	3,89	3,77	3,66	3,82	3,87	3,65	4,11	3,87	3,76	3,92	3,77	3,86	3,98	3,88	3,22	3,87	3,83	3,72	3,99	3,81	3,98	3,76	3,98	3,67	3,70	4,12	4	3,9	3,7	3,84	0,170	2,58	0	32,7	33

Tabela A.0.3 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 30

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 30.01	6,26	6,34	6,24	6,35	6,21	6,24	6,31	6,31	6,41	6,36	6,36	6,31	6,29	6,28	6,21	6,24	6,10	6,31	6,61	6,24	6,39	6,19	6,77	6,38	6,28	6,16	6,06	6,22	6,31	6,32						6,30	0,134	2,58	0	7,6	8
OP 30.02	2,83	2,89	2,83	2,69	2,66	2,79	2,92	2,92	2,85	2,53	2,53	2,87	2,69	2,79	2,84	2,60	2,77	2,65	2,60	2,73	2,72	2,81	2,67	2,85	2,70	2,71	2,70	2,80	2,82	2,77						2,75	0,107	2,58	0	25,0	25
OP 30.03	6,80	6,59	6,80	6,67	6,84	6,82	6,49	6,49	6,73	6,90	6,90	6,37	6,49	6,26	6,30	6,43	6,43	6,44	6,49	6,53	6,47	6,37	6,48	6,27	6,34	6,42	6,56	6,51	6,24	6,40						6,53	0,195	2,58	0	14,8	15
OP 30.04	2,72	2,91	2,84	2,83	2,70	2,68	2,84	2,84	2,73	2,73	2,73	2,74	2,74	2,85	2,83	2,81	2,81	2,93	2,74	2,62	2,69	2,87	2,68	2,79	2,66	2,76	2,65	2,79	2,86	2,78						2,77	0,079	2,58	0	13,6	14
OP 30.05	3,86	3,63	3,89	3,76	4,08	3,89	4,37	4,37	4,03	3,91	3,91	3,61	3,81	3,82	3,65	3,67	3,69	3,74	3,78	3,94	3,92	3,68	3,73	3,76	3,93	3,82	3,73	3,76	3,73	3,82	3,9	3,7	3,7	4	4	3,85	0,175	2,58	0	34,4	35

Tabela A.0.4 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 40a

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 40.01	8,53	7,62	8,22	8,03	8,27	8,25	8,70	7,69	7,93	8,35	7,93	8,19	8,31	8,37	8,21	8,25	8,09	8,13	8,29	8,14	8,11	8,20	8,33	7,76	8,09	8,33	8,36	8,39	8,23	8,17	8,18	0,230	2,58	0,02	13,2	14
OP 40.02	3,00	3,15	2,91	3,06	2,97	2,98	2,84	2,91	2,85	2,75	3,00	2,85	3,02	2,94	3,02	2,71	3,02	2,85	2,93	2,88	2,88	2,77	2,87	3,20	2,79	2,67	2,88	2,85	2,82	2,82	2,91	0,121	2,58	0,02	28,7	29
OP 40.03	5,26	5,26	5,64	5,21	5,36	5,33	5,29	5,44	5,38	5,26	5,22	5,49	5,38	5,43	5,39	5,52	5,45	5,43	5,30	5,29	5,19	5,51	5,64	5,41	5,64	5,47	5,32	5,48	5,37	5,47	5,39	0,124	2,58	0,02	8,9	9

Tabela A.0.5 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 40b

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 40.05	15,68	15,59	15,58	15,80	15,61	15,33	15,69	15,49	15,55	15,96	15,67	15,70	15,69	15,69	15,40	15,58	15,63	15,78	15,65	15,46	15,69	15,61	15,50	15,47	15,52	15,62	15,41	15,65	15,43	15,67	15,60	0,133	2,58	0	1,2	2
OP 40.06	5,23	5,35	5,39	5,36	5,34	5,38	5,37	5,25	5,36	4,99	5,41	5,33	5,38	5,20	5,40	5,25	5,32	5,40	5,28	5,26	5,24	5,27	5,53	5,39	5,34	5,53	5,39	5,31	5,32	5,28	5,33	0,101	2,58	0	5,9	6

Tabela A.0.6 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 50

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 50.01	4,30	5,39	5,01	5,25	4,60	5,21	5,01	4,82	4,81	5,00	4,88	5,33	4,34	4,87	4,54	4,86	5,13	5,02	4,95	4,76	4,64	4,63	4,57	4,87	4,93	4,66	4,71	4,86	4,92	4,74	4,85	0,262	1,96	0,1	1,1	2
OP 50.02	2,70	2,75	2,76	2,84	2,66	2,90	2,82	2,90	2,72	2,94	2,79	2,90	2,95	2,72	2,87	2,87	2,89	2,84	2,68	3,08	2,77	2,82	2,83	2,64	2,70	2,87	2,73	2,88	2,81	2,87	2,82	0,099	2,58	0	20,5	21
OP 50.03	2,23	1,80	2,27	2,07	2,76	1,73	2,17	1,73	2,16	1,90	2,06	1,65	2,31	2,27	2,71	2,71	2,59	1,91	2,08	2,31	2,17	1,99	1,89	2,61	2,31	2,20	2,85	2,55	2,72	1,65	2,21	0,352	1,96	0,1	9,7	10
OP 50.04	5,90	5,91	5,72	5,83	5,87	5,93	5,58	5,78	5,68	5,43	5,45	5,86	5,89	5,65	5,91	5,91	5,69	5,61	5,64	5,52	5,80	5,68	5,63	5,85	5,81	5,83	5,81	5,91	5,90	5,67	5,76	0,145	2,58	0	10,6	11
OP 50.05	8,89	8,77	8,90	9,02	8,91	8,67	8,77	8,62	8,97	8,95	8,63	8,81	8,87	8,95	9,24	8,94	8,75	9,06	9,04	9,06	8,91	8,95	8,94	8,88	8,83	8,82	8,77	9,01	8,82	8,79	8,88	0,136	2,58	0	3,9	4

Tabela A.0.12 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 100

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 100	35,00	36,10	35,30	35,70	35,80	36,00	35,70	35,60	36,00	35,30	35,40	34,60	35,80	35,90	36,30	35,60	35,80	35,30	34,70	35,20	35,60	35,80	35,30	34,90	35,30	35,40	35,80	35,70	35,40	35,10	35,51	0,407	2,58	0	2,18151	3

Tabela A.0.13 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 110

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 110	57,8	57,5	58,6	57,1	56,8	58,2	56,9	57,3	56,8	57,2	58,1	58	58,2	58,2	58,4	56,8	57,3	57,6	58,1	56,7	57,3	57	57,7	57,6	58,4	57,7	58	56,9	57,6	57,1	57,56	0,564	2,58	0	1,6	2

Tabela A.0.14 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 115

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 115.01	9,56	9,25	9,3	9,12	9,22	9,53	9,49	9,23	9,56	9,3	9,56	9,46	9,75	9,6	9,11	9,37	9,45	9,63	9,29	9,51	9,32	9,12	9	9,68	9,41	9,35	9,2	9,43	9,55	9,86	9,41	0,205	2,58	0	7,9	8
OP 115.02	7,58	7,69	7,39	7,59	7,51	7,42	7,57	7,47	7,52	7,51	7,53	7,50	7,49	7,51	7,55	7,56	7,53	7,55	7,48	7,48	7,61	7,60	7,48	7,53	7,50	7,49	7,52	7,59	7,59	7,47	7,53	0,061	2,58	0	1,1	2

Tabela A.0.15 - Folha de registo dos tempos das tarefas da operação OP 120

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra	
OP 120.01	6,01	6,01	6,13	6,16	6,04	5,77	6,09	6,11	6,05	6,17	5,95	6,11	5,97	5,89	5,99	5,92	5,91	6,18	6,03	6,06	6,2	5,95	5,87	6,18	5,81	6,03	6,14	5,69	6,01	6,18						6,02	0,130	1,96	0,1	0,2	1
OP 120.02	3,9	4,22	4,9	6,08	4,12	4,46	4,57	5,8	5,67	4,08	4,98	5,07	4,37	3,94	4,31	5,88	5,25	3,92	4,32	5,76	5,67	4,25	3,84	5,63	4,86	6,05	5,35	5,58	6,05	5,65						4,95	0,766	1,96	0,1	9,2	10
OP 120.03	2,08	2,32	3,99	2,62	2,61	3,09	3,45	2,81	2,09	2,9	2,57	2,48	2,05	2,12	2,38	2,55	2,43	2,04	2,13	2,34	2,16	2,33	3,01	2,16	2,3	2,6	3,02	2,24	2,31	2,16						2,51	0,452	1,96	0,1	12,5	13
OP 120.04	3,55	3,46	3,1	3,3	3,33	3,28	3,62	3,26	3,42	3,67	3,13	3,46	3,66	3,49	3,29	3,3	3,36	3,26	3,3	3,19	3,05	3,36	3,28	3,53	3,31	3,35	3,23	3,37	3,41	3,4	3,3	3,5	3,4	3,6	3,2	3,36	0,153	2,58	0	34,4	35
OP 120.05	3,19	3,76	3,84	3,9	3,46	3,15	3,45	4,39	3,52	3,65	4,18	3,92	3,12	3,24	2,92	3,34	3,91	4,12	3,59	3,86	3,42	3,81	3,57	3,02	3,3	3,57	3,58	3,46	3,5	2,95						3,56	0,366	1,96	0,1	4,1	5
OP 120.06	13,04	13,37	13,3	13,18	13,24	13,45	13,02	13,44	13,06	13,34	13,32	13,3	13,46	13,42	13,38	13,42	13,36	13,3	13,47	13,25	13,32	13,08	13,13	13,24	13,27	13,43	13,05	13,05	13,04	13,1						13,26	0,150	2,58	0	2,1	3
OP 120.07	2,67	3,09	1,77	2,46	1,93	2,66	2,27	1,8	1,89	2,26	2,56	2,28	2,5	2,27	2,2	2,54	1,66	1,6	2,4	2,33	2,54	1,92	2,53	2,12	2,52	2,17	2,35	1,99	2,08	1,96						2,24	0,341	1,96	0,1	8,8	9

Tabela A.0.16 - Folha de registo do Lead Time de cada operação

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra						
10	2,97	3,23	2,84	2,96	3,05	2,87	3,17	3,05	3,22	3,22	2,87	3,21	2,95	3,18	3,16	3,2	2,83	3,25	2,96	2,81	3,24	3,05	2,88	3	2,87	3,1	3,17	2,8	3,06	3,03	3,13	2,95	2,98	3,23	3,04	3,19	3,11			3,05	0,14	2,58	0,02	36,1	37					
20	2,46	2,47	2,55	2,54	2,59	2,47	2,4	2,5	2,44	2,48	2,53	2,41	2,5	2,54	2,48	2,42	2,6	2,51	2,59	2,52	2,52	2,57	2,4	2,42	2,42	2,56	2,47	2,57	2,53	2,49											2,50	0,06	2,58	0,02	9,6	10				
30	2,48	2,44	2,4	2,47	2,59	2,54	2,51	2,47	2,4	2,51	2,43	2,52	2,59	2,6	2,48	2,48	2,45	2,6	2,56	2,44	2,46	2,41	2,57	2,52	2,42	2,43	2,56	2,49	2,47	2,55												2,49	0,06	2,58	0,02	10,3	11			
40a	2,5	2,52	2,59	2,41	2,46	2,4	2,59	2,41	2,57	2,41	2,51	2,44	2,56	2,6	2,56	2,43	2,59	2,5	2,5	2,4	2,47	2,4	2,54	2,58	2,48	2,6	2,42	2,46	2,48	2,55												2,50	0,07	2,58	0,02	13,0	14			
40b	2,59	2,53	2,42	2,37	2,5	2,51	2,6	2,35	2,5	2,58	2,61	2,37	2,37	2,51	2,38	2,62	2,58	2,38	2,41	2,38	2,45	2,65	2,64	2,56	2,39	2,41	2,4	2,53	2,43	2,65													2,49	0,10	2,58	0,02	27,1	28		
50	2,61	2,35	2,62	2,62	2,54	2,63	2,48	2,53	2,44	2,59	2,4	2,53	2,54	2,56	2,57	2,42	2,63	2,39	2,64	2,59	2,64	2,57	2,57	2,47	2,61	2,64	2,57	2,42	2,45	2,52													2,54	0,09	2,58	0,02	18,9	19		
60	3,28	3,16	3,09	2,87	3,04	3,25	3,24	3,12	3,28	2,97	2,83	3,24	3,24	3,11	3,14	3,27	3,01	3,19	3,01	2,95	2,85	3,06	2,93	3,16	3,04	3,01	2,99	3,16	3,27	2,93	3,11	3,02	2,89										3,08	0,14	2,58	0,02	32,6	33		
70	9,52	9,23	9,37	9,4	9,6	9,77	9,46	9,12	9,77	9,67	9,11	9,03	9,34	9,78	9,67	9,04	9,57	9,1	9,08	9,73	9,1	9,47	9,78	9,72	9,54	9,21	9,21	9,01	9,68	9,47													9,42	0,27	2,58	0,02	13,4	14		
80	13,78	13,99	13,9	13,77	13,7	13,87	13,8	13,79	13,94	13,94	13,73	13,78	13,86	13,85	13,86	13,81	13,87	13,71	13,79	13,74	13,83	13,89	13,81	13,7	13,71	13,93	13,97	13,99	13,88	13,83														13,83	0,09	2,58	0,02	0,6	1	
85	3,28	3,01	3,15	3,07	2,95	2,94	2,86	2,8	3,21	3,22	3,18	2,87	3,15	3,02	2,86	3	2,94	2,84	2,92	2,83	3,12	2,8	3,11	3,25	3,03	2,98	2,81	2,94	3,07	3,15	3,02	2,89	3,21	3,15	2,91	3,03	3,22	3,19					3,02	0,14	2,58	0,02	37,3	38		
90	7,78	7,72	8,02	8,16	7,74	7,89	7,94	8,04	7,94	7,71	8,23	8,16	8,15	7,72	7,82	8,02	7,97	8,15	8,15	7,94	8,33	8,07	7,71	7,75	7,77	8,37	8,07	8,27	7,7	7,77														7,97	0,21	2,58	0,02	11,1	12	
100a	6,99	6,94	6,77	6,79	6,82	6,8	6,97	6,86	6,83	7	6,75	6,9	6,79	6,82	6,82	6,86	6,84	7	7,02	7,01	6,95	6,97	6,94	6,83	6,78	6,87	6,98	6,9	6,75	6,95														6,88	0,09	2,58	0,02	2,6	3	
100b	7,94	7,86	7,9	7,76	7,78	7,79	7,92	7,75	7,96	7,96	7,79	7,93	7,77	7,92	7,77	7,83	7,93	7,77	7,83	7,72	7,76	7,99	7,78	7,74	7,85	7,95	7,87	7,71	7,97	7,75														7,84	0,09	2,58	0,02	2,1	3	
110a	9,73	9,77	9,77	9,98	9,94	9,71	9,97	9,97	9,74	9,86	9,75	9,73	9,71	9,73	9,87	9,75	9,77	9,77	9,7	9,81	9,98	9,71	9,75	9,9	9,91	10	9,7	9,85	9,85	9,88															9,82	0,10	2,58	0,02	1,7	2
110b	10,95	11,07	10,89	11,08	11,14	11,08	11,01	11,01	11,13	10,89	11,1	10,9	10,91	11,07	10,95	10,91	11,07	10,9	11,01	11,08	10,85	10,89	11,1	11,02	10,85	11,09	11,1	10,85	11,07	11,04															11,00	0,09	2,58	0,02	1,2	2
110c	12,4	12,33	12,27	12,32	12,06	12,39	12,29	12,31	12,17	12,37	12,13	12,03	12,22	12,01	12,08	12,03	12,16	12,09	12	12,15	12,34	12,11	12,05	12,38	12,21	12,17	12,22	12,04	12,05	12,28															12,19	0,13	2,58	0,02	1,9	2
115	5,09	4,96	4,84	5,07	5,04	4,89	4,98	5,15	5,2	4,89	5,1	5,01	4,81	4,87	4,89	4,88	4,86	5,09	4,84	5,12	4,97	5,16	5,05	4,85	4,9	5,05	5,03	5,13	4,95	5,13														4,99	0,12	2,58	0,02	8,9	9	
120	1,51	1,71	2,1	1,34	1,35	1,83	1,15	1,63	1,3	1,6	1,49	1,15	1,73	1,74	1,4	1,62	1,49	1,85	1,75	1,76	1,7	1,33	1,26	1,21	1,38	1,27	1,67	1,29	1,43	1,42														1,52	0,24	1,96	0,10	9,3	10	

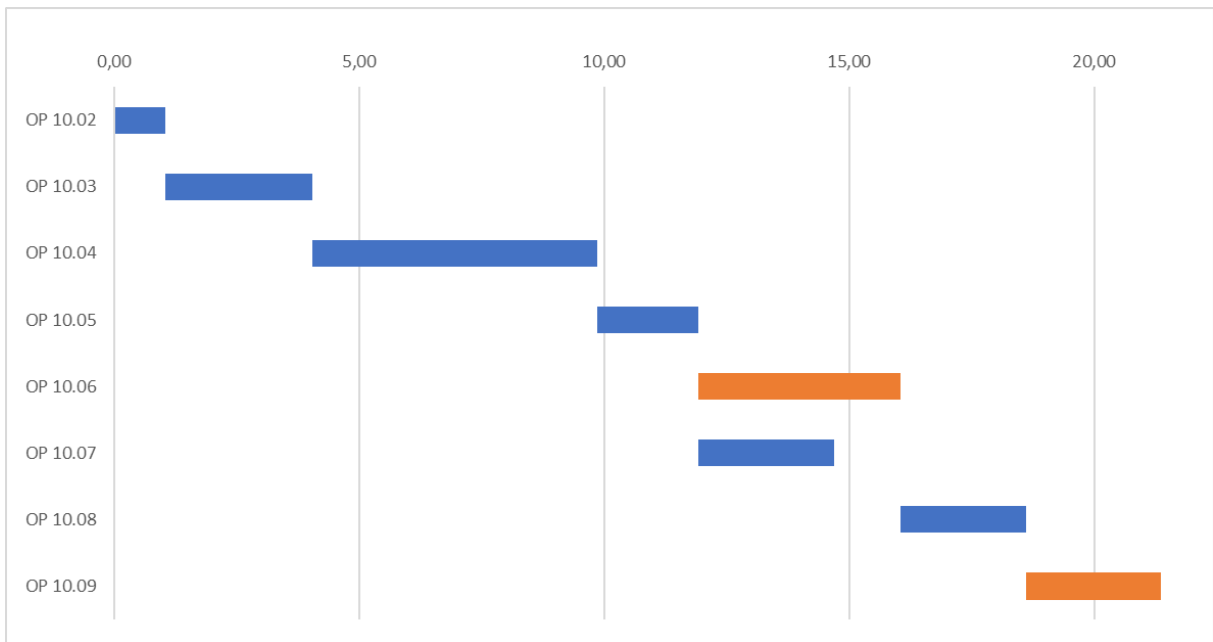


Figura A.1 - Diagrama de Gantt da operação OP 10

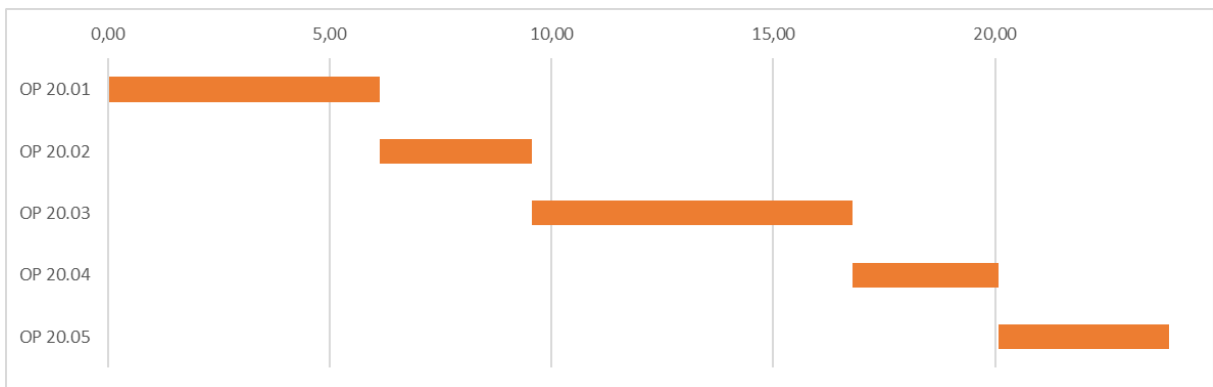


Figura A.2 - Diagrama de Gantt da operação OP 20

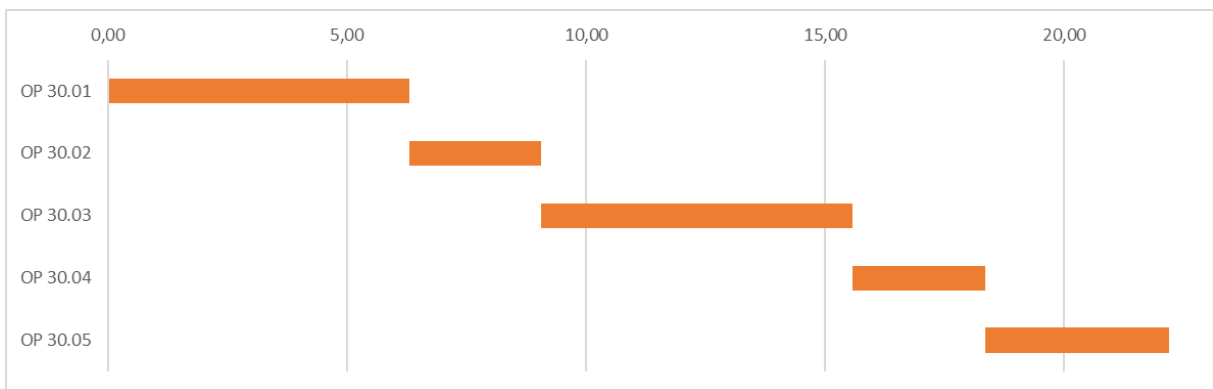


Figura A.3 - Diagrama de Gantt da operação OP 30

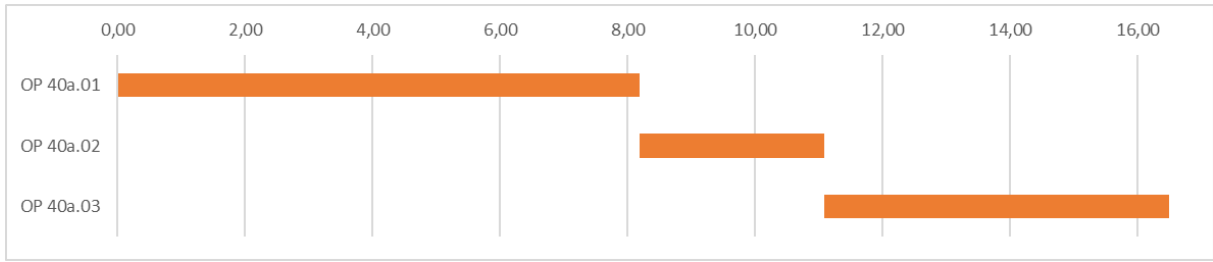


Figura A.4 - Diagrama de Gatt da operação OP 40a

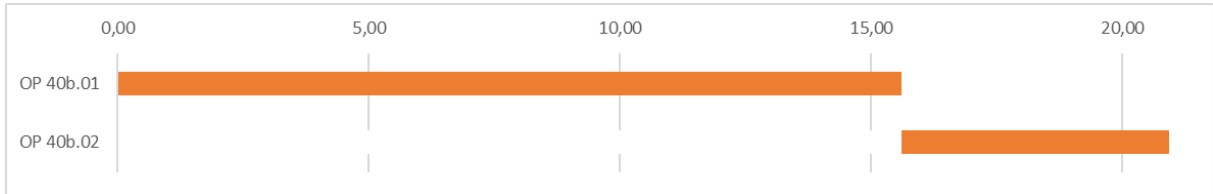


Figura A.5 - Diagrama de Gatt da operação OP 40b

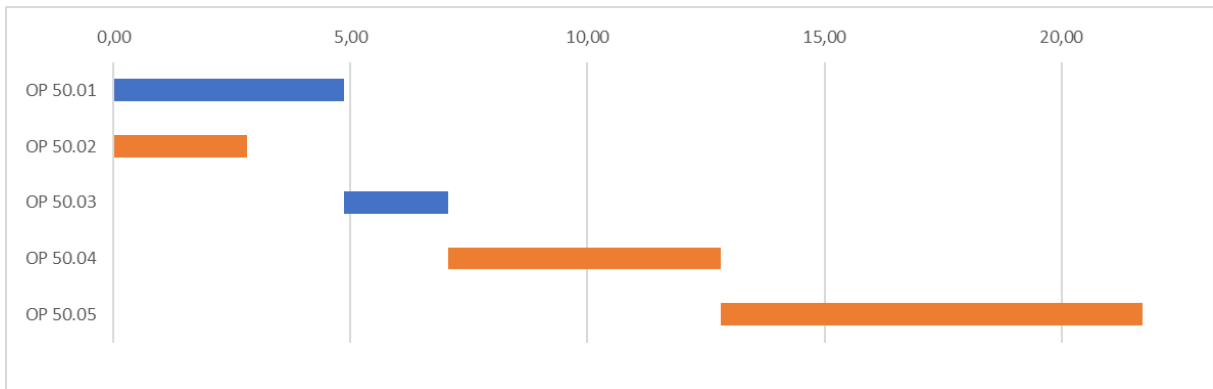


Figura A.6 - Diagrama de Gatt da operação OP 50

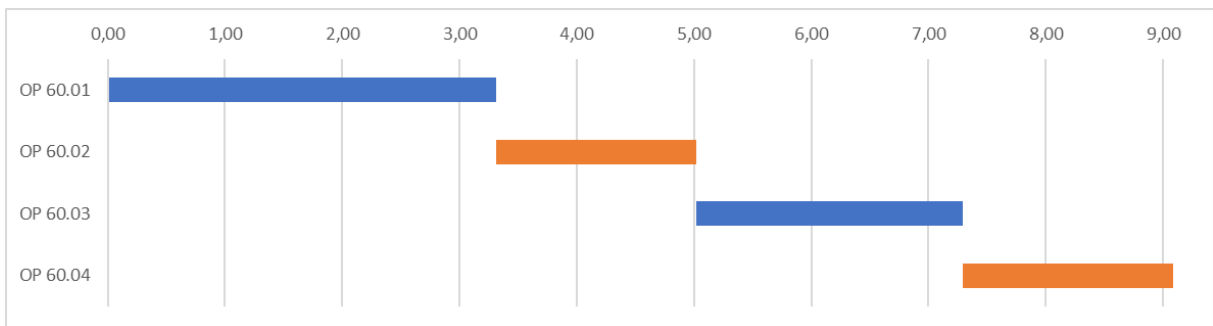


Figura A.7 - Diagrama de Gatt da operação OP 60

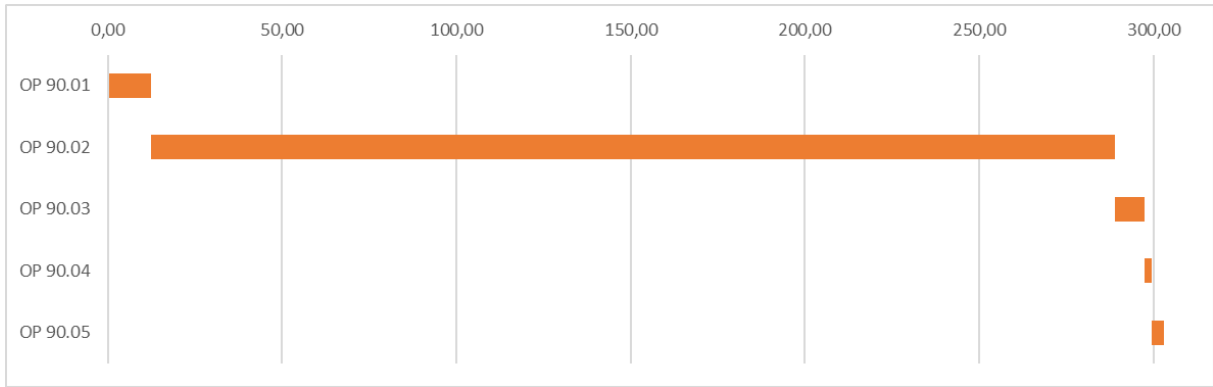


Figura A.8 - Diagrama de Gatt da operação OP 90

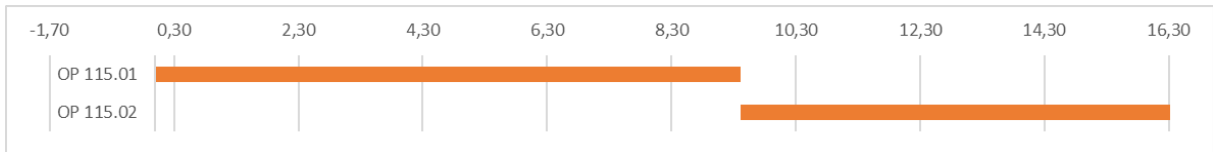


Figura A.9 - Diagrama de Gatt da operação OP 115

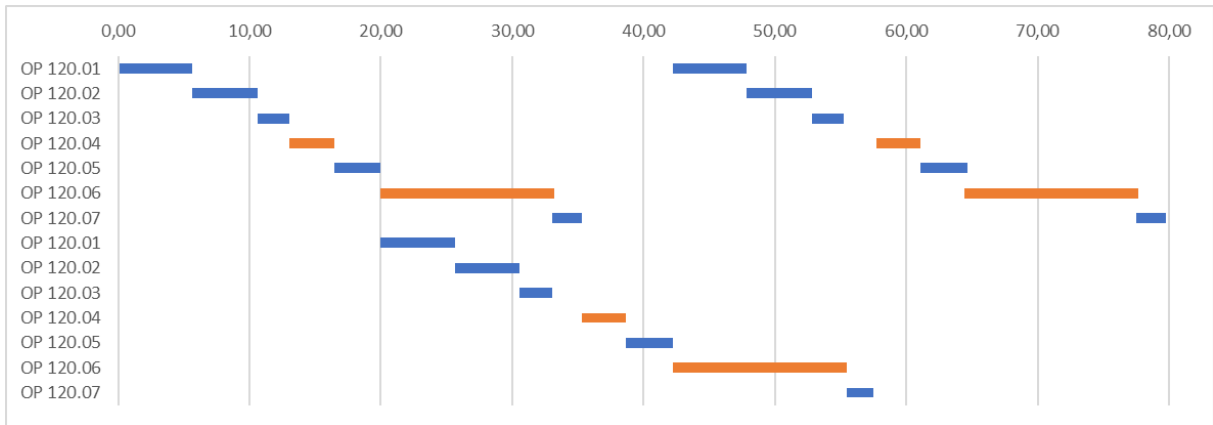


Figura A.10 - Diagrama de Gatt da operação OP 120

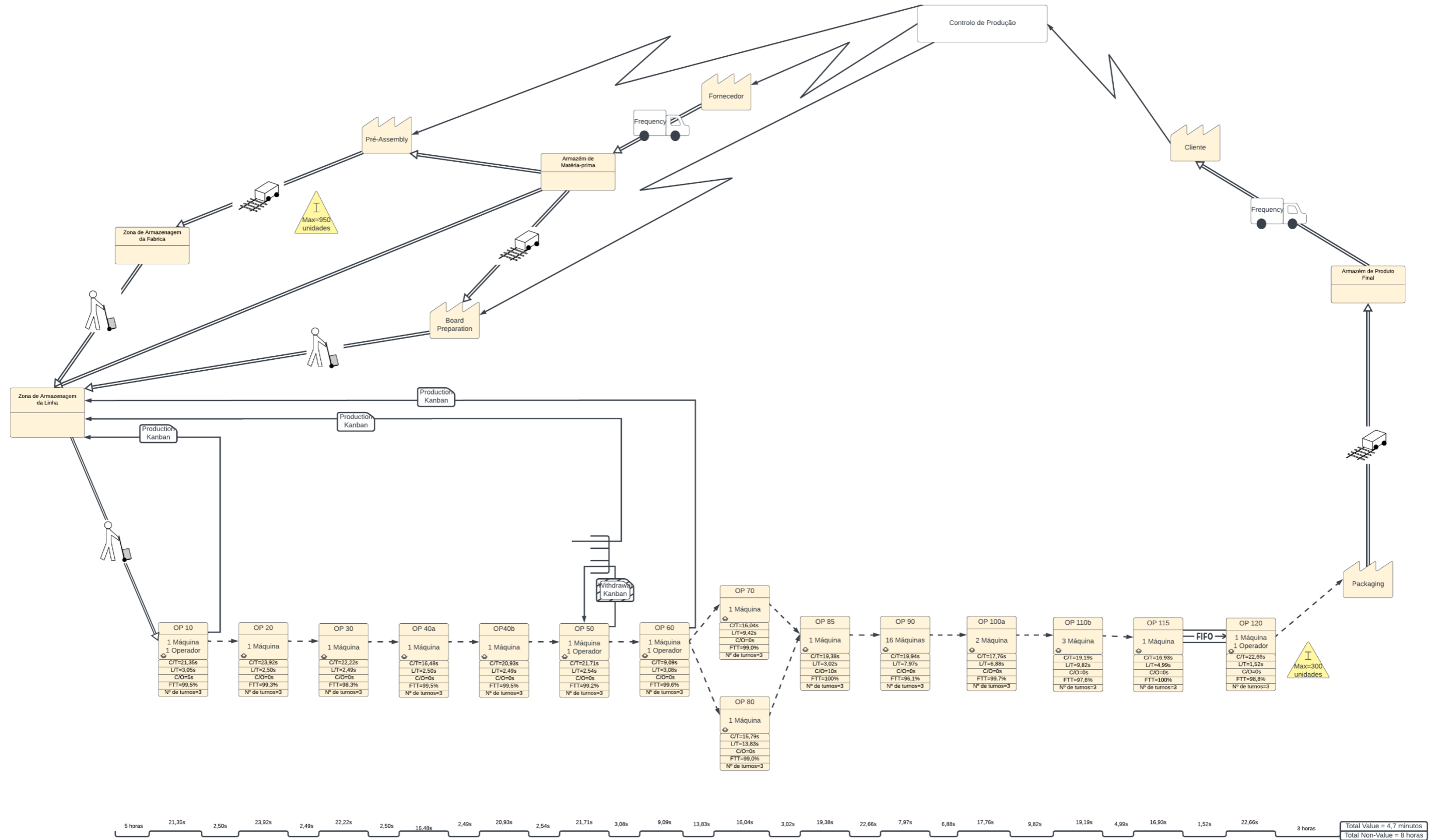


Figura A.11 - VSM Current State

Tabela A.0.17 - Folha de registo dos tempos das subtarefas da tarefa OP 20.01

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra			
OP 20.01a	5,30	4,98	5,43	4,87	5,17	5,32	5,41	4,94	5,20	5,02	4,96	5,12	5,04	4,95	5,22	4,95	4,96	4,69	5,11	4,83	5,12	5,09	5,09	5,01	5,17	4,83	5,18	5,18	5,05	5,26												5,07	0,170	2,58	0,02	18,701	19
OP 20.01b	1,04	0,97	1,12	0,97	1,05	0,99	0,99	1,05	1,08	1,11	0,97	1,05	0,98	1,03	1,01	1,02	1,1	1	0,98	1,08	1,12	1,04	1,12	1,06	0,97	0,97	1,03	1,02	0,98	1,05	0,98	1,05	1,09	1,01	1,11	0,99	1,05	1,04	0,98	1,03	0,050	2,58	0,02	38,28	39		

Tabela A.0.18 - Folha de registo dos tempos das subtarefas da tarefa OP 30.01

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	T41	Média	Desvio Padrão	Z(95%/99%)	Erro	Tamanho da Amostra					
OP 30.01a	5,21	5,32	5,16	5,05	5,11	5,18	5,14	5,18	5,33	5,37	5,23	5,30	5,24	5,26	5,11	5,22	5,08	5,70	5,30	5,09	5,27	5,11	5,17	5,30	5,27	5,27	5,08	5,26	5,20	5,63																5,24	0,144	2,58	0,02	12,57556	13
OP 30.01b	1,12	1,13	1	1,14	1	1,13	1,1	1,13	1,04	0,99	1,11	1,07	1,04	1,09	1,05	1,05	1,07	1,14	1,05	1,15	1,08	1,12	0,98	1,1	1,1	1,13	1,09	1	1,14	1,11	1,01	1,1	1,04	1,11	1,14	0,97	1,07	1,01	1,05	1	1,13	1,08	0,053	2,58	0,02	40,60757	41				

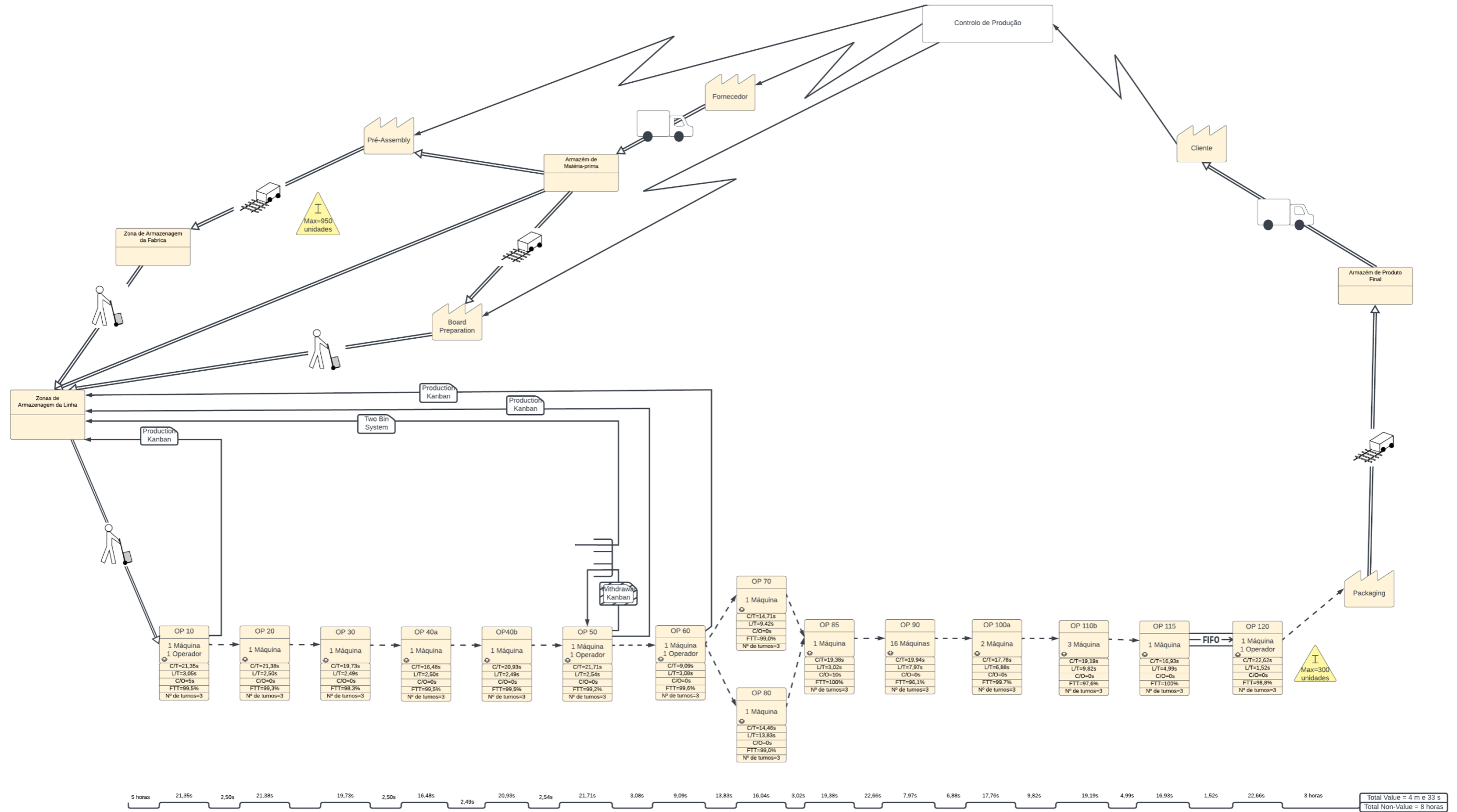


Figura A.12 - VSM Future State



2024

JOÃO DOMINGUES

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN P PARA A MELHORIA DA EFICIÊNCIA DE UMA LINHA
DE MONTAGEM DE PAINÉIS DE INSTRUMENTOS PARA AUTOMÓVEIS