



DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL

CONSTANÇA LUÍS FERNANDES

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

PROPOSTA DE UM MODELO INTEGRADO *MAKIGAMI*-SLP NA SECÇÃO DE EMBALA- MENTO DE UMA FÁBRICA DE PAINÉIS DE INSTRUMENTOS AUTOMÓVEIS

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa

Setembro, 2025



DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL

PROPOSTA DE UM MODELO INTEGRADO *MAKIGAMI*- SLP NA SECÇÃO DE EMBALAMENTO DE UMA FÁ- BRICA DE PAINÉIS DE INSTRUMENTOS AUTOMÓVEIS

CONSTANÇA LUÍS FERNANDES

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Radu Godina,
Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos,
Professora Associada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Uni-
versidade NOVA de Lisboa

Arguente: Doutora Inês de Abreu Ferreira,
Professora Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univer-
sidade NOVA de Lisboa

Orientador: Doutor Radu Godina,
Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
NOVA de Lisboa

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA E GESTÃO INDUSTRIAL

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2025

PROPOSTA DE UM MODELO INTEGRADO *MAKIGAMI*-SLP NA SECÇÃO DE EMBALAMENTO DE UMA FÁBRICA DE PAINÉIS DE INSTRUMENTOS AUTOMÓVEIS

Copyright © Constança Luís Fernandes, 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.

À minha família e amigos,

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de expressar a minha gratidão ao Professor Radu Godina por toda a orientação e disponibilidade demonstradas no decorrer da minha dissertação.

Um agradecimento especial à instituição que me acolheu desde o primeiro dia e que tanto contribuiu para a minha formação académica e pessoal, a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa.

Agradecer também, e de um modo particular, ao Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, bem como a todo o seu corpo docente que, de forma incansável, apoia todos os estudantes que por lá passam.

Esta dissertação não seria possível sem o forte acompanhamento prestado ao longo do estágio, por parte da empresa Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant, que tão bem me acolheu. Agradeço profundamente a todos os colaboradores com quem tive o enorme privilégio de trabalhar e aprender. Deixo um especial agradecimento ao meu orientador, Engenheiro Tomás Ribeiro, líder da equipa OPEX, Melhoria Contínua, que sempre se prontificou a ajudar e orientar o meu trabalho, recebendo-me com simpatia e apresentando-me o projeto desafiante da zona de *Packing*.

Por fim, aos meus pais e irmão pelo forte apoio dado, por nunca me deixarem perder o foco e me motivarem sempre a abraçar novos desafios, agradeço-lhes por me permitirem sonhar com os pés no chão. Agradeço também à restante família e amigos, pelo apoio e motivação que sempre me deram para ir mais além, de um modo especial aos meus padrinhos de curso e amigos para a vida, a Maria e o Diogo, por todo o apoio e carinho ao longo da minha vida académica e pessoal. Às minha colegas e amigas Mariana, Madalena e Matilde por caminharmos lado a lado ao longo destes 5 anos, que assim permaneça por muitos e bons anos.

O cessar desta etapa é o início de uma vida nova, por isso quero levar-vos a todos comigo nesta nova aventura.

*"Progress is not possible without change.
Those who cannot change their minds cannot change anything."
(Taiichi Ohno)*

RESUMO

O ramo da indústria automóvel é cada vez mais competitivo e exigente, torna-se imperativo o aumento da sua flexibilidade e permanente evolução tecnológica para aumentar a produtividade, mantendo sempre a satisfação dos seus clientes. Deste modo, a integração de filosofias *Lean* é um ponto fulcral para análise crítica dos processos e para a reconfiguração dos *layouts* de produção, contribuindo para a evolução das organizações.

Esta dissertação é um estudo de caso onde é proposto um modelo integrado que combina as ferramentas *Makigami* e *Systematic Layout Planning* (SLP). O modelo proposto parte da análise detalhada do estado atual dos processos e culmina com a redefinição do *layout* do SLP. As fases finais incluem a construção de um *Makigami* futuro, refletindo a incorporação das melhorias propostas e permitindo a quantificação dos ganhos obtidos. A aplicação do modelo incidindo sobre o processo de produção de *clusters* e *displays* automóveis, numa fábrica de painéis de instrumentos automóveis. Este modelo integrado foi aplicado em todo o processo, desde a receção das necessidades dos clientes, até ao embalamento e expedição do produto acabado. O principal objetivo da aplicação consistiu na redução de desperdícios logísticos e de movimentação, assegurando uma maior integração entre as áreas mais críticas. Os resultados evidenciam melhorias bastante relevantes nos principais indicadores de desempenho, com reduções nos tempos e nas distâncias percorridas pelos operadores. A aplicação do modelo integrado *Makigami*-SLP mostrou ser eficaz na eliminação de ineficiências e na criação de um sistema mais ágil e alinhado com os princípios *Lean*, contribuindo também para a literatura ao propor uma integração inovadora e replicável de metodologias de mapeamento e planeamento de *layouts*.

Palavas chave: *Makigami*, SLP, *Lean*, Mapeamento de Processos, *Layout*

ABSTRACT

The automotive industry has become increasingly competitive and demanding, making it imperative to enhance flexibility and pursue continuous technological development in order to boost productivity while ensuring customer satisfaction. In this context, the integration of Lean philosophies plays a crucial role in critically analyzing processes and reconfiguring production layouts, contributing to the evolution of organizations.

This dissertation proposes an integrated model that combines the *Makigami* method and Systematic Layout Planning (SLP). The model begins with a detailed analysis of the current state of processes and culminates in the redefinition of the layout through SLP. The final stages include the construction of a future-state *Makigami*, reflecting the incorporation of proposed improvements and enabling the quantification of the achieved gains. The model was applied to the production process of automotive clusters and displays in an instrument panel manufacturing plant. Its scope covered the entire process, from receiving customer requirements to the packing and shipment of the finished product. The main objective of this application was to reduce logistical and handling waste, ensuring greater integration across critical areas.

The results demonstrate significant improvements in key performance indicators, with reductions in both processing times and operator travel distances. The integrated *Makigami*-SLP model proved effective in eliminating inefficiencies and creating a more agile system aligned with Lean principles. Furthermore, it contributes to the literature by proposing an innovative and replicable integration of process mapping and layout planning methodologies.

Keywords: *Makigami*, SLP, Lean, Process Mapping, Layout

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contexto e Motivação.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Abordagem metodológica.....	3
1.4	Organização do documento	4
1.5	Declaração de Utilização de Inteligência Artificial	5
2	REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1	Eletrificação e Eletrónica na Indústria Automóvel.....	7
2.2	<i>Lean Management</i> e Ferramentas	9
2.2.1	Enquadramento Histórico	9
2.2.2	Princípios da filosofia <i>Lean</i>	11
2.2.3	Indicadores <i>Lean</i>	12
2.2.4	<i>Lean</i> aplicado ao setor da indústria automóvel.....	17
2.2.5	<i>Aplicação de ferramentas Lean na indústria automóvel</i>	17
2.3	<i>Makigami</i>	19
2.3.1	Integração de <i>Makigami</i> com outras ferramentas.....	20
2.3.2	Comparação do <i>Makigami</i> com outras ferramentas <i>Lean</i>	22
2.4	<i>Systematic Layout Planning</i>	23
2.4.1	Integração de SLP com outras ferramentas	24
2.5	Integração de <i>Makigami</i> com <i>Systematic Layout Planning</i>	26

3	PROPOSTA DE MODELO INTEGRADO <i>MAKIGAMI-SLP</i>	29
3.1	<i>Método Makigami</i>	29
3.1.1	Objetivos.....	29
3.1.2	Áreas de Aplicação.....	30
3.1.3	Implementação do <i>Makigami</i> : passo-a-passo	30
3.1.4	Limitações do <i>Makigami</i>	35
3.2	<i>Systematic Layout Planning</i> (SLP).....	36
3.2.1	Objetivos.....	36
3.2.2	Fundamentos do SLP	37
3.2.3	Fases do Planeamento.....	37
3.2.4	Ferramentas utilizadas pelo Método SLP	41
3.2.5	Aplicabilidade e Benefícios	50
3.2.6	Limitações do SLP.....	51
3.3	Objetivos do Modelo Integrado <i>Makigami-SLP</i>	51
3.3.1	Funcionamento do Modelo Integrado <i>Makigami-SLP</i>	52
3.3.2	Aplicabilidade do Modelo Integrado <i>Makigami-SLP</i>	56
3.3.3	Limitações do Modelo Integrado <i>Makigami-SLP</i>	57
4	APLICAÇÃO DO MODELO INTEGRADO <i>MAKIGAMI-SLP</i> NUMA UNIDADE INDUSTRIAL.....	59
4.1	Caracterização da Indústria Automóvel.....	60
4.1.1	A indústria Automóvel no Mundo	60
4.1.2	A indústria Automóvel em Portugal.....	61
4.1.3	Caracterização da Empresa - Visteon Corporation.....	64
4.1.4	Caracterização da Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant	64
4.1.5	Caracterização da linha em estudo.....	65
4.1.6	Caracterização dos produtos da linha em estudo	66
4.2	Aplicação do modelo integrado <i>Makigami-SLP</i> na linha em estudo	69
4.2.1	Mapeamento do estado atual	72

4.2.2	Propostas de melhoria e mapeamento do estado futuro.....	82
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
5.1	Principais contribuições	91
5.1.1	Comparação entre o Estado Atual e o Estado Futuro	91
5.1.2	Comparação com a literatura existente	93
5.2	Limitações e Desafios.....	94
5.3	Vantagens do Estudo de Caso.....	95
5.4	Diretivas para a Empresa	96
6	CONCLUSÃO	97
6.1	Contribuição para a literatura existente.....	98
6.2	Trabalhos Futuros.....	99
	REFERÊNCIAS	99
	APÊNDICES	105
	<i>Apêndice A</i>	107
	Apêndice B.....	113
	Apêndice C	123
	Apêndice D	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Abordagem metodológica utilizada na realização do trabalho prático.....	3
Figura 2.1 - Evolução da percentagem do custo dos componentes eletrónicos no fabrico de automóveis (1950–2030)	8
Figura 2.2 - Projeção do crescimento do mercado global da eletrónica automóvel (2023–2030)	8
Figura 2.3 - OEE <i>Benchmarking</i>	14
Figura 2.4 - Modelo OEE.....	16
Figura 2.5 - Principais símbolos do VSM	18
Figura 2.6 - Makigami construído no estudo de Aij, em 2014.....	21
Figura 3.1 - Exemplo de um <i>Makigami</i> (construído pela <i>Gemba Academy</i>).....	32
Figura 3.2 - Excerto do <i>Makigami</i> (secção das propostas de melhoria).....	34
Figura 3.3 - Excerto do <i>Makigami</i> (secção para inserir os dados de tempos e distâncias).....	34
Figura 3.4 - Modelo de fases de implementação do SLP.....	38
Figura 3.5 - Fases de implementação do método SLP.....	41
Figura 3.6 - <i>The Key</i> - PQIRST	42
Figura 3.7 - Construção do Diagrama de Relações	44
Figura 3.8 - Excerto de um Diagrama de Relações.....	44
Figura 3.9 - Diagrama Espacial de Relações.....	48
Figura 3.10 - Diagrama de Blocos	50
Figura 3.11 - Fluxograma do modelo integrado <i>Makigami</i> -SLP	53
Figura 3.12 - Constituição do <i>Lead Time</i>	54
Figura 4.1 - Gráfico que representa a produção de motores automóveis	61
Figura 4.2 - Gráfico que representa a produção automóvel em Portugal.....	63
Figura 4.3 - Linha de produção do produto BX 726 (CID e LXDM)	66

Figura 4.4 - Integração do Cluster e do Display no automóvel.....	66
Figura 4.5 - Vista Explodida do <i>Display</i> LHD.....	67
Figura 4.6 - Vista Explodida do <i>Cluster</i>	67
Figura 4.7 - Ciclo de vida do produto dentro da fábrica.....	68
Figura 4.8 - Produção diária de alguns produtos produzidos na Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant.....	71
Figura 4.9 - <i>Template</i> para o <i>Makigami</i>	72
Figura 4.10 - Diagrama de relações do estado atual.....	78
Figura 4.11 - Diagrama espacial de Relações do estado atual.....	80
Figura 4.12 - Diagrama de Blocos do estado atual	81
Figura 4.13 - a) Exemplo de um veículo MIR; b) Fotografia de um dos primeiros testes feitos para a implementação da melhoria proposta	84
Figura 4.14 - Diagrama Espacial de Relações do estado futuro	86
Figura 4.15 - Diagrama de Blocos do estado futuro.....	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tabela comparativa dos estudos efetuados com SLP	26
Tabela 3.1 - Quadro resumo para elaboração do Diagrama de Relações.....	43
Tabela 3.2 - Convenção de razões de interações.....	43
Tabela 3.3 - Convenções utilizadas quando se implementa SLP	47
Tabela 4.1 - Estrutura metodológica do estudo de caso	70
Tabela 4.2 - Justificação de <i>handoffs</i> e <i>touches</i> no <i>Makigami</i> do estado atual.....	75
Tabela 4.3 - Valores de proximidade calculados	79
Tabela 5.1 - Tabela comparativa entre o estado atual e o estado futuro.....	91

SIGLAS

AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
BPMN	<i>Business Process Model and Notation</i>
BWS	<i>Best Work Standard</i>
CAD	<i>Computer-aided design</i>
CID	<i>Cluster Instrument Display</i>
CT	<i>Cycle Time</i>
EOL	<i>End-of-Line</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FTE	<i>Full-Time Equivalents</i>
FTT	<i>First Time True</i>
JIPM	<i>Japan Institute of Plant Maintenance</i>
LHD	<i>Left-Hand Drive</i>
LT	<i>Lead Time</i>
LXDM	<i>Cluster da car line BX 726</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
NNVA	<i>Necessary but Non-Value Added</i>
NNVA	<i>Necessary Non-Value-Added</i>
NVA	<i>Non-Value Added</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OTIF	<i>On Time In Full</i>
PA	<i>Produto acabado</i>
RHD	<i>Right-Hand Drive</i>
SAP	<i>Systems, Applications and Products in Data Processing</i>
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
SMD	<i>Surface Mount Devices</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TPS	<i>Toyota Production System</i>
TT	<i>Takt Time</i>
VA	<i>Value Added</i>
WIP	<i>Work In Progress</i>
OPEX	<i>Operational Excellence</i>

INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo tem como propósito contextualizar o estudo de caso, começando pela motivação que levou à sua execução. Em seguida, serão delineados os principais objetivos a atingir, detalhando a metodologia aplicada ao longo do seu desenvolvimento. Por último, será descrita a estrutura do conteúdo presente nesta dissertação.

1.1 Contexto e Motivação

O setor da indústria automóvel tem vindo a enfrentar níveis cada vez mais elevados de competitividade, muito devido ao recente crescimento económico dos países em desenvolvimento (Sturgeon et al., 2009). Os clientes estão cada vez mais exigentes quanto à elevada variedade de produtos (muitos desses produtos são já customizados), baixos custos, prazos de entrega e, principalmente, quanto aos padrões de qualidade. Este último é um fator crucial à fidelização destes mesmos clientes (J. Womack & Jones, 1996). Deste modo, as empresas vêm-se forçadas a investir em soluções que assegurem uma rápida produção, soluções essas que devem ser o mais inovadoras possível e que gerem baixos níveis de desperdícios, só assim é possível alcançar um elevado nível de dinamismo e uma gestão mais eficiente. Para alcançar níveis superiores de eficiência e dinamismo, uma das abordagens mais reconhecidas é a Gestão *Lean* (*Lean Management*), que se foca na eliminação sistemática de desperdícios e na criação de valor para o cliente (J. P. Womack et al., 1990).

É indiscutível que a indústria automóvel desempenha um papel bastante central na economia mundial (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA), 2023) e a empresa onde foi desenvolvida esta dissertação, Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant, tem um forte destaque enquanto uma das empresas líder globais no segmento de produção de

componentes eletrônicos para automóveis, fomentando assim, um ambiente propício à inovação e ao desenvolvimento dos seus colaboradores.

Assim, a realização deste estudo de caso na zona de embalagem (*packing*) é imperativa, uma vez que se compromete a desenvolver estratégias, através de metodologias e ferramentas *Lean* que visam a implementação de melhorias significativas nesta zona. Através de alterações ao *layout* atual, é possível reduzir tempos de deslocação e consequente diminuição dos tempos de ciclo dos produtos, conseguir mais espaço para armazenamento de componentes que irão abastecer a linha e melhorar a circulação e o bom funcionamento de todas as estações de trabalho, evitando a entropia característica da atual zona de *packing*.

1.2 Objetivos

Esta dissertação foi desenvolvida em contexto de estágio profissional (12 meses), na equipa OPEX da empresa Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant. Teve por base o projeto, proposto pela empresa, que consistia na melhoria do *layout* e do funcionamento das zonas mais críticas da área de embalagem (*packing*) da fábrica. Para alcançar este objetivo é proposto o modelo integrado *Makigami*-SLP, bem como a sua aplicação no contexto da empresa. Assim, tornou-se possível alcançar níveis mais elevados de eficiência, uma vez que estas zonas são utilizadas tanto para embalagem de produto acabado (*packing*), como para armazenamento temporário de componentes que, posteriormente, abastecerão as linhas de produção (*feeding*).

De forma a iniciar o desenvolvimento e aplicação do modelo integrado, é necessário ter alguns pontos muito bem entendidos, nomeadamente, a identificação das linhas mais críticas na zona de *packing*, o nível de ocupação de cada colaborador dessas linhas, quer seja a realizar tarefas de *packing* ou de *feeding*, como também a correta identificação dos espaços dedicados a cada componente e a cada produto.

Com todos os processos bem entendidos, é possível passar aos objetivos mais específicos do estudo, nomeadamente, a análise do fluxo atual de atividades na área de *packing*, identificando desperdícios e ineficiências. Em seguida aplicou-se a metodologias SLP, tendo em conta o *layout* levantado anteriormente e as relações e afinidades entre cada área. Depois desta tarefa concluída, procedeu-se ao mapeamento mais detalhado de todos os processos através do *Makigami*, ferramenta que ajudou bastante na análise crítica.

Com a análise crítica feita, projetou-se um novo SLP com todas as alterações necessárias e benéficas à zona em questão e avaliou-se os benefícios operacionais decorrentes da implementação do modelo proposto.

1.3 Abordagem metodológica

A presente dissertação seguiu a metodologia de estudo de caso, adequada para analisar fenómenos atuais no seu contexto real (Yin, 2009). Muito utilizada em ambiente industrial e no chão de fábrica, esta abordagem permite observar fluxos de materiais e informação, bem como a interação entre operadores e sistemas. A sua aplicação possibilitou validar empiricamente a integração das ferramentas *Lean*, relacionando os resultados obtidos com os objetivos definidos. Para assegurar um desenvolvimento bem estruturado e conciso, a realização deste estudo segue a metodologia apresentada no esquema da figura 1.1. Esta metodologia encontra-se dividida em 6 partes e segue o seguinte encadeamento:

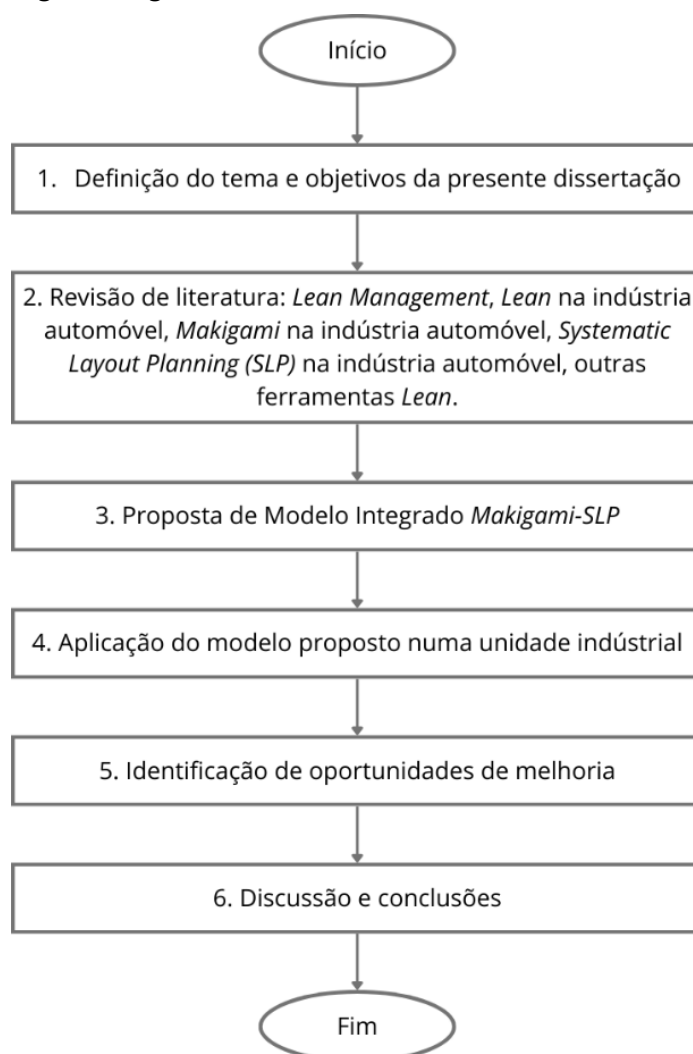


Figura 1.0.1 - Abordagem metodológica utilizada na realização do trabalho prático

O fluxograma apresentado na figura 1.1 apresenta, de forma sequencial e estruturada, a metodologia adotada na presente dissertação. Inicia-se com a definição do tema e dos

objetivos, seguida por uma revisão de literatura abrangente sobre *Lean Management* e as ferramentas *Makigami* e *Systematic Layout Planning* (SLP) no contexto da indústria automóvel. Posteriormente, é apresentada a proposta do modelo integrado *Makigami*-SLP, a qual é aplicada a uma unidade industrial real. Após essa implementação, procede-se à identificação de oportunidades de melhoria com base nos problemas identificados ao longo da aplicação do modelo e nos resultados obtidos. Por fim, a metodologia culmina na discussão crítica e nas conclusões, encerrando o processo de investigação e análise.

1.4 Organização do documento

A presente dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos.

O presente capítulo, intitulado de "1. Introdução", é responsável pelo contexto e motivação para a realização do estudo, definição de objetivos, realização da metodologia utilizada e descrição da organização do documento.

No segundo capítulo, "2. Revisão de Literatura", são explorados os conceitos teóricos fundamentais relacionados com as metodologias *Lean*, em particular as ferramentas *Makigami* e SLP, bem como a sua aplicação no setor automóvel.

O terceiro capítulo "3. Proposta de Modelo Integrado *Makigami*-SLP", detalha a proposta do modelo integrado *Makigami*-SLP, explicando os seus fundamentos, funcionamento e a forma como estas ferramentas se complementam para otimizar processos e *layouts* na área de *packing*.

O capítulo seguinte, "4. Aplicação do Modelo Integrado *Makigami*-SLP numa unidade industrial" apresenta-se o estudo de caso na empresa Visteon Portuguesa Lda, descrevendo a organização, a zona de embalamento analisada, bem como a respetiva linha de produção. É também neste capítulo que se descreve a aplicação prática do modelo proposto, incluindo o levantamento do estado atual, a análise crítica dos fluxos e desperdícios com as ferramentas integradas e o redesenho do *layout*.

No quinto capítulo, procede-se à discussão dos resultados, comparando a situação inicial com os ganhos operacionais após a implementação do modelo, bem como à identificação de oportunidades de melhoria.

Por fim, o sexto capítulo reúne as conclusões principais do trabalho, destacando as contribuições científicas e práticas da dissertação, as suas limitações e as recomendações para futuras investigações.

1.5 Declaração de Utilização de Inteligência Artificial

No presente trabalho foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa, nomeadamente ChatGPT (versão gratuita, disponível em <https://chatgpt.com/>), para apoio à redação de texto, em particular na reformulação de frases, na revisão gramatical e ortográfica e na melhoria da clareza, coerência e fluidez da escrita. Estas ferramentas foram empregues sob a supervisão da autora e todos os conteúdos gerados foram verificados quanto à sua precisão. A autoria e a validação dos conteúdos permanecem inteiramente sob a responsabilidade da autora, estando a utilização da inteligência artificial em conformidade com as normas institucionais de integridade académica.

REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo tem a finalidade de introduzir fundamentos teóricos que suportaram o estudo realizado. Uma vez que, o âmbito desta dissertação é o desenvolvimento e posterior implementação de um modelo integrado entre duas ferramentas *Lean*, nomeadamente *Makigami* e o método SLP. O capítulo inicia com uma breve apresentação e contextualização de *Lean* e algumas ferramentas *Lean*, passando depois ao aprofundamento das ferramentas que foram utilizadas no modelo integrado, *Makigami* e SLP e a respetiva aplicabilidade no setor da indústria automóvel.

2.1 Eletrificação e Eletrónica na Indústria Automóvel

A indústria automóvel encontra-se atualmente em plena transição tecnológica, marcada por dois vetores complementares: a eletrificação da mobilidade e a crescente integração de sistemas eletrónicos nos veículos. Esta transformação tem vindo a alterar de forma significativa os modelos de desenvolvimento, fabrico e operação dos automóveis.

A eletrónica automóvel desempenha um papel cada vez mais relevante, integrando sistemas como *infotainment*, controlo de motor, gestão térmica, assistência à condução, entre outros. Esta evolução tecnológica resultou num aumento significativo da proporção do custo de fabrico dos veículos atribuída a componentes eletrónicos. Enquanto na década de 1950 esse valor era praticamente residual, estima-se que em 2024 represente cerca de 35% do custo total, podendo atingir os 50% até 2030 (Britton, 2025). Esta evolução é ilustrada no gráfico da figura 2.1 que se segue.

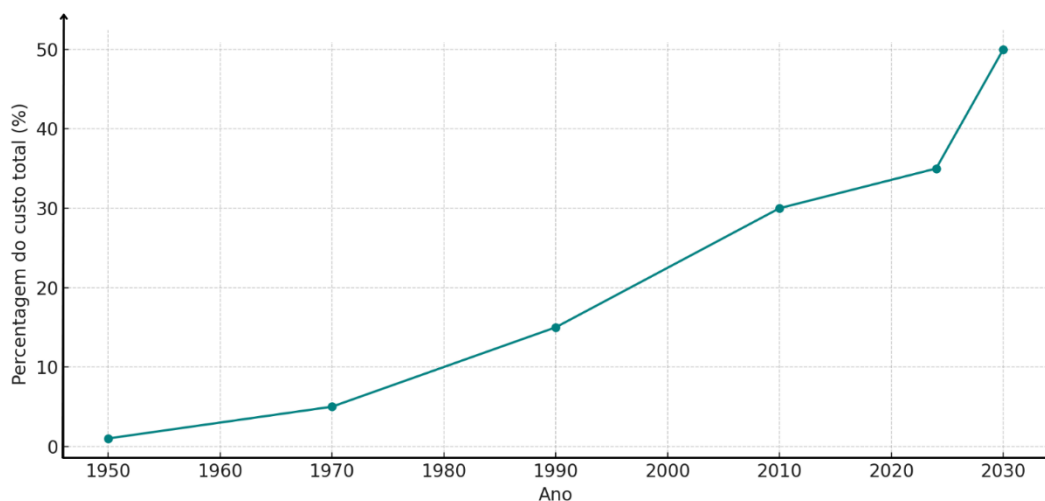


Figura 2.1 - Evolução da percentagem do custo dos componentes eletrónicos no fabrico de automóveis (1950–2030) (Adaptado de Britton, 2025)

Simultaneamente, o mercado global da eletrónica automóvel tem vindo a crescer de forma consistente. Estima-se que este mercado atinja os 462 mil milhões de dólares norte-americanos em 2030, o que corresponde a uma taxa de crescimento anual composta superior a 8% entre 2023 e 2030 (Britton, 2025). Este crescimento reflete a crescente procura por veículos elétricos, conectados e com serviços inteligentes, e exige que os fabricantes automóveis adaptem os seus processos produtivos, competências técnicas e infraestruturas industriais.

O gráfico presente na figura 2.2 apresenta esta projeção de evolução.

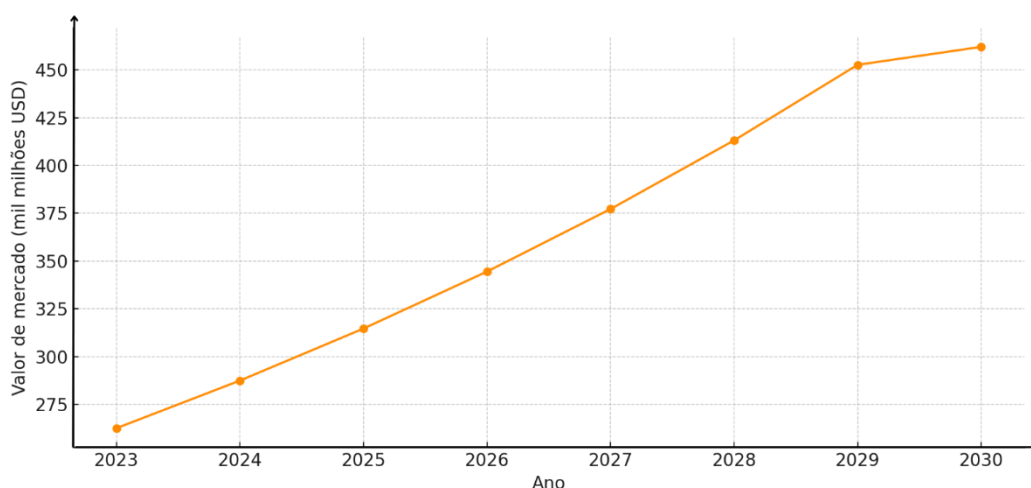


Figura 2.2 - Projeção do crescimento do mercado global da eletrónica automóvel (2023–2030) (Adaptado de Britton, 2025)

Empresas como a empresa onde o modelo desta dissertação vai ser aplicado, fortemente orientadas para soluções eletrônicas integradas, assumem um papel estratégico neste contexto de transformação. A convergência entre a eletrificação e a digitalização dos veículos obriga a uma reconfiguração das linhas de produção, maior flexibilidade dos layouts industriais e adoção de metodologias *Lean* adaptadas à variabilidade e complexidade dos produtos.

2.2 *Lean Management* e Ferramentas

2.2.1 Enquadramento Histórico

O Sistema de Produção Toyota (TPS) é amplamente reconhecido como um dos sistemas produtivos mais eficientes a nível mundial. Teve origem na década de 1940, no Japão, num contexto económico e social adversos para a empresa Toyota Motor Corporation, que enfrentava sérias dificuldades financeiras no período pós-Segunda Guerra Mundial (Ohno, 1988). Perante estas circunstâncias, Taiichi Ohno identificou a necessidade urgente de otimizar os processos de fabrico para conseguir competir com outras empresas. Esta otimização centrando-se na eliminação sistemática de desperdícios de forma a alcançar um aumento da eficiência operacional, redução de custos e aumento da satisfação do cliente (J. Womack & Jones, 1996), (Liker, 2004).

A terminologia e os princípios do modelo *Lean* surgiram apenas nas décadas seguintes, tendo sido formalmente difundidos a partir da década de 1990, quando os fundamentos do TPS começaram a ser adaptados e aplicados em diversos setores industriais, fora do Japão. A filosofia *Lean Manufacturing* fundamenta-se na identificação e eliminação de atividades que não acrescentam valor ao produto final, isto é, atividades pelas quais o cliente não está disposto a pagar, fundamenta-se também na identificação do fluxo de valor, no estabelecimento de um fluxo contínuo, na implementação de um sistema "*pull*" e na procura pela perfeição.

No setor automóvel, o *Lean Manufacturing* tem-se revelado fundamental para aumentar a competitividade e promover uma cultura de melhoria contínua.

A melhoria contínua (*Kaizen*) constitui um dos pilares do pensamento *Lean*, assentando na ideia de que pequenas melhorias regulares levam a ganhos significativos ao longo do tempo (Ohno, 1988). Esta abordagem sustenta uma cultura de responsabilidade partilhada, aprendizagem contínua e foco na eliminação de desperdícios. *Kaizen* é também uma prática estratégica: promove o envolvimento dos trabalhadores na identificação de problemas e propostas de melhoria, o que vem reforçar a eficiência e o espírito de equipa (Liker, 2004).

Também âmbito da filosofia *Lean*, a classificação das atividades de um processo em função do valor que acrescentam ao produto ou serviço constitui um dos pilares fundamentais para a identificação e eliminação de desperdícios (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Tradicionalmente, as atividades são agrupadas em três categorias distintas: *Value-Added* (VA), *Non-Value-Added* (NVA) e *Necessary Non-Value-Added* (NNVA).

As atividades de *Value-Added* (VA) correspondem a todas aquelas que transformam efetivamente o produto ou serviço de acordo com as necessidades do cliente. São operações pelas quais o cliente estaria disposto a pagar, uma vez que acrescentam valor direto ao resultado pretendido. Estas atividades incluem, por exemplo, a montagem de componentes, o processamento de matérias-primas ou a execução de operações críticas de qualidade.

Por outro lado, as atividades de *Non-Value-Added* (NVA) não acrescentam qualquer valor sob a perspectiva do cliente e, por isso, devem ser eliminadas sempre que possível. Estas atividades traduzem desperdícios típicos, tais como esperas, retrabalhos, movimentações desnecessárias ou excesso de inventário. A sua identificação e eliminação são centrais para o aumento da eficiência global.

Entre estes dois extremos, encontram-se as atividades *Necessary Non-Value-Added* (NNVA). Trata-se de tarefas que, embora não acrescentem valor direto ao cliente, são atualmente indispensáveis para garantir o funcionamento do processo ou para cumprir requisitos legais, normativos ou organizacionais. Exemplos comuns destas atividades são inspeções obrigatórias, registos administrativos ou atividades de transporte inevitáveis devido ao layout existente. Ainda que não possam ser eliminadas de imediato, estas atividades devem ser continuamente monitorizadas e alvo de esforços de redução ou simplificação.

Esta classificação permite estruturar a análise de processos segundo a lógica *Lean*, servindo como base para o desenvolvimento de iniciativas de melhoria contínua. Através da redução sistemática de atividades NVA e da minimização das NNVA, procura-se maximizar o peso relativo das atividades VA, potenciando assim a criação de valor para o cliente e a competitividade organizacional.

De acordo com Lummus e Wahab (Lummus et al., 2006), (Wahab et al., 2013), a filosofia *Lean* identifica oito tipos principais de desperdício, cada um associado a práticas que comprometem a eficiência e o desempenho dos processos produtivos.

O desperdício por transporte refere-se à movimentação excessiva de produtos, pessoas ou ferramentas para além do que é realmente necessário, isto pode resultar no aumento do tempo de execução e dos custos operacionais (Ohno, 1988). Já o desperdício por

movimentação está relacionado com deslocações desnecessárias no posto de trabalho, quer por parte dos operadores, quer de materiais ou equipamentos, que não acrescentam valor ao processo.

O inventário representa a acumulação desproporcional de matérias-primas, produtos em processo ou acabados, o que implica capital bloqueado, risco de deterioração e ocupação de espaço sem retorno imediato. Por sua vez, o desperdício por espera refere-se a períodos de inatividade nos processos produtivos, frequentemente resultantes de falhas na coordenação, paragens de equipamento ou atrasos entre operações, aumentando assim o tempo total de produção.

O desperdício por sobreprodução consiste em fabricar produtos em quantidade superior à procura real ou antes do tempo necessário, gerando inventário desnecessário e possível obsolescência. O desperdício por defeitos corresponde à produção de itens não conformes com os padrões de qualidade, os quais exigem retrabalho ou substituição, afetando diretamente os custos e a satisfação do cliente.

O sobreprocessamento ocorre quando são realizadas etapas adicionais ou desnecessárias no processo produtivo, que não contribuem para o valor final do produto e pelas quais o cliente não está disposto a pagar (J. Womack & Jones, 1996).

Finalmente, o oitavo desperdício, identificado mais recentemente, diz respeito ao subaproveitamento do potencial humano. Este tipo de desperdício evidencia-se quando as competências, conhecimentos e criatividade dos colaboradores não são plenamente utilizados ou considerados nos processos de decisão e melhoria (Liker, 2004).

A identificação e eliminação sistemática destes oito desperdícios constitui um dos pilares centrais da filosofia *Lean*, sendo essencial para alcançar processos mais eficientes, ágeis e orientados para o valor.

2.2.2 Princípios da filosofia *Lean*

De forma a eliminar desperdícios, reduzir custos, melhorar processos para, posteriormente, entregar valor e máxima qualidade ao cliente, é necessário seguir os cinco princípios da filosofia *Lean* (também chamado de *Lean Thinking*).

O primeiro princípio consiste em definir valor do ponto de vista do cliente. O valor corresponde ao que o cliente está disposto a pagar e está diretamente associado às suas necessidades. Esta definição obriga as organizações a identificar claramente o que acrescenta valor ao produto ou serviço final (J. Womack & Jones, 1996).

O segundo princípio é identificar o fluxo de valor (*value stream*). Trata-se do mapeamento de todas as atividades — com e sem valor acrescentado — necessárias para a produção de um produto ou serviço, desde a matéria-prima até à entrega ao cliente. Através desta análise, é possível detetar desperdícios ao longo da cadeia e estabelecer prioridades de melhoria contínua e eliminação de atividades que não acrescentam valor (Rother & Shook, 2003).

O terceiro princípio é estabelecer um fluxo contínuo. Uma vez removidos os desperdícios, as atividades restantes devem estar organizadas de forma a permitir a movimentação ininterrupta dos materiais, produtos ou informações, evitando paragens ou esperas (Liker, 2004).

O quarto princípio consiste em introduzir o sistema pull, ou seja, produzir apenas quando há necessidade real, com base na procura do cliente. Esta abordagem reduz inventários e aumenta a agilidade dos processos (Shah & Ward, 2007)

Por fim, o quinto princípio é a perfeição, ou melhoria contínua (*kaizen*). As organizações devem procurar constantemente formas de aperfeiçoar os seus processos, reduzindo desperdícios e aumentando o valor gerado (Liker, 2004).

A implementação destes princípios tem demonstrado benefícios significativos em termos de produtividade, eficiência e satisfação do cliente, sendo amplamente adotada tanto no setor automóvel como noutros setores industriais.

2.2.3 Indicadores *Lean*

Lead Time

Uma das métricas mais utilizadas em *lean* é o *lead time*. De acordo com Dillon e Shingo (Dillon & Shingo, 1985) e Ohno (Ohno, 1988), *lead time* é definido como o tempo que demora uma peça a percorrer todos os processos, até estar pronta para empacotamento. O *lead time* deve ser encurtado ao máximo, de modo que também o tempo de identificação de peças com defeitos seja menor, uma vez que a última inspeção de qualidade é feita imediatamente antes da etapa de embalamento. Sabendo que existem diferentes tipos de *lead time*, é notória a relevância do *lead time* de entrega, uma vez que é a entrega de uma encomenda feita pelo cliente. Esta entrega deve ser feita de forma a satisfazer todos os critérios impostos pelo cliente, nomeadamente, o prazo de entrega combinado entre ambas as partes.

Takt time

O *Takt Time* representa o ritmo máximo de produção necessário para satisfazer a procura do cliente, considerando apenas o tempo efetivamente disponível para produzir. A sua

principal função é sincronizar o fluxo produtivo com a procura real, evitando tanto a sobreprodução como a escassez. A fórmula utilizada para o seu cálculo é dada pela equação 2.1:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ útil\ num\ período\ específico}{Procura\ do\ cliente\ nesse\ período\ específico} \quad (2.1)$$

Este conceito tem origem no sistema de produção *Lean* e visa estabelecer o intervalo ideal entre a produção de duas unidades consecutivas, sendo amplamente aplicado na conceção de linhas de produção equilibradas e eficientes (Rother & Shook, 2003).

Cycle time

O *Cycle Time* (ou Tempo de Ciclo) refere-se ao tempo real necessário para produzir uma unidade, desde o início até ao fim de uma operação, célula ou linha de produção. Este indicador reflete a capacidade efetiva do processo e pode incluir tanto os tempos produtivos como eventuais paragens ou esperas, dependendo do nível de detalhe da análise. Esta métrica é utilizada para monitorizar o desempenho dos processos, identificar gargalos e dar suporte a iniciativas de melhoria contínua (Rother & Shook, 2003). Este cálculo é realizado através da equação 2.2:

$$Cycle\ Time = \frac{Tempo\ total\ de\ produção\ efetiva}{Número\ de\ peças\ produzidas} \quad (2.2)$$

A relação entre *takt time* e *cycle time* é crítica: se o tempo de ciclo exceder o *Takt Time*, a empresa corre o risco de não conseguir atender à procura. Por outro lado, se for inferior, poderá haver capacidade excedente ou desperdício associado. Assim, a análise conjunta destes dois parâmetros permite uma avaliação estratégica da eficiência e da capacidade produtiva de um sistema industrial.

Overall Equipment Effectiveness - OEE

Nakajima (Nakajima, 1988) introduziu uma metodologia para avaliar de forma eficaz a utilização da capacidade produtiva, designada por *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Esta proposta surgiu da necessidade de uma abordagem mais ampla e holística ao sistema de manufatura, inspirada pela filosofia de manutenção produtiva total (TPM), sob a tutela do Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM).

Segundo Singh (R. Singh et al., 2013) a eficiência global dos equipamentos (OEE) resulta do produto de três métricas fundamentais de produção: taxa de disponibilidade, taxa de qualidade e a performance, também chamada de taxa de desempenho. Este cálculo é realizado através da equação 2.3:

$$OEE (\%) = Disponibilidade (\%) \times Qualidade (\%) \times Performance(\%) \quad (2.3)$$

Este indicador evidencia o valor efetivamente acrescentado por um equipamento na produção. A literatura conclui que o OEE constitui uma métrica prática e de fácil gestão, refletindo o desempenho atual do equipamento face à sua capacidade nominal, assumindo condições ótimas de produção (R. Singh et al., 2013).

De acordo com Hansen (Hansen, 2002), o índice OEE é representado em valores decimais entre 0 e 1, ou em percentagens de 0% a 100%, apresentando a seguinte classificação:

- Menor que 65%: índice insatisfatório, requer ações de melhoria no equipamento ou processo em questão;
- Entre 65% e 75%: índice considerado satisfatório;
- Entre 75% e 85%: o equipamento ou processo apresenta capacidade para atingir padrões de classe mundial.



Figura 2.3 - OEE Benchmarking

- Cálculo da Disponibilidade:

A disponibilidade é definida como a relação entre o tempo em que a máquina esteve operacional e o tempo total disponível, conforme equação 2.4:

$$Disponibilidade (\%) = \frac{Tempo\ disponível - Tempo\ de\ paragens}{Tempo\ disponível} \times 100 \quad (2.4)$$

- Tempo disponível: número de horas disponíveis no calendário planeado;
- Tempo de paragens: inclui períodos de falha, manutenção corretiva, falhas operacionais, tempos de *set-up*, entre outros.

- Cálculo da Qualidade:

O índice de qualidade mede a capacidade de produzir peças corretas na primeira tentativa, conforme indicado na equação 2.5:

$$Qualidade (\%) = \frac{Número\ de\ peças\ conformes}{Número\ total\ de\ peças\ produzidas} \times 100 \quad (2.5)$$

- Número total de peças produzidas: quantidade total de peças geradas pelo equipamento em análise;
- Número de peças conformes: itens que atendem às especificações técnicas e de engenharia.

- Cálculo da Performance:

A performance representa a relação entre o desempenho efetivo do equipamento e sua capacidade nominal, de acordo com a equação 2.6:

$$Performance (\%) = \frac{Produção\ real}{Produção\ ideal} \times 100 \quad (2.6)$$

- Desempenho real/efetivo: quantidade real de peças produzidas;
- Capacidade ideal/nominal: quantidade de peças que o equipamento é capaz de produzir sem interferências.

Em suma, segundo (Hansen, 2002), os índices são interpretados da seguinte forma:

- A fração de disponibilidade reflete o tempo efetivo em que o equipamento esteve em produção.
- A taxa de qualidade demonstra a proporção de produtos conformes em relação ao total planejado.
- A performance representa a razão entre o tempo de operação real e o tempo teórico ideal.

Estas relações são ilustradas na figura 2.4:

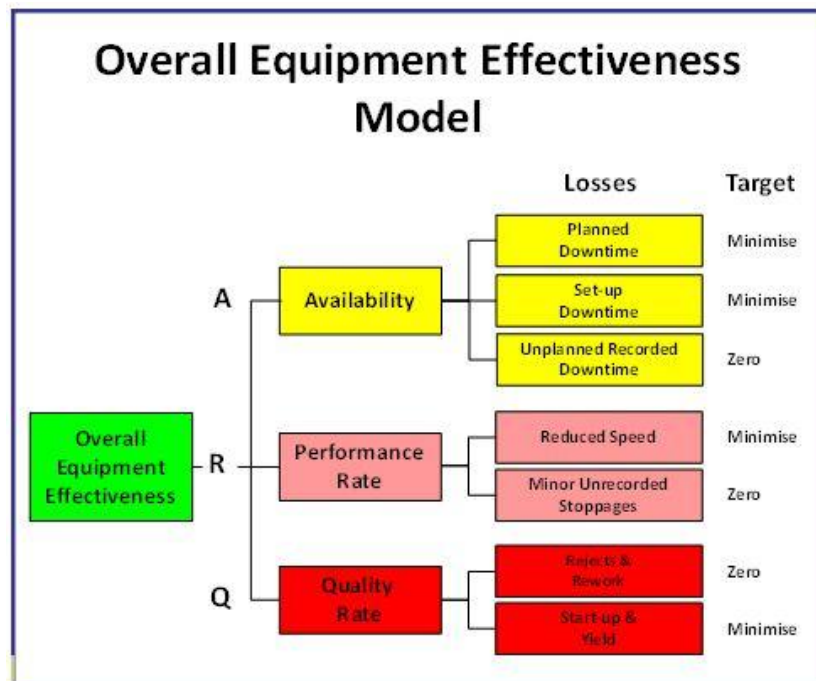


Figura 2.4 - Modelo OEE

First Time Through

O indicador *First Time Through* (FTT) é uma métrica de qualidade muito utilizada no contexto da produção *Lean*. Este indicador mede a percentagem de unidades produzidas corretamente à primeira tentativa, sem necessidade de retrabalho, ajustes ou reparações. Ou seja, o FTT avalia a eficácia dos processos ao indicar quantas peças passaram pela linha de produção de forma totalmente conforme com os requisitos definidos. Um valor elevado de FTT é indicativo de processos estáveis, controlo eficaz da variabilidade e operações padronizadas.

Por isso, o FTT é frequentemente associado a iniciativas de melhoria contínua, sendo considerado um reflexo direto da capacidade de uma organização para que haja qualidade ao longo do fluxo de valor. De acordo com (George, 2002), o aumento do FTT contribui para a redução do lead time, minimização de desperdícios e melhoria da produtividade global.

O cálculo do FTT é dado pela equação 2.7:

$$FTT (\%) = \frac{\text{Número de peças sem defeito à primeira}}{\text{Total de peças produzidas}} \times 100 \quad (2.7)$$

Este indicador pode ser calculado por operação, por célula de produção ou por linha, e é particularmente útil para identificar pontos críticos do processo que requerem atenção específica em projetos de melhoria.

2.2.4 *Lean* aplicado ao setor da indústria automóvel

A aplicação dos princípios e ferramentas *Lean* na indústria automóvel tem sido amplamente documentada devido à complexidade e exigência deste setor. Com elevados volumes de produção, diversidade de modelos e rigorosos padrões de qualidade, a indústria automóvel representa um dos contextos mais desafiantes e, simultaneamente, mais propícios à adoção de práticas *Lean* (Liker, 2004).

Neste setor, o *Lean* é implementado sobretudo com o objetivo de eliminar desperdícios, melhorar o fluxo de produção, reduzir o *lead time* e aumentar a flexibilidade dos processos. Ferramentas como o *Kanban*, SMED, *Poka-Yoke*, 5S e *Value Stream Mapping* são frequentemente utilizadas para atingir estes objetivos, promovendo ambientes de produção mais ágeis e eficientes (J. Womack & Jones, 1996)

Empresas como a Toyota, Ford e Volkswagen têm liderado esta implementação, com resultados evidentes ao nível da produtividade e qualidade. Destacam-se, por exemplo, iniciativas de redesenho de *layouts*, redução de desperdícios logísticos e envolvimento direto dos operadores na melhoria contínua (Holweg, 2007). Em Portugal, organizações como a Autoeuropa e a Visteon têm vindo a seguir esta tendência.

2.2.5 *Aplicação de ferramentas Lean na indústria automóvel*

Value Stream Mapping

O *Value Stream Mapping* (VSM) é uma ferramenta fundamental do sistema *Lean* que permite visualizar e analisar, de forma integrada, o fluxo de materiais e de informação ao longo de um processo produtivo. A sua principal função é identificar desperdícios (muda), reduzir tempos de ciclo e apoiar a implementação de ações de melhoria contínua. Esta ferramenta foi popularizada com a obra de Rother e Shook (2003), sendo amplamente adotada na indústria automóvel pela sua capacidade de representar sistemas complexos com simplicidade visual e clareza estratégica.

O VSM tem como principal objetivo mapear o estado atual do processo, identificar atividades que não agregam valor e propor um estado futuro mais eficiente. Tendo isso feito, é possível analisar a cadeia de valor do ponto de vista do cliente e orientar intervenções práticas e direcionadas aos resultados.

Para tal, utiliza uma linguagem visual padronizada e uma sequência lógica que cobre as principais fases do fluxo de valor:

1. Receção de materiais (fluxo de fornecedores);

2. Processos internos (produção, movimentação, inspeção);
3. Expedição (fluxo para o cliente);
4. Fluxo de informação e planeamento da produção.

Na figura 2.3, encontram-se alguns dos símbolos mais utilizados na construção de VSM:

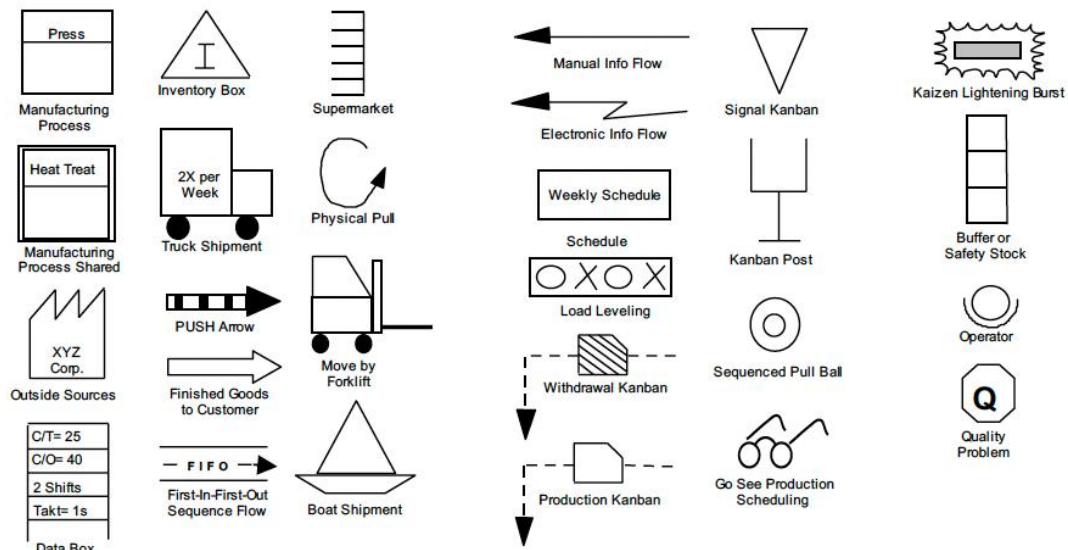


Figura 2.5 - Principais símbolos do VSM

A adoção do VSM em contextos industriais como o automóvel permite:

- Aumentar a visibilidade do fluxo de valor;
- Priorizar melhorias com base em dados concretos;
- Reduzir significativamente os tempos de espera e inventários;
- Melhorar a qualidade na origem;
- Integrar a equipa no processo de diagnóstico e mudança.

De acordo com Singh et al. (2015), a aplicação do VSM permite reduzir até 35% dos tempos de ciclo e melhorar significativamente o índice *First Time Through* (FTT), indicador de peças produzidas corretamente à primeira.

Existe uma vasta literatura referente à aplicação de VSM na indústria e em particular na indústria automóvel, nomeadamente o estudo de caso (Sheth et al., 2014) que foi conduzido na Lear Corporation, uma fornecedora global de componentes automóveis, especificamente na sua unidade em Halol, Índia. O principal objetivo foi aplicar o VSM para identificar e eliminar desperdícios no processo de produção. Iniciaram o estudo com o mapeamento do estado atual que revelou ter várias atividades que não agregavam valor, como tempos de espera

prolongados e movimentações desnecessárias de materiais. Com o decorrer do estudo e todas as análises feitas, realizou-se o mapeamento futuro. Este mapeamento contemplou todas as ações de melhoria que foram propostas, incluindo reorganização do *layout* da fábrica e a implementação de sistemas de reposição mais eficientes. Com este estudo, alcançou-se uma redução significativa do tempo de ciclo e do inventário em processo, melhorando a eficiência da linha de produção.

Outro exemplo da aplicação do VSM na indústria automóvel foi o estudo de caso de (Gaikwad et al., 2020), realizado numa linha de montagem de assentos automóveis, com o objetivo de melhorar a produtividade através da aplicação do VSM. Depois de se perceber e mapear o estado atual, fez-se a análise e identificou gargalos na linha de montagem, tempos de ciclo elevados e inventários excessivos entre as estações de trabalho. Com a implementação de melhorias como a reorganização das estações de trabalho, redução de tempos de *setup* e implementação de sistemas de produção *pull*, foi possível reduzir 30% do tempo de ciclo e de 25% do inventário em processo, aumentando a eficiência e a produtividade da linha de montagem.

A literatura existente mostra-nos também o estudo de caso de (Anuar, 2022) que foi conduzido numa empresa da indústria automóvel na Malásia, focando-se na aplicação do VSM para melhorar o fluxo de produção. O procedimento foi semelhante aos descritos anteriormente e identificadas as atividades que não agregavam valor. Foram propostas melhorias, incluindo a reorganização do *layout* da fábrica e a implementação de sistemas de reposição mais eficientes, que resultaram numa redução significativa do tempo de ciclo e do inventário em processo, melhorando a eficiência da linha de produção.

Rother e Shook (Rother & Shook, 2003) salientam que o VSM é também uma ferramenta de formação e comunicação interna, pois permite que equipas de diferentes áreas partilhem uma visão comum do processo e alinhem prioridades.

2.3 *Makigami*

O *Makigami* é uma ferramenta *Lean* maioritariamente direcionada para a análise de processos administrativos e de suporte, com especial foco na análise da documentação dos fluxos de informação, tempos de espera envolvidos, responsabilidades dentro dos processos que, muitas vezes, não estão bem documentados ou visualizados (Viana et al., 2020); (Alves et al., 2012).

Destaca-se por identificar desperdícios "invisíveis", como redundâncias, atrasos e falhas de comunicação, e segue cinco etapas, são elas: mapeamento do estado atual, identificação de

desperdícios, proposta de estado futuro, plano de ação e implementação (Monteiro et al., 2015).

Embora inicialmente associado a *Lean Office* (*Lean* em contexto de escritórios), vários estudos realizados demonstram o sucesso da sua aplicação em contextos industriais e de serviços, uma vez que são áreas com elevada componente de informação e coordenação, tais como logística interna, apoio à produção e gestão da qualidade. Estes estudos apresentados demonstram o seu crescimento tanto no setor automóvel como no setor da saúde (G. Tortorella et al., 2016).

2.3.1 Integração de *Makigami* com outras ferramentas

Na indústria automóvel, o *Makigami* é utilizado para lidar com a complexidade de processos entre vários departamentos, como é o caso dos processos que envolvem a coordenação entre produção, armazém, *packing*, expedição e fornecedores. Através de uma visualização estruturada em colunas (funções ou departamentos) e linhas (atividades, documentos, sistemas, tempos, sistemas), é possível identificar:

- Entradas e saídas de cada atividade;
- Responsáveis;
- Pontos de espera ou duplicação;
- Interações ineficientes entre áreas;
- Uso excessivo de papel em plataformas informáticas redundantes.

No caso do estudo (Viana et al., 2020), foi aplicado o *Makigami* num processo de apoio à produção numa fábrica automóvel, em Portugal, conseguindo uma redução de 25% nos tempos de espera e eliminar as atividades redundantes relacionadas com aprovações de documentação técnica. Este estudo também conseguiu alcançar ganhos em comunicação entre os departamentos de engenharia e produção.

Outro caso aplicado à indústria automóvel foi a aplicação do *Makigami* para redesenhar o processo de manutenção preventiva. Neste estudo, a nova versão do processo passou de 36 etapas para 22, com melhorias claras na eficiência de comunicação interdepartamental e a rastreabilidade das tarefas.

Deste modo, a ferramenta *Makigami* demonstra uma grande utilidade para analisar sinais de elevada entropia processual, como é o caso comum das áreas de embalamento (*packing*), onde coexistem inúmeras etiquetas, sistemas, embalagens, prioridades de última hora. Ao executar o mapeamento e otimização esses fluxos de decisão e informação, o *Makigami* consegue

ganhos que não são alcançáveis através de outras ferramentas comumente utilizadas, como é o caso do VSM (Alves et al., 2012).

Importa também considerar a aplicação do *Makigami* em contextos distintos da indústria transformadora, nomeadamente no sector da saúde. Um estudo conduzido por (Aij et al., 2014), realizado num hospital nos Países Baixos, visou a melhoria do processo de escalonamento de enfermeiros nos blocos operatórios. Através da utilização do *Makigami*, integrado com o diagrama de *Ishikawa* (ferramenta de análise da causa raiz), foi possível mapear detalhadamente o estado atual do processo, identificar desperdícios e implementar melhorias significativas. O processo inicial incluía 44 transferências, 42 documentos e apresentava 64 tipos de desperdício, culminando em 35 erros ao longo de sete dias de estudo. Após a reestruturação do processo, registaram-se apenas dois erros no mesmo intervalo de tempo (7 dias) e uma redução de 41% no desperdício identificado. A estrutura sequencial de intervenção (mapear, definir estado desejado, analisar causas, agir, validar o processo) demonstrou ser altamente eficaz na reorganização de processos administrativos complexos e críticos.

A figura 2.6 evidencia a adaptabilidade do *Makigami* a ambientes não industriais e reforça o seu potencial enquanto ferramenta complementar em contextos que exigem rigor, coordenação e rastreabilidade, características presentes também na zona de *packing* de uma fábrica automóvel (Aij et al., 2014).



Figura 2.6 - Makigami construído no estudo de Aij, em 2014

No entanto a sua aplicação na indústria automóvel ainda é pouco explorada, em comparação com a aplicação de outras ferramentas *Lean*, o que representa uma grande oportunidade de inovação metodológica.

2.3.2 Comparação do *Makigami* com outras ferramentas *Lean*

A ferramenta *Makigami* tem vindo a destacar-se entre as ferramentas *Lean* destinadas à análise de processos administrativos e de suporte, sendo frequentemente comparada com ferramentas como o *Value Stream Mapping* (VSM), o *Business Process Mapping Notation* (BPMN) e o SIPOC. A sua principal vantagem reside na capacidade de representar com grande detalhe os fluxos de informação, os tempos de espera, os responsáveis por tarefa e os meios utilizados (documentos, sistemas, formulários).

Em comparação com o VSM, amplamente utilizado em ambientes de produção, o *Makigami* apresenta-se como uma solução mais adequada para processos com baixa visibilidade física, como fluxos administrativos ou logísticos. Enquanto o VSM tende a focar-se no fluxo de materiais e na relação cliente-fornecedor, o *Makigami* aprofunda as interações internas, a comunicação interdepartamental e as transições entre fases de decisão. Além disso, o VSM costuma omitir os tempos de espera administrativos que, no *Makigami*, são explicitamente representados e analisados (Dinis-Carvalho et al., 2014).

Face ao BPMN (*Business Process Mapping Notation*), o *Makigami* diferencia-se por incluir não só o fluxo lógico das atividades, mas também a responsabilidade funcional por etapa, o que favorece a identificação de redundâncias, ineficiências e falta de clareza organizacional (Alves et al., 2012). A visualização por colunas — representando diferentes áreas ou departamentos — proporciona uma leitura mais completa do processo global.

Já em relação ao SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*), embora este ofereça uma visão macro útil para a definição de processos, a sua simplicidade limita a capacidade de análise profunda. O *Makigami*, por outro lado, oferece uma abordagem detalhada e visualmente rica que permite não só diagnosticar, mas também redesenhar processos de forma participativa (Castelan et al., 2018).

Assim, pode afirmar-se que o *Makigami* combina características analíticas e visuais que o tornam particularmente eficaz em contextos onde o fluxo de informação é tão relevante quanto o fluxo de materiais - como é o caso da zona de *packing* da empresa em estudo e de outras empresas industriais, onde a articulação entre logística, produção e sistemas informáticos é fundamental.

2.4 *Systematic Layout Planning*

O *Systematic Layout Planning* (SLP) é um método desenvolvido por Richard Muther para planejar ou reorganizar layouts de instalações industriais e logísticas, com o objetivo de melhorar o fluxo de materiais, minimizar movimentos desnecessários e aumentar a eficiência espacial. Esta ferramenta é baseada na análise sistemática de fluxos, relações entre atividades, necessidades de espaço e restrições físicas (Muther, 1973) (Tompkins et al., 2010).

É especialmente valorizado em setores como o automóvel, devido ao facto de existirem elevados volumes de produção, de variedade de peças e pressão sobre a eficiência logística. Por isso, a utilização do SLP é recorrente neste setor e em projetos de melhoria *Lean* (S. P. Singh & Sharma, 2006)

Na indústria automóvel, o SLP tem sido amplamente utilizado para:

- Redesenhar *layouts* de linhas de montagem;
- Reorganizar zonas de armazém e embalamento;
- Definir posições ótimas de postos de trabalho;
- Melhorar a segurança e ergonomia.

Algumas das principais ferramentas utilizadas neste método são o diagrama de relações (diagrama "*from-to*"), a matriz de proximidade (Diagrama A, E, I, O, U, X) e os diagramas de blocos. Com o apoio destas ferramentas, o SLP permite propor arranjos a nível de *layout* que melhoram o fluxo de materiais, melhoram a segurança e reduzem tempos de deslocação.

São vários os estudos que comprovam a eficácia da aplicação do SLP na indústria automóvel. Nomeadamente, em (Drira et al., 2007), é aplicado para reduzir o tempo de movimentação entre estações de trabalho em linhas de montagem, resultando em melhorias de até 30% na eficiência logística interna.

No estudo de Francis (Francis et al., 1992) relatam casos de aplicação de SLP em fábricas de montagem automóvel na Ásia, onde uma reconfiguração do *layout* da zona de pré-montagem e embalamento permitiu reduzir o uso de empilhadores e reorganizar a entrega de componentes de acordo com o princípio de "*milkrun*".

Outro estudo relevante é o de Singh e Sharma (S. P. Singh & Sharma, 2006), em que aplicaram o SLP para redesenhar uma célula de montagem de componentes automóveis, com especial atenção ao espaço ocupados, aos tempos de deslocação dos operadores e à segurança exigida no trajeto que onde circulam empilhadores.

A grande vantagem do SLP na indústria automóvel é a sua capacidade de combinar análise técnica com conhecimento empírico dos operadores e supervisores, permitindo assim construir soluções bastante práticas e participativas, fomentando assim o espírito de equipa.

Contudo, uma das limitações apontadas ao SLP é o facto de se centrar maioritariamente em fluxos físicos, e por vezes não conseguir captar com a devida profundidade as complexidades dos fluxos de informação e de gestão interdepartamental, esta lacuna que pode ser colmatada através da integração desta ferramenta com métodos como o *Makigami* (Tortorella & Fogliatto, 2014).

2.4.1 Integração de SLP com outras ferramentas

A literatura existente destaca a importância crescente da aplicação integrada de ferramentas de *Lean* com SLP de forma a aumentar a eficiência operacional e a produtividade em ambientes industriais. Este capítulo apresenta um conjunto de estudos relevantes, cujas abordagens e resultados contribuem para a proposta de modelo integrado *Makigami*-SLP na zona de *packing* de uma fábrica automóvel.

O primeiro estudo, realizado por (Llanos-Reyes et al., 2023), teve como objetivo melhorar o nível de serviço (OTIF) numa PME do sector metalomecânico no Peru. Através da integração das ferramentas *Lean* 5S e *Poka-Yoke*, SLP e a padronização de processos com base na norma ISO 9001. A implementação seguiu uma metodologia dividida em três fases: análise da situação atual, desenvolvimento das ferramentas e avaliação de indicadores. Foram realizados testes-piloto e simulações com o *software* Arena, que permitiram obter resultados significativos: aumento do OTIF de 53,57% para 92,86%, redução de 24,69% nas distâncias percorridas e 25% nos tempos de deslocamento, além da total eliminação de produtos defeituosos. A aplicação do SLP permitiu uma redistribuição eficiente do *layout*, enquanto o 5S contribuiu para a organização e padronização do ambiente de trabalho. Já o *Poka-Yoke* reduziu drasticamente os erros operacionais. A padronização de processos com base na ISO 9001 facilitou o controlo da qualidade através da formação de supervisores e da implementação de procedimentos uniformizados. O estudo demonstra a eficácia de uma abordagem integrada e valida o potencial da aplicação destas ferramentas em ambientes de produção sob encomenda.

O segundo estudo, conduzido por (Flores-Perez et al., 2023), incidiu sobre uma empresa do sector alimentar, também no Peru, com foco na melhoria da produtividade através da integração de ferramentas *Lean* e SLP. A metodologia baseou-se no ciclo DMAIC e envolveu a aplicação de 5S para a organização do posto de trabalho, SLP para a redistribuição dos fluxos internos, e *Poka-Yoke* para a prevenção de erros no processo de limpeza. Os resultados foram

igualmente expressivos: a produtividade laboral aumentou 40,58%, o tempo de limpeza por kg de produto foi reduzido em 55,02%, e o desperdício foi reduzido em 54,17%. A aplicação do 5S envolveu a criação de um sistema visual de ferramentas e a implementação de *checklists* de limpeza. O SLP permitiu a reconfiguração de espaços com base na análise do fluxo de materiais, enquanto o *Poka-Yoke* eliminou as causas principais de erros, utilizando elementos informativos e sequenciais. Este estudo valida a importância da combinação destas ferramentas em contextos de produção alimentar e demonstra a transferibilidade das técnicas para outros sectores industriais.

Um terceiro estudo, este feito por (Ramadhan, Gozali, et al., 2021), teve como foco o redesenho do layout produtivo numa empresa de fabrico de cabos e calhas metálicas, na Indonésia. O estudo recorreu exclusivamente à metodologia SLP e aos princípios do *Lean Manufacturing*. Foram utilizados instrumentos como o *Flow Process Chart*, *Operation Process Chart*, *From-To Chart*, *Activity Relationship Diagram* e *Area Allocation Diagram*, que permitiram o desenvolvimento de layouts alternativos. A simulação com recurso ao software ProModel permitiu comparar as alternativas e validar a proposta com melhores resultados. O primeiro layout alternativo reduziu a distância percorrida pelos operadores em 56,56% e o tempo de ciclo em 10,07%. A análise de desperdícios evidenciou uma redução significativa nos desperdícios de movimento e transporte. Este estudo tem uma abordagem detalhada e técnica do SLP e demonstra os seus benefícios claros na eficiência operacional.

Com base na análise feita a estes três estudos da literatura existente, verifica-se uma convergência quanto à eficácia do SLP na melhoria dos fluxos produtivos, redução de distâncias e tempos operacionais. Tanto o estudo de Llanos-Reyes et al. (2023) como o de Flores-Perez et al. (2023) complementam o SLP com ferramentas *Lean* como o 5S e o *Poka-Yoke*, obtendo resultados notáveis na redução de erros e desperdícios, bem como na padronização dos processos.

Por outro lado, o estudo de Ramadhan et al. (2021), apesar de se centrar exclusivamente no SLP, apresenta uma análise técnica aprofundada e demonstra a eficácia do redesenho de layout através de simulação. As diferenças entre os estudos residem nos sectores de aplicação (metalomecânico, alimentar e metalúrgico), bem como no grau de integração de ferramentas. Enquanto os dois primeiros adotam uma abordagem *Lean* holística, o terceiro foca-se exclusivamente no fluxo e no espaço físico. Em todos os casos, os ganhos de eficiência validam a pertinência da proposta de integração *Makigami*-SLP, sobretudo para áreas como a zona de *packing*, onde o fluxo, o tempo e a organização visual têm um impacto direto na produtividade e qualidade.

A tabela 2.1 resume toda a informação mais relevante dos estudos referidos neste capítulo:

Tabela 2.1 - Tabela comparativa dos estudos efetuados com SLP

Estudo	Setor de Aplicação	Ferramentas Utilizadas	Resultados (%)
(Llanos-Reyes et al., 2023)	Metalomecânico (Peru)	• SLP; • 5S; • <i>Pok- Yoke</i>; • ISO 9001.	OTIF: +39,29 %, Distâncias: -24,69 %, Defeitos: -100 %
(Flores-Perez et al., 2023)	Alimentar (Peru)	• SLP; • 5S; • <i>Pok- Yoke</i>; • DMAIC.	Produtividade: +40,58 %, Limpeza: -55 %, Desperdício: -54 %
(Ramadhan, Widodo, et al., 2021)	Metalúrgico (Indonésia)	• SLP; • <i>Lean Manufacturing</i>.	Distância: -56,56 %, Tempo de ciclo: -10,07 %

Em suma, estes estudos evidenciam que a combinação de ferramentas *Lean* com SLP conduz a melhorias significativas em diferentes indicadores de desempenho, nomeadamente produtividade, eficiência operacional, redução de desperdício e qualidade. Apesar da diversidade dos sectores industriais estudados, todos os casos apontam para o papel determinante do SLP na reorganização dos fluxos internos. A adição de ferramentas como o 5S e o *Poka Yoke* mostrou-se importante para consolidar melhorias e garantir a sua sustentabilidade ao longo do tempo.

Assim, é possível justificar, de uma forma mais fundamentada, a proposta de integração *Makigami*-SLP na zona de *packing* de uma fábrica automóvel, onde os princípios analisados podem ser adaptados para enfrentar desafios específicos, nomeadamente o elevado volume de movimentações, necessidade de rastreabilidade, importância da ergonomia e padronização visual no processo de embalagem do produto final.

2.5 Integração de *Makigami* com *Systematic Layout Planning*

Estudos recentes demonstram que a integração de ferramentas *Lean*, como o VSM com o SLP, ou do 5S com o *Kaizen*, resulta em melhorias superiores às obtidos individualmente (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

No entanto, observa-se uma lacuna na literatura científica no que diz respeito à integração entre a ferramenta *Makigami* e o método *Systematic Layout Planning* (SLP). Enquanto o *Makigami* permite mapear e melhorar os fluxos de informação e responsabilidades, o SLP foca-se na estruturação eficiente dos espaços físicos. A combinação destas ferramentas permite uma abordagem mais abrangente ao redesenho de zonas industriais (G. L. Tortorella & Fogliatto, 2014a).

Esta integração é particularmente relevante em zonas como a de *packing*, onde coexistem tarefas físicas, logísticas e administrativas. Ao mapear e otimizar simultaneamente os fluxos de informação e de materiais, obtêm-se melhorias de eficiência, espaço e organização que dificilmente seriam alcançadas com abordagens isoladas.

PROPOSTA DE MODELO INTEGRADO

MAKIGAMI-SLP

O presente capítulo tem por objetivo apresentar o modelo proposto para a alteração de *layout* e melhoria do funcionamento de uma estação de *packing* de uma unidade industrial, integrando duas ferramentas *Lean*, sendo elas, *Makigami* e *Systematic Layout System* (SLP).

Inicialmente será descrito de forma detalhada todo o funcionamento da ferramenta *Makigami* como do SLP. Em seguida será explicado, de forma detalhada, o funcionamento do modelo integrado *Makigami-SLP*, assim como a sua aplicação numa unidade industrial.

3.1 *Método Makigami*

O *Makigami* é uma ferramenta de mapeamento de processos concebida para analisar fluxos transacionais com grande nível de detalhe. Ao contrário de outras ferramentas mais orientadas à produção física, como o *Value Stream Mapping* (VSM), o *Makigami* é especialmente adequado para ambientes administrativos, de serviços e técnicos, onde os fluxos de informação, documentos e decisões são predominantes.

3.1.1 Objetivos

O seu principal objetivo é identificar atividades que não acrescentam valor, visualizar responsabilidades cruzadas entre departamentos e analisar métricas críticas como tempos de processamento, tempos de espera, duplicações, desperdícios e gargalos. A ferramenta permite, assim, um mapeamento profundo do estado atual de um processo e o desenho de um estado futuro otimizado, contribuindo para a eliminação de desperdício e melhoria da eficiência organizacional (Chiarini, 2013; Kuo et al., 2011).

3.1.2 Áreas de Aplicação

Inicialmente desenvolvida no Japão e aplicada em contextos industriais, a utilização do *Makigami* foi rapidamente expandida para outros setores. É particularmente eficaz em processos transacionais, como desenvolvimento técnico, design de produto, gestão de encomendas, atendimento ao cliente, logística administrativa, compras, recursos humanos e até mesmo ambientes hospitalares (Aij et al., 2014; Kuo et al., 2011). A sua flexibilidade torna-o útil para contextos industriais com forte componente administrativa, tal como podemos comprovar em empresas da indústria automóvel, farmacêutica ou alimentar.

3.1.3 Implementação do *Makigami*: passo-a-passo

A implementação do *Makigami* é tipicamente realizada em formato de evento *Kaizen*, com uma equipa multidisciplinar. O processo é composto pelas seguintes etapas:

1. Definição do processo e limites de análise: identificação clara do início e fim do processo, bem como os objetivos do mapeamento;
2. Criação da equipa e matriz RACI: formação de uma equipa com todos os *stakeholders* relevantes. Define-se a matriz RACI (Responsável, Aprovador, Consultado, Informado) para clarificar as responsabilidades em cada atividade (Cabanillas et al., 2012);
3. Mapeamento do estado atual (*As-Is*): utilizando uma grelha visual, o processo é dividido em colunas representando as atividades principais, enquanto as linhas identificam os *stakeholders* ou departamentos envolvidos;
4. Classificação das atividades:
 - Valor acrescentado (VA): atividades que permitem responder às necessidades do cliente e pelas quais o cliente está disposto a pagar. São representadas por um *post-it* verde
 - Valor não acrescentado, mas necessário (NNVA): atividades que não acrescentam valor na perspetiva do cliente, e por isso ele não está disposto a pagar por elas, mas que são necessárias para o bom funcionamento do processo. Estas atividades são representadas por um *post-it* amarelo.
 - Valor não acrescentado (NVA): atividades que não acrescentam valor a nenhuma das partes envolvidas e, por isso, que devem ser eliminadas do processo. Devem ser representadas por um *post-it* vermelho.
5. Recolha de métricas:
 - *Process Time* (PT) – tempo efetivo da atividade
 - *Lead Time* (LT) – tempo total incluindo tempos de espera, falhas e atrasos

- *Backlog/WIP* – documentos ou tarefas em espera
- *C&A (%) (completeness & accuracy)* – qualidade da entrada
- *Headcount* equivalente – carga de trabalho associada;

6. Análise crítica e sugestões de melhoria: a equipa reflete sobre *loops*, falhas, repetições e cargas desiguais. Neste momento são registadas ideias de melhoria que se retirem desta reflexão conjunta;

7. Desenho do estado futuro (*To-Be*): mapa redesenhado com as melhorias propostas anteriormente, já sem os Mudanças identificados anteriormente. Este estado futuro deve ser realista, consensual e alinhado com os objetivos da organização em estudo;

8. Plano de ação: desenvolvimento de um plano com tarefas/ações, os responsáveis pelas mesmas, prazos e métricas de controlo. A implementação deve ser célere e contínua.

Uma vez que o *Makigami* é uma ferramenta muito prática, consegue-se um melhor aproveitamento se for utilizada em formato físico. Para isso, são necessários alguns materiais, nomeadamente uma parede ampla, folhas de papel grandes (A0 de preferência), folhas A4 de várias cores, tesoura, fita-cola, *post-its* de várias cores, canetas/marcadores.

Para que o *Makigami* seja bem implementado é também necessário pessoas com elevado conhecimento e envolvimento no processo e outras que não o conheçam tão bem, também é necessário que haja disponibilidade de todos os intervenientes e vontade de melhorar o processo.

À semelhança do que acontece no VSM, o *Makigami* pode ganhar grandes dimensões, por isso são necessárias folhas grandes de papel que serão afixadas numa parede, assim como outros dados relevantes, como por exemplo, diagramas de esparguete. Com o *Makigami* exposto e bem visível numa parede ampla, é possível desenvolver uma visão holística que permite identificar oportunidades de melhoria. É suscetível e importante que haja discussões em estilo de *brainstorming* com todos os intervenientes para que daí saiam ideias que solucionem os Mudanças identificados e/ou outras ideias de melhorias.

Na figura 3.1 é possível ver um exemplo de *Makigami*, construído pela *Gemba Academy*. (Academy, sem data)



Figura 3.1 - Exemplo de um *Makigami* (construído pela *Gemba Academy*)

Para melhor compreender este método é necessário ter presente algumas normas que devem ser seguidas para que qualquer pessoa com um mínimo conhecimento do método o entenda na perfeição e de forma rápida.

A estrutura mais comum é uma tabela horizontal, em que cada linha contém funções ou departamentos envolvidos no processo e também pode incluir os sistemas utilizados, clientes e/ou fornecedores (*stakeholders*). Pode por exemplo ter um operador, supervisor, IT, cliente e sistema ERP. Por outro lado, cada coluna representa uma etapa do processo, representadas da esquerda para a direita, pela ordem em que aparecem no processo. O eixo vertical (linhas) refere-se a quem está envolvido em cada etapa e o este eixo horizontal (colunas) representa não só a sequência das etapas como o espaço temporal que cada uma ocupa.

Na figura 3.1 é possível ver o fluxo das tarefas, umas de valor acrescentado, representadas pelos *post-its* verdes e outras de valor não acrescentado, mas necessárias ao processo que se encontram representadas a amarelo. Pode ainda haver *post-its* vermelhos no caso de ser considerada uma tarefa de valor não acrescentado. Os sistemas ou documentação utilizados são, por norma, representados pela cor azul, apesar desta imagem estarem em folhas brancas. É também possível ver que na parte inferior da tabela existem *post-its* cor-de-rosa, estes representam os problemas (Mudas) que tenham sido encontrados em cada etapa. Existem também *Makigamis* com os problemas representados *post-its* vermelhos ou cor de laranja, uma vez que contêm a informação referente aos problemas encontrados em cada etapa do processo.

A vermelho é mais fácil, para quem vê, associar a algo negativo que tem de ser resolvido, pode ser mais uma ajuda visual.

O fluxo é representado por setas. A cor das setas também é um indicativo do tipo de fluxo a que a mesma se refere. No caso de serem setas pretas significa que é um fluxo normal do processo, normalmente é fluxo de material, no caso de ser um fluxo de informação, a seta deve ser azul. Se a seta for vermelha é sinal de um problema identificado (pode ser o caso de um retrabalho ou lixo). Setas verdes significam uma decisão e/ou aprovação por parte de alguém.

Relativamente aos tempos, o *lead time* corresponde ao intervalo total decorrido desde o início até à conclusão de um processo, englobando tanto os períodos de atividade como os de espera. O *activity time* diz respeito ao tempo efetivamente despendido na execução das tarefas, enquanto o *value adding time* representa a fração desse tempo que contribui diretamente para a criação de valor para o produto final. Por oposição, o *loss time* refere-se ao tempo desperdiçado devido a ineficiências, como esperas, retrabalho ou falhas de comunicação, sendo este um indicador crítico para a identificação de oportunidades de melhoria.

O termo *handoff* refere-se à transferência de responsabilidade ou de informação entre diferentes intervenientes ou departamentos ao longo do processo, ou seja, cada vez que uma tarefa passa de uma entidade para outra, ocorre um *handoff*. Por sua vez, os *touches* representam as interações ou ações realizadas por um interveniente numa determinada etapa do processo, sendo cada intervenção contabilizada como um *touch*.

Com todos estes dados muito bem explícitos no *Makigami*, é mais fácil identificar onde estão os desperdícios, ineficiência ou potencial de melhoria.

De forma a adicionar valor ao modelo integrado proposto nesta dissertação, o mesmo surge com alguns fatores novos em cada uma das duas ferramentas (*Makigami* e SLP), relativamente à literatura já existente. Um dos fatores diferenciadores do *Makigami* utilizado neste modelo, relativamente aos *Makigami* muitas vezes encontrados na literatura é a adição de uma linha onde são apresentadas as melhorias sugeridas. Em que cada melhoria é colocada na respetiva coluna do problema que irá resolver e estas melhorias são representadas com *post-its* verdes.

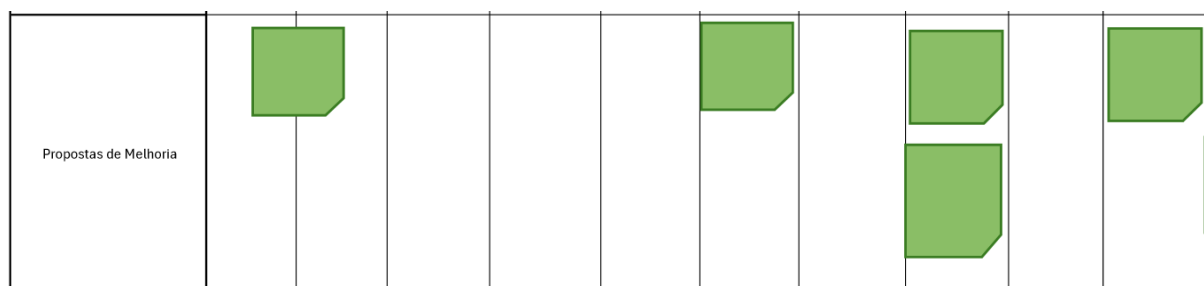


Figura 3.2 - Excerto do *Makigami* (secção das propostas de melhoria)

O outro fator, também referente ao *Makigami*, é a contemplação da distância percorrida tanto pelas pessoas como pelo material entre as várias zonas. Estas distâncias devem ser reduzidas tanto quanto possível, reduzindo também os tempos de deslocação entre áreas e tempos de ciclo, melhorando também os fluxos de pessoas e de material. Os valores recolhidos relativamente às distâncias percorridas são colocados numa linha após os dados de *lead time*, *activity time*, *value adding time* e *loss time* e a unidade de medida é o metro (m).

Lead Time (h)				
Activity Time (h)				
Value Adding Time (h)				
Loss Time (h)				
Distância Percorrida (m)				

Figura 3.3 - Excerto do *Makigami* (secção para inserir os dados de tempos e distâncias)

Na representação dos processos através do *Makigami*, é fundamental que os tempos associados a cada etapa sejam apresentados de forma clara e padronizada, de modo a facilitar a interpretação e a comparação entre diferentes etapas. Para este efeito, adotou-se um formato de notação temporal estruturado da seguinte forma:

[dias]d [horas]h [minutos]' [segundos]''.

Assim, para uma tarefa com uma duração de, por exemplo, 1 dia, 3 horas e 10 min e 5 segundos, é atribuída a notação de 1d 3h 10' 5'' e uma etapa com uma duração 17 minutos é representada apenas por 17'.

3.1.4 Limitações do *Makigami*

Apesar da sua reconhecida utilidade e eficácia no mapeamento de processos administrativos e transacionais, o *Makigami* apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na sua aplicação prática.

Uma das principais limitações prende-se com a sua reduzida capacidade para representar visualmente o *Work in Progress* (WIP) ou os níveis de *backlog*, quando comparado com ferramentas como o *Value Stream Mapping* (VSM), que possuem uma orientação mais explícita para o fluxo de materiais e documentos ao longo do tempo.

Além disso, o *Makigami* tem uma baixa capacidade para representar graficamente o agendamento das tarefas, o que leva a uma considerável dificuldade na visualização do planeamento temporal dos processos, assim como a sua relação com os calendários operacionais ou prazos de entrega. Esta característica pode comprometer a sua eficácia em contextos onde o fator tempo assume uma importância estratégica elevada.

Outro aspeto crítico prende-se com os recursos necessários para o desenvolvimento de um *Makigami* completo. A sua construção exige um investimento considerável de tempo e a participação ativa de vários colaboradores com diferentes níveis de conhecimento do processo. Em organizações com processos extensos ou elevada complexidade funcional, a realização de sessões de mapeamento pode tornar-se morosa e exigir múltiplas iterações.

Por fim, verifica-se uma limitação na integração direta do *Makigami* com sistemas de planeamento e controlo da produção, como os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) ou MRP (*Material Requirements Planning*). A ausência de uma interface natural com estas plataformas digitais pode dificultar a sincronização entre as melhorias propostas e os sistemas já implementados na organização.

Ainda assim, autores como Chiarini e Gabberi (2022) referem que estas limitações podem ser mitigadas com a adoção de boas práticas, como a capacitação prévia das equipas, o envolvimento da gestão de topo no processo de mudança e a combinação do *Makigami* com outras ferramentas *Lean* complementares.

3.2 *Systematic Layout Planning* (SLP)

O método *Systematic Layout Planning* (SLP), desenvolvido por Richard Muther, é uma metodologia sistemática que visa otimizar a organização do espaço físico numa instalação industrial. A sua aplicação é crucial para garantir a fluidez dos processos, reduzir movimentações desnecessárias e maximizar a eficiência operacional.

Deste modo, o método baseia-se em quatro fases principais, sendo elas:

1. Análise de atividades;
2. Análise das relações espaciais;
3. Criação de alternativas de *layout*
4. Avaliação e seleção da melhor alternativa.

3.2.1 Objetivos

Os principais objetivos do *Systematic Layout Planning* (SLP) consistem na otimização da disposição físico de áreas, equipamentos e fluxos de trabalho de forma a alcançar uma melhoria da eficiência operacional global de uma organização.

Nesse sentido, o SLP procura, em primeiro lugar, reduzir as deslocações desnecessárias de materiais, operadores e informações, minimizando assim os tempos de transporte e os custos associados. Simultaneamente, visa assegurar a fluidez e a sequência lógica das operações, promovendo a continuidade dos processos produtivos ou administrativos.

Outro objetivo fundamental é a racionalização do espaço físico disponível, garantindo a sua utilização eficiente e adaptada às necessidades funcionais das diferentes unidades. Além disso, o SLP contribui para a criação de ambientes de trabalho mais seguros, mais ergonómicos, favorecendo o bem-estar dos colaboradores e a prevenção de acidentes. Por fim, a metodologia SLP promove a flexibilidade do *layout*, permitindo a sua adaptação a futuras alterações nas condições de produção, volume ou tecnologia, o que se traduz num planeamento mais resiliente e sustentável a médio e longo prazo.

3.2.2 Fundamentos do SLP

Segundo Muther e Hales (Muther & Hales, 2015), o método SLP assenta em três fundamentos essenciais, nomeadamente, as relações entre atividades, através de uma análise da intensidade de interação entre áreas, com base em fatores como frequência de movimentação, necessidade de supervisão ou conveniência operacional.

O segundo fundamento é o espaço necessário e disponível para cada função, tendo em conta máquinas, equipamentos, armazenamento, zonas de circulação e as dimensões do próprio produto.

E o terceiro fundamento são os ajustes e restrições, nos quais são considerados os limites físicos, ergonómicos e exigências legais ou funcionais que possam condicionar a disposição do *layout*.

3.2.3 Fases do Planeamento

O *Systematic Layout Planning* (SLP) estrutura-se numa sequência metodológica dividida em quatro fases principais, que visam orientar de forma sistemática o planeamento do *layout*, desde a identificação da área, num nível mais macro, até à sua implementação prática do layout. Cada fase é composta por um conjunto de atividades, permitindo a tomada de decisões fundamentadas e coerentes com os fluxos, restrições e necessidades operacionais.

Com base no modelo de fases do SLP desenvolvido por Richard Muther que se encontra representado na figura 3.4, é possível perceber o desdobramento sequencial da metodologia em quatro grandes fases, complementadas por sub-etapas lógicas e ferramentas gráficas associadas.

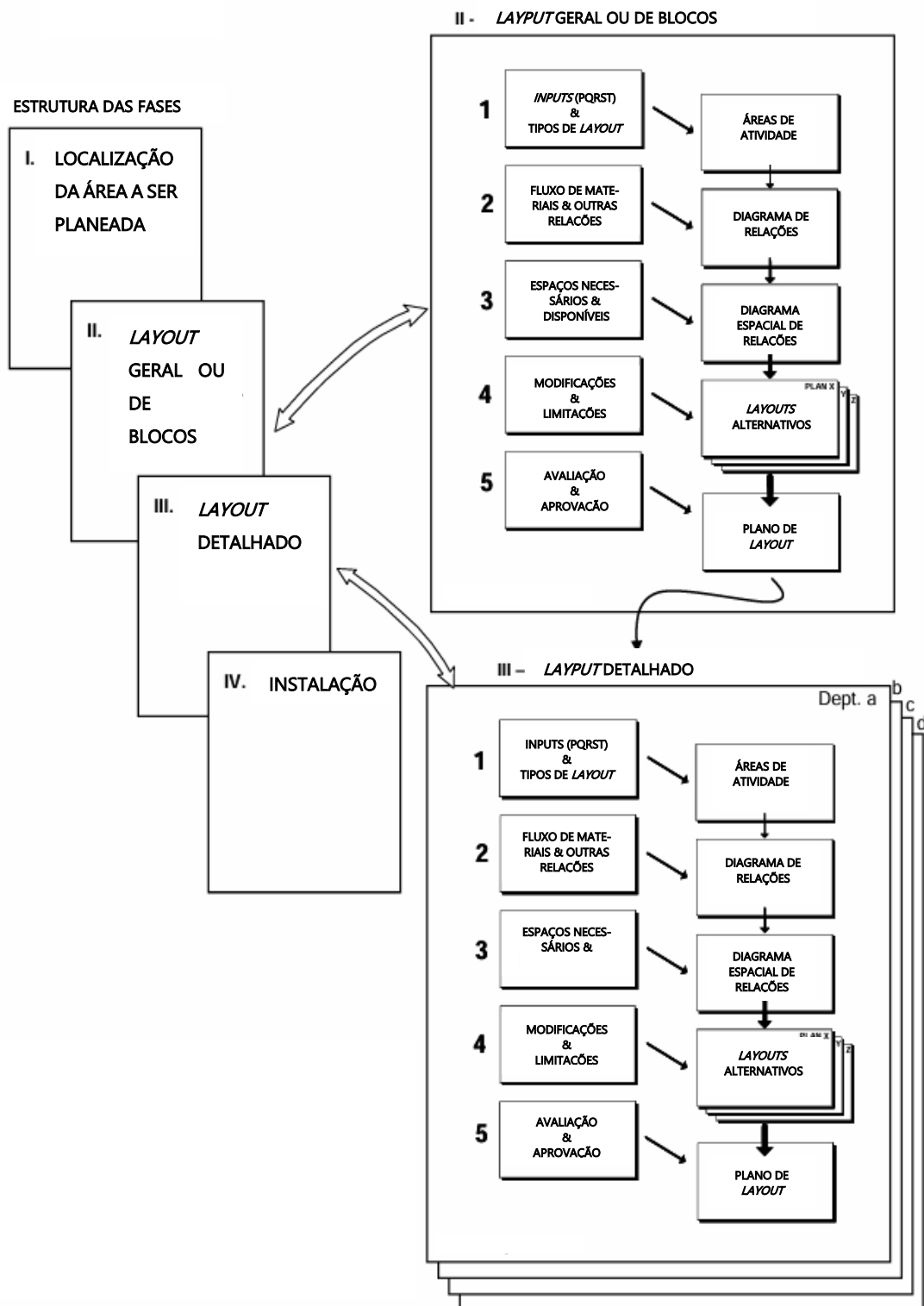


Figura 3.4 - Modelo de fases de implementação do SLP (adaptado de Richard Muther)

Fase I – Localização da área a ser planeada: nesta fase são analisadas variáveis externas, como a proximidade a fornecedores e clientes, meios de comunicação, disponibilidade de mão-de-obra e acesso a serviços públicos. Durante esta primeira fase e, de forma a facilitar a localização da área, são elaboradas *checklists* de requisitos do *layout*.

Embora esta etapa seja mais relevante na construção de novas unidades, também pode influenciar expansões ou realocações internas. Por isso são também avaliadas as restrições físicas da área em estudo, como a localização do edifício, do piso ou da secção onde vai ser feita a intervenção, os acessos, pilares e outras estruturas, dimensões e condições ambientais, que irão condicionar as várias propostas de *layout*.

Fase II – *Layout* geral ou de blocos: corresponde à definição preliminar da disposição das grandes áreas funcionais da fábrica, é um *layout* num nível macro (ex: receção de materiais, produção, embalagem, expedição). Esta disposição é baseada nas relações identificadas anteriormente e nos requisitos de espaço. É nesta fase que se começa a desenhar o primeiro esboço do *layout*.

É composta por cinco passos interligados, que posteriormente irão possibilitar o desenho do primeiro esboço do *layout*, tendo em conta as relações identificadas e os requisitos do espaço. São eles:

- Inputs (PQRS&T) e Tipos de *Layout*: são identificadas as variáveis críticas do processo (Produto, Quantidade, Rota, Suporte e Tempo), que orientam o tipo de *layout* mais adequado (funcional, por produto, celular, fixo, híbrido). Define-se também o número e tipo de áreas ou departamentos a serem organizados (*activity areas*);
- Fluxo de Materiais e Outras Relações: com base na análise dos fluxos de entrada e saída entre áreas, elabora-se o Diagrama de Relações (*Relationship Diagram*), que classifica os graus de interdependência entre unidades funcionais (ex.: A – absolutamente necessário, E – especialmente importante, I – Importante; O – Aproximadamente comum; U – Não importante e X – Não desejável). O funcionamento do Diagrama de Relações será, posteriormente, explicado com mais detalhe.
- Espaço Necessário e Disponível: determina-se a área requerida por cada função com base nas atividades desenvolvidas e nas restrições existentes identificadas na fase I. Elabora-se o Diagrama de Relações Espaciais (*Space Relationship Diagram*), que traduz graficamente a proximidade necessária entre os vários espaços. Este diagrama é apenas representativo do espaço e por ser ainda uma fase primitiva do modelo SLP, não é elaborado à escala.

- Modificações e Limitações: neste ponto integram-se as restrições físicas, legais, operacionais ou ambientais que condicionam a disposição do espaço (ex.: pilares, paredes fixas, normas de segurança, acessos).
- Avaliação e Aprovação: com base nas informações recolhidas e analisadas, são geradas alternativas de *layout* que são comparadas técnica e funcionalmente. Após seleção da solução mais vantajosa, é elaborado o Plano de *Layout* para esta fase.

Fase III – *Layout* Detalhado (*Detailed Layout Plan*)

A terceira fase consiste numa repetição da lógica da fase anterior, mas ao nível de detalhe, ou seja, dentro de cada departamento ou área funcional definida na fase II. Cada sub-área (por exemplo, departamento de *packing*, armazém de produto acabado, manufatura, entre outros.) é planeada segundo os mesmos cinco passos:

1. Inputs específicos da área;
2. Análise de fluxos locais e relações internas;
3. Estudo da área disponível versus área necessária;
4. Condicionantes operacionais e estruturais;
5. Avaliação das alternativas de *layout* detalhado.

Esta fase é essencial para garantir que os operadores trabalham em condições ergonomicamente corretas e com tempos de deslocação mínimos. É um processo iterativo e aplicado individualmente a cada unidade (Dept. a, b, c, d...), de forma a alcançar a otimização interna de cada célula ou estação de trabalho.

Fase IV – Implementação (*Installation*)

A última fase corresponde à execução física do *layout* aprovado, incluindo tarefas de:

- Planeamento da transição, através da elaboração de planos de ações com os responsáveis por cada ação identificados;
- Coordenação das mudanças;
- Acompanhamento da instalação de equipamentos;
- Verificação do cumprimento do *layout* proposto;
- Monitorização dos resultados após entrada em funcionamento.

É comum que, após a implementação, se realizem ajustes com base em indicadores reais de operação e *feedback* dos utilizadores.

Para melhor compreensão da implementação do método SLP, as quatro fases estão ilustradas na figura 3.5 que se encontra abaixo.

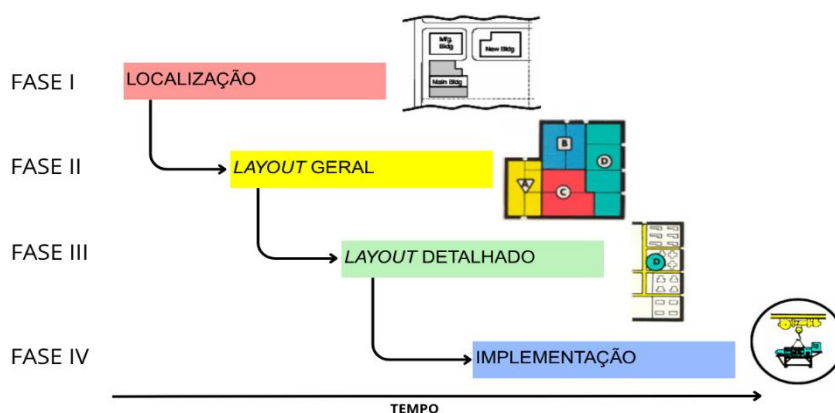


Figura 3.5 - Fases de implementação do método SLP, adaptado de (Muther Hales, 2015)

Estas fases garantem uma abordagem iterativa, possibilitando a criação e comparação de múltiplas alternativas até à escolha da mais vantajosa para o caso em estudo.

Este modelo de fases, criado por Richard Muther, apresenta o SLP como um método sistemático, iterativo e fundamentada em dados, que permite passar de uma visão global (planeamento macro, fase II) para uma organização detalhada (nível micro, fase III), garantindo que cada área funcional seja planeada com base em critérios técnicos, fluxos reais e limitações específicas. A sua aplicação contribui para a minimização do desperdício, melhoria da eficiência operacional e alinhamento do espaço físico existente com os objetivos produtivos da organização.

3.2.4 Ferramentas utilizadas pelo Método SLP

Tal como já abordado na subsecção 3.2.3, o método SLP utiliza diversas ferramentas para apoiar a análise e a tomada de decisão:

Na fase I, Muther (2005) propõe cinco entradas fundamentais, ou seja, cinco pontos-chave que devem ser conhecidos para ser possível resolver os problemas existentes no *layout* atual e assim realizar o planeamento de um *layout* futuro, mais eficiente:

- P – Produto ou material
- Q – Quantidade produzida
- R – Roteamento (ordem das operações)
- S – Serviços de apoio necessários
- T – Tempo (duração do ciclo, tempos de processo e disponibilidade)

Estas variáveis permitem adaptar o *layout* às características específicas da produção em estudo.

Na Figura 3.6 encontra-se ilustrada a chave das entradas fundamentais do SLP.

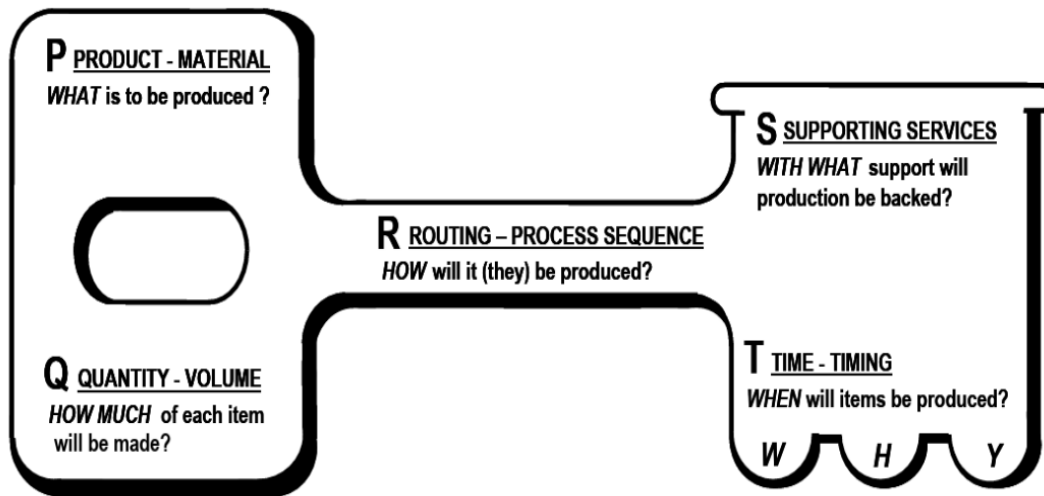


Figura 3.6 - The Key - PQRST

Na fase II é muito comum ser utilizado o Diagrama de Relações (AEIOU): representa a importância da proximidade entre setores/áreas da fábrica, com base na frequência e tipos de interação. Esta importância/intensidade das interações entre áreas é dada através de códigos. Os códigos são dados pelas seguintes letras: A (absolutamente necessário) representada pela cor vermelha e ao qual é atribuído 4 valores; E (especialmente importante), representada pela cor amarela e com 3 valores atribuídos; I (importante) representada pela cor verde e com 2 valores atribuídos; O (desejável) representada pela cor azul e com 1 valor atribuído; U (indiferente), representada pela cor branca e com 0 valores atribuídos e X (indesejável), representada pela cor castanha e com 1 valor negativo (-1).

Depois de atribuída a pontuação a cada relação entre espaços, é feito o cálculo da pontuação total de proximidade entre as várias áreas, através da equação 3.1.

$$I_j = \frac{\sum_i P_{ij}}{N} \quad (3.1)$$

Em que I_j representa o índice de proximidade da área j , P_{ij} corresponde ao peso atribuído à relação da área i com a área j , e N indica o número total de relações consideradas para essa mesma área.

Toda a informação sobre o Diagrama de Relações, detalhada no último parágrafo encontra-se resumida na tabela 3.1:

Tabela 3.1 - Quadro resumo para elaboração do Diagrama de Relações

Letra Valor	Proximidade	Cor	Nº de Linhas	Prioridade	Nº de avaliações
A 4	Absolutamente necessário	 VERMELHO	 (4)	Muito Alta	
E 3	Especialmente Importante	 AMARELO	 (3)	Alta	
I 2	Importante	 VERDE	 (2)	Média	
O 1	Desejável	 AZUL	 (1)	Moderada	
U 0	Indiferente	BRANCO	(0)	Baixa	
X -1	Indesejável	 CASTANHO		Nula	

Para melhor entendimento do diagrama de relações, as ligações entre áreas são justificadas através desta convenção de códigos, que indicam os principais motivos para a proximidade física. Na tabela 3.2, apresentam-se as convenções utilizadas:

Tabela 3.2 - Convenção de razões de interações

Código	Razão
1	Fluxo de materiais entre áreas ou funções
2	Necessidade de interação presencial entre colaboradores
3	Partilha de equipamentos ou infraestruturas técnicas
4	Utilização conjunta de registos ou documentos operacionais
5	Atribuição comum de recursos humanos
6	Requisitos de supervisão direta ou controlo operacional
7	Frequência das interações funcionais
8	Grau de urgência associado à prestação de determinado serviço
9	Impacto económico da distribuição de utilidades (como energia, água, ar comprimido, entre outros)
10	Partilha de sistemas ou redes de utilidades técnicas
11	Intensidade do contacto comunicacional ou documental necessário entre funções
12	Condicionantes específicas impostas pela gestão ou por conveniências organizacionais individuais

A forma correta de elaborar o diagrama está explicada detalhadamente na figura 3.7 que se encontra abaixo:

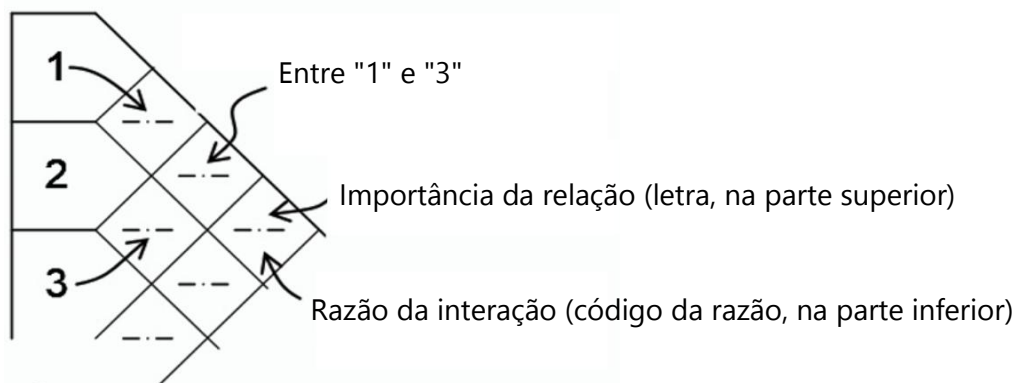


Figura 3.7 - Construção do Diagrama de Relações (adaptado de Muther & Hales, 2015)

Aplicando as regras referidas na figura 3.7, chega-se a um diagrama com o aspeto do exemplo que se encontra na figura 3.8, excerto elaborado por Muther e Hales (Muther & Hales, 2015).

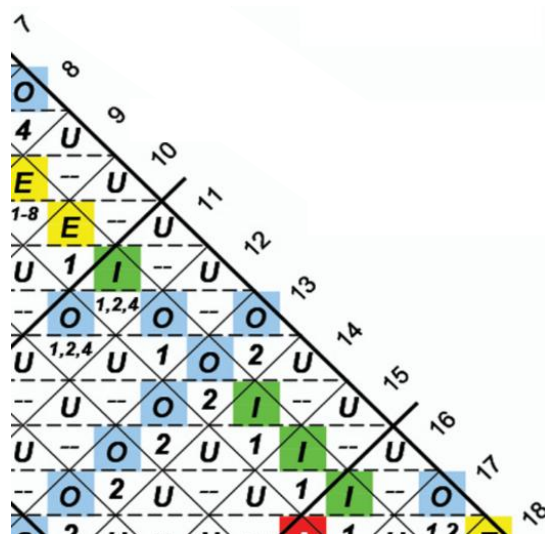


Figura 3.8 - Excerto de um Diagrama de Relações (adaptado de Muther & Hales)

Outra ferramenta utilizada pelo SLP é o Diagrama Espacial de Relações (*Space Relationship Diagram*) utilizada para representar visualmente a intensidade da necessidade de proximidade entre diferentes áreas ou atividades funcionais. É apresentado como uma tradução gráfica do Diagrama de Relações.

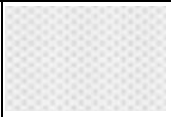
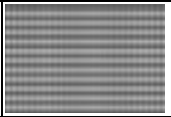
A quantidade de linhas é diretamente proporcional à afinidade existente entre as áreas. O Diagrama Espacial de Relações é elaborado com base no número de linhas, indicado na tabela de convecções, tabela 3.3. O procedimento para a elaboração deste diagrama é simples e segue os seguintes passos:

1. Identificação das atividades: Identificar, por número e nome, as atividades (áreas ou funções) a serem representadas. Codificar essas atividades com símbolos gráficos que indiquem o tipo de função, de preferência diretamente no diagrama de relações, facilitando a leitura e a interpretação do diagrama.
2. Calibração da intensidade dos fluxos: Caso ainda não tenha sido feito na elaboração do diagrama de relações, deve-se calibrar ou relacionar as intensidades de fluxo de materiais com os valores de proximidade indicados pelas letras (A, E, I, O, U), combiná-los com outras relações não relacionadas com o fluxo de materiais. É necessário integrar também relações de supervisão, segurança, comunicação ou controle de qualidade e registrar a classificação combinada, resultando num grau global de necessidade de proximidade, traduzido nas letras A, E, I, O, U e X.
3. Representação das relações A: Elaborar o diagrama, iniciando pelas relações classificadas como A, utilizando uma linha de quatro linhas. As relações A representam áreas que devem estar muito próximas uma da outra, por motivos como elevado fluxo, dependência operacional ou partilha de recursos. Essas ligações são destacadas para formar a base da estrutura do layout. Este será o primeiro esboço do diagrama.
4. Reorganização e adição das relações E: Reorganizar os elementos para obter comprimentos aproximadamente iguais para todas as ligações A. Em seguida, adicionar as ligações E, que utilizarão linhas de três linhas. Também devem ser adicionadas nesta fase quaisquer ligações XX (linhas em "tracejado" duplo), estas representam incompatibilidades severas ou restrições físicas e devem ser sinalizadas para evitar aproximações.
5. Ajuste das distâncias relativas: Reorganizar novamente, tentando manter os comprimentos das ligações E iguais entre si, mas visivelmente mais longos do que os das ligações A – idealmente 1,33 vezes maiores, mas na prática entre 1,5 e 2 vezes. O comprimento das linhas representa a importância da relação, ou seja, quanto mais importante, mais curta deve ser a linha. Este ajuste visual irá, posteriormente, ajudar a guiar a disposição dos espaços no layout físico.
6. Adição das relações I: Adicionar as ligações I com duas linhas e reorganizar, se necessário. Tentar igualar os comprimentos dessas linhas, tornando-as visivelmente mais longas do que as linhas de A e E, idealmente entre 2 a 3 vezes mais longas que as A. As relações I indicam uma conveniência na proximidade, mas não uma exigência crítica, por isso são tidas em consideração, caso o espaço permita.

7. Adição das relações O e X: Adicionar as relações O com uma linha e as relações X com uma linha em "tracejado". Reorganizar novamente, se necessário, criando mais dois ou três esboços para encontrar o cenário mais aceitável – onde as linhas únicas (O) tenham cerca de quatro vezes o comprimento das linhas A, mantendo a proporcionalidade visual entre todas.
8. Revisão final e preparação do *layout*. Após a adição das dimensões reais dos espaços e dos ajustes, consoante as limitações práticas existentes, o diagrama de relações fica finalizado e é a base conceitual para o *layout* físico detalhado. A partir deste diagrama serão dimensionadas as áreas e feita a transição para o diagrama de blocos, respeitando a lógica de proximidade e separação definida.

A que se segue, tabela 3.3 contém as convenções adotadas na construção dos diagramas e implementação do SLP.

Tabela 3.3 - Convenções utilizadas quando se implementa SLP

Notação	Ação	Descrição de Equipamento e Espaço	Cor	Preto & Branco
 *	Operação (círculo cheio)	Equipamento e espaço de formação ou tratamento	Verde **	
	Operação (círculo vazio)	Montagem ou tratamento	Vermelho **	
	Transporte	Equipamento e espaço relacionado com transporte	Laranja-amarelo **	
 *	Manuseamento	Área de manuseamento-recolha e colocação	Laranja-amarelo **	
 *	Armazenamento	Equipamento ou espaço de armazenamento	Laranja-amarelo **	
 *	Espera	Área de espera ou colocação temporária	Laranja-amarelo **	
 *	Inspeção	Equipamento, área de inspeção, teste ou verificação	Azul **	
 *	-	Equipamento e espaço de apoio e serviços	Azul **	
 *	-	Área de escritório, planeamento ou elementos do edifício	Castanho (ou cinzento) **	

** - MHMS (IMMS) Standard - Adotado pelo SLP

* - ANSI Standard

Na figura 3.9, encontra-se um exemplo de Diagrama Espacial de Relações, presente em (Muther & Hales, 2015), onde se observa os vários passos a seguir na elaboração deste diagrama.

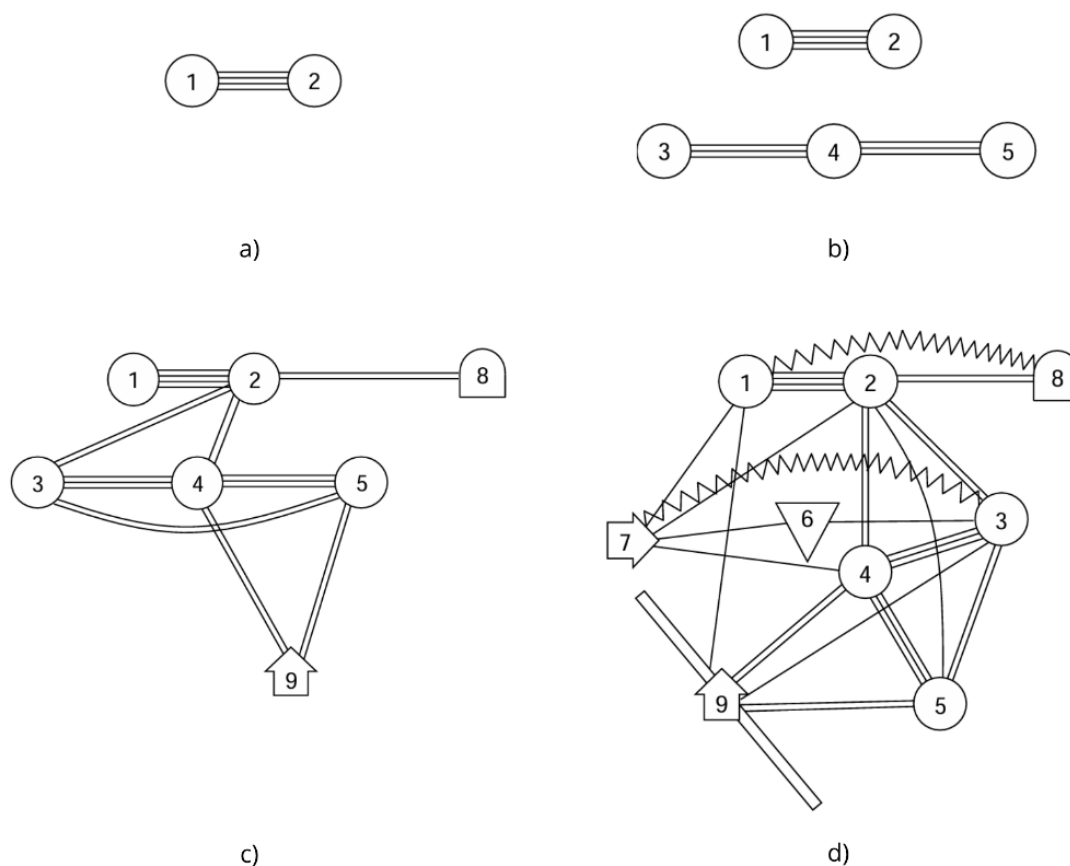


Figura 3.9 - Diagrama Espacial de Relações (adaptado de Muther & Hales, 2015)

a) Ligações A, b) Ligações E, c) Ligações I e ajuste, d) Ligações O e X e reajuste.

Após a construção do diagrama de relações e do diagrama espacial de relações, o passo seguinte no método SLP consiste na elaboração do diagrama de blocos. Este representa uma etapa intermédia essencial entre a análise das necessidades de proximidade funcional e o desenvolvimento do *layout* físico final. O diagrama de blocos corresponde a uma disposição simplificada das várias áreas funcionais ou departamentos, através de formas geométricas proporcionais às suas necessidades de espaço. Cada bloco simboliza uma unidade funcional e é posicionado com base nas relações de proximidade identificadas anteriormente.

A construção do diagrama de blocos inicia-se com a revisão das relações de proximidade entre as áreas, assegurando que as ligações classificadas como absolutamente necessárias (A),

especialmente importantes (E), importantes (I), e assim por diante, sejam devidamente consideradas. Em seguida, procede-se à atribuição de uma área (em m²) aproximada a cada setor, tendo como base as necessidades operacionais, como por exemplo espaço de produção, volume horário de produção, espaço de armazenamento ou serviços administrativos.

Com os dados de área definidos, desenham-se os blocos utilizando formas simples, geralmente retangulares, com dimensões proporcionais ao espaço necessário para cada função. O próximo passo é a organização destes blocos no espaço disponível, respeitando as prioridades de proximidade estabelecidas no diagrama espacial de relações. A disposição dos blocos deve facilitar os fluxos de trabalho e reduzir os movimentos desnecessários de pessoas, materiais ou informação. Importa, nesta fase, ter em consideração eventuais restrições físicas ou estruturais do edifício, como paredes estruturais, acessos, colunas ou saídas de emergência. A proposta de *layout* deve ser testada em diferentes versões, idealmente duas ou três alternativas, permitindo comparar e avaliar qual a solução mais eficiente, tanto do ponto de vista funcional como operacional. Este diagrama ainda não representa o *layout* definitivo, mas é uma ferramenta fundamental para a tomada de decisão. Através da sua construção, é possível visualizar a lógica de organização do espaço e validar se as prioridades estabelecidas nas fases anteriores se traduzem numa solução coerente, eficaz e tecnicamente viável. A versão final escolhida servirá então de base para o desenvolvimento do *layout* com medidas reais e detalhes técnicos.

Na figura 3.10 é possível observar um exemplo de um diagrama de Blocos, feito sem o auxílio de um software como o *AutoCAD*, numa folha quadriculada. O próximo passo esse será passar a versão mais adequada ao caso em análise para um software de desenho técnico.

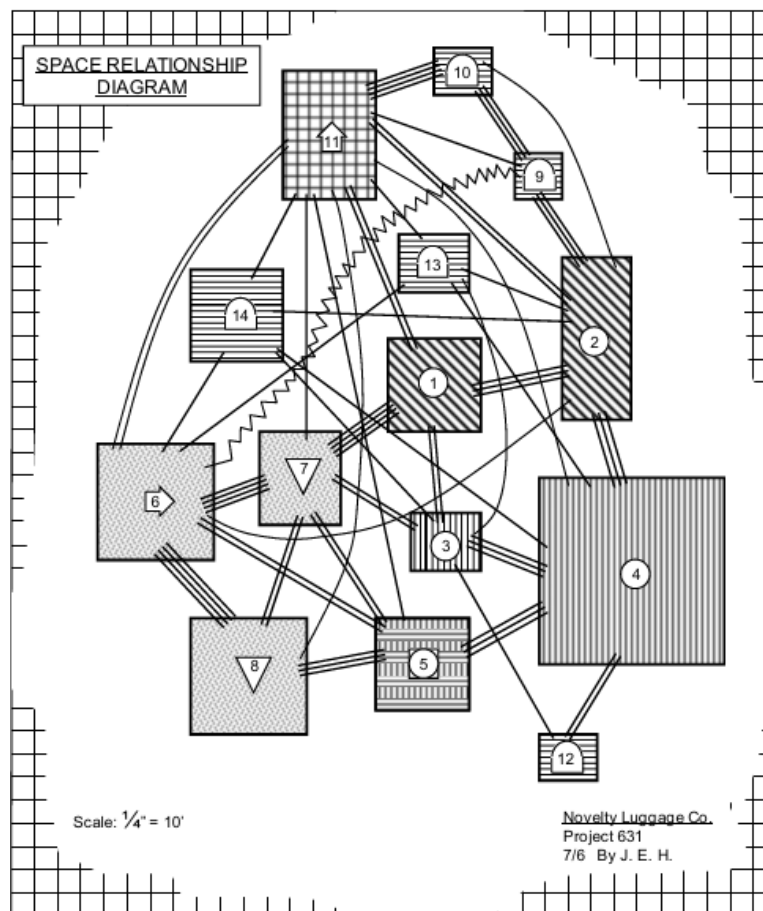


Figura 3.10 - Diagrama de Blocos (Muther & Hales, 2015)

3.2.5 Aplicabilidade e Benefícios

A aplicação do SLP é particularmente relevante em contextos industriais com elevada complexidade logística, como o setor automóvel. Os benefícios incluem a redução de tempos de movimentação, o melhor aproveitamento do espaço, maior ergonomia para os operadores e menor risco de acidentes ou interrupções.

Para além das melhorias operacionais diretas, a aplicação do *Systematic Layout Planning* (SLP) contribui de forma significativa para o aumento da flexibilidade produtiva e da capacidade de adaptação a variações de mix e volume, características particularmente críticas na indústria automóvel. Um layout bem planeado facilita a introdução de novos produtos, alterações de processo ou reajustes de capacidade, reduzindo o tempo e o custo associados a reconfigurações futuras. Neste contexto, o SLP assume um papel estratégico, permitindo que as organizações respondam de forma mais ágil às exigências do mercado e às oscilações da procura, sem comprometer a eficiência operacional.

Adicionalmente, o SLP promove uma maior integração entre as áreas produtivas e logísticas, ao alinhar o layout físico com os fluxos reais de materiais, informação e pessoas. Esta coerência entre o desenho do espaço e o funcionamento do processo contribui para a redução de desperdícios estruturais, como cruzamentos desnecessários, esperas por materiais ou congestionamentos em zonas críticas. Consequentemente, o SLP não só melhora o desempenho operacional no curto prazo, como também cria uma base sólida para a implementação de outras ferramentas Lean, potenciando a melhoria contínua e o desempenho sustentável da organização a médio e longo prazo.

3.2.6 Limitações do SLP

Apesar da sua aplicabilidade prática, o método SLP apresenta limitações, nomeadamente a dependência de dados precisos, como erros nos volumes, tempos ou requisitos que podem comprometer a solução. Outra limitação encontrada é a subjetividade nas classificações AEIOU: embora sistematizado, a análise e a opinião dos analistas influencia fortemente o resultado, tornando-o mais subjetivo. A integração digital também é vista como uma limitação da ferramenta SLP, uma vez que requer auxílio de softwares como o CAD (*Computer-aided design*) ou o ERP (*Enterprise resource planning*) para garantir que a sua implementação é eficaz e eficiente, assim como o elevado esforço inicial de projetos SLP. A implementação de SLP exige que, na fase inicial de diagnóstico e levantamento de dados, haja tempo e envolvimento multidisciplinar. A multidisciplinaridade exigida nesta fase é crucial para o restante projeto, uma vez que é uma análise que necessita da envolvimento de vários departamentos, como logística, IT, produção, planeamento de produção, RH, entre outros que possam apoiar o estudo.

3.3 Objetivos do Modelo Integrado *Makigami-SLP*

De forma a alcançar aos objetivos definidos para este estudo de caso foi desenvolvido um modelo integrado *Makigami-SLP*. A aplicação conjunta destas duas metodologias tem como principal objetivo a otimização dos processos organizacionais e do *layout* físico dos espaços. Esta otimização é feita através de uma abordagem sistémica e sinérgica, onde se conjuga uma análise crítica das atividades de um processo, (através do *Makigami*) com o estudo lógico e funcional da disposição física das áreas envolvidas (através do SLP). Além disso, este modelo integrado procura adicionar pontos novos à literatura existente sobre estas ferramentas,

nomeadamente a contemplação das distâncias percorridas entre áreas, quer seja por colaboradores, informação ou material e ainda a alocação das melhorias propostas para resolver cada problema encontrado ao longo da implementação do modelo.

3.3.1 Funcionamento do Modelo Integrado *Makigami-SLP*

A presente sub-secção visa descrever de forma detalhada o modelo integrado *Makigami-SLP*. O modelo proposto permite não só identificar desperdícios, redundâncias e disfunções no fluxo de informação e de atividades, como também propor uma reorganização espacial fundamentada nas dependências e interações reais entre os elementos.

O fluxograma apresentado na figura 3.11 ilustra todas as fases do modelo, desde a avaliação do estado atual até à construção de um novo modelo otimizado.

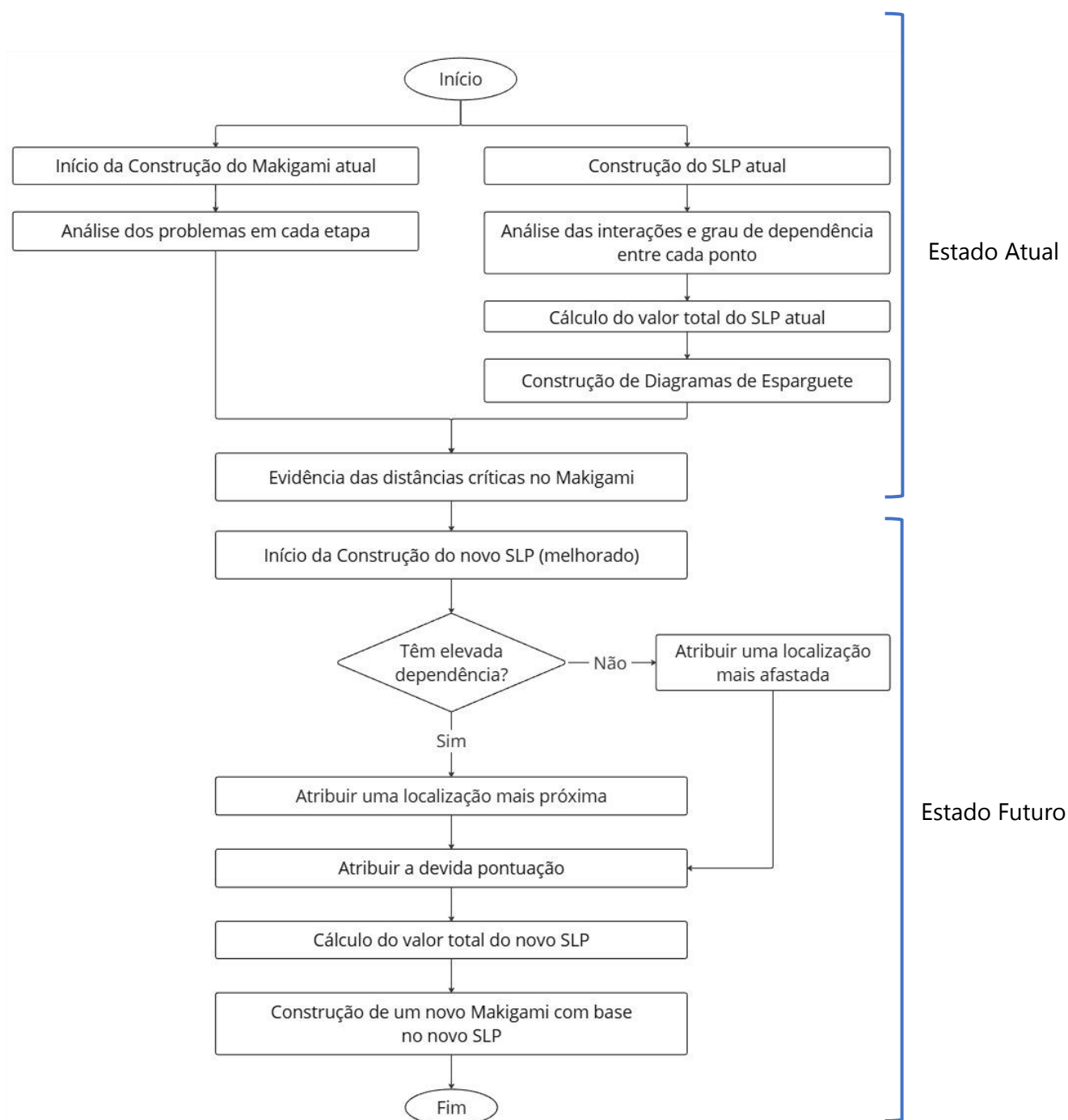


Figura 3.11 - Fluxograma do modelo integrado *Makigami*-SLP

Ao longo da presente sub-secção serão detalhadamente explicadas as várias fases do modelo integrado, representado na figura 3.11.

O modelo inicia-se com duas fases feitas em paralelo. As fases são a construção do *Makigami* e o SLP do estado atual do processo.

1. Início da construção do *Makigami*

Para a construção do *Makigami* deve ser feita uma análise detalhada do processo que se pretende mapear e do contexto em que o mesmo está inserido, tendo em conta o fluxo de material, de pessoas e de informação entre áreas e departamentos. O processo é dividido em várias tarefas sequenciais, cada um com um responsável, pode ser uma pessoa ou departamento. Tal como referido na subsecção 3.1.3 Implementação do *Makigami* passo-a-passo, as tarefas devem ser divididas em tarefas de valor acrescentado (*post-its* verdes), tarefas de valor não acrescentado, mas necessário (*post-its* amarelos) e tarefas de valor não acrescentado (*post-its* vermelhos). O fluxo de materiais ao longo do processo é representado por setas pretas, o fluxo de informação entre etapas é representado com setas azuis e se existir algum pedido de aprovação a alguma entidade envolvida será representado por uma seta verde.

Em seguida, recolhe-se dados como o *lead time*, *activity time*, *value adding time* e *loss time*. O *lead time* é o tempo total que decorre desde o início até ao fim da tarefa, o *activity time* é o tempo em que a pessoa/departamento estão efetivamente a trabalhar no produto, o *value adding time* é apenas o tempo, durante a atividade, em que se está a acrescentar valor ao produto no qual se está a trabalhar. Por fim, o *loss time*, tal como o próprio nome indica, é o tempo perdido durante a tarefa. este tempo pode ter sido perdido devido a vários fatores, como esperas, falhas ou avarias na linha de produção, falhas nos sistemas informáticos, entre outros. A unidade de medida de todos estes tempos é horas. Abaixo, encontra-se a figura 3.12 com o esquema representativo da distribuição dos tempos considerados ao longo do processo.

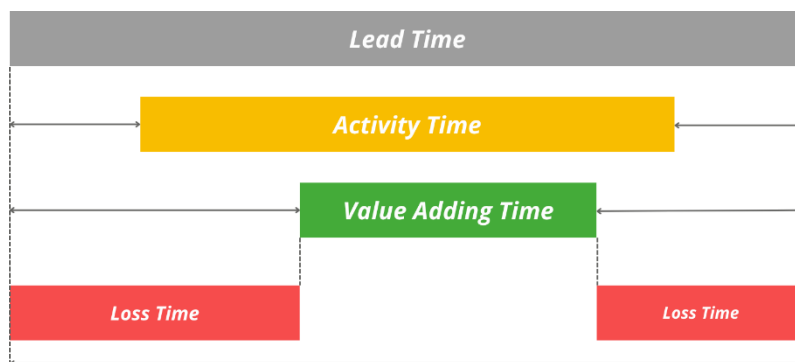


Figura 3.12 - Constituição do *Lead Time*

2. Construção do SLP

A construção do SLP segue os passos já mencionados na subsecção 3.2.3 Fases de Planeamento, com as ferramentas referidas na subsecção 3.2.4 Ferramentas utilizadas pelo método SLP. Ou seja, inicia-se com a identificação dos cinco pontos-chave (PQRST), em seguida é construído o diagrama de relações, tendo em conta as interações e proximidade entre as várias áreas e departamentos. Com as interações feitas, segue-se a contagem do número total de interações "A", "E", "I", "O", "U" e "X", para calcular a pontuação total de proximidade entre as várias zonas. Um dos objetivos do SLP é, através das melhorias futuramente implementadas, que este valor seja, conseqüentemente, mais elevado do que o valor inicial. Este aumento deve-se ao aumento do número de ligações do tipo "A" e "E", ligações que indicam maior grau de interação entre as tarefas ou áreas do processo.

O próximo passo do modelo integrado é a construção dos diagramas de esparguete de forma a ter uma melhor percepção do fluxo de colaboradores e de material. Na maioria dos casos, os fluxos de colaboradores e de material são semelhantes ou iguais uma vez que o transporte de material é feito pelos colaboradores. Nos casos em que existem mecanismos de transporte autónomos que conduzam o material ao seu destino, sem necessidade de colaboradores durante o transporte, constroem-se diagramas de esparguete distintos, um para materiais e outro pelos colaboradores.

3. Finalização do *Makigami*

Com os diagramas de esparguete concluídos e com os dados das distâncias percorridas pelos colaboradores e materiais recolhidos, atualiza-se o *Makigami*. Posteriormente, com o *Makigami* totalmente preenchido, é possível visualizar os problemas encontrados ao longo de todas as tarefas do processo e assim iniciar uma reestruturação e construção de um novo SLP, tendo por base as ideias de melhoria também indicadas no *Makigami*.

4. Construção de um novo SLP

O processo de construção do novo SLP é semelhante ao anteriormente indicado. Com os graus de interação e proximidade identificados inicialmente e com as propostas de melhorias identificadas no *Makigami*, faz-se as trocas de espaços e ajustes necessários, respeitando as condições físicas existentes e tendo em consideração os volumes de produção e o espaço que devem ocupar para determinado produto, durante um determinado intervalo de tempo.

Em seguida, constrói-se um novo diagrama de relações para recolher o número de interações de cada tipo (A, E, I, O, U e X) e calcular, através da equação 3.1, pontuação total de proximidade entre as várias áreas.

5. Construção de um novo *Makigami*

Por fim, com as melhorias implementadas no novo SLP, constrói-se um novo *Makigami*, com valores de *lead time*, *activity time*, *value adding time*, *loss time* e distâncias percorridas atualizados. Todos estes valores devem ser inferiores ao *Makigami* construído inicialmente, de forma a comprovar a melhoria no processo. Melhorias que se refletem principalmente no tempo de trabalho efetivo dos colaboradores e nos fluxos de pessoas e de materiais.

Uma das mais-valias da ferramenta *Makigami* relativamente a outras é a forte componente visual, o que torna a visualização e interpretação do processo muito mais rápida e eficiente. Depois de terminado este segundo *Makigami* e comparando-o com o primeiro, é relativamente fácil apontar as diferenças entre os dois e perceber que os problemas que existiam no primeiro, já não devem existir no segundo e provavelmente no segundo já existem outros diferente que, entretanto, foram sendo encontrados e apontados. Aliado a estes problemas, podem também já existir propostas de melhorias e/ou soluções para os mesmos. É também por isto que o modelo integrado *Makigami*-SLP é um processo sistémico, com abordagens iterativas, uma vez que possui etapas que se repetem em ciclos sucessivos (iterações), com o objetivo de melhorar ou ajustar gradualmente os resultados.

3.3.2 Aplicabilidade do Modelo Integrado *Makigami*-SLP

O modelo integrado *Makigami*-SLP revela-se particularmente aplicável em contextos organizacionais que exigem uma análise profunda dos fluxos de informação e comunicação, aliada a uma gestão eficiente do espaço físico. Esta abordagem integrada permite não só mapear e eliminar atividades que não acrescentam valor ao processo, mas também otimizar a disposição física dos recursos e colaboradores, promovendo uma maior eficiência operacional.

Em ambientes industriais e de serviços, onde coexistem desafios relacionados com a complexidade dos fluxos de trabalho e a ineficiência no uso do espaço, a aplicação deste modelo constitui uma mais-valia. A sua estrutura metodológica sequencial, aliada à flexibilidade de adaptação a diferentes realidades organizacionais, torna-o particularmente eficaz em projetos de melhoria contínua, reengenharia de processos e reorganização de *layouts* físicos.

Além disso, o modelo proporciona uma visão holística dos processos, permitindo que decisões relacionadas com alterações organizacionais sejam suportadas por dados objetivos e representações visuais claras. A participação ativa dos intervenientes, característica intrínseca do *Makigami*, conjugada com a lógica de racionalização espacial do SLP, favorece o alinhamento entre os processos operacionais e os recursos físicos, contribuindo para uma cultura organizacional orientada para a eficiência e sustentabilidade

3.3.3 Limitações do Modelo Integrado *Makigami-SLP*

Apesar das suas inúmeras vantagens, o modelo integrado *Makigami-SLP* apresenta algumas limitações que importa considerar na sua aplicação prática. Uma das principais restrições reside no tempo e nos recursos humanos necessários para a sua implementação eficaz. A construção do mapa *Makigami* exige a recolha detalhada de informações e a participação ativa de colaboradores com conhecimento profundo dos processos, o que pode representar um entrave em organizações com recursos limitados ou resistência à mudança.

Adicionalmente, a integração com o SLP implica um esforço adicional na recolha de dados espaciais e na análise de interações físicas entre departamentos, o que, em ambientes organizacionais mais dinâmicos ou com elevada variabilidade nos fluxos, pode resultar em representações rapidamente desatualizadas.

Outra limitação prende-se com a curva de aprendizagem associada à utilização combinada das duas metodologias. A proficiência na interpretação dos resultados e na formulação de propostas de melhoria requer formação prévia, o que pode atrasar a obtenção de benefícios tangíveis, especialmente em fases iniciais do projeto.

Por fim, deve-se considerar que o modelo foi concebido com base em premissas de racionalidade e estabilidade dos processos, o que pode limitar a sua aplicabilidade em contextos altamente voláteis ou informais, onde a padronização e a linearidade dos fluxos não são facilmente observáveis.

APLICAÇÃO DO MODELO INTEGRADO *MAKIGAMI-SLP* NUMA UNIDADE INDUSTRIAL

O presente capítulo tem como principal objetivo aplicar o modelo integrado *Makigami-SLP* desenvolvido no capítulo anterior, iniciando-se com uma breve contextualização e caracterização da indústria automóvel no Mundo, em Portugal, seguindo-se a apresentação da realidade organizacional da Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant. Empresa do setor automóvel que opera em ambiente industrial altamente competitivo e dinâmico. Neste enquadramento, será abordado o processo produtivo em análise, evidenciando as suas principais características, interações funcionais e desafios operacionais.

De seguida, serão aplicadas as diferentes fases do modelo proposto no capítulo 3, com início na construção do *Makigami* atual e do SLP correspondente, prosseguindo-se com a identificação dos principais problemas e distâncias críticas, bem como com a análise das dependências funcionais entre os diversos intervenientes. Posteriormente, será desenvolvido o SLP otimizado, com base nas necessidades reais do processo, culminando na construção de um novo *Makigami* alinhado com a configuração espacial proposta. Esta abordagem visa não só a melhoria dos fluxos de informação e de materiais, como também a eliminação de desperdícios e a promoção de uma maior eficiência operacional no contexto da Visteon Portuguesa.

4.1 Caracterização da Indústria Automóvel

Como mencionado anteriormente, será apresentada a evolução e a situação atual desta indústria, tanto a nível nacional como internacional.

4.1.1 A indústria Automóvel no Mundo

A evolução global da indústria automóvel é marcada por um forte crescimento desde a produção artesanal em 1890, quando a P & L fabricava algumas centenas de carros por ano. A era da produção em massa começou em 1903 com Henry Ford, que conseguiu reduzir drasticamente os custos enquanto continuava a aumentar a qualidade do produto. Entre 1913 e 1914, houve uma grande mudança com a transição da montagem estacionária para a móvel, reduzindo significativamente o tempo de ciclo da montagem de um automóvel (J. P. Womack et al., 1990).

Com base no TPS – *Toyota Production System*, Taiichi Ohno introduziu, na década de 50, o conceito de *Lean Manufacturing*. Este conceito tinha como objetivo aumentar a eficiência das linhas de produção, eliminando a variação dos processos, eliminar desperdícios e reduzir custos operacionais (Lago et al., 2008).

Entre 1975 e 2007, a indústria automóvel sofreu um elevado crescimento, passando de 33 milhões para 73 milhões de veículos produzidos. Este aumento deveu-se à abertura de novos mercados, como Ásia (especialmente China, Índia e Coreia do Sul), América Latina (principalmente Brasil e México) e Europa Oriental (com destaque para a Rússia) (Sturgeon et al., 2009).

O gráfico apresentado na figura 4.1, ilustra com clareza a evolução recente da produção automóvel por região, entre 2019 e 2023, de acordo com um estudo realizado pela Organização Internacional dos Construtores Automóveis (OICA). O estudo distingue países/regiões desenvolvidos e emergentes/desenvolvidos.

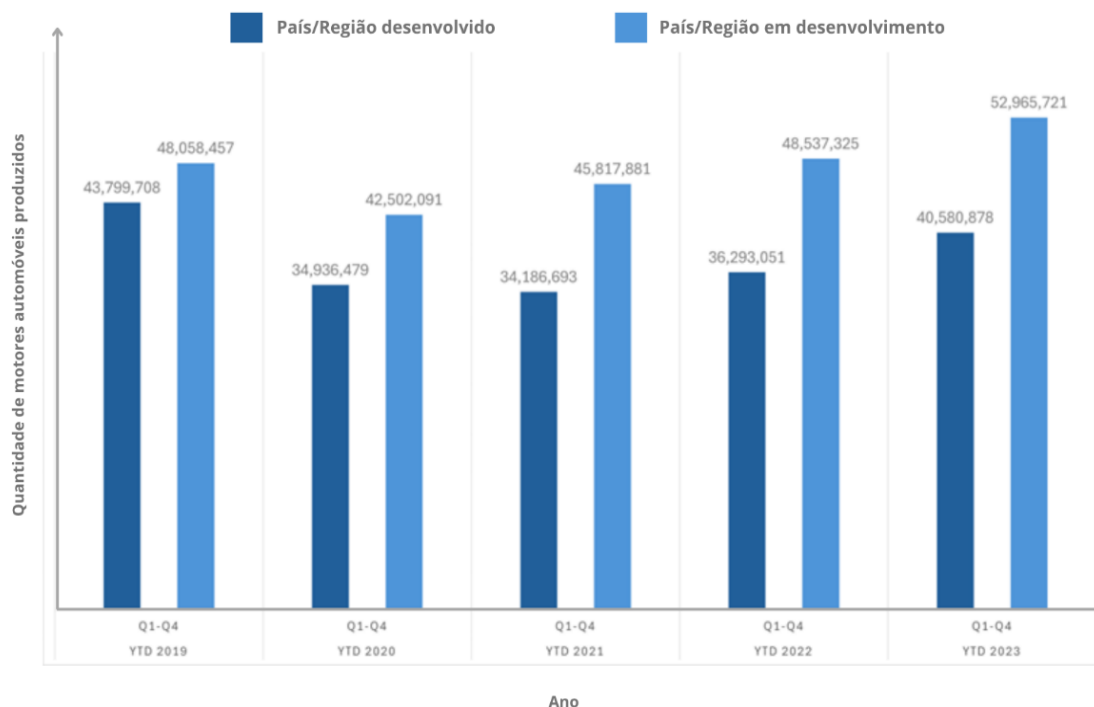


Figura 4.1 - Gráfico que representa a produção de motores automóveis (fonte: OICA)

Os dados analisados confirmam uma tendência de reforço da liderança produtiva dos países emergentes face aos desenvolvidos no setor automóvel. Desde 2019, verifica-se um volume de produção consistentemente superior nas economias emergentes, tendência que se acentua em 2020, com o impacto desigual da pandemia. Nos anos subsequentes, a retoma é mais expressiva nos países emergentes, que em 2023 superaram significativamente os desenvolvidos em número de veículos produzidos. Esta evolução é impulsionada por fatores como menores custos de operação, atratividade ao investimento estrangeiro e políticas industriais favoráveis, refletindo o reposicionamento geográfico da produção automóvel à escala global (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA), 2023).

4.1.2 A indústria Automóvel em Portugal

A história da indústria automóvel em Portugal caracteriza-se por um percurso de desenvolvimento progressivo, estruturado em três grandes fases. A primeira, entre as décadas de 1960 e 1970, decorreu num contexto de forte protecionismo, com a implementação da "Lei da Montagem", que procurava estimular a produção nacional através da limitação das importações e da concessão de benefícios fiscais. Este período foi marcado por uma estrutura produtiva fragmentada, com unidades de montagem pouco eficientes, baixa incorporação

tecnológica e reduzido investimento no setor dos componentes, maioritariamente composto por pequenas empresas de natureza artesanal.

A segunda fase tem início no final da década de 1970 e prolonga-se até finais da década de 1980, sendo impulsionada por investimentos industriais de maior escala e complexidade, nomeadamente com a instalação da Renault em Cacia e da unidade de montagem em Setúbal. Estas infraestruturas contribuíram para o desenvolvimento da indústria de componentes e para a introdução de novas tecnologias de fabrico. Simultaneamente, verificou-se uma intensificação do investimento estrangeiro direto, uma maior orientação para a exportação e uma crescente especialização da produção automóvel em Portugal.

A terceira fase inicia-se em 1995, com a entrada em funcionamento da Autoeuropa, em Palmela, um projeto resultante da parceria entre a Ford e a Volkswagen. Este investimento constituiu um marco determinante na transformação do setor, dinamizando uma ampla rede de fornecedores, promovendo a inovação e incorporando atividades de investigação e desenvolvimento. A presença da Autoeuropa potenciou o crescimento da capacidade produtiva e contribuiu significativamente para o aumento das exportações e do valor acrescentado nacional (ACAP – Associação Automóvel de Portugal, 2024).

Atualmente, o setor automóvel português apresenta uma base empresarial dominada por empresas multinacionais com forte vocação exportadora e mão-de-obra qualificada. No entanto, persistem fragilidades estruturais, sobretudo no segmento das pequenas e médias empresas de componentes, que continuam a revelar limitações ao nível do investimento em inovação, da capacidade de internacionalização e da competitividade face a países com custos mais baixos. Entre os principais desafios enfrentados encontram-se também a escassez de competências técnicas, entraves burocráticos e dificuldades no acesso a financiamento.

A evolução do número de veículos produzidos em Portugal entre 2004 e 2024, segundo dados da ACAP, revela flutuações marcadas por contextos económicos adversos. Após um pico produtivo nos primeiros anos, regista-se uma quebra significativa entre 2009 e 2012, reflexo da crise financeira internacional. A partir de 2014 observa-se uma recuperação progressiva, com novo crescimento até 2019. Contudo, os anos subsequentes voltam a evidenciar um decréscimo acentuado, associado aos efeitos da pandemia de COVID-19 e às disrupções nas cadeias de abastecimento globais. Em 2023 e 2024, os dados indicam uma retoma gradual, ainda que aquém dos níveis registados na década anterior. Esta trajetória confirma a importância estratégica do setor automóvel na economia nacional, contribuindo de forma expressiva para o Produto Interno Bruto, o emprego e, sobretudo, para as exportações de bens,

consolidando Portugal como um ator relevante no panorama industrial europeu (ACAP – Associação Automóvel de Portugal, 2024).

O Gráfico da figura 4.2 ilustra a evolução do número de veículos produzidos anualmente em Portugal entre 2004 e 2024. Observa-se um pico de produção nos primeiros anos, seguido de uma acentuada queda entre 2009 e 2012, reflexo da crise económica global e das suas repercussões no setor industrial. A partir de 2014, regista-se uma recuperação progressiva, culminando num novo período de estabilidade e crescimento entre 2016 e 2019. Contudo, os anos seguintes revelam novamente uma quebra, associada aos efeitos da pandemia de COVID-19 e às perturbações nas cadeias logísticas globais. Em 2023 e 2024, é visível uma retoma gradual, embora ainda abaixo dos níveis máximos registados na década anterior.

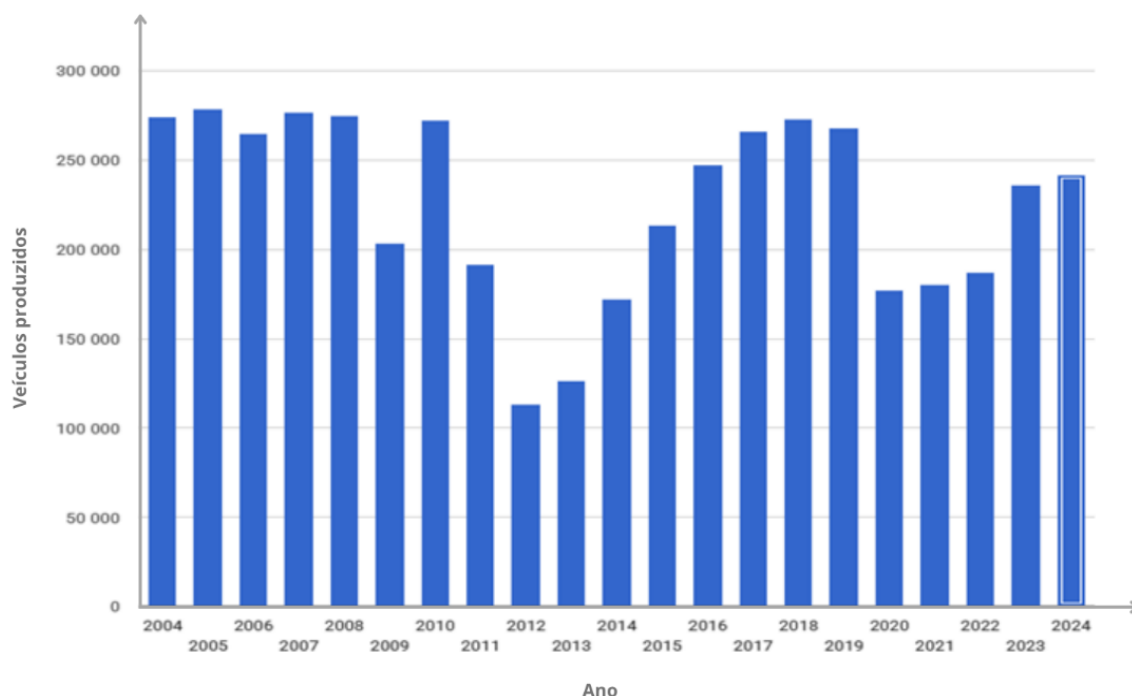


Figura 4.2 - Gráfico que representa a produção automóvel em Portugal (fonte: ACAP)

Esta evolução espelha não só a trajetória económica do país, como também a resiliência e a capacidade de adaptação da indústria automóvel nacional, que, apesar dos desafios, continua a assumir um papel estratégico na economia portuguesa, representando cerca de 0,7% do Produto Interno Bruto (PIB), 0,7% do emprego nacional e aproximadamente 11,1% das exportações de bens (ACAP – Associação Automóvel de Portugal, 2024).

4.1.3 Caracterização da Empresa - Visteon Corporation

O presente estudo foi desenvolvido numa unidade fabril da Visteon Corporation, empresa multinacional de referência no setor da eletrónica automóvel. Fundada em 1989 sob a designação de Ford Eletrónica, com o objetivo de fornecer componentes exclusivamente para a Ford, a empresa evoluiu para uma das principais entidades de referência no fornecimento de soluções digitais e eletrificadas para veículos de passageiros.

Com sede nos Estados Unidos e mais de 10.000 colaboradores a nível mundial, a Visteon mantém uma forte aposta em inovação, com uma parte significativa da sua força de trabalho dedicada ao desenvolvimento de software e tecnologias emergentes. A sua estratégia atual está fortemente direcionada para a transformação digital e a transição energética do setor automóvel, com foco em áreas como a eletrificação, a conectividade e a condução autónoma.

Os resultados financeiros mais recentes, referentes ao terceiro trimestre de 2024, demonstram a solidez e o crescimento sustentado da empresa, com vendas líquidas na ordem dos 980 milhões de dólares e mais de 1,8 mil milhões de dólares em novas encomendas. O portefólio da Visteon inclui soluções avançadas como painéis de instrumentos digitais, *cockpit computers*, sistemas de infotainment baseados em *Android* e *displays* de elevada dimensão e curvatura. Destaca-se ainda a sua liderança no segmento de clusters digitais, com uma quota global estimada em 25%, e o pioneirismo na integração de plataformas Android no setor automóvel.

4.1.4 Caracterização da Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant

O presente estudo foi realizado na área de Manufatura da Visteon Portuguesa, fábrica do grupo com localização em Palmela (*Palmela Plant*). Esta fábrica constitui uma das mais relevantes infraestruturas industriais do grupo, a nível europeu, destacando-se pela sua complexidade tecnológica e elevado grau de automatização. Atualmente, a fábrica agrega atividades de produção (*Manufacturing*), engenharia técnica (*Technical Center*) e serviços partilhados (*Shared Services Center*).

O departamento de Manufatura possui diversas áreas especializadas, são elas a Injeção de Plásticos, área que fornece componentes plásticos tanto para linhas internas como para outras unidades Visteon, a área de Injeção de Magnésio (*Thixomolding*) com uma produção de cerca de 25.000 peças por semana, a área da *Board Preparation* que tem a capacidade para processar até 36 milhões de componentes por dia e com um desempenho de *First Time True* (FFT) de 99,95%, demonstrando assim um elevado nível de qualidade e fiabilidade. É na área do *Optical Bonding* que é realizada a colagem ótica direta de *displays* TFT. A parte final do processo é

feita na área de *Final Assembly* que está dotada de um sistema de rastreabilidade baseado em RFID, assim como dispositivos *Poka-Yoke*, com o objetivo de garantir a conformidade e qualidade e minimizar erros de montagem. Os produtos são sujeitos a testes finais bastante rigorosos (*EOL*), que incluem ensaios funcionais completos. Os testes garantem que cada unidade cumpre os requisitos técnicos e de segurança antes de ser expedida para o cliente.

4.1.5 Caracterização da linha em estudo

No âmbito do estudo de caso desenvolvido nesta dissertação, a unidade de análise corresponde à linha de produção responsável pela montagem dos módulos eletrônicos *Cluster* (LXDM) e *Display* (CID). Esta linha constitui o contexto central da investigação, sendo analisada em profundidade no seu funcionamento real, de modo a avaliar os fluxos físicos, informacionais e organizacionais através da aplicação integrada do *Makigami* e do SLP.

Trata-se de uma linha que produz simultaneamente dois produtos distintos, funcionando de forma “espelhada”, com estações idênticas em cada lado. Cada metade é composta por seis estações, três manuais e três automáticas. Nas estações manuais, um operador trabalha em simultâneo nas três posições, enquanto o transporte entre estações é assegurado por um robô.

Num dos lados é produzido o *Cluster* automóvel (LXDM, lado esquerdo da linha representada na Figura 4.3), com uma cadência de 58 módulos por hora. O processo inicia-se na estação op. 10, onde o operador coloca o TFT no ninho e o robô transporta-o para a op. 15, onde são aplicadas automaticamente pasta *putty* e cola. Em paralelo, na op. 20, o operador coloca o *rear cover*, o *thixo bracket* e a *ornamental frame*. Concluída esta etapa, o robô transporta a peça até à op. 30 para ser aparafusada, seguindo depois para a op. 40 (*EOL*), onde são realizados os testes finais de qualidade. Após validação, o robô encaminha a peça para a op. 50, onde o operador coloca a película de proteção no ecrã, efetua inspeção visual final e encaminha o produto para a zona de *packing*.

A outra metade da linha produz o *Display* (CID), com uma cadência de 57 módulos por hora, replicando exatamente o mesmo processo produtivo (lado direito da linha representada na Figura 4.3).

Para além da descrição técnica, importa salientar que esta caracterização resulta de observação direta, recolha de dados junto de engenheiros de processo e medições de tempos em ambiente real, métodos fundamentais no estudo de caso. A análise desta linha de produção como unidade de estudo permite compreender de forma integrada as interações entre operadores, robôs, materiais e fluxos de informação, estabelecendo a base empírica necessária para a aplicação e validação do modelo proposto.

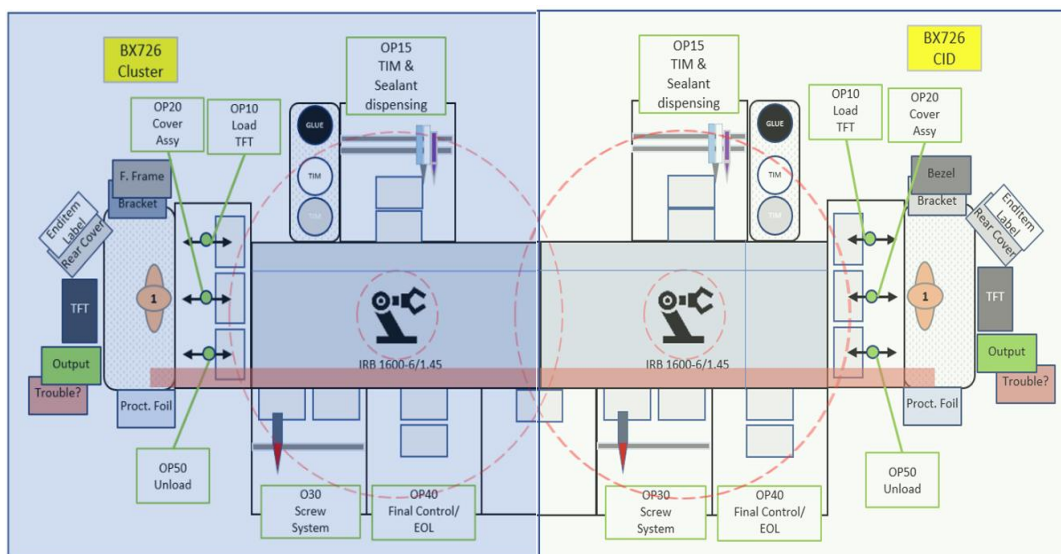


Figura 4.3 - Linha de produção do produto BX 726 (CID e LXDM)

4.1.6 Caracterização dos produtos da linha em estudo

Tal como já referido na caracterização da linha em estudo, nesta linha são produzidos 2 produtos, o *Cluster* (LXDM) e o *Display* (CID) de uma marca de automóveis. O *display* subdivide-se em *display* para veículos com o volante no lado direito (RHD) e *display* para veículos com o volante no esquerdo (LHD), dependendo da origem do veículo em que irão ser integrado. De forma a tornar a descrição destes produtos um pouco mais visual, na figura 4.4 encontra-se uma imagem do interior do automóvel onde estes produtos serão integrados.



Figura 4.4 - Integração do Cluster e do Display no automóvel

Em seguida encontra-se representada na figura 4.5 a vista explodida do *Display* LHD, com a respetiva legenda.

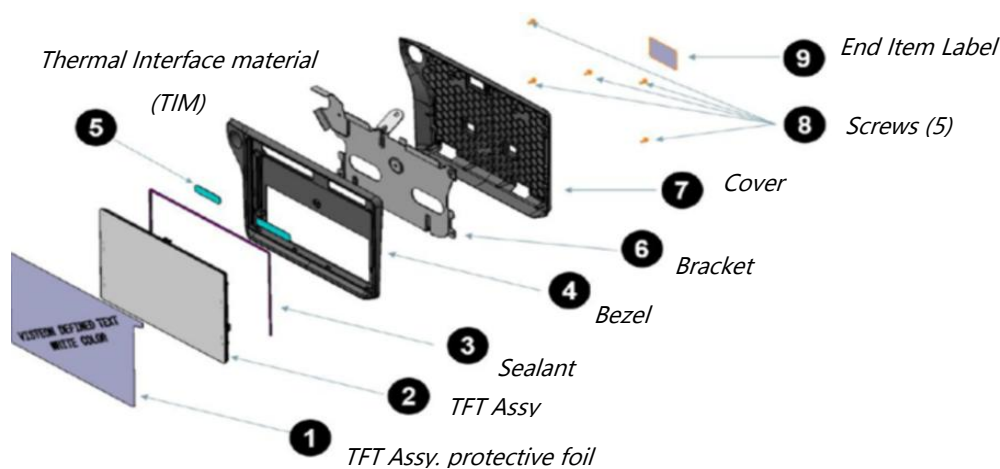


Figura 4.5 - Vista Explodida do *Display* LHD

A vista explodida do *Display* RHD é exatamente igual à do *Display* LHD, diferenciando apenas no facto de ter os componentes 4, 6 e 7 referentes aos módulos do lado direito, mantendo todas as medidas e estrutura do *Display* LHD.

Abaixo, na figura 4.6, encontra-se a vista explodida do *Cluster* (LXDM), com a respetiva legenda.

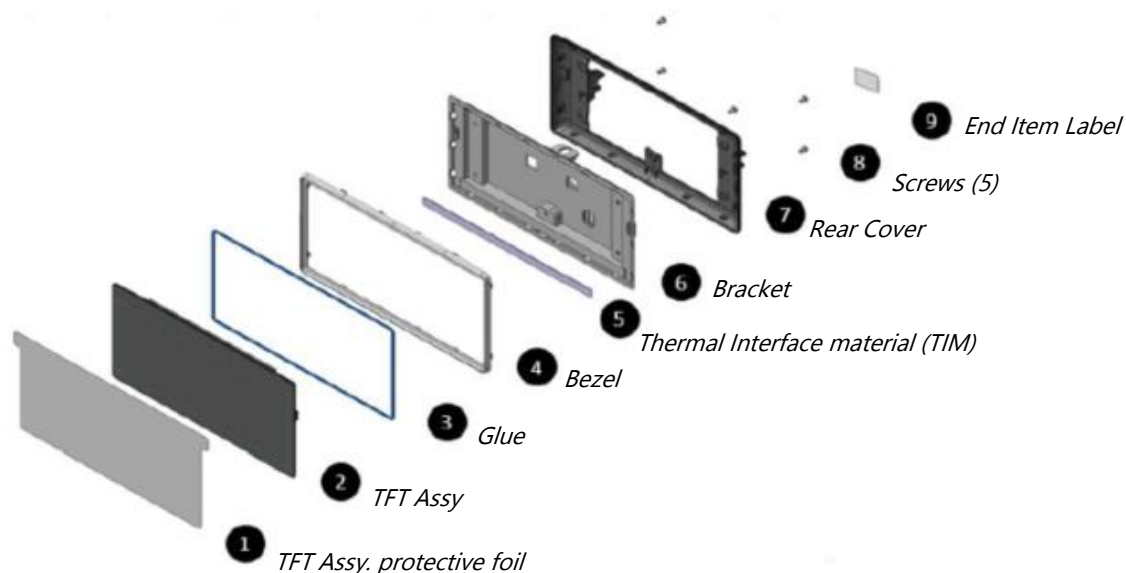


Figura 4.6 - Vista Explodida do *Cluster*

O ciclo de vida dos produtos feitos nesta unidade industrial inicia-se com a chegada de matéria-prima vinda do fornecedor, por transporte rodoviário, normalmente através de

camiónes. Este material abastece a área de injeção de plásticos, a injeção de magnésio e o armazém. Estas três áreas fornecem as linhas de produção (*Final Assembly*), mas antes, ficam temporariamente na zona de *packing*. Esta zona é vista tanto como área onde se faz o emba-lamento do produto acabado, como área de *feeding*, uma vez que os produtos entram na ISO 8, através dos *air showers* que lhe dão acesso e são transportados pelos operadores da res-pectiva linha de produção. Na zona de *Final Assembly* (dentro da ISO 8), segue o processo normal de cada linha e no fim, depois de todos os testes de qualidade efetuados, retorna à zona de *packing*. Dependendo da localização da linha dentro da ISO 8, a passagem do produto aca-bado pode ser realizada diretamente por tapete rolante, por *pass box* (se forem linhas locali-zadas junto às paredes da ISO 8) ou, na impossibilidade das opções anteriores, o retorno é feito pelos operadores, com passagem pelos *air showers*. Realiza-se o emba-lamento e as pa-letes vão para o armazém, mais especificamente para a *Mecalux* (armazém com funcionamento autónomo que armazena todo o material que sairá para clientes). O transporte para a *Mecalux* é feito através dos AGVs. O último passo é a expedição dos produtos para os clientes, normal-mente é feita através de camiões em articulação com outros meios de transporte (avião, barco, comboio), dependendo da localização do cliente.

Na figura 4.7 encontra-se representado um esquema do fluxo descrito.

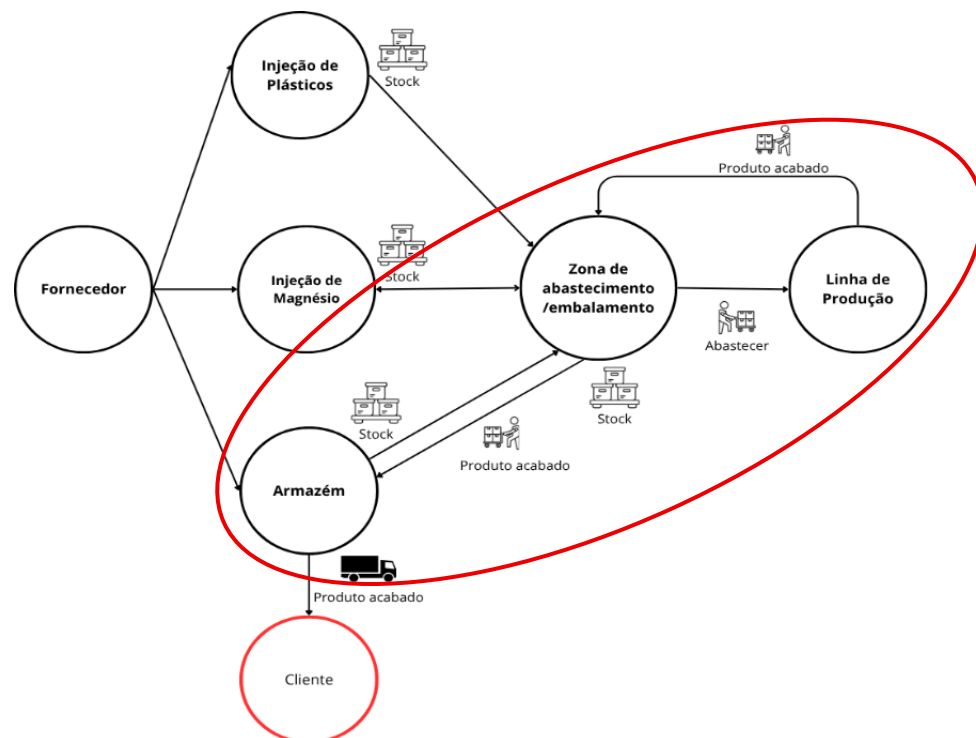


Figura 4.7 - Ciclo de vida do produto dentro da fábrica

4.2 Aplicação do modelo integrado *Makigami*-SLP na linha em estudo

No âmbito desta dissertação serão estudadas as áreas circundadas na figura 4.7, são todas as áreas e departamentos necessários à produção dos dois produtos anteriormente apresentados.

Tal como já referido no primeiro capítulo desta dissertação, a metodologia de investigação adotada é o estudo de caso, e o processo de produção descrito, em particular a secção de embalagem (ou "*packing*", como será designado daqui em diante) e a respetiva interação com o fluxo de operadores, materiais e informação, constitui a unidade de análise do estudo, permitindo analisar de forma aprofundada a realidade concreta da Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant. Em vez de se centrar apenas num problema global, o estudo desdobra-se em várias questões específicas relacionadas com a secção de *packing*, abrangendo a análise de tempos, deslocações, fluxos de materiais e fluxos de informação.

Cada questão corresponde a uma unidade de análise distinta (processos, *layout*, fluxos físicos ou fluxos de informação), recorrendo a diferentes técnicas de recolha de dados, como a observação direta, a cronometragem de ciclos produtivos, a construção de *Makigami*, os diagramas de esparguete, entrevistas com engenheiros de processo e a análise documental.

A unidade de observação integra tanto os operadores diretamente envolvidos, como os fluxos materiais e informacionais que atravessam a área de *packing*. Esta abordagem garante uma visão holística do processo e possibilita validar empiricamente os resultados obtidos através da integração das ferramentas *Lean* utilizadas.

De forma a sintetizar esta abordagem, a Tabela 4.1 apresenta a relação entre as principais questões de investigação que orientaram todo o estudo, as respetivas unidades de análise, as técnicas de recolha de dados utilizadas e as unidades de observação consideradas.

Tabela 4.1 - Estrutura metodológica do estudo de caso

Questões de Investigação	Unidade de Análise	Recolha de Dados	Unidade de Observação
Como reduzir os desperdícios e o <i>loss time</i> no processo de <i>packing</i> ?	Secção de <i>packing</i> (processos produtivos).	Cronometragem de tempos, observações diretas em múltiplos ciclos.	Operadores na linha de <i>packing</i> .
Como otimizar as distâncias percorridas pelos operadores durante as tarefas de embalagem?	<i>Layout</i> da secção de <i>packing</i> .	Diagramas de esparguete, observação direta, registos de deslocações.	Movimentos dos operadores.
Como melhorar o fluxo logístico de materiais entre a linha de produção, a zona de <i>feeding/packing</i> e o ponto de recolha?	Fluxos físicos de materiais.	Observação de fluxos, medições de distâncias, análise documental interna	Movimentação de materiais.
Como tornar mais eficientes os fluxos de informação e comunicação associados ao processo de <i>packing</i> ?	Fluxos de informação e interação entre departamentos.	Recolha de documentos, trocas de ideias com engenheiros de processo, análise do uso dos sistemas (ex. QAD).	Documentos, registos digitais, comunicações internas.

O principal objetivo da aplicação do modelo integrado *Makigami*-SLP ao “estado atual” da unidade industrial consiste em melhorar os fluxos de material, informação e pessoal, assegurando que as áreas de trabalho se encontram localizadas nas posições mais adequadas.

Ao longo deste processo de ajuste de localizações serão tidos em conta vários fatores que podem condicionar algumas decisões. Esses fatores condicionantes podem ser aspetos estruturais como portas, portões, saídas de emergência, pilares, vigas estruturais, larguras mínimas de corredores, extintores, bocas de incêndio, quadros elétricos, passagem de AGVs, entre outros. Outros fatores condicionantes são as variações na procura mensal e anual dos clientes, isso afeta diretamente os volumes de produção de cada produto. São também tidos em conta os novos produtos que irão entrar em produção e os que vão sair desta unidade industrial. Deve ser também considerada a localização atual e futura de cada linha de produção, dentro da ISO 8, isso pode, ou não, afetar a disposição das restantes áreas.

Tendo em conta os dados apresentados no gráfico da figura 4.8, onde são comparados os volumes de produção diários de vários produtos, de forma a satisfazer as procuras enviadas por cada cliente, é possível perceber que existem produtos que vão cessar a sua produção.

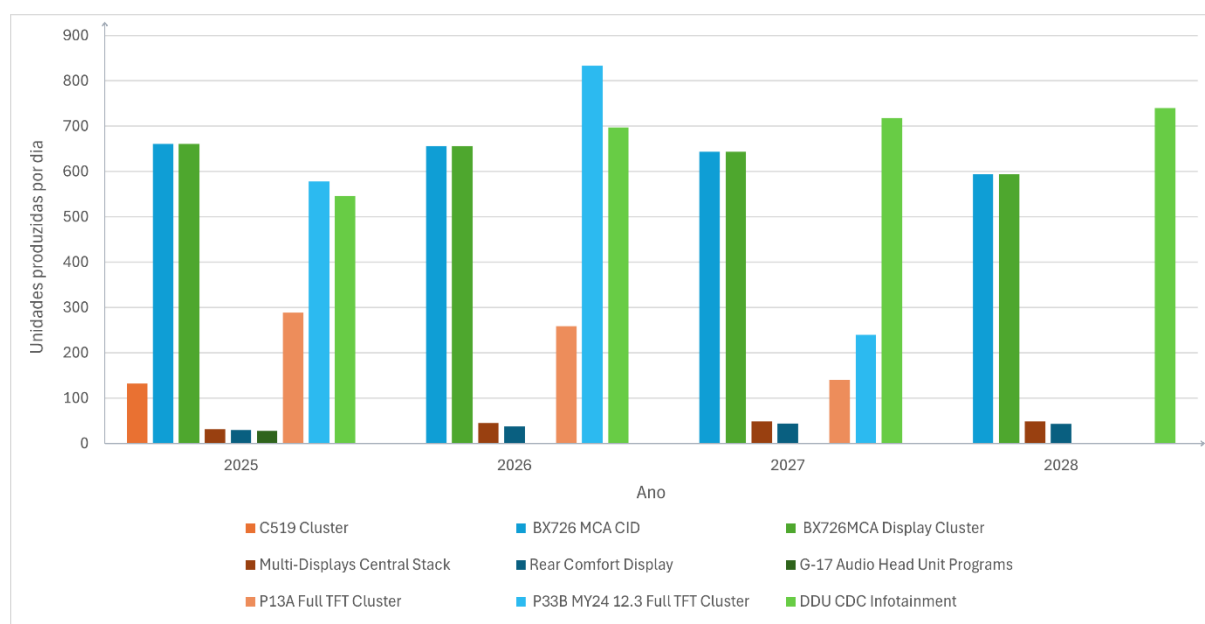


Figura 4.8 - Produção diária de alguns produtos produzidos na Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant

De entre os produtos que deixarão de ser produzidos encontram-se o C519 *Cluster* que deixará de ser produzido nesta unidade industrial em dezembro do presente ano (2025), o G17 *Audio Head Unit Programs*, internamente apelidado de "G-17", que deixará de ser produzido também até ao final do presente ano e ainda o P13 A *Full TFT Cluster* (internamente apelidado de "P13") e o P33B MY24 12.3 *Full TFT Cluster* (internamente apelidado de "P33") que cessarão as suas produções em 2028. Uma vez que as mudanças na unidade industrial, principalmente a nível de estruturas físicas, requerem um grande planeamento, investimento e sincronização entre várias equipas e departamentos, estas serão realizadas no fim do ano, quando outras alterações também forem realizadas. Para o próximo ano, as principais alterações são de *layout*, tanto da disposição das linhas de produção (dentro da ISO 8), como na zona de *feeding* e *packing*. Direcionando a análise para os produtos estudados ao longo da presente dissertação, o BX 726 CID (*Display*) e o BX 726 LXDM (*Cluster*), percebe-se que são dois dos produtos que irão manter os níveis de produção praticamente estáveis ao longo dos próximos 3 anos. Esta coerência nos volumes de produção foi mais um fator que motivou a escolha destes dois produtos para dar início à implementação do modelo descrito.

4.2.1 Mapeamento do estado atual

4.2.1.1 Construção do *Makigami* do estado atual

Para a construção do *Makigami* do estado atual do processo, utilizando o *template* apresentado na figura 4.9, é necessário recolher um conjunto de dados do normal funcionamento da linha de produção destes produtos, bem como da zona de *packing*, da zona onde se encontra o material de abastecimento à linha, do armazém e do armazém de produto acabado, denominado de *Mecalux*.

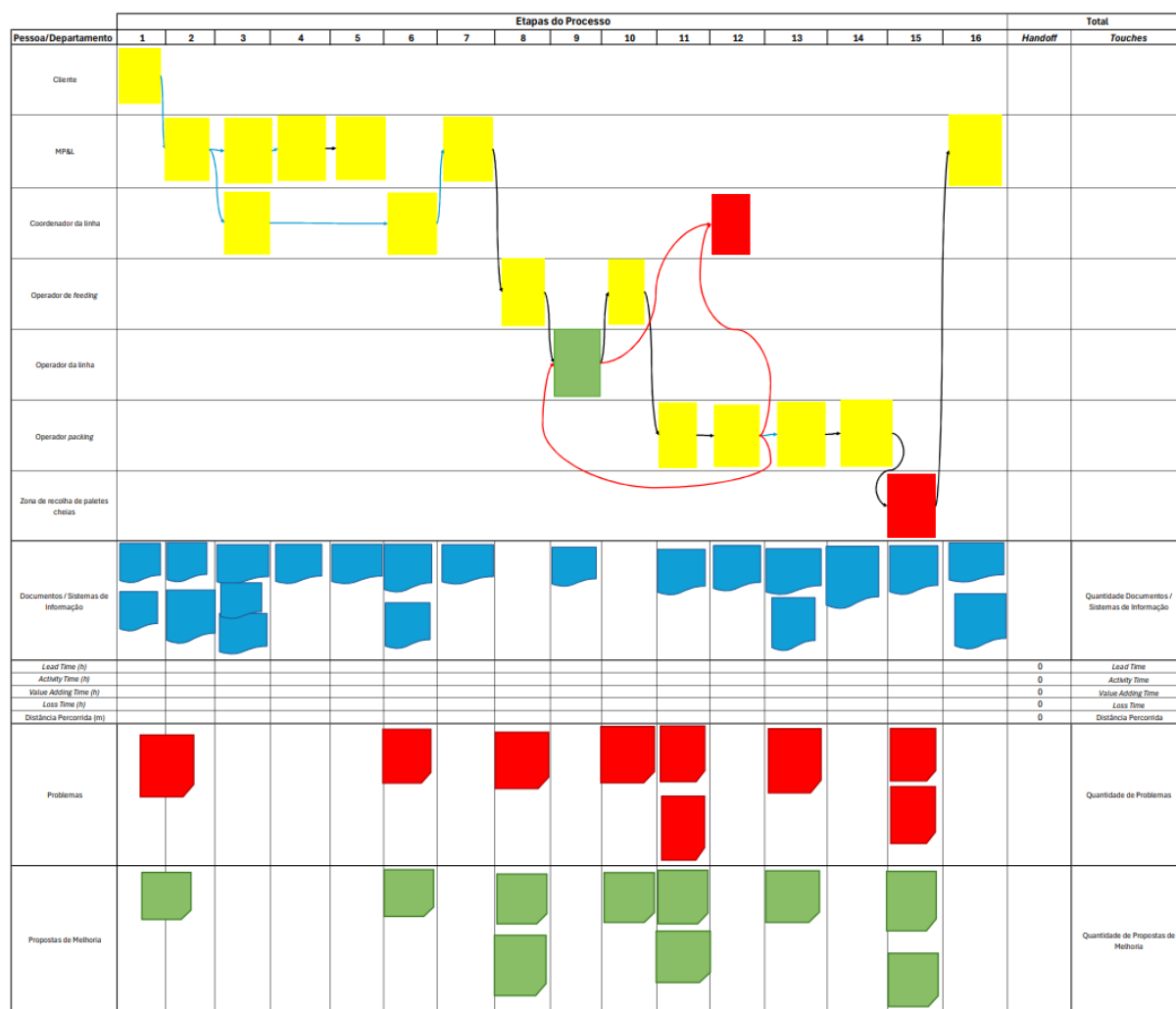


Figura 4.9 - *Template* para o *Makigami*

O processo em análise inicia-se com a saída dos módulos da linha de produção (*Final Assembly*) e termina quando as paletes fechadas com estes produtos entram na *Mecalux*. Subdivide-se este processo em tarefas sequenciais, consideradas VA (representadas com caixas verdes) ou NNVA (representadas com caixas amarelas), cada uma com um colaborador ou departamento responsável. As tarefas contempladas são as seguintes:

- Enviar as necessidades diárias: necessidades baseadas na procura do cliente são enviadas pelos clientes para o *control plan*;
- Planear a produção diária: tarefa executada pelo departamento encarregue do planeamento da produção;
- Fazer o pedido de material ao armazém: pedidos feitos pelos operadores das linhas (na maioria das vezes é feito pelo coordenador da linha);
- Preparar o pedido: os colaboradores do armazém preparam o pedido com base na *pick list* que recebe da manufatura;
- Abastecer a linha: quando o armazém disponibiliza o material, os operadores fazem o abastecimento à manufatura (à respetiva linha de produção);
- Ir à linha buscar PA: depois de terminado o processo no *Final Assembly*, o operador da zona de *packing* dirige-se novamente à linha de produção para ir buscar o produto acabado (PA) para ser embalado na zona de *packing*.
- Fazer o *picking*: chegado à zona de *packing*, o código de barras contido em cada módulo é lido, através de um scanner, para que seja feita uma correta identificação do material, bem como a sua contagem;
- Agarrar e embalar o produto: depois de serem lidos, os módulos são envolvidos num material de proteção e colocados na devida localização, dentro da paleta.
- SCRAP: devido ao manuseamento dos módulos, pode ocorrer algum incidente e nesse caso o módulo vai para SCRAP, o que significa que não vai ser aproveitado e vai para o lixo;
- Fechar a paleta: depois de ter a quantidade normalizada para este produto dentro da paleta. Fecha-se a mesma, fecha-se no sistema de leitura e é impressa uma *label*/identificativa que acompanhará a paleta;
- Transportar até à zona do AGV: os operadores transportam as paletes até à zona designada e devidamente assinalada onde vão permanecer temporariamente;
- Esperar por um AGV disponível: nessa zona, permanecem temporariamente até que haja um AGV livre;
- Transportar até à *Mecalux* (armazém automático): as paletes são transportadas, através do AGV, até à *Mecalux*.

O processo de classificação das tarefas entre VA, NNVA e NVA é simples, basta conhecer bem o processo e cada uma das tarefas para saber quais é que efetivamente acrescentam valor ao produto final, quais é que não acrescentam valor, mas que são necessárias, caso contrário o produto chega ao cliente fora das especificações definidas pelo mesmo. A única tarefa de

valor acrescentado é a produção do módulo, realizada na linha de produção, dentro da ISO 8, uma vez que é única etapa do processo onde se acrescenta valor ao produto. Todas as outras tarefas são de valor não acrescentado, mas necessário. A única tarefa de valor não acrescentado é a realização de SCRAP. O material não conforme, vai para SCRAP e esta tarefa é sempre realizada pelo coordenador da linha. Totalizando 17 tarefas neste processo, com 7 intervenientes, sendo eles o cliente, departamento de MP&L, coordenador da linha, um operador de *feeding*, um operador de *packing* e a zona onde o AGV recolhe as paletes cheias.

Existem tarefas que utilizam o mesmo tipo de documentação e/ou sistema de informação. Todas as tarefas que englobem comunicação entre o cliente, planeamento de produção e material, até à chegada das peças a armazém é feito com recurso ao sistema QAD ERP, este apresenta-se como uma solução de *software* que ajuda empresas a gerir e integrar os seus processos de negócio. É um sistema muito importante uma vez que é capaz de interligar vários departamentos, facilitando a gestão da cadeia de abastecimento, gestão de produção e operações, contabilidade e finanças, gestão de compras e fornecedores, gestão de inventário e armazém, *customer relationship management* e gestão de projetos e *compliance*. O planeamento da produção é feito também pelo MP&L e enviado com 48 horas de antecedência para toda a fábrica, através do mail e da partilha numa pasta partilhada. O coordenador da linha recebe este planeamento e com base nisso faz o seu planeamento, gestão de material e de pessoas na linha, de forma a assegurar a produção planeada.

Para fazer pedidos de material ao armazém, o coordenador da linha utiliza o sistema MARS, desenvolvido internamente, que recebe o pedido e emite uma *picklist* para o armazém fazer a recolha dos produtos pedidos pelo coordenador. Em certos casos é necessário recorrer à chamada telefónica, quer seja por falhas no sistema, quer seja para agilizar e acelerar o processo. As tarefas de *picking* e abertura ou fecho de paletes são realizadas com o apoio de um sistema também desenvolvido internamente, denominado de PACO. Neste sistema que realiza a leitura da *label* com o *part number* do produto a embalar, faz a contagem dos módulos lidos pelo *scanner* e quando a paleta está completa, emite uma *label* que a identifica quanto ao tipo e à quantidade de produto que a mesma contém.

No que diz respeito ao tempo de duração de cada tarefa, os mesmos são recolhidos através de medições diretas em ambiente real e com apoio dos engenheiros de processo, sendo registados num formato padronizado (dias, horas, minutos e segundos). Tal como já foi mencionado, no *Makigami* são apresentados de acordo com quatro indicadores principais: *Lead Time* (LT), tempo total do processo; *Activity Time* (AT), tempo efetivo de execução das tarefas; *Value-Adding Time* (VAT), atividades que acrescentam valor ao produto final; e *Loss Time*,

diferença entre LT e VAT, que evidencia os desperdícios existentes. Esta forma de apresentação permitiu não só quantificar os diferentes tipos de tempo, mas também visualizar de forma clara onde se concentram as maiores oportunidades de melhoria no processo.

Tal como referido no subcapítulo anterior, Os *handoffs* representam as transferências de responsabilidade entre diferentes intervenientes ou departamentos ao longo do processo. No *Makigami*, estas transferências são visualizadas pelas setas que ligam caixas entre linhas diferentes (ou seja, entre diferentes operadores ou departamentos). Cada vez que uma tarefa passa de um departamento para outro, ocorre um *handoff*.

Na tabela que se segue encontra-se a contagem de todos os *handoffs* e *touches* que ocorrem ao longo do processo, bem como a justificação de cada um.

Tabela 4.2 - Justificação de *handoffs* e *touches* no *Makigami* do estado atual

Departamento	<i>Touches</i>	Justificação dos <i>Touches</i>	<i>Handoffs</i>	Justificação dos <i>Handoffs</i>
Cliente	1	Envia a procura diária	1	Transfere procura para MP&L
MP&L	6	Planeia produção, peças, formato de embalagem, transporte para armazém, transporte à <i>Mecalux</i> , interação com sistemas	2	Transfere planeamento para o coordenador da linha e o operador de <i>feeding</i>
Coordenador da linha	2	Recebe o <i>schedule</i> e faz pedidos ao armazém	1	Transfere pedidos ao operador de <i>feeding</i>
Operador de <i>feeding</i>	2	Faz pedido de material ao armazém e prepara o pedido	2	Transfere material para o operador de linha
Operador da linha	1	Abastece a linha	1	Transfere palete para o operador <i>packing</i>
Operador <i>packing</i>	4	Faz <i>picking</i> , embala produto, fecha palete, prepara para transporte	1	Transfere palete para zona de recolha dos AGVs
Zona de recolha de paletes cheias	1	Espera por AGV disponível	1	Recebe palete e aguarda transporte por AGV

Durante a análise e mapeamento do estado atual, reporta-se os problemas encontrados em cada etapa. No caso do processo em estudo, identificam-se oito problemas principais, distribuídos por diferentes etapas do processo, os quais podem comprometer a eficiência operacional e a fiabilidade das operações.

Um dos problemas mais críticos prende-se com a suscetibilidade a erros do sistema de pedidos, localizado na fase de envio da procura diária e solicitação de material ao armazém. Esta fragilidade compromete a comunicação entre departamentos e origina atrasos no abastecimento. Como melhoria, surge a implementação do sistema SAP que permitirá uma maior fiabilidade e integração dos dados. Outro problema identificado refere-se às falhas nas pistolas de leitura de etiquetas, que ocorrem durante as atividades de *picking* e embalagem. Estas falhas resultam em retrabalho e aumentam o risco de envio incorreto de materiais. A solução proposta consiste na substituição dos equipamentos defeituosos por dispositivos mais fiáveis. Verificou-se também que o tempo que as paletes com produto acabado permanecem na zona de carga dos AGV enquanto esperam que haja um AGV disponível é elevado, o que provoca atrasos na movimentação de materiais e quebra do fluxo produtivo, contribuindo para o aumento do tempo não produtivo e para a entropia do espaço. Este problema, localizado na fase de transporte de peças, poderá ser mitigado através da otimização da gestão dos AGVs, do reforço da frota destes dispositivos e da reorganização das zonas de recolha, aumentando assim a sua capacidade para agregar mais paletes em espera. Adicionalmente, foi identificado que o sistema de pedidos utilizado no planeamento da produção é pouco eficiente, dificultando o abastecimento correto e atempado das linhas. Também para colmatar esta lacuna, surge a implementação de SAP, sistema que apresenta maior automatização e fiabilidade. A desorganização da bancada de trabalho, observada na zona de preparação e embalagem, constitui outro fator de ineficiência, contribuindo para perdas de tempo e aumento do risco de erros. A aplicação da metodologia 5S para a criação de um *standard* da bancada é recomendada como medida corretiva. As alterações que sejam feitas de forma a criar esse *standard*, devem ser mantidas e revistas ao longo do tempo. As deslocações pouco eficientes entre o armazém, a linha de produção e a zona de recolha foram também identificadas como um problema relevante. Estas deslocações aumentam o tempo de ciclo e implicam esforço desnecessário por parte dos operadores. A implementação de um sistema automático *Kanban* para a recolha dos carros com produtos acabado das linhas surge como solução adequada para este constrangimento. Com esta ideia, pretende-se que seja desenvolvido internamente um sistema que possibilite a visualização e emissão de sinais de alerta, sonoros e/ou luminosos aos operadores responsáveis por ir à linha de produção buscar os carros de produto acabado. Também para colmatar a elevada distância e tempo de deslocação à linha de produção surge a ideia de passar a fazer o *feeding* do material com recurso a robôs autónomos MIR.

Com as propostas de melhoria apresentadas torna-se possível reduzir o tempo não produtivo, o aumentar a fiabilidade dos sistemas de informação, a melhoria da ergonomia e

eficiência dos postos de trabalho, bem como a garantia de um fluxo contínuo e automatizado de materiais.

Em suma, o *Makigami* do estado atual da unidade industrial em estudo nesta dissertação evidencia um processo estruturado, mas com diversas tarefas de valor não acrescentado que, embora necessárias, impactam a eficiência global. A análise identificou problemas críticos como falhas nos sistemas de pedidos e de leitura de etiquetas, tempos de espera elevados por AGVs, deslocamentos pouco eficientes, desorganização em postos de trabalho e desperdício de materiais. As propostas de melhoria passam pela implementação do SAP, otimização da gestão de AGVs, aplicação de 5S, uso de *Kanban* automático e reforço do controlo e rastreabilidade. Estas propostas visam reduzir tempos não produtivos, aumentar a fiabilidade da informação, melhorar a ergonomia, assegurar um fluxo contínuo e automatizado de materiais, potenciando assim ganhos de eficiência e qualidade no processo. No apêndice A.1 é possível observar o *Makigami* do estado atual totalmente preenchido, segundo o *template* da figura 4.9

4.2.1.2 Construção do SLP do estado atual

O método *Systematic Layout Planning* inicia-se com a chave PQRST, na qual são identificados os produtos em estudo (P), quantidades (Q), rotatividade (ou sequência de processos) (R), serviços de suporte (S) e tempo de produção (T). Direcionando esta chave para o modelo desenvolvido ao longo da presente dissertação, os produtos em estudo são o *Cluster* (LXDM) e o *Display* (CID) da *car line* BX 726 (designação interna da marca cliente para se referir ao modelo em questão, bem como a todos os seus componentes e informações técnicas). As quantidades produzidas a cada hora são de 57 peças para o CID e de 58 peças para o LXDM. A sequência de processos tem início nos fornecedores que abastecem o armazém. Posteriormente, o armazém abastece as quantidades pedidas pela linha de produção no local designado de área de *feeding* do BX 726 LXDM/CID, daí o material entra dentro da ISO 8 onde se encontram as linhas de produção. A linha em questão produz os dois produtos, um num lado da linha e outro no outro, como já foi detalhadamente explicado na subsecção 4.1.5. Terminado o processo de produção, ambos os produtos são transportados para fora da ISO 8 para que se inicie a fase final, o embalamento ou *packing*. Os produtos são transportados por um operador para a área designada por área de *packing* do BX 726 LXDM/CID, são embalados, colocados numa paleta e o processo termina com a entrada da paleta na *Mecalux* (armazém automático). Os serviços que dão suporte à produção destes dois produtos são o departamento de AME (*Advanced Manufacturing Engeneering*) responsável por todo o processo de desenvolvimento e acompanhamento dos produtos produzidos na fábrica, o departamento de

MP&L (*Manufacturing, Planning and Logistics*), responsável pela vertente logística e planeamento de produção, o departamento de industrialização que se ocupa com a implementação de novas linhas e manutenção das mesmas ao longo do tempo, contando também com o forte suporte da equipa de engenharia de processo. Por fim, identifica-se o tempo disponível para produção, no caso destes dois produtos, são os três turnos que funcionam na unidade industrial em estudo, ou seja, produz durante todo o dia.

A próxima etapa deste modelo é a construção do diagrama de relações. Este diagrama permite traduzir em termos qualitativos e quantitativos a necessidade de proximidade entre diferentes áreas funcionais. Neste caso, o diagrama foi construído a partir da análise do fluxo de materiais e de informação identificado no *Makigami*, sendo atribuídos códigos de proximidade conforme a escala definida por Muther. Esta representação orienta as decisões de *layout*, permitindo priorizar adjacências críticas e afastar relações indesejáveis, assegurando alinhamento entre necessidades de fluxo (materiais e informação) e a organização física proposta pelo SLP. Para possibilitar o tratamento quantitativo dos dados, estes códigos foram convertidos em valores numéricos, correspondendo a A=5, E=4, I=3, O=2, U=1 e X=-1.

Com base nesta conversão, foi possível calcular o índice de proximidade de cada área, através da média aritmética dos pesos atribuídos às relações em que esta participa, de acordo com a equação 3.1.

Em seguida encontra-se o diagrama de relações com todas as interações identificados e justificadas com os respetivos códigos.

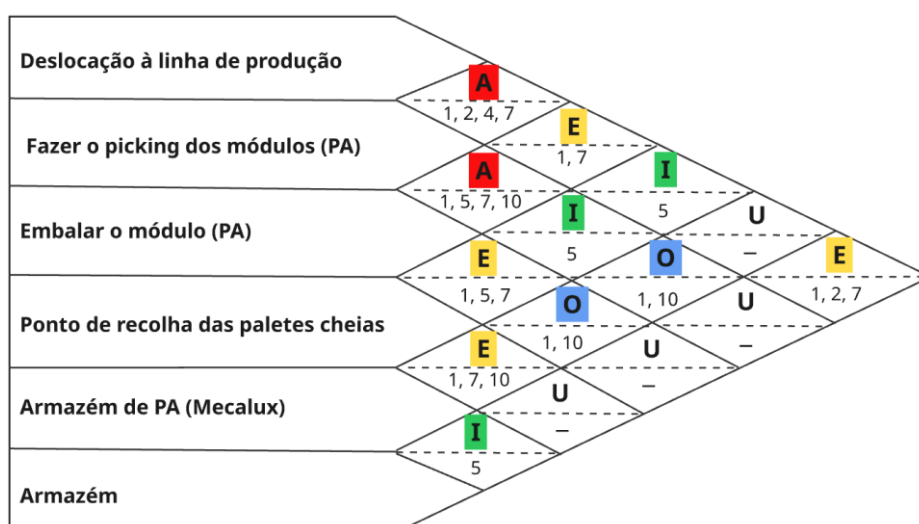


Figura 4.10 - Diagrama de relações do estado atual

Tabela 4.3 - Valores de proximidade calculados

Área	Índice de proximidade
Deslocação à linha de produção	3,4
Embalamento do módulo (PA)	3,2
Fazer o <i>picking</i> dos módulos (PA)	3,2
Ponto de recolha das paletes cheias	3,0
Armazém de PA (<i>Mecalux</i>)	2,4
Armazém	2,0

A título de exemplo destes cálculos, considere-se o caso do Ponto de recolha das paletes cheias. Esta área apresenta as seguintes relações: com Deslocação à linha de produção ($I=3$), com Fazer o *picking* dos módulos ($I=3$), com Embalamento do módulo ($E=4$), com Armazém de PA (*Mecalux*) ($E=4$) e com Armazém ($U=1$). Aplicando estes valores na equação 3.1, obtém-se o valor de proximidade do Ponto de recolha das paletes cheias. Este cálculo é repetido para as restantes as áreas/tarefas e os valores obtidos estão indicado na tabela 4.3.

O passo seguinte na aplicação do SLP é a construção do Diagrama de relações, este evidencia três áreas com maior necessidade relativa de proximidade: Deslocação à linha de produção (3,4), Embalamento do módulo (PA) (3,2) e Fazer o *picking* dos módulos (PA) (3,2). Estas áreas constituem o núcleo operativo do processo, sendo fundamental que permaneçam fisicamente próximas no *layout*, de modo a reduzir deslocações, encurtar percursos e minimizar perdas de tempo entre operações consecutivas. O Ponto de recolha das paletes cheias apresenta um índice de 3,0, revelando importância intermédia. Embora não seja tão crítico como as áreas de produção e embalamento, o seu posicionamento próximo destas é desejável, uma vez que atua como elo entre o fluxo produtivo e Armazém de PA (*Mecalux*). Já o Armazém de PA (*Mecalux*) (2,4) e o Armazém principal (2,0) apresentam os valores mais baixos, refletindo maior flexibilidade na sua localização relativa. Estas áreas, sendo sobretudo de suporte logístico, podem ser planeadas com mais liberdade, desde que não se comprometa a fluidez de transporte e expedição.

Com isto, o diagrama de relações hierarquiza a proximidade necessária entre as áreas e evidencia a centralidade das operações diretamente ligadas à produção e ao embalamento. Estes resultados servem de apoio direto à construção do diagrama espacial de relações, no qual as prioridades agora quantificadas são representadas graficamente através da intensidade das ligações entre áreas (quantidade de linhas que as unem).

Na figura seguinte, figura 4.11, encontra-se o Diagrama espacial de relações do SLP no estado atual, de acordo com as convenções apresentadas na tabela 3.3 e com a seguinte legenda:

1. Área de *packing* do BX 726 LXDM/CID;
2. Área de *feeding* do BX 726 LXDM/CID;
3. Armazém;
4. Linha de produção do BX 726 LXDM/CID;
5. Ponto de recolha das paletes cheias;
6. Armazém de PA (*Mecalux*).

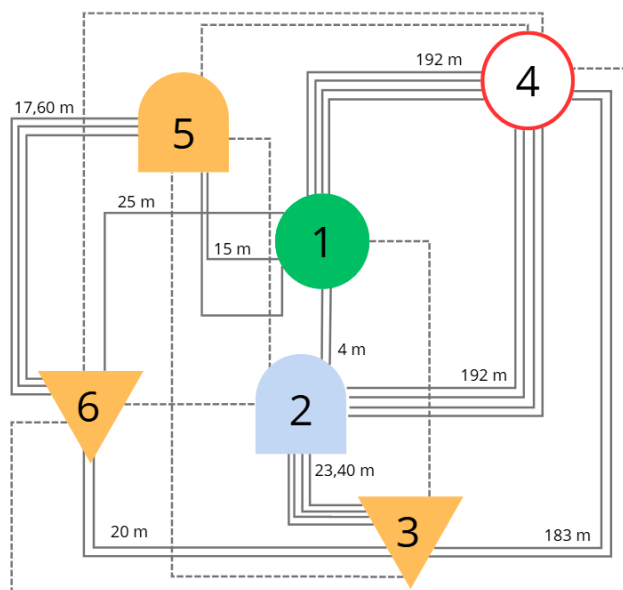


Figura 4.11 - Diagrama espacial de Relações do estado atual

O diagrama da figura 4.11 confirma a centralidade das áreas Linha de produção (4), Packing (1) e Feeding (2), que surgem dispostas em estreita proximidade, refletindo os índices de proximidade mais elevados no diagrama de relações. Tal como já referido, estas áreas constituem o núcleo produtivo do processo e, por esse motivo, encontram-se interligadas por percursos mais diretos, apesar de não serem os mais curtos, o que também facilita as movimentações e reduz tempos de transporte. O Ponto de recolha das paletes cheias (5) surge posicionado nas imediações do núcleo, evidenciando a sua função de ligação entre a produção e a logística. Embora o seu índice fosse intermédio, a sua colocação reforça a necessidade prática de garantir fluidez no escoamento das paletes. O Armazém de PA (6) e o Armazém principal (3) encontram-se representados em posições mais periféricas, com distâncias significativamente superiores face ao núcleo produtivo. Esta disposição confirma a maior flexibilidade destas áreas, identificada na matriz REL, e mostra que, apesar de fundamentais para a continuidade do fluxo, não necessitam de estar em contacto imediato com as áreas de valor acrescentado. A etapa seguinte ao diagrama espacial de relações no processo de aplicação do SLP é a elaboração do diagrama de blocos. Enquanto o diagrama espacial define a

posição relativa e a proximidade desejada entre as diferentes áreas com base no diagrama de relações, o diagrama de blocos representa a tradução do diagrama espacial de relações para uma disposição concreta, à escala, das áreas identificadas. Para além das ligações qualitativas entre as áreas, aqui são consideradas as dimensões reais, as necessidades de espaço útil e as distâncias efetivas de deslocação. Este diagrama permite avaliar não só a proximidade relativa entre áreas, mas também a sua viabilidade prática em termos de implantação física, garantindo coerência entre as exigências funcionais e as limitações do espaço fabril.

Na figura 4.12 encontra-se o diagrama de blocos elaborado do estado atual do processo, com as respetivas áreas, distâncias, ligações e de acordo com as convenções da tabela 3.3

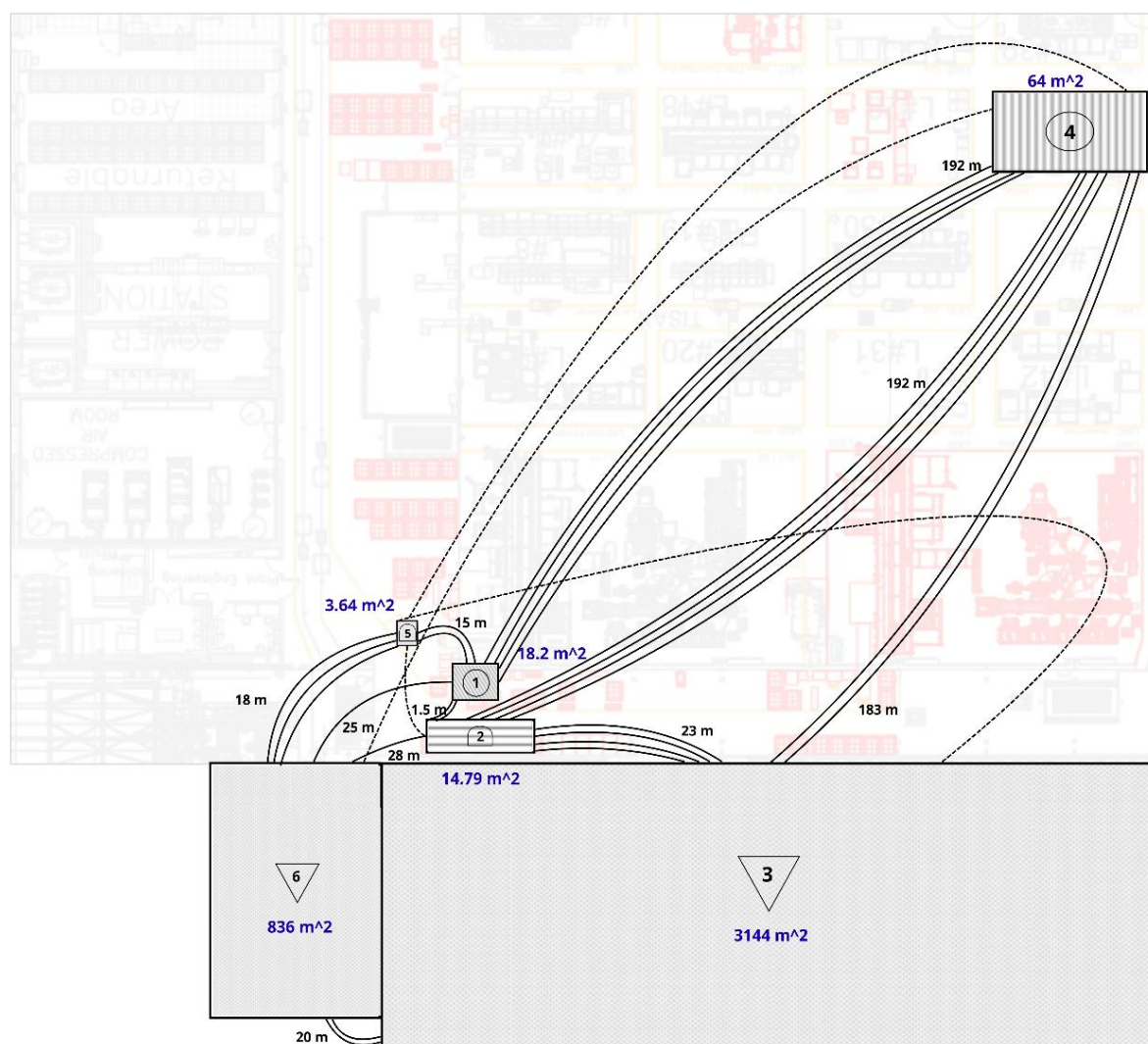


Figura 4.12 - Diagrama de Blocos do estado atual

Este diagrama de blocos evidencia um núcleo operativo composto por *Packing* (1) e *Feeding* (2), articulado com a Linha de Produção (4). Contudo, apesar de existirem percursos

diretos e fluidos, as distâncias de 192 m entre *Packing* e a Linha de Produção e *Feeding* e a Linha de produção permanecem elevadas face à prioridade de proximidade identificada no diagrama de relações (índices 3,2 e 3,4). Este desfasamento sugere uma oportunidade de reaproximação física destas duas áreas à linha, com potencial para uma redução de tempos de transporte e risco de espera.

Por outro lado, as ligações de *Packing* (1) e *Feeding* (2) ao Armazém (3) são mais curtas (28 m e 23 m, respetivamente), o que, sendo positivo do ponto de vista de reposição, não é tão crítico como a proximidade à Linha de Produção (4) para o desempenho do fluxo produtivo. Da mesma forma, a localização do *Mecalux* (6), embora envolva percursos mais longos para a Linha de produção, mostra-se mais indiferente do ponto de vista funcional, dado o seu papel de suporte e o índice de proximidade inferior (2,4). O Ponto de recolha das paletes cheias (5) mantém-se estrategicamente próximo do núcleo (15 m), funcionando como elo de transição entre o embalamento e a logística, o que é coerente com a importância intermédia (índice 3,0) atribuída no diagrama de relações.

Em suma, o diagrama confirma que a restrição principal do estado atual reside na excessiva distância (192 m) entre *Feeding/Packing* e a Linha de Produção. As áreas logísticas de Armazém (3) e *Mecalux* (6), tendo maior flexibilidade e percursos aceitáveis para a sua função, podem manter-se periféricas.

A etapa seguinte é a atualização do *Makigami* do estado atual, com a colocação das distâncias presentes no diagrama de blocos, bem como a identificação de problemas provenientes dessas mesmas distâncias em cada etapa do processo.

No apêndice A, encontra-se o *Makigami* com as distâncias já presentes, desta forma torna-se mais visual em que etapas do processo os operadores percorrem maiores distâncias e que propostas existem para tentar colmatar estes pontos.

4.2.2 Propostas de melhoria e mapeamento do estado futuro

A análise do estado atual do processo, materializada no *Makigami*, evidencia, de forma clara, a predominância de atividades sem valor acrescentado, mas necessárias, bem como perdas associadas a movimentações excessivas, esperas e redundâncias de informação.

Com base neste diagnóstico, são delineadas propostas de melhoria dirigidas às várias etapas do processo, abrangendo desde a gestão da informação e planeamento até ao abastecimento físico e movimentação de materiais. Estas propostas procuram reduzir o *lead time* global, eliminar desperdícios, reforçar a fiabilidade do fluxo logístico e melhorar a ergonomia das tarefas operacionais.

Em seguida, são apresentadas as ações de melhoria propostas, relacionando cada uma delas com os problemas identificados no estado atual e demonstrando o contributo esperado para a redução de atividades não valor acrescentado e para a criação de um processo mais ágil e eficiente. De forma a garantir que as implementações são concluídas dentro dos prazos estipulados, deve ser sempre feito um plano de ações e garantir que este seja do conhecimento de todos os intervenientes e parte interessadas. Devido a vários condicionantes da empresa Visteon Portuguesa Ltd. - Palmela Plant, existem ações que estão planeadas para os próximos meses e início do próximo ano. O plano de ações para estas propostas de melhorias encontra-se no apêndice D.1.

O estado atual do processo revela um conjunto de problemas associados sobretudo à redundância de registos, ineficiências no planeamento, movimentações excessivas e tempos de espera. Deste modo, para cada um desses pontos críticos são propostas ações de melhoria específicas, alinhadas com os princípios *Lean* e com os objetivos de redução de desperdício, simplificação do fluxo e aumento da fiabilidade.

Foram identificados erros recorrentes no sistema de pedidos e redundâncias na transmissão de informação, decorrentes da utilização simultânea de diferentes plataformas (QAD ERP, Excel, email e pastas partilhadas). Para mitigar este problema, propõe-se a integração do ciclo no SAP e a eliminação de registos paralelos. Esta ação permitirá uniformizar a base de dados, reduzir falhas na comunicação e evitar duplicação de tarefas administrativas, contribuindo para a diminuição de atividades sem valor acrescentado.

De forma a colmatar as deslocações ineficientes entre a linha de produção e as áreas de *feeding* e *packing* é proposta a implementação de sistema *Kanban* quando os operadores vão buscar os módulos finalizados (PA). Este sistema é desenvolvido internamente pela equipa de *software* e tem como objetivo ligar as áreas e manter a comunicação entre os operadores da linha e o de *packing*, para que não sejam realizadas viagens ineficientes. O seu funcionamento é muito simples, ou seja, quando o operador da linha completa um carro (25 módulos finalizados) emite o sinal, através do sistema, para que o outro operador se dirija à linha para ir buscar o carro e fazer o embalamento (*packing*).

É também possível identificar problemas relacionados com abastecimentos irregulares e deteção tardia de falhas de *stock*, originando paragens ou urgências de última hora. A introdução do sistema de abastecimento *Kanban* descrito anteriormente, também permitirá controlar o fluxo de materiais de forma visual e em tempo real, assegurando um fornecimento mais estável à linha de produção. Deste modo, automatização parcial do processo reduzirá

perdas associadas à falta de sincronização entre a linha de produção, o seu abastecimento e embalagem.

No estado atual, o transporte manual constitui um dos principais fatores de perda de tempo (*Loss Time*) de forma a colmatar este problema, a entropia de operadores e material a circular e as deslocações ineficientes, propõe-se a implementação de um sistema de abastecimento automático das linhas de produção. Para isso serão utilizados veículos autónomos (MIR). Cada linha deve manter material suficiente para duas horas de produção. A cada hora, um MIR transporta um carro com material do armazém para a linha, substituindo o carro anterior. No regresso, o MIR leva o carro vazio de volta ao armazém para ser reabastecido, repetindo o ciclo. Na figura 4.13 b) encontra-se uma fotografia de um dos primeiros testes feitos para avançar com esta implementação.

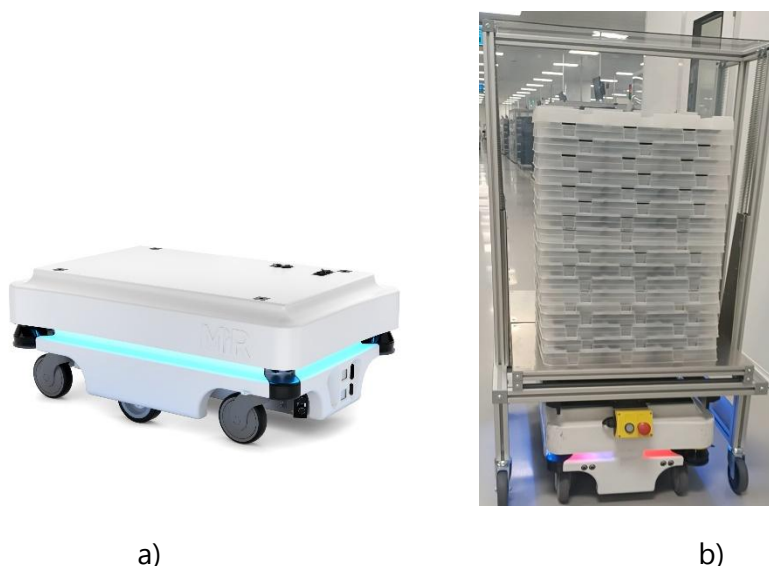


Figura 4.13 - a) Exemplar de um veículo MIR; b) Fotografia de um dos primeiros testes feitos para a implementação da melhoria proposta

Para garantir a eficácia deste sistema de abastecimento automático, deve ser realizada uma análise das quantidades produzidas e dos tempos de operação, com o objetivo de determinar o número necessário de MIRs para assegurar o abastecimento contínuo e sem interrupções. Propõe-se ainda o aumento da frota de AGVs que fazem o transporte de produto acabado desde a zona de recolha até ao Armazém de PA (*Mecalux*), evitando que as paletes cheias permaneçam tanto tempo em espera e que se acumulem paletes nessa zona. Estas medidas terão impacto direto na redução dos tempos de espera, melhorando a fluidez do escoamento de materiais e diminuindo significativamente o *lead time* global do processo.

O diagrama de blocos revelou distâncias excessivas entre as áreas de *packing/feeding* e a linha de produção (cerca de 192 m), em contraste com as curtas distâncias para o Armazém.

Recomenda-se a reaproximação física do *packing* e do *feeding* à linha de produção, sempre que possível, de forma a alinhar o *layout* com as necessidades de proximidade evidenciadas pelo diagrama de relações. Esta reorganização permitirá reduzir percursos, encurtar o tempo de movimentação e aumentar a eficiência das operações diretamente ligadas à criação de valor.

A implementação conjunta destas ações permite reduzir significativamente tempos de deslocações, distâncias percorridas e *loss time*, aproximar as operações críticas da linha de produção e diminuir tempos de espera, resultando num processo mais robusto, ágil e eficiente.

4.2.2.1 Construção do SLP do estado futuro

Após a definição das propostas de melhoria, o passo seguinte consiste em reavaliar a disposição física das áreas de trabalho e de suporte, de modo a assegurar que o *layout* acompanha e potencia as alterações já descritas anteriormente. Para tal, recorre-se novamente à metodologia SLP, que, pela sua natureza estruturada, garante a coerência entre os fluxos de materiais, informação e pessoas.

Neste caso, uma vez que se trata do mesmo produto, da mesma linha de produção, do mesmo volume e da mesma equipa de suporte, considera-se redundante repetir a análise da chave PQIRST, dado que todos os fatores nela contemplados permanecem inalterados. De igual modo, o diagrama de relações não é reconstruído, assumindo-se os mesmos valores de relacionamento estabelecidos na fase inicial deste modelo integrado, pois as interações entre áreas não sofreram alterações.

Assim, a aplicação do SLP avança diretamente para os passos seguintes: a construção de um novo diagrama espacial de relações, denominado diagrama espacial do estado futuro, que reflete as necessidades de proximidade após a identificação das ineficiências, e, posteriormente, a elaboração do novo diagrama de blocos, denominado diagrama de blocos do estado futuro, onde estas intenções são traduzidas em distâncias reais e em áreas dimensionadas à escala. Estes diagramas constituem a base para a reestruturação do *layout*, garantindo maior eficiência no fluxo produtivo e uma redução significativa dos desperdícios observados no estado atual. Apesar deste diagrama espacial de relações do estado futuro ser construído com base no mesmo diagrama de relações, ao integrar os problemas identificados no *Makigami* e as ineficiências observadas no *layout* anterior, procede-se a uma reinterpretação das relações espaciais, de modo a aproximar fisicamente as áreas críticas e a reduzir as distâncias excessivas que penalizavam o fluxo produtivo. Na figura 4.14, está representado o diagrama espacial de relações do estado futuro.

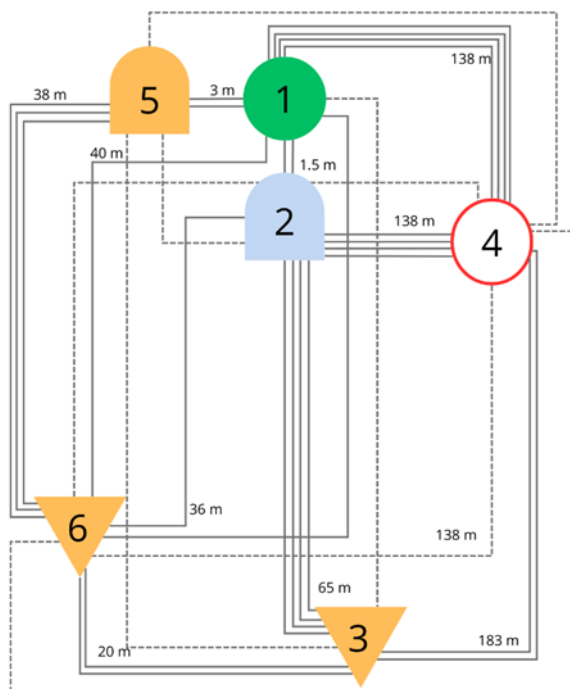


Figura 4.14 - Diagrama Espacial de Relações do estado futuro

Este diagrama constitui a fase conceptual do redesenho do *layout*, na qual se definem as prioridades de proximidade entre áreas antes da sua representação em escala. A principal alteração incide sobre a aproximação da Linha de Produção às áreas de *Packing* e o *Feeding*, uma vez que o afastamento excessivo identificado no estado atual penaliza fortemente a eficiência.

Esta decisão é motivada não apenas pela necessidade de corrigir desperdícios já diagnosticados, mas também pelas alterações recentes em outras linhas de produção, que mudaram de localização ou sofreram variações de volume. Embora a linha do produto BX 726 mantenha a sua posição atual e o mesmo volume produtivo, outras linhas exigem ajustes, implicando a reavaliação das zonas de *feeding* e *packing* associadas.

Para suportar estas escolhas, analisa-se as quantidades movimentadas e os percursos efetivos dos operadores, com recurso aos diagramas de esparguete (apresentados no Apêndice B). Estas análises permitiram evidenciar padrões de movimentação redundantes e trajetos desnecessários, justificando a centralização de *feeding* e *packing* em torno da linha de produção, bem como a sua articulação direta com o ponto de recolha de paletes cheias.

Em suma, o diagrama espacial de relações do estado futuro estabelece as bases para um *layout* mais compacto e coerente, alinhado tanto com os critérios do diagrama de relações do

estado atual como com os dados quantitativos de movimentação, preparando-se para a materialização em distâncias reais no diagrama de blocos do estado futuro.

A definição do novo diagrama espacial de relações estabelece, de forma conceptual, as prioridades de proximidade entre áreas críticas, tendo em consideração as alterações de volumes e localizações de algumas linhas de produção, bem como os fluxos reais dos operadores analisados através dos diagramas de esparguete. O passo seguinte consiste em materializar estas intenções num diagrama de blocos, elaborado à escala e com integração das áreas úteis de cada espaço. Este diagrama traduz quantitativamente a lógica relacional definida anteriormente, permitindo avaliar as distâncias reais entre áreas, a compatibilidade com a infraestrutura existente e os ganhos concretos resultantes desta reestruturação do *layout*.

Em seguida encontra-se figura 4.15 com a representação do diagrama de blocos do estado futuro.

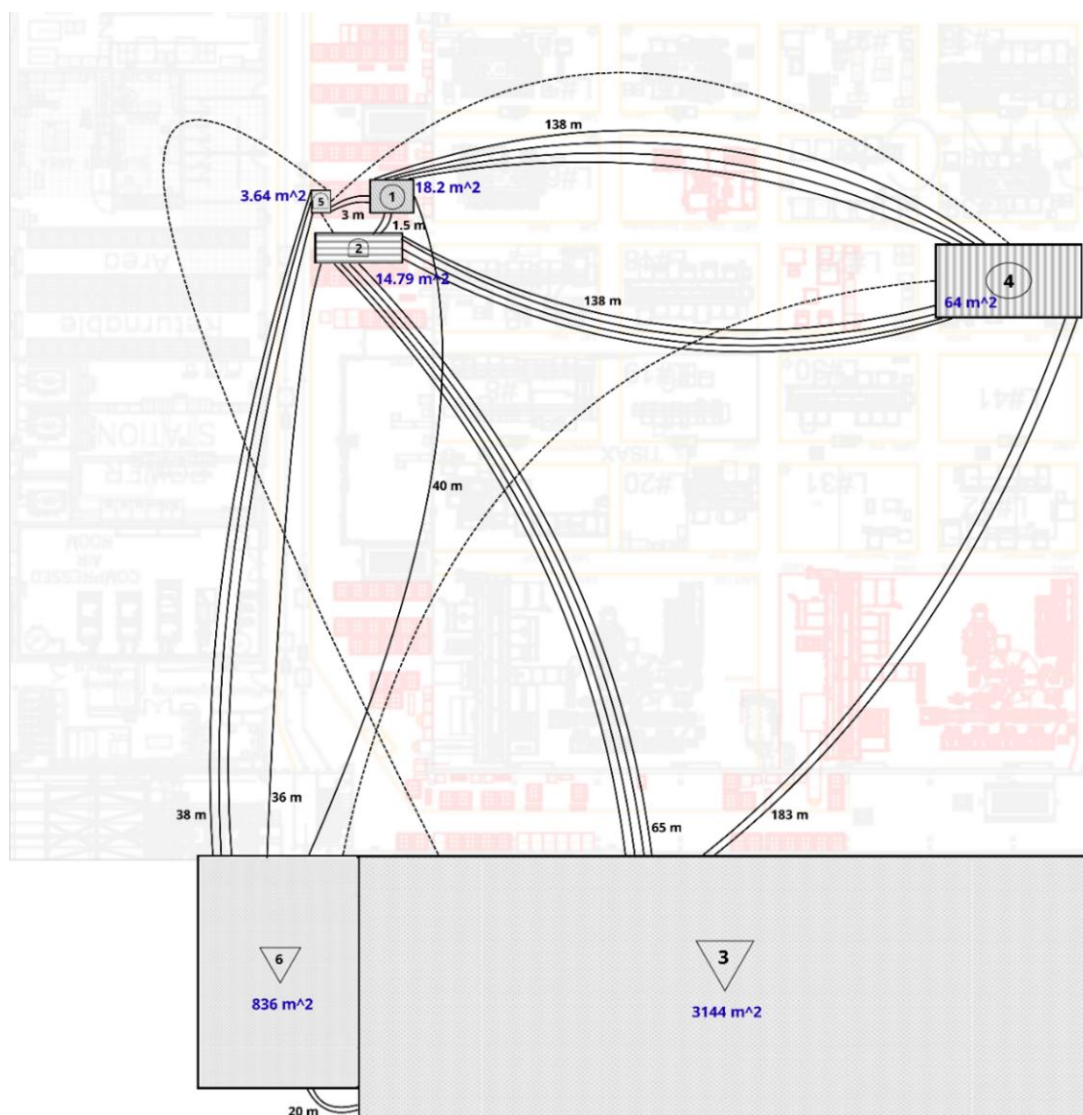


Figura 4.15 - Diagrama de Blocos do estado futuro

A materialização em blocos evidencia de forma clara os ganhos concretos obtidos com a reestruturação. A distância entre *Packing/Feeding* e a Linha de Produção é reduzida de 192 m para 138 m, correspondendo a uma diminuição de aproximadamente 28%, o que representa um impacto direto na redução de deslocamentos e tempos de transporte dos operadores. A proximidade entre *packing* e *feeding*, que no diagrama do estado atual era de 4 m, é agora ajustada para apenas 1,5 m, ou seja, uma redução de cerca de 62,5%, garantindo uma articulação praticamente imediata entre operações consecutivas e promovendo maior fluidez no processo. Também a distância entre o *Packing* e o Ponto de Recolha de Paletes Cheias sofreu uma redução expressiva: de 15 m no estado atual para apenas 3 m, o que equivale a uma melhoria de 80%. Esta alteração assegura que a movimentação de produto acabado para expedição ocorre de forma quase imediata, eliminando tempos de espera e de transporte desnecessários. No que respeita ao Armazém principal de matéria-prima e ao armazém de produto acabado (*Mecalux*) as distâncias relativas ao núcleo produtivo mantêm-se estáveis ou até um pouco superiores. Contudo, estas áreas continuam a desempenhar a sua função de suporte logístico sem impacto negativo no fluxo, uma vez que o transporte é realizado por AGVs, não implicando deslocação manual de operadores nem sobrecarga física.

De forma global, o diagrama de blocos confirma em termos mensuráveis as intenções do diagrama espacial de relações: a criação de um layout mais compacto, com reduções significativas nas distâncias mais críticas (entre a linha, o *feeding*, o *packing* e o ponto de recolha), o que contribui diretamente para a diminuição do lead time e para a eliminação de desperdícios associados ao transporte interno.

4.2.2.2 Construção do *Makigami* do estado futuro

A consolidação do novo diagrama de blocos representa a materialização física das prioridades previamente estabelecidas no diagrama espacial de relações, traduzindo em distâncias reais e áreas dimensionadas a lógica de proximidade definida. A partir desta base, torna-se possível regressar ao *Makigami* numa versão futura, que incorpora as melhorias introduzidas pela reestruturação do *layout*. Esta revisão permite quantificar, de forma objetiva, os impactos da nova configuração, constituindo o ponto de partida para a análise comparativa entre o estado atual e o estado futuro do processo.

O *Makigami* do estado futuro, presente no apêndice A.2, reflete a integração das oportunidades de melhoria identificadas no mapeamento inicial e concretizadas através da aplicação do SLP. Os avanços alcançados evidenciam-se em três dimensões principais: a redução das distâncias percorridas, a otimização dos tempos de execução e a eliminação de problemas

críticos anteriormente diagnosticados, através das propostas de melhoria já descritas no início desta subsecção. A distância percorrida pelos operadores foi significativamente reduzida, sobretudo entre as áreas de *feeding*, *packing*, linha de produção e ponto de recolha de paletes, eliminando deslocações redundantes e contribuindo para a redução do *lead time*. Simultaneamente, manteve-se a utilização dos AGVs no abastecimento e transporte para a *Mecalux*, garantindo que estas operações de suporte não acarretam esforço adicional para os operadores. Os diagramas de esparguete que espelham estas melhorias encontram-se no apêndice C.

Relativamente aos tempos de execução, observa-se uma redução expressiva de atividades classificadas como atividades sem valor acrescentado (NVA e NNVA), nomeadamente nas esperas por recursos logísticos e na movimentação desnecessária de materiais. A preparação e movimentação passaram a ocorrer de forma mais eficiente, refletindo-se numa diminuição do tempo associado a transportes e manuseamentos. Por conseguinte, vários dos problemas identificados foram ultrapassados, como a dispersão espacial entre *feeding/packing* e a linha de produção, a distância excessiva para recolha de paletes e os longos percursos dos operadores. Estes constrangimentos foram resolvidos através da realocação das áreas e da redefinição dos fluxos, criando um processo mais compacto e coerente.

A análise comparativa entre o estado atual e o estado futuro confirma os ganhos obtidos. O *lead time* registou uma redução de 118,12 horas para 102,11 horas (–13,5%), enquanto o *activity time* se manteve praticamente inalterado (–0,04%), refletindo que o conteúdo produtivo das operações não sofreu alterações. O *value adding time* permaneceu constante em 0,04 horas, como esperado, dado que não houve mudanças nas atividades de transformação. O indicador mais expressivo foi o *loss time*, que passou de 31,65 horas para 15,67 horas, traduzindo uma redução de 50,5%. Em paralelo, a distância total percorrida pelos operadores diminuiu de 609,5 metros para 514,5 metros, ou seja, menos 95 metros, correspondendo a 15,6% de redução.

Estes resultados demonstram que as melhorias incidiram fundamentalmente sobre desperdícios logísticos e tempos de espera, sem alterar o núcleo produtivo das operações. A expressiva redução do *loss time* está diretamente associada à aproximação das áreas de *feeding* e *packing* à linha de produção, que reduziu a distância crítica de 192 metros para 138 metros e, ao reduzir o percurso entre o *packing* e o ponto de recolha de paletes, de 15 metros para apenas 3 metros. Apesar do aumento da distância de transporte para o Armazém de PA (*Mecalux*), de 35 metros para 50 metros, tal alteração não constitui limitação, dado que estas movimentações são realizadas integralmente por AGV. Por outro lado, as distâncias curtas

associadas a tarefas como o *picking*, embalagem e fecho de paletes mantiveram-se inalteradas, sem impacto significativo no desempenho global.

Assim, conclui-se que o novo *layout*, desenvolvido com base no SLP, permitiu simplificar os fluxos e reduzir desperdícios, alcançando um *lead time* 13,5% inferior e uma redução superior a 50% no tempo perdido. O processo tornou-se mais eficiente, previsível e equilibrado, criando ainda condições para ganhos futuros, através da padronização, digitalização e aplicação contínua dos princípios *Lean*.

Deste modo, a integração do *Makigami* com o SLP demonstrou-se eficaz na identificação e eliminação de desperdícios, traduzindo-se em ganhos de eficiência operacional e numa maior coerência do *layout*. Contudo, importa salientar que os resultados aqui apresentados constituem apenas uma etapa intermédia no processo de melhoria contínua.

A redução de tempos e distâncias confirma o potencial da metodologia aplicada, mas também evidencia limitações que deverão ser consideradas, nomeadamente a necessidade de validação prática em contexto real, a variabilidade inerente aos fluxos produtivos e o impacto de futuras alterações na procura. Assim, a análise comparativa entre o estado atual e o estado futuro serve de base para a discussão dos resultados obtidos, bem como para a identificação de limitações do estudo, contributos da investigação e potenciais linhas de trabalho futuro, aspetos que serão explorados no capítulo seguinte.

5.1 Principais contribuições

A aplicação integrada do *Makigami* e do SLP permitiu avaliar, de forma sistemática, os impactos da reestruturação do *layout* produtivo e da redefinição dos fluxos logísticos. A comparação entre o estado atual e o estado futuro evidenciou ganhos claros em diversas dimensões, tanto quantitativas como qualitativas.

5.1.1 Comparação entre o Estado Atual e o Estado Futuro

A análise comparativa entre o estado atual e o estado futuro evidencia ganhos claros em diferentes dimensões do processo, tanto ao nível quantitativo como qualitativo. A tabela 5.1 apresenta as alterações entre o estado atual e o futuro, para cada indicador, bem como as reduções alcançadas.

Tabela 5.1 - Tabela comparativa entre o estado atual e o estado futuro

Indicador	Estado Atual	Estado Futuro	Redução (%)
<i>Lead Time (h)</i>	118,12	102,11	13,6
<i>Activity Time (h)</i>	86,43	86,4	0,0
<i>Value Adding Time(h)</i>	0,04	0,04	0,0
<i>Loss Time (h)</i>	31,65	15,67	50,5
Distância percorrida (m)	609,5	514,5	15,6
Trajetos linha ↔ <i>feeding/packing</i> (m)	192,0	138,0	28,1
Trajetos <i>packing</i> ↔ ponto de recolha (m)	15,0	3,0	80,0

Do ponto de vista quantitativo, o *lead time* registou uma redução de 118,12 horas para 102,11 horas, correspondendo a 13,5%. Este decréscimo resulta essencialmente da diminuição do *loss time*, que passou de 31,65 horas para 15,67 horas, o que representa uma redução de 50,5%. O *activity time* manteve-se praticamente inalterado, passando de 86,43 horas para 86,40 horas, tendo uma redução de 0,04%, confirmando que as tarefas produtivas permaneceram idênticas em ambos os cenários. Da mesma forma, o *value adding time* não sofreu

alterações, mantendo-se em 0,04 horas, uma vez que as atividades diretamente responsáveis pela transformação do produto final se mantiveram inalteradas.

Em paralelo, verificaram-se melhorias relevantes nas distâncias percorridas pelos operadores. No estado atual, eram percorridos, em média, 609,5 metros, valor que desceu para 514,5 metros no estado futuro, correspondendo a uma redução de 95 metros (–15,6%). Destacam-se, em particular, reduções de 28% no trajeto entre a linha e o núcleo *feeding/packing* e de 80% no percurso entre o *packing* e o ponto de recolha de paletes, alterações que contribuíram para encurtar deslocações críticas e agilizar o escoamento do produto acabado. Apesar de se verificar um aumento da distância até ao Armazém de PA (*Mecalux*) passando de 35 m para 50 m, esta alteração não compromete o processo, uma vez que o transporte é realizado integralmente por AGV, não implicando esforço adicional para os operadores. Estas melhorias mencionadas estão representadas no apêndice C. Nesse apêndice constam tanto as melhorias na linha em estudo, o BX 726, como das restantes, uma vez que existe sempre uma sinergia entre elas. Ou seja, alterando localizações de uma, leva a que seja necessário fazer também algumas alterações em outras.

Com base nas melhorias introduzidas pelo modelo integrado *Makigami*-SLP, nomeadamente a reorganização do *layout*, a redução das deslocações em *packing*, a normalização dos fluxos de *feeding* e a clarificação das responsabilidades de coordenação, foi projetada uma redução no número de operadores necessários para garantir a cadência da linha. Atualmente, o *Best Work Standard* (BWS) da linha corresponde a 5,2 *Full-Time Equivalents* (FTE) por turno. A análise do cenário futuro aponta para uma redução progressiva deste valor, num primeiro momento para 4,85 FTE, com a possibilidade de estabilização a 4,7 FTE após um período de monitorização e adaptação operacional (4 a 6 meses).

Este ajuste traduz-se numa melhoria de produtividade, passando de 11,15 para 12,34 peças produzidas por operador-hora, o que representa um aumento de 10,7%. Para além disso, o impacto económico é relevante, uma vez que a redução inicial de 0,35 FTE corresponde a uma poupança anual estimada em 30 660 €, podendo atingir 43 800 € anuais caso seja viável consolidar a meta de 4,7 FTE/turno.

Para além destes resultados mensuráveis, a análise qualitativa confirma a eliminação de vários problemas estruturais que condicionavam o desempenho do processo no estado atual. Entre eles, destacam-se a dispersão entre áreas críticas, a excessiva deslocação manual de operadores e a existência de constrangimentos logísticos associados à espera por recursos. O *layout* do estado futuro permitiu ultrapassar estas limitações, assegurando maior fluidez no abastecimento de materiais e na saída de produto acabado. Consequentemente, o *Makigami*

do estado futuro deixa de evidenciar problemas estruturais de *layout*, passando a focar-se em aspectos de melhoria contínua, como a padronização de procedimentos, a digitalização de fluxos e o acompanhamento tecnológico (por exemplo a implementação de SAP e a substituição e manutenção dos *scanners*).

Assim, este resultado evidencia não apenas ganhos quantitativos em termos de tempo e custos, mas também qualitativos, uma vez que a redução de esforço redundante e de improvisações operacionais aumenta a previsibilidade, a ergonomia e a estabilidade do sistema produtivo.

5.1.2 Comparação com a literatura existente

Os resultados obtidos confirmam evidências já descritas na literatura relativamente ao impacto do SLP na redução de distâncias e tempos operacionais (S. P. Singh & Sharma, 2006); (Ramadhan, Widodo, et al., 2021), bem como à relevância do *Makigami* na simplificação de fluxos de informação e eliminação de redundâncias (Aij et al., 2014); (Viana et al., 2020).

Contudo, a integração sistemática de ambas as metodologias permanecem pouco exploradas na investigação científica, sobretudo em contexto industrial. Este modelo contribui, assim, de forma original para colmatar esta lacuna, validando empiricamente a utilidade de uma abordagem conjunta (G. L. Tortorella & Fogliatto, 2014b).

Adicionalmente, este trabalho complementa os estudos que associaram o SLP a ferramentas como o 5S e o *Poka-Yoke* tanto em (Llanos-Reyes et al., 2023), como em (Flores-Perez et al., 2023), ao demonstrar que o *Makigami* pode desempenhar um papel igualmente relevante. Enquanto a literatura anterior se centrou sobretudo na reorganização física e na padronização de procedimentos, o modelo proposto na presente dissertação introduz uma perspetiva mais holística, integrando fluxos físicos e fluxos de informação e potenciando ganhos sustentáveis a médio prazo.

Em síntese, a comparação demonstra que a aplicação conjunta do *Makigami* e do SLP não só permitiu justificar e quantificar os ganhos obtidos, como também consolidou um processo mais compacto, eficiente e previsível. A redução de desperdícios, a eliminação de constrangimentos e a melhoria da ergonomia criaram uma base sólida para a evolução futura do sistema produtivo.

5.2 Limitações e Desafios

Apesar dos ganhos obtidos, algumas limitações devem ser reconhecidas. A recolha de dados foi realizada em ambiente real e em estreita colaboração com os engenheiros de processo, garantindo consistência e fiabilidade. Contudo, os resultados estão inevitavelmente sujeitos a variações externas, como oscilações da procura, paragens imprevistas da linha ou constrangimentos de recursos. Estes fatores podem introduzir flutuações nos indicadores, reforçando a necessidade de monitorização contínua e validações periódicas.

Adicionalmente, algumas das propostas apresentadas derivaram de simulações e análises de cenários futuros, pelo que a sua implementação integral dependerá de ajustes em ambiente real. A forte dependência dos AGVs constitui um risco operacional: falhas técnicas ou limitações de capacidade poderão reduzir parte das melhorias identificadas. Por outro lado, a execução das alterações de *layout* exige investimentos financeiros, disponibilidade de recursos humanos especializados e janelas de paragem de linha adequadas, o que poderá condicionar o ritmo da implementação.

Importa ainda salientar que algumas das alterações identificadas e validadas foram aprovadas pela gestão da unidade industrial, mas a sua execução não poderá ocorrer de imediato. Este facto decorre da necessidade de compatibilizar os investimentos com o plano estratégico da empresa, da indisponibilidade de paragens prolongadas de linha que permitam a realização das modificações estruturais e da dependência de recursos tecnológicos críticos, como os AGVs. Por esse motivo, as propostas encontram-se calendarizadas num plano de ações estruturado, apresentado no Apêndice D.1, que servirá de guia para uma implementação faseada e sustentável, assegurando que a execução das melhorias não comprometa o normal funcionamento produtivo da fábrica.

Em síntese, estas limitações não invalidam os resultados alcançados, mas sublinham a importância de uma análise crítica e da realização de etapas adicionais de validação prática. Apenas a monitorização em ambiente real e a implementação gradual das medidas permitirão confirmar e consolidar os benefícios projetados, reforçando a robustez e a sustentabilidade do modelo desenvolvido.

5.3 Vantagens do Estudo de Caso

A opção metodológica pelo estudo de caso revela-se a mais adequada para o presente trabalho, uma vez que permite analisar o processo de *packing* da Visteon Portuguesa em profundidade e no seu contexto real, considerando simultaneamente os fluxos de materiais, de informação e a interação entre operadores e sistemas.

Em alternativa, poderiam ser utilizadas metodologias como a Investigação-Ação, que privilegia a intervenção direta no processo através de ciclos sucessivos de diagnóstico, ação e reflexão, envolvendo ativamente os colaboradores. Apesar do seu potencial, esta abordagem tende a ser mais exigente em termos de tempo e de recursos, o que pode dificultar a sua aplicação em ambiente fabril com prazos restritos e elevada cadência produtiva.

Outra possibilidade seria o recurso à investigação empírica, que se baseia em medições sistemáticas e generalizáveis para validar hipóteses em diferentes contextos. Embora útil para estabelecer relações de causa e efeito, esta abordagem perde profundidade na análise detalhada de um único processo, não captando toda a complexidade operacional e organizacional do chão de fábrica. Do mesmo modo, metodologias como os inquéritos por questionário poderiam recolher perceções relevantes, mas não permitiriam observar diretamente os fluxos físicos e informacionais, nem avaliar o impacto real das soluções propostas.

Face a estas alternativas, o estudo de caso distingue-se pela sua capacidade de integrar múltiplas fontes de informação, como a observação direta, a cronometragem, a análise documental e as entrevistas com engenheiros de processo, proporcionando uma visão holística e realista. Esta abordagem permitiu aplicar o modelo *Makigami*-SLP em condições reais, validando empiricamente os ganhos obtidos e garantindo que os resultados fossem não apenas teóricos, mas também aplicáveis à realidade industrial.

A escolha do estudo de caso revelou-se particularmente vantajosa neste contexto, pois possibilitou captar as especificidades do setor automóvel, marcado pela elevada competitividade, pela pressão sobre custos e pela exigência de qualidade, permitindo também compreender o impacto das melhorias tanto na eficiência operacional como nas condições de trabalho dos operadores.

Assim, o estudo de caso não constituiu apenas uma opção metodológica, mas sim um elemento central para o sucesso desta dissertação, assegurando a combinação entre rigor científico, aplicabilidade prática e contributo efetivo para a literatura *Lean*.

5.4 Diretivas para a Empresa

Apesar destas limitações, este estudo abre caminho para um conjunto de oportunidades práticas que a empresa poderá explorar de forma estruturada. Em primeiro lugar, recomenda-se a aplicação gradual do modelo noutras linhas produtivas, de forma a validar a sua robustez em diferentes fluxos e identificar ganhos adicionais.

Em segundo lugar, sugere-se a extensão do modelo a áreas administrativas e de suporte, como logística, planeamento ou qualidade, onde predominam fluxos de informação que frequentemente condicionam a produção. O *Makigami*, neste âmbito, poderá revelar-se particularmente eficaz para eliminar redundâncias e melhorar a comunicação interdepartamental.

Outra diretiva passa pela integração progressiva com soluções digitais, nomeadamente SAP, sistemas de recolha automática de dados e *checklists* eletrónicas, potenciando a fiabilidade da informação e aproximando a empresa do paradigma de *Lean Digital*.

Por fim, destaca-se a importância de consolidar a cultura de melhoria contínua entre os operadores. Investir em formação, incentivar a participação ativa na identificação de desperdícios e promover equipas multifuncionais contribuirá para assegurar que os ganhos alcançados não se dissipem ao longo do tempo.

Estas diretivas oferecem, assim, um caminho claro para que a empresa transforme as melhorias alcançadas numa estratégia sustentável e alinhada com os objetivos competitivos do setor automóvel.

A presente dissertação foi desenvolvida numa empresa do setor automóvel, centrada no processo de produção de um *Cluster* e *Display*. O objetivo principal consistiu em propor e validar um modelo integrado de melhoria que combinasse o *Makigami* e o *Systematic Layout Planning* (SLP), de modo a eliminar desperdícios, otimizar fluxos e aumentar a eficiência global.

A investigação assume a forma de um estudo de caso, uma vez que se analisa em profundidade um processo específico no seu contexto real, captando simultaneamente dimensões técnicas, organizacionais e humanas. As unidades de análise correspondem à secção de *packing* da empresa, incluindo a sua disposição física, os fluxos de operadores, os fluxos de materiais e os fluxos de informação que suportam o funcionamento diário. Esta escolha metodológica permite compreender de forma integrada as interações entre *layout*, pessoas e sistemas, algo que dificilmente seria alcançado através de metodologias mais generalistas ou puramente experimentais.

A implementação do modelo seguiu uma sequência estruturada de etapas. Numa fase inicial, procedeu-se à caracterização do processo em estudo, recorrendo a observações diretas, medições de tempos em ambiente real e recolha de dados junto dos engenheiros de processo. Com base nestas informações foi construído o *Makigami* do estado atual, que permitiu mapear atividades, fluxos de informação, responsabilidades e constrangimentos logísticos. Posteriormente, o *Makigami* foi analisado criticamente, identificando desperdícios, redundâncias e potenciais melhorias. Em complemento, elaboraram-se diagramas de esparguete que quantificaram as distâncias percorridas pelos operadores e evidenciaram deslocações críticas. A etapa seguinte consistiu na aplicação dos princípios do SLP, através da elaboração de matrizes de proximidade, diagramas de relações e propostas de reorganização do layout. A integração entre as duas metodologias possibilitou a definição de um cenário futuro mais eficiente e compacto. Finalmente, realizou-se a comparação quantitativa entre os estados atual e futuro com base em indicadores *Lean* — *Lead Time*, *Activity Time*, *Value-Adding Time* e *Loss Time* — avaliando de forma objetiva o impacto das melhorias propostas.

Os resultados demonstraram ganhos expressivos. O *lead time* foi reduzido em 13,6% (de 118,12 h para 102,11 h), o *loss time* diminuiu em 50,5% (de 31,65 h para 15,67 h) e as distâncias

percorridas pelos operadores reduziram-se em 15,6% (de 609,5 m para 514,5 m). Foram ainda observadas melhorias específicas, como a diminuição de 28% no trajeto entre a linha e a zona de *feeding/packing* e de 80% no percurso entre o *packing* e o ponto de recolha. Estes resultados traduziram-se na redução do BWS de 5,2 para 4,85 operadores por turno, o que permitiu estimar uma poupança económica anual estimada em 30 660€, reforçando a competitividade da empresa automóvel e garantindo maior previsibilidade, fluidez logística, estabilidade e ergonomia para os operadores.

Assim, o estudo de caso adotado não constitui apenas o enquadramento metodológico do trabalho, mas o elemento que permite transformar a teoria em resultados concretos, assegurando simultaneamente relevância prática para a empresa analisada e contributo científico para a literatura.

6.1 Contribuição para a literatura existente

Do ponto de vista científico, esta dissertação ofereceu um contributo relevante para o corpo de conhecimento existente em *Lean Management*. Embora tanto o *Makigami* como o *Systematic Layout Planning* (SLP) já tivessem sido estudados de forma independente em diferentes contextos industriais e administrativos, a sua integração sistemática permanecia pouco explorada na literatura. A revisão teórica evidenciou que o *SLP* tinha sido frequentemente associado a ferramentas como o *5S* ou o *Poka-Yoke*, enquanto o *Makigami* tinha sido aplicado sobretudo em ambientes administrativos, em conjunto com métodos como o *Value Stream Mapping* (VSM) ou o *Business Process Model and Notation* (BPMN). No entanto, a articulação entre o *Makigami* e o *SLP* em contexto industrial ainda não se encontrava devidamente documentada ou validada empiricamente.

A presente investigação colmatou esta lacuna ao demonstrar que a utilização conjunta das duas metodologias potenciava resultados superiores aos obtidos individualmente. O *SLP*, ao reorganizar fluxos físicos e *layouts*, permitiu reduzir distâncias e tempos de movimentação, enquanto o *Makigami* acrescentou a perspetiva dos fluxos de informação, das responsabilidades funcionais e da comunicação interdepartamental — aspetos habitualmente negligenciados em abordagens centradas apenas no *layout*. Esta complementaridade forneceu uma visão holística do processo, alinhada com os princípios de melhoria contínua da filosofia *Lean*, e mostrou que era possível superar limitações frequentemente apontadas em estudos prévios.

Para além da aplicação original, este trabalho contribuiu para a literatura ao propor um modelo replicável de aplicação integrada, adaptável a diferentes indústrias e contextos organizacionais. A validação empírica através de indicadores objetivos (*Lead Time*, *Activity Time*, *Value-Adding Time* e *Loss Time*) reforçou a pertinência desta integração como ferramenta científica e prática de diagnóstico, redesenho e otimização de processos.

Em síntese, o contributo da presente dissertação para a literatura residiu não apenas na aplicação conjunta inédita do *Makigami* e do *SLP* em ambiente industrial, mas também na demonstração da sua complementaridade e eficácia. Este estudo forneceu um referencial metodológico sólido que poderá servir de base para investigações futuras e para a consolidação de boas práticas na implementação de ferramentas *Lean* em ambientes complexos e competitivos, como o setor automóvel.

6.2 Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados alcançados, subsiste a necessidade de explorar a aplicação do modelo em cenários distintos, de forma a validar a sua escalabilidade e generalização. Uma linha de investigação futura consiste na aplicação noutras indústrias, como a alimentar, a farmacêutica ou a metalomecânica, onde coexistem fluxos logísticos complexos e requisitos de rastreabilidade elevados. Outra vertente prende-se com a aplicação em ambientes administrativos e de serviços, como hospitais, universidades ou instituições públicas, onde o *Makigami* pode mapear processos de suporte e o *SLP* apoiar a reorganização dos espaços físicos.

Adicionalmente, sugere-se a integração do modelo com soluções digitais em linha com o paradigma da *Indústria 4.0*. Tecnologias como sensores *IoT*, sistemas de monitorização em tempo real ou plataformas de análise de dados poderão potenciar a fiabilidade e a rapidez na recolha de informação, promovendo a evolução para um *Lean Digital*. Assim, o modelo poderá não só ser replicado em diferentes setores, mas também contribuir para a transformação digital da indústria, reforçando a sua relevância académica e prática.

REFERÊNCIAS

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Academy, G. (sem data). *What Is a Makigami Analysis?* <https://www.gembaacademy.com/school-of-lean/business-process-mapping/what-is-a-makigami-analysis>
- ACAP – Associação Automóvel de Portugal. (2024). *Estatísticas do setor automóvel em Portugal*. <https://www.acap.pt/pt/estatisticas>
- Aij, K. H., Simons, F. E., Visse, D. M., & Widdershoven, P. D. G. A. M. (2014). A Focus on Throughput: Lean Improvement of Nurse Scheduling in the Operating Theatre. *Global Journal of Management and Business Research*, 14(A1), 75–82.
- Alves, A. C., Dinis-Carvalho, J., & Sousa, R. M. (2012). Lean production as promoter of thinkers to achieve companies' agility. *The Learning Organization*, 19(3), 219–237. <https://doi.org/10.1108/09696471211219930>
- Anuar, M. (2022). Application of value stream mapping in the automotive industry: a case study. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 6, 34–41. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v6i2.8561>

- Britton, J. (2025, março 12). *2025 Automotive Software Development Report*. Automotive IQ.
<https://www.automotive-iq.com/autonomous-drive/reports/2025-state-of-automotive-software-development-report>
- Castelan, J., Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., & Miorando, R. (2018). An application of the Makigami process mapping in a Brazilian healthcare organization. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 512–519.
<https://doi.org/10.14488/BJOPM.2018.v15.n4.a7>
- Dillon, A. P., & Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. CRC Press.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>
- Flores-Perez, A., Poma-Cornejo, V., & Vargas-Balbin, S. (2023). Reduction of Excess Waste through Lean Manufacturing and SLP Tools in a Peruvian Balanced Food SME. *Proceedings of the 2023 10th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA-EU 2023)*, 107–113. <https://doi.org/10.1145/3587889.3587967>
- Francis, R. L., McGinnis, L. F., & White, J. A. (1992). *Facility Layout and Location: An Analytical Approach*. Prentice Hall.
- Gaikwad, M., Shevade, D., & Prasad, B. (2020). *Value Stream Mapping: A Case Study of an Assembly Line in an Automotive Industry*.
- George, M. L. (2002). *Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. McGraw Hill Professional.
- Hansen, R. C. (2002). *Overall equipment effectiveness: A powerful production/maintenance tool for increased profits* (1st ed). Industrial Press. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=149422>

- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(2), 420–437. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.04.001>
- Lago, N., Carvalho, D., & Ribeiro, L. M. M. (2008). Lean Office. *Revista Fundação*, 248/249, 6–8.
- Liker, J. (2004). The 14 principles of the Toyota way: An executive summary of the culture behind TPS. *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacture*, 35–41.
- Llanos-Reyes, R. F. P., Flores-Zorrilla, K. F., & Collao-Diaz, M. F. (2023). Service Model Based on Lean Manufacturing, SLP and Process Standardization to Increase the Service Level of an SME in the Metal-Mechanic Sector. *Proceedings of the 2023 the 6th International Conference on Information Management and Management Science (IMMS 2023)*, 207–213. <https://doi.org/10.1145/3625469.3625513>
- Lummus, R., Vokurka, R., & Rodeghiero, B. (2006). Improving Quality through Value Stream Mapping: A Case Study of a Physician's Clinic. *Total Quality Management*, 17, 1063–1075. <https://doi.org/10.1080/14783360600748091>
- Monteiro, M. F. J. R., Pacheco, C. C. L., Dinis-Carvalho, J., & Paiva, F. C. (2015). *Implementing lean office: A successful case in public sector*. <https://doi.org/10.5937/fmet1504303M>
- Muther, R. (1973). *Systematic Layout Planning*. Cahners Books.
- Muther, R., & Hales, L. (2015). *Systematic Layout Planning*.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC Press.
- Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA). (2023). *Production Statistics 2023*. <https://www.oica.net/2023-production-statistics/>

- Ramadhan, D., Gozali, L., Jusuf Daywin, F., Olyvia Doaly, C., Widodo, L., & Sukania, I. (2021, março). Redesigning the facility layout with systematic layout planning method and lean manufacturing approach on the production floor at PT. Baruna Trayindo Jaya. *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. <https://doi.org/10.46254/AN11.20210481>
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Sheth, P., Deshpande, V., & Kardani, H. (2014). Value Stream Mapping: A Case Study of Automotive Industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03, 310–314. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0301055>
- Singh, R., Shah, D. B., Gohil, A. M., & Shah, M. H. (2013). Overall Equipment Effectiveness (OEE) Calculation—Automation through Hardware & Software Development. *Procedia Engineering*, 51, 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.082>
- Singh, S. P., & Sharma, R. R. K. (2006). A review of different approaches to the facility layout problems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(6), 425–433. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0087-9>
- Sturgeon, T. J., Memedovic, O., Van Biesebroeck, J., & Gereffi, G. (2009). Globalisation of the Automotive Industry: Main Features and Trends. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 2(1/2), 7–24.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities Planning* (4.^a ed.). Wiley.

- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2014a). Method for assessing human resource management practices and organizational learning factors in a company under lean manufacturing implementation. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72, 1125–1137. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-1678-y>
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2014b). Method for assessing human resources management practices and organisational performance in lean production implementation. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4623–4645. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.883467>
- Tortorella, G., Sanson Fogliatto, F., Anzanello, M., Marodin, G., Garcia, M., & Esteves, R. (2016). Making the value flow: Application of value stream mapping in a Brazilian public healthcare organisation. *Total Quality Management & Business Excellence*, 28, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14783363.2016.1150778>
- Viana, R., Silva, F. J. G., & Gouveia, R. (2020). Application of the Makigami Method to Improve a Production Support Process in the Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*, 51, 1202–1209.
- Wahab, A., Mukhtar, M., & Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. *Procedia Technology*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.327>
- Womack, J., & Jones, D. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Em *Journal of the Operational Research Society* (Vol. 48). <https://doi.org/10.1038/sj.jors.2600967>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. Free Press.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th ed.). Sage Publications.

| APÊNDICES

| APÊNDICE A

MAKIGAMIS DOS DIFERENTES ESTADOS DE IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO INTEGRADO

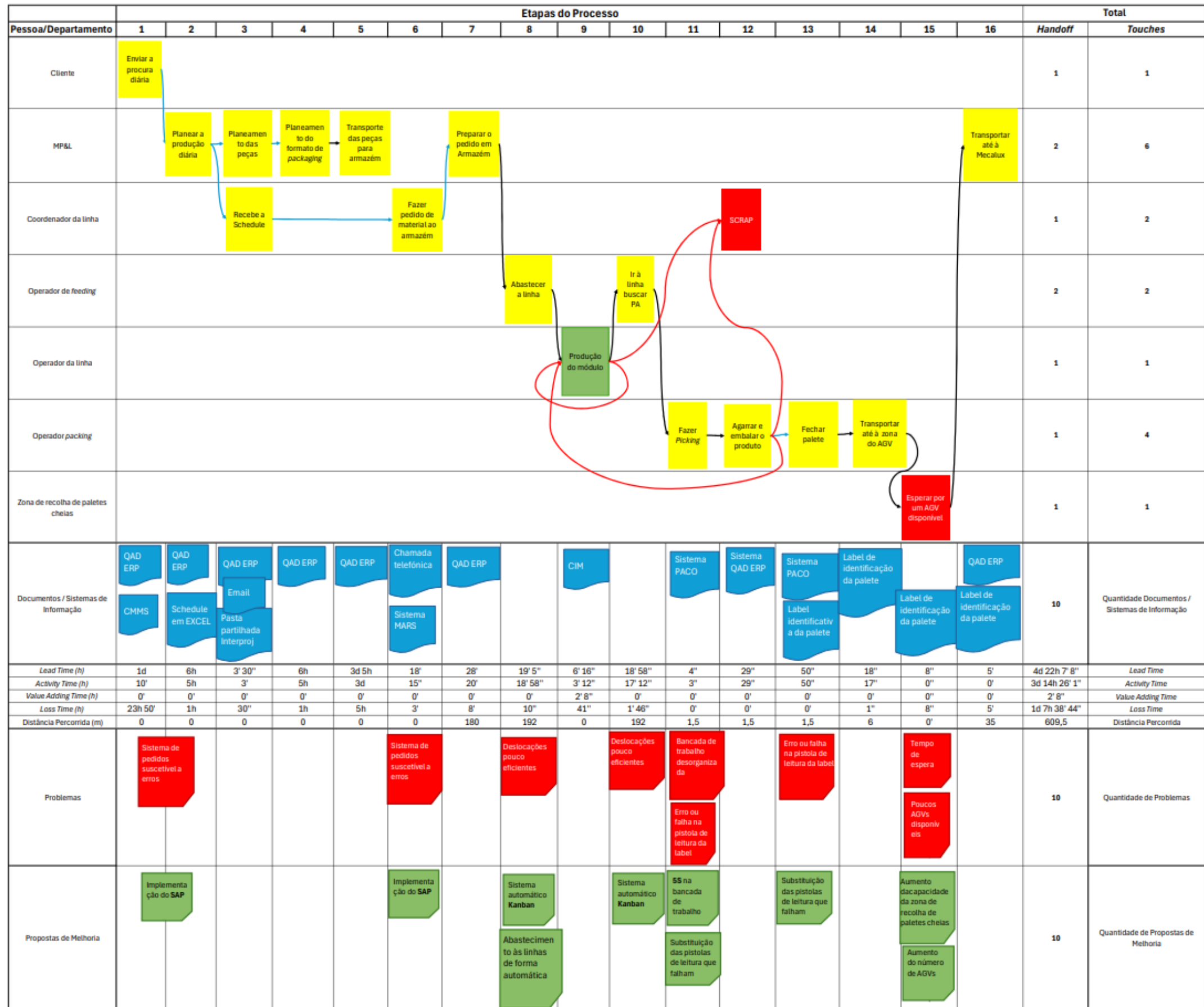


Figura A.1 - Makigami do estado atual

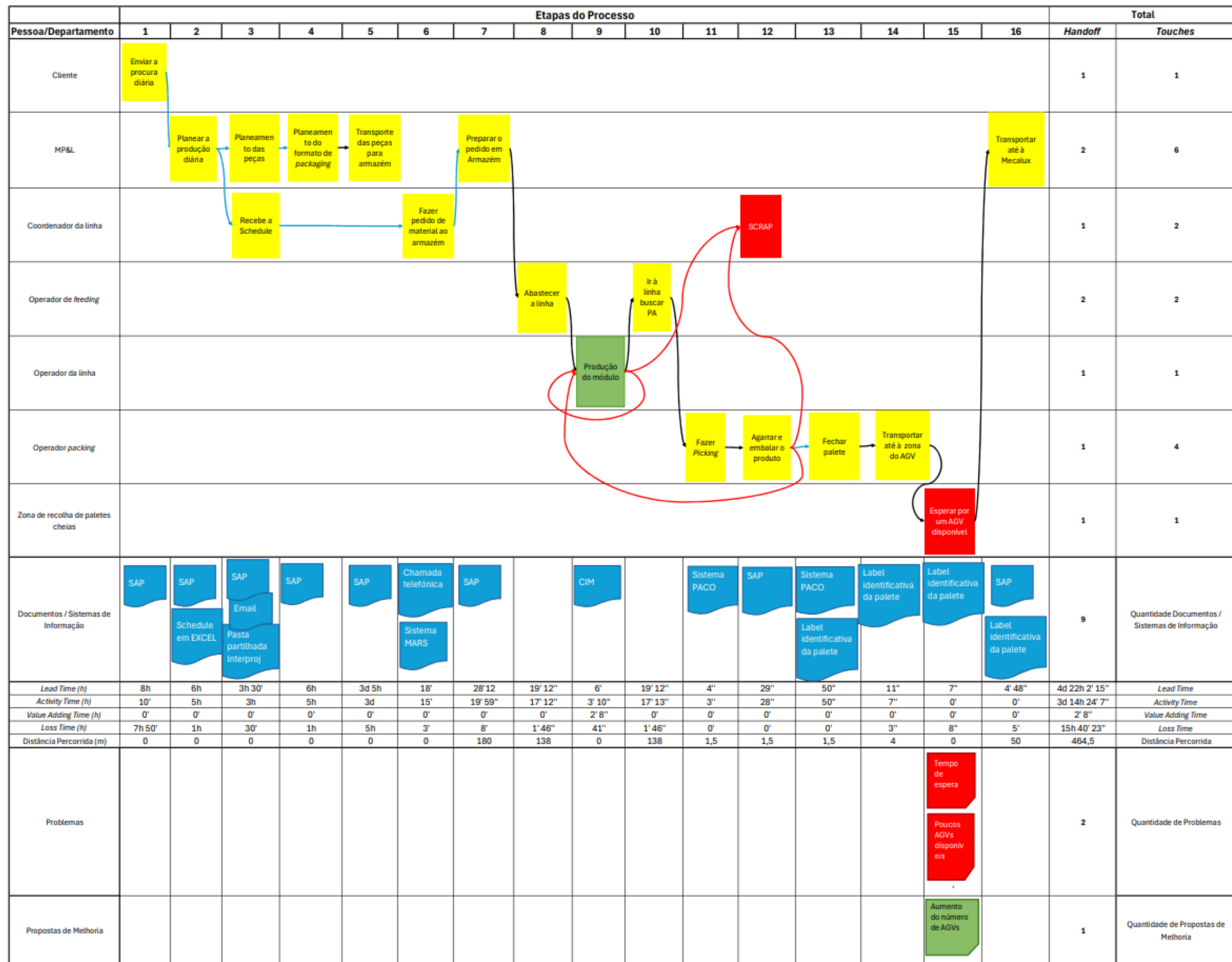


Figura A.2 - *Makigami* do estado futuro

| APÊNDICE B

APÊNDICE COM OS DIAGRAMAS DE ESPARGUETE DO ESTADO ATUAL

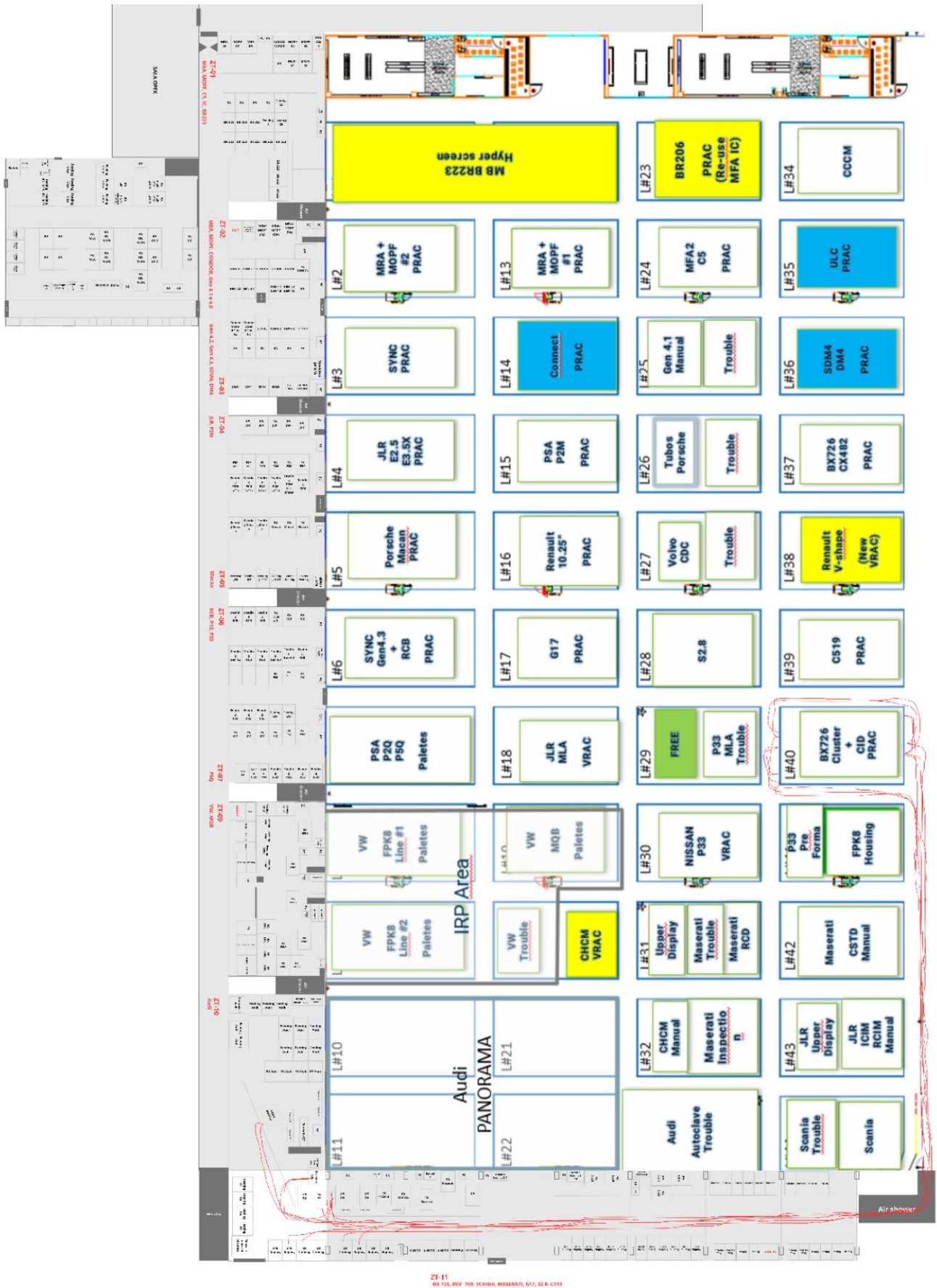


Figura B.1 - Diagrama de esparguete do estado atual do BX 726

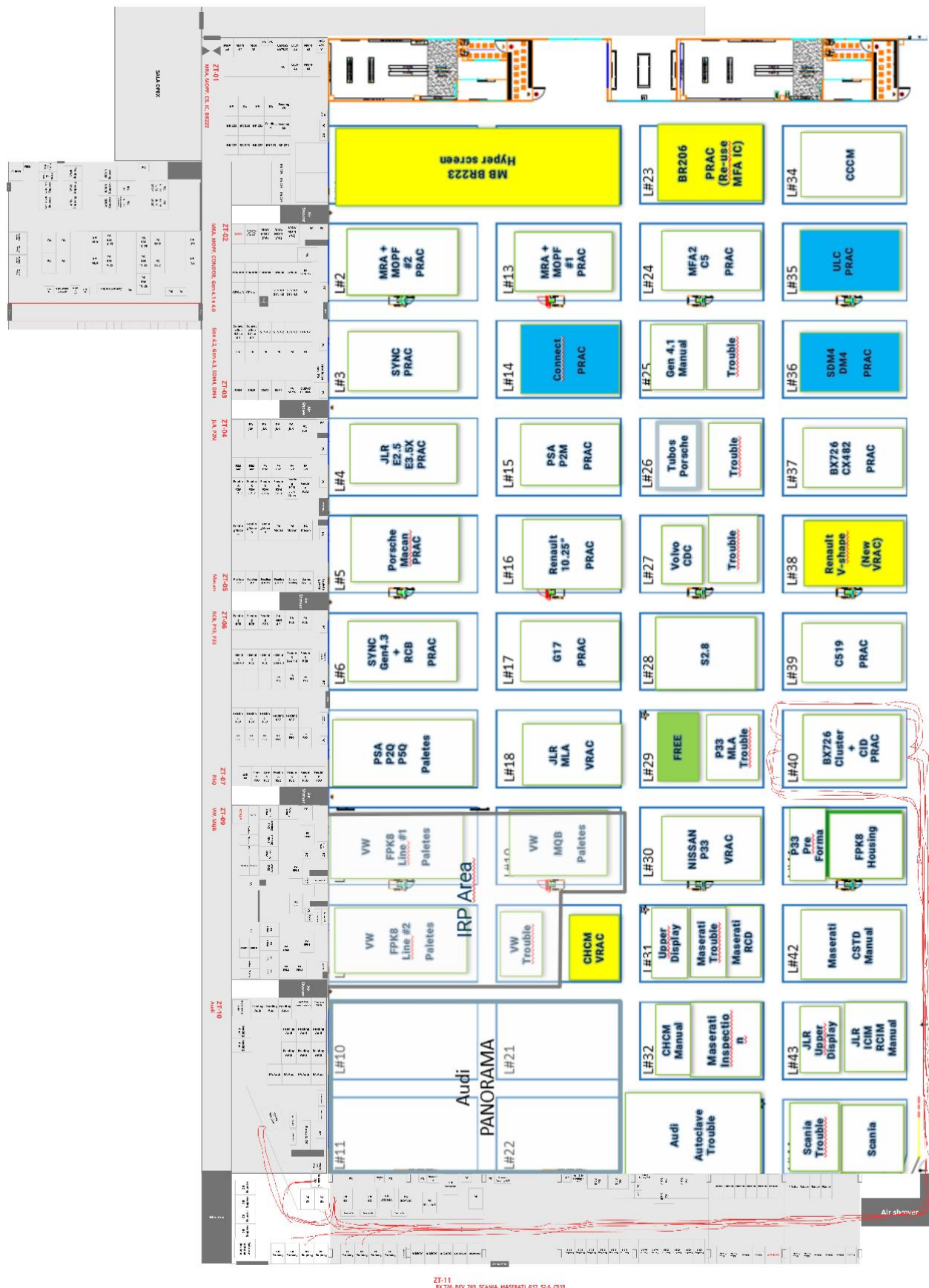


Figura B.2 - Diagrama de esparguete do estado atual do DDU CDC Infotainment

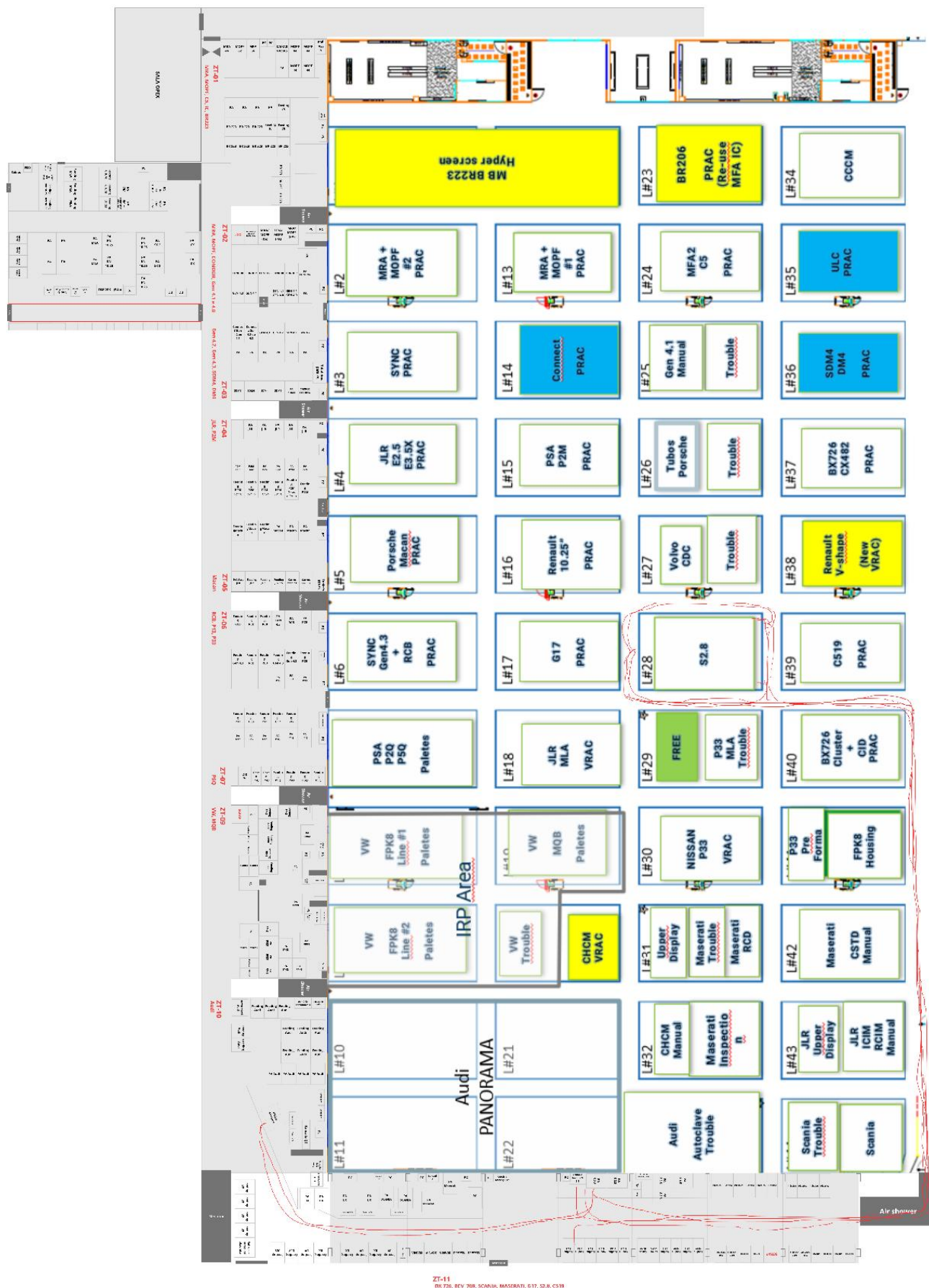


Figura B.3 - Diagrama de esparguete do estado atual do S2.8



Figura B.4 - Diagrama de esparguete do estado atual do P33/P13

| APÊNDICE C

APÊNDICE COM OS DIAGRAMAS DE ESPARGUETE DO ESTADO FUTURO

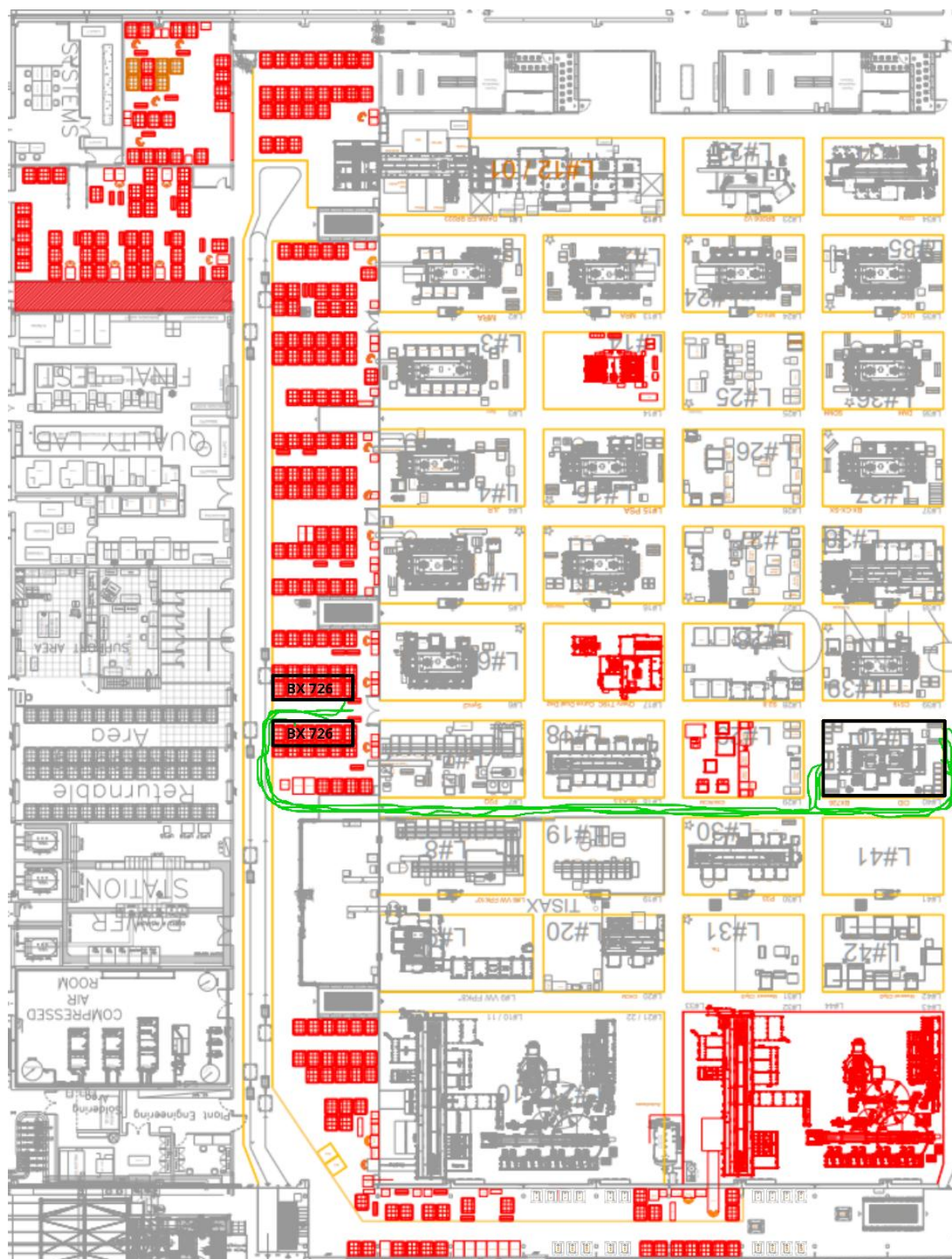


Figura C.1 - Diagrama de esparguete do estado futuro do BX 726

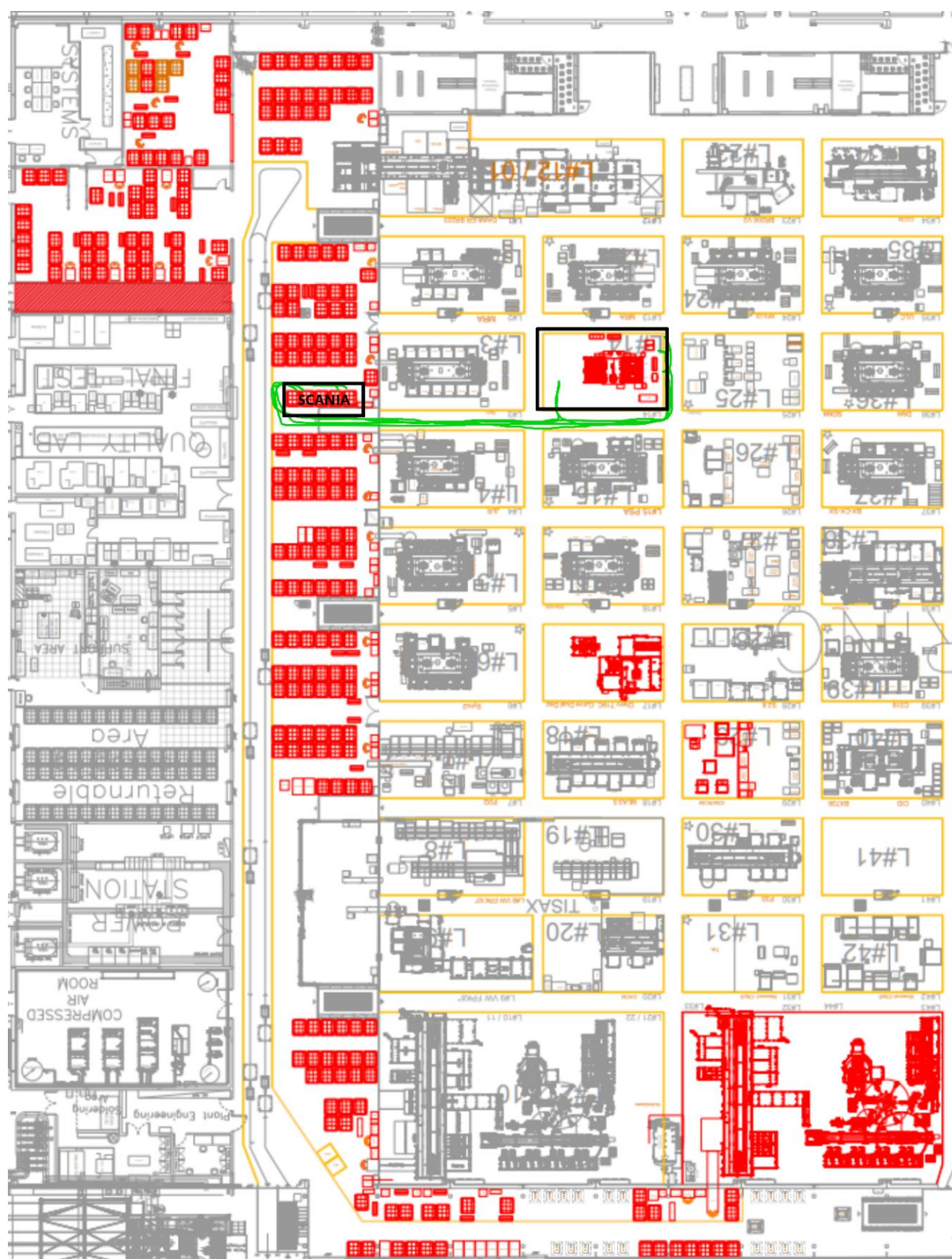


Figura C.2 - Diagrama de esparguete do estado futuro do DDU CDC Infotainment

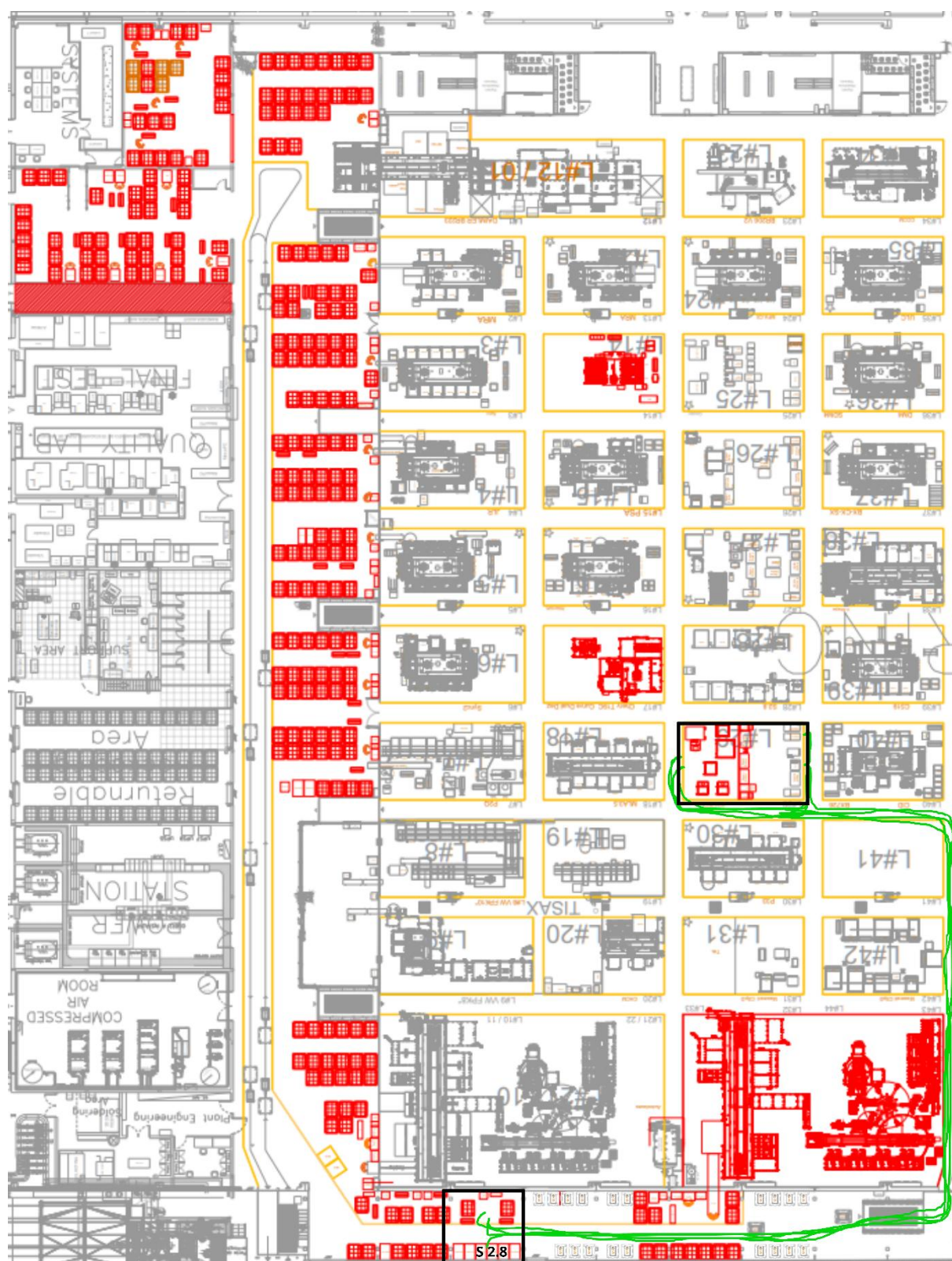


Figura C.3 - Diagrama de esparguete do estado futuro do S2.8

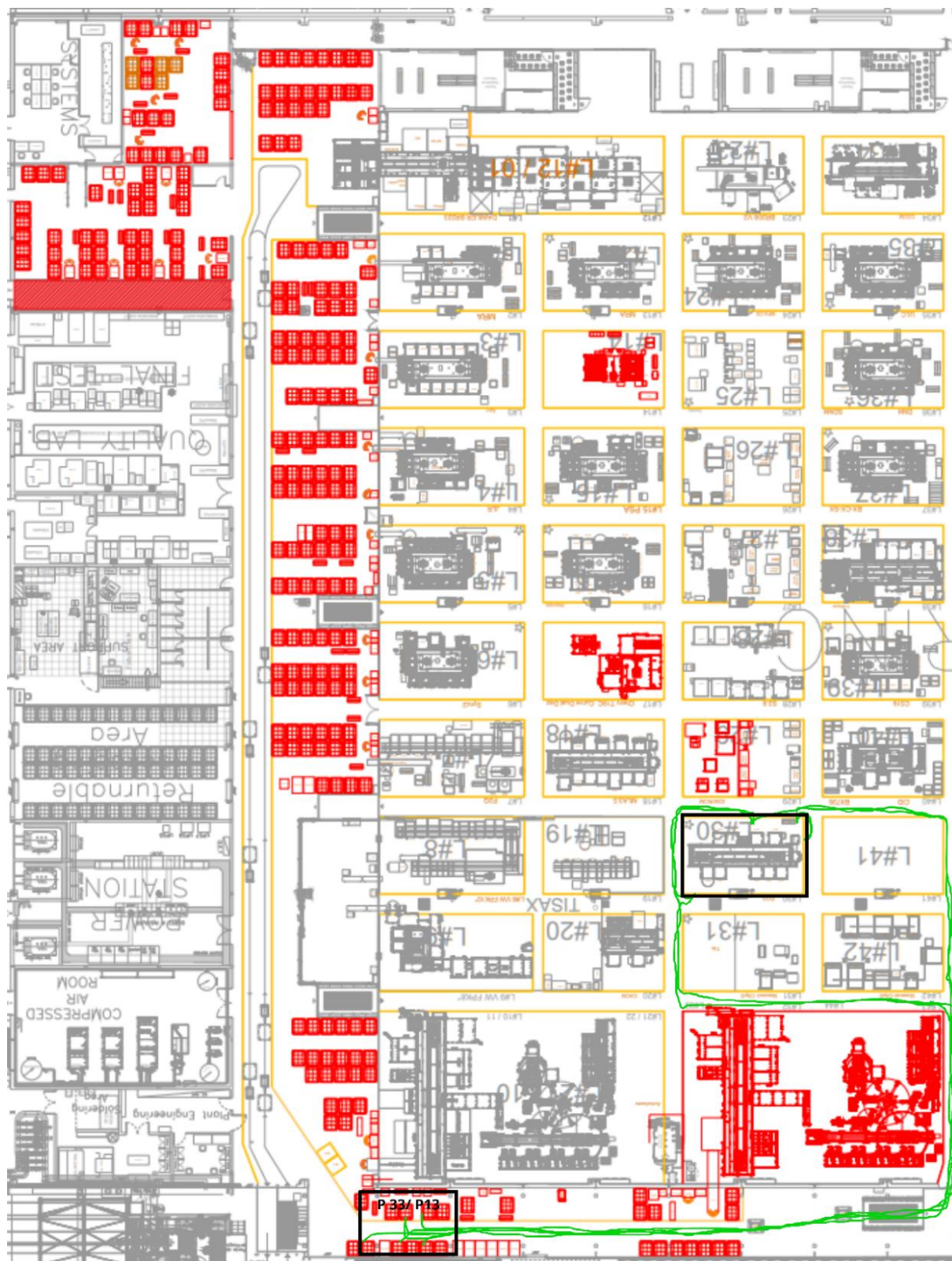


Figura C.4 - Diagrama de esparguete do estado futuro do P33/P13

APÊNDICE D

PLANO DE AÇÕES

Tabela D.1 - Plano de Ações

Produto / Linha	Problema	Proposta de Melhoria	Plano de ações	Implementação
Todas	Pouca eficiência nos pedidos de material.	Implementação de SAP.	Dar formação de todos os colaboradores que necessitem de trabalhar com SAP; Início do uso do SAP; Período de familiarização e adaptação ao mesmo; Normal funcionamento entre todas as áreas envolvidas.	ago/25
Todas	Excesso de material de abastecimento na zona de <i>feeding</i> e <i>packing</i> .	Material necessário para 2h na linha de produção e 1h na zona de <i>feeding</i> e <i>packing</i> .	Recolha das BOMs de todos os produtos; Recolha dos volumes horários de produção, por linha; Análise, produto a produto das quantidades ideais; Marcação das zonas e identificação dos <i>part numbers</i> em cada zona.	ago/25
BX 726	Elevado tempo de deslocação à linha.	Abastecimento de material com recurso a MIR.	Identificar o <i>part number</i> com maior consumo nesta linha; Construção de um carro adequado para o transporte pelo MIR; Identificação das rotas de abastecimento; Fase de testes ao novo modo de abastecimento; Implementação no 1º turno; Implementação nos restantes turnos.	set/25
Todas	Falhas na leitura das <i>labels</i> durante o <i>picking</i> .	Revisão e manutenção periódica dos <i>scanners</i> .	Identificação dos <i>scanners</i> que devem ser substituídos; Identificação dos <i>scanners</i> obsoletos que não foram retirados dos postos de trabalho; Retirada dos obsoletos; Colocação de novos <i>scanners</i> ; Revisão e manutenção periódica dos <i>scanners</i> existentes.	set/25

BX 726; Comfort Display; Multi-Displays Central Stack; DDU; P33 e P13; S2.8	Distância desde a zona de <i>feeding</i> e <i>packing</i> até à linha.	Relocalização da zona de <i>feeding</i> e <i>packing</i> .	Análise da procura dos vários clientes ao longo dos próximos 3 anos; Análise dos volumes de produção diários para responder à procura do cliente; Identificação das linhas com cadência mais e menos elevada; Relocalização do <i>packing</i> e <i>feeding</i> desses produtos numa área mais conveniente para todas as partes.	dez/25
BX 726 Comfort Display; Multi-Displays Central Stack; DDU CDC Infotainment; P33 e P13; S2.8	Aumento dos volumes de produção a partir de 2026.	Relocalização da zona de <i>feeding</i> e <i>packing</i> .	Análise da procura dos vários clientes ao longo dos próximos 3 anos; Análise dos volumes de produção diários para responder à procura do cliente; Identificação das linhas com cadência mais e menos elevada; Relocalização do <i>packing</i> e <i>feeding</i> desses produtos numa área mais conveniente para todas as partes.	dez/25
DDU CDC Infotainment	Alteração da localização da linha de produção.	Relocalização da zona de <i>feeding</i> e <i>packing</i> .	Análise da procura dos vários clientes ao longo dos próximos 3 anos; Análise dos volumes de produção diários para responder à procura do cliente; Identificação das linhas com cadência mais e menos elevada; Relocalização do <i>packing</i> e <i>feeding</i> desses produtos numa área mais conveniente para todas as partes.	dez/25
Todas	Falta de comunicação entre áreas.	Implementação de um sistema automático <i>Kanban</i> .	Desenvolvimento de um sistema que facilite a comunicação entre a linha de produção e a área de <i>feeding</i> e <i>packing</i> ; Teste do sistema <i>Kanban</i> na linha do BX 769; Replicação do sistema na restantes linha de produção.	out/25



