

Conceção de sistemas de fluxo de matérias-primas e semiacabados numa empresa da indústria automóvel

Carina Vieira Marques

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Armando Luís Ferreira Leitão



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2023-06-26

Resumo

O presente projeto foi desenvolvido na empresa *Borgwarner Power Drive System*, que atua no setor automóvel e que se encontra em fase inicial de implementação. Dado a forte competitividade e exigência do mercado em que se insere, torna-se crucial o estabelecimento de uma base sólida desde o ponto de partida que proporcione um caminho claro em direção à excelência, sustentabilidade e melhoria contínua.

Para atender à necessidade da *Borgwarner* de criar uma fábrica eficiente em termos de abastecimento de matérias-primas às estações produtivas, a implementação de um sistema de manuseamento de materiais simples e eficaz revelou-se fundamental. Primeiramente, definiu-se com grande precisão o plano para cada componente (PFEP) e estabeleceram-se os bordos de linha. O estudo do sistema de abastecimento por meio de um comboio logístico contemplou o desenho do comboio, a definição das rotas de abastecimento e paragens logísticas e a elaboração do método operativo. Foram analisados 3 cenários por meio de simulações teóricas, via um estudo detalhado de tempos e distâncias, e complementados por simulações em ambiente real. A propósito de um abastecimento *just-in-time*, foram elaborados cartões *kanban* de transporte, que serviram para aprimorar o fluxo de informação entre o armazém de matérias-primas e as estações produtivas.

Por outro lado, com base na estratégia de um sistema produtivo *pull* com armazenamento intermédio de peças em supermercados, a conceção do fluxo de semiacabados iniciou com o cálculo do nível inicial de inventário de cada peça e com a estruturação dos supermercados correspondentes. Efetuou-se uma análise detalhada do fluxo dos semiacabados entre todas as linhas produtivas, que incluiu as rotas e tarefas associadas a esse processo, que seriam executadas pelo *water spider* (operador responsável pelas atividades não cíclicas executadas na produção). Os dados obtidos foram utilizados como variáveis de entrada para um estudo de sequenciamento de tarefas, que teve como resultado diagramas de atividades a executar por cada operador.

Paralelamente à conceção de cada um dos sistemas elaboraram-se medidas de controlo e indicadores de desempenho a adotar durante a implementação para identificar desvios face aos valores previstos e adotar ações corretivas e de melhoria.

Abstract

Design of flow systems for raw materials and semi-finished products in a company in the automotive industry

This project was developed in the company Borgwarner Power Drive System which operates in the automotive sector and is in an initial implementation phase. Given the strong competitiveness and demands of the market in which it operates, it is crucial to establish a solid foundation from the starting point that provides a clear path towards excellence, sustainability and continuous improvement.

To meet Borgwarner's need to create an efficient plant in terms of supplying raw materials to the production stations, the implementation of a simple and effective materials handling system proved to be crucial. First, the plan for each part (PFEP) was defined with great precision and current sized point-of-use racks were created. The study of the delivery system by means of a mizusumashi included the design of the tugger, the definition of the delivery routes and stop locations, and the elaboration of the operating method. Three scenarios were analyzed by means of theoretical simulations, through a detailed study of times and distances, and complemented by simulations in a real environment. For the purpose of just-in-time supply, Kanban transport cards were elaborated, which served to improve the flow of information between the raw material warehouse and the production stations.

On the other hand, based on the strategy of a pull production system with intermediate storage of parts in supermarkets, the design of the flow of semi-finished products began with the calculation of the initial inventory level of each part and the structuring of the corresponding supermarkets. A detailed analysis of the flow of semi-finished goods between all production lines was performed, which included the routes and tasks associated with this process that would be executed by the water spider (operator responsible for the non-cyclical activities performed in production). The data obtained were used as input variables for a task sequencing study, which resulted in the activity diagrams to be executed by each operator.

In parallel with the design of each of the developed systems, control measures and performance indicators were developed to be adopted during implementation in order to identify deviations from the expected values and to adopt corrective and improvement actions.

Agradecimentos

Passados 5 anos como estudante de engenharia é com muita felicidade, gratidão e saudade que recordo este percurso. Neste momento importante da minha formação, quero agradecer a todos aqueles que contribuíram para o meu desenvolvimento enquanto pessoa e profissional.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais e irmã por sempre me apoiarem e encorajarem a ser mais e melhor. Obrigada por serem casa, mesmo quando estava longe.

Um obrigada muito especial ao Amadeu, por todo o carinho, paciência e companhia. Trazes à minha vida o equilíbrio entre a leveza do vento e a força de uma tempestade.

Aos meus amigos, que cresceram comigo durante estes 5 anos. Com vocês aprendi o verdadeiro significado de amizade e união. Que continuemos a ser marcados e a marcar pela irreverência.

Ao Professor Armando Luís Ferreira Leitão, pela disponibilidade, rigor e exigência que promoveu ao longo de todo este percurso, nem sempre fácil.

Um especial agradecimento à Mélo die Afonso Palhares, orientadora da empresa, pela constante disponibilidade e apoio demonstrado e por ter partilhado comigo toda a sua experiência e vasto conhecimento.

Um agradecimento muito especial a toda a equipa da *Borgwarner* pela forma como fui recebida e apoiada. Aos colaboradores de escritório, produção e armazém, com quem de perto contactei obrigada pela paciência, colaboração e profissionalismo. Acima de tudo, obrigada pela constante boa disposição e bom ambiente criado que tornou este projeto mais leve e compensador.

*"Para ser grande, sê inteiro: nada
Teu exagera ou exclui. "*

Ricardo Reis

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Projeto na Empresa <i>BorgWarner</i>	2
1.3	Objetivos do projeto	3
1.4	Método seguido no projeto	4
1.5	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento teórico	5
2.1	<i>Lean Production</i>	5
2.1.1	Origem do <i>Lean</i>	5
2.1.2	<i>Toyota Production System</i>	7
2.1.3	Princípios <i>Lean Thinking</i>	8
2.1.4	Os 3 Ms: <i>Muda, Mura e Muri</i>	8
2.1.5	Orientação para o <i>Gemba</i>	9
2.2	<i>Kaizen</i> e <i>Total Flow Management</i>	10
2.2.1	Supermercado de Abastecimento	11
2.2.2	<i>Mizusumashi</i>	12
2.2.3	O sistema <i>kanban</i>	14
2.2.4	Bordo de Linha	15
2.2.5	<i>Standard Work</i> ou Normalização do trabalho	16
2.3	Outras ferramentas <i>Lean</i>	17
2.3.1	5S	17
2.3.2	Gestão Visual	18
3	Descrição do Problema	19
3.1	Contextualização e caracterização da área produtiva	19
3.1.1	<i>Layout</i> do Processo	20
3.1.2	Processo Produtivo	21
3.1.3	Método de abastecimento de matéria-prima	24
3.1.4	Método de abastecimento de semiacabados	26
3.2	Análise crítica e identificação de problemas	27
4	Metodologia	31
4.1	Concepção do sistema de fluxo de matérias-primas	31
4.1.1	Estruturação dos bordos de linha	31
4.1.2	Elaboração comboio logístico	34
4.1.3	Fluxo de Informação	43
4.2	Definição do sistema de fluxo de semiacabados	44
4.2.1	Cálculo do nível de inventário	44

4.2.2	Dimensionamento e estruturação dos supermercados e carrinhos	45
4.2.3	Tarefas a realizar pelo <i>Water Spider</i>	48
4.3	Implementação da metodologia 5S	56
5	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro	59
A	Método seguido no projeto	63
B	Evidências da situação inicial	65
C	Dados e resultados do <i>Plan for Every Part</i>	69
D	Análise dos pontos de consumo e bordos de linha	73
E	Elaboração comboio logístico	77
F	Tarefas a realizar pelo <i>Water Spider</i>	87
G	Evidências de implementação da metodologia 5S e gestão visual	95

Acronyms and Symbols

PDS	Power Drive Systems
TFM	Total Flow Management
FIFO	First In First Out
TPS	Toyota Production System
SOP	Start of Production
TL	Team Leader
PFEP	Plan For Every Part
EDD	Earliest Due Date
AGV	Automated Guided Vehicle

Lista de Figuras

1.1	Indicadores operacionais <i>Borgwarner PDS</i>	2
1.2	Distribuição da <i>Borgwarner PDS</i>	3
2.1	<i>Toyota Production System House</i> . Adaptado de (Liker and Morgan, 2006)	7
2.2	Os 7 desperdícios adaptado de (Wahab et al., 2013)	9
2.3	Supermercados no chão de fábrica. a) Conceito de uma fábrica com dois supermercados. b) Estante de supermercado. Adaptado de (Emde, 2017)	12
2.4	Estrutura base do fornecimento de material por via do <i>mizusumashi</i> . Adaptado de (Droste and Deuse, 2011)	13
2.5	Exemplo de um <i>kanban</i> . Adaptado de (Droste and Deuse, 2011)	14
2.6	Movimento entre bordo de linha e supermercado. Adaptado de (Lean, 2023)	16
3.1	Tempo de ciclo registado na semana 9 em comparação com o <i>takt time</i>	20
3.2	Quantidade de peças boas produzidas entre outubro e fevereiro	20
3.3	<i>Layout</i> da fábrica com sinalização das linhas produtivas e do armazém de matérias-primas	21
3.4	Fluxograma do processo produtivo	23
3.5	Unidade de carga da matéria-prima	24
3.6	<i>Swimlane</i> do processo de abastecimento de matérias-primas a partir do armazém	26
3.7	Frota inicial de carrinhos de transporte de semiacabados	27
4.1	Desenho das carruagens e respetiva capacidade das carruagens não <i>standard</i>	35
4.2	Exemplo de <i>kanban</i> de transporte	43
4.3	Paletes dedicadas para armazenamento do <i>E Motor</i> e <i>MGI</i>	46
4.4	Supermercados de armazenamento de semiacabados	47
4.5	Carrinhos para transporte de semiacabados	48
4.6	Diagrama de <i>spaghetti</i> dos percursos a efetuar pelo <i>water spider</i>	49
4.7	<i>Indirect Standard Worksheet</i>	50
4.8	Gráfico de <i>gantt</i> para a execução das tarefas do <i>water spider</i>	52
4.9	Gráfico de balanceamento de operadores	55
4.10	Diagrama de operações para a execução da Tarefa C	56
4.11	Exemplo de uma etiqueta de bordo de linha	57
A.1	Primeira versão diagrama temporal	63
B.1	Armazenamento <i>E Motor</i>	65
B.2	Bordos de linha desadequados	65
B.3	Excesso de material no ponto logístico	66
B.4	Bordos de linha sem etiquetas de identificação	66

B.5	Falta de marcações no chão de fábrica	66
B.6	Postos de trabalho desorganizados e sujos	67
D.1	Pontos de consumo de matérias-primas	74
D.2	Localização definida para integração dos bordos de linha	75
D.3	Comparação entre os bordos de linha existentes na planta e os definidos como necessários no projeto	76
E.1	Paragens e rota de abastecimento do comboio logístico	78
E.2	Desenho comboio logístico: ocupação das carruagens um e dois	79
E.3	Desenho comboio logístico: ocupação das carruagens três e quatro	79
E.4	Tarefas a executar pelo operador na execução da simulação em ambiente real - página 1	81
E.5	Paragens e rota de abastecimento do comboio logístico após implementação de melhorias	83
E.6	Paragens e rota de abastecimento do comboio logístico para o cenário 1	84
F.1	Solução obtida pela aplicação da heurística EDD	91
F.2	Solução obtida pela aplicação da heurística Folga Mínima	92
F.3	Solução obtida pela aplicação da heurística Menor Deslocamento	94
G.1	Marcações do chão de fábrica	96
G.2	Instrução de limpeza geral	97

Lista de Tabelas

2.1	Comparação entre os sistemas de produção. Adaptado de (Melton, 2005)	6
2.2	Ferramentas do <i>Total Flow Management</i> . Adaptado de (Euclides, 2013)	10
3.1	Síntese dos problemas encontrados	29
4.1	Tempo de abastecimento na paragem 7	37
4.2	Tempos de ciclo obtidos no estudo teórico	37
4.3	Tempos de ciclo obtidos no estudo teórico - pós implementação de melhorias	38
4.4	Estudo da ocupação de cada linha no processo de abastecimento	39
4.5	Tempos de ciclo obtidos no estudo teórico - Cenário 1	39
4.6	Análise dos custos associados ao cenário 1	40
4.7	Tempo de ciclo obtido para a execução do cenário 2	41
4.8	Análise dos custos associados ao cenário 2	41
4.9	Calculo do inventário de segurança para cada um dos semiacabados	45
4.10	Análise da redução de espaço ocupado pela implementação do novo sistema de abastecimento	47
4.11	Tempo de execução das tarefas a executar pelo <i>water spider</i> e respetiva frequência	51
4.12	Tempos em minutos de deslocamento entre tarefas consecutivas	52
4.13	Resultados obtidos para a heurística EDD	53
4.14	Resultados obtidos para a heurística Folga Mínima	54
4.15	Resultados obtidos para a heurística Menor Deslocamento	54
4.16	Cálculo dos ganhos com a implementação da heurística Menor Deslocamento	55
C.1	Tópicos a considerar no <i>Plan For Every Part</i>	70
C.2	Resultado do estudo feito a cada componente	71
E.1	Taxa de ocupação carruagens comboio logístico	80
E.2	Atividades primárias a realizar pelo comboio logístico e respetivos tempos padrão	80
E.3	Distâncias em metros entre paragens consecutivas	80
E.4	Distâncias em metros entre o comboio e os bordos de linha	81
E.5	Atividades primárias a realizar pelo comboio logístico e respetivos tempos padrão definidos após simulação em ambiente real	82
E.6	Método operativo comboio logístico	85
F.1	Tempos de deslocamento tarefas	87
F.2	Tempos médios de execução de cada tarefa	87
F.3	Análise do tempo mínimo e máximo para execução de cada tarefa	88

Capítulo 1

Introdução

A presente dissertação surge no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e resulta de um trabalho desenvolvido na empresa *Borgwarner Power Drive Systems*, localizada em Viana do Castelo.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

A crescente globalização dos mercados e consequente intensificação da competição entre organizações coloca às empresas o desafio de adotar práticas mais eficientes e eficazes que permitam assegurar a sua sustentabilidade. A *Borgwarner Power Drive Systems* opera no mercado da indústria automóvel, que se revela um dos mais competitivos. Subsequentemente, é importante para a empresa manter o foco na melhoria contínua e apresentar uma resposta efetiva, quer para os produtos em produção, quer para o lançamento de novos projetos.

O projeto desenvolvido nesta dissertação surgiu com a necessidade por parte da *Borgwarner* de instalar uma nova linha de produção funcional em 6 meses, destinada à produção de um motor híbrido, o TSG DL. Atualmente, a linha encontra-se em fase de pré-produção estando a validação com o cliente agendada para a semana 33 do presente ano civil. Este revela-se um projeto que acarreta um elevado nível de risco, uma vez que para garantir o nível de produção alinhado com o cliente é necessário criar um ambiente perfeito para que o operador desempenhe a sua função, num espaço temporal ambicioso.

Até ao momento, estando a implementação numa fase preliminar, havia uma diversidade de variáveis ainda a considerar no planeamento da produção que levavam a ocorrências como a falta de material na linha de montagem, ineficiente armazenamento de componentes, falta de normalização dos procedimentos e desorganização dos postos de trabalho. Neste cenário, a definição do fluxo da logística interna, do fluxo de produção e a aplicação de ferramentas *lean* adquire uma importância relevante, ao reduzir os desperdícios observados e permitir melhorar a produtividade da linha.

O projeto foi realizado no departamento de Engenharia Industrial com visitas constantes ao “shopfloor” e trabalho próximo particularmente com os departamentos de Logística e Engenharia de Processo.

1.2 O Projeto na Empresa *BorgWarner*

A *BorgWarner* é uma empresa norte-americana sediada em *Auburn Hills, Michigan*, que foi fundada em 1928. Atua no setor automóvel e destaca-se pela inovação em sistemas de propulsão em motores de combustão interna, motores híbridos e motores elétricos, através da produção de peças para motores, transmissões e sistemas de condução de fluidos. Associado ao seu compromisso primário com a preocupação ambiental, o grupo *BorgWarner* coloca como foco principal o desenvolvimento de tecnologias limpas, saudáveis e seguras. Neste sentido, atua com a visão “Um mundo limpo e energeticamente eficiente” e a missão “Fornecermos soluções sustentáveis e inovadoras para o mercado automóvel”.

Sendo uma multinacional, a empresa trabalha com mais de 50 000 colaboradores em 24 países e 92 localizações. A dispersão global é equilibrada com 33 instalações na América, 31 na Europa e 35 na Ásia. Em 2022 registou um valor de vendas consolidadas de 15,8 mil milhões de dólares, ou seja, cerca de 14,23 mil milhões de euros.



Figura 1.1: Indicadores operacionais *Borgwarner PDS*

O grupo *BorgWarner* encontra-se dividido em quatro segmentos de negócio:

- **Air Management:** Associado ao desenvolvimento e produção de peças que permitam melhorar a economia e desempenho do combustível e reduzir as emissões. Dele fazem parte tecnologias como *eBoosters*, *eTurbos*, Sistemas de Emissão, Sistemas térmicos, entre outros. Representa 44% das vendas globais da empresa.
- **E-Propulsion & Drivetrain:** Direccionado para motores eléctricos, para veículos híbridos e eléctricos, electrónica de potência, módulos de controlo de motores e transmissões. Representa 34% das vendas globais da empresa.
- **Fuel Systems:** Desenvolve componentes e sistemas de injeção de gasolina e gasóleo. Inclui a produção de bombas, injectores, recipientes evaporativos, entre outros. Representa 14% das vendas globais da empresa.

- **Aftermarket:** Associado à venda de produtos e serviços a clientes independentes do mercado pós-venda e clientes servidores de equipamento original com produtos novos e remanufaturados. Representa 14% das vendas globais da empresa.

Em 2021, a empresa investiu cerca de 25 milhões de euros na construção da segunda unidade fabril no parque empresarial de Lanheses, a *Borgwarner Power Drive Systems*, vocacionada para veículos elétricos. Este último investimento inseriu-se na estratégia da empresa de crescer em tecnologias eletrónicas.

A *Borgwarner Power Drive System*, que se inclui no segmento *E-Pulsion & Drivetrain*, opera atualmente em 15 países. A unidade instalada em Portugal, iniciou em 2023 o seu processo produtivo e conta, atualmente, com a colaboração de cerca de 150 pessoas.

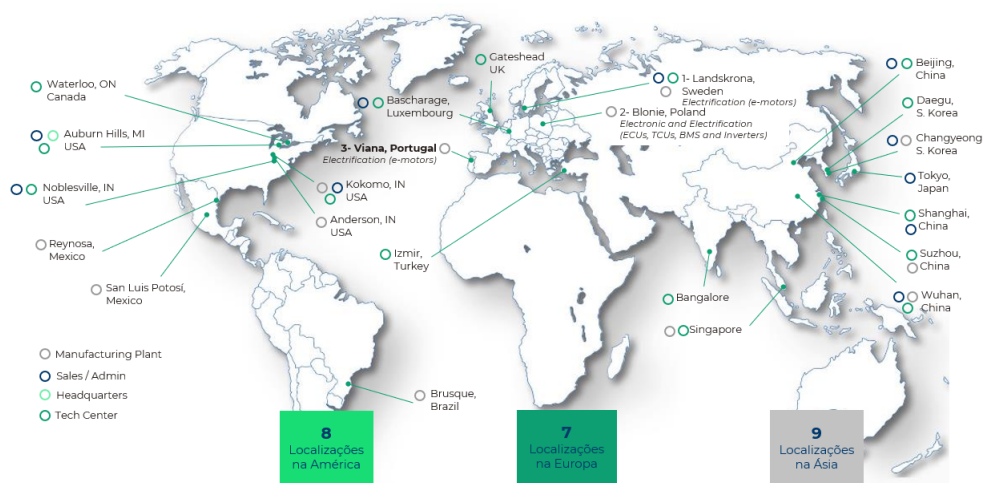


Figura 1.2: Distribuição da *Borgwarner PDS*

O portfólio de produtos desta unidade divide-se em duas áreas tecnológicas. Por um lado, a tecnologia para veículos elétricos que abrange praticamente todas as áreas de propulsão elétrica, incluindo motores elétricos, transmissão de energia, eletrônica de potência e gestão térmica. Por outro lado, a tecnologia para veículos comerciais, na qual oferecem tecnologias de combustão híbridas e elétricas altamente eficientes para uma ampla gama de veículos comerciais.

1.3 Objetivos do projeto

O projeto presente nesta dissertação tem dois principais objetivos: o desenvolvimento de um sistema de abastecimento de matéria-prima por comboio logístico a partir do armazém para as linhas de produção e a definição do fluxo de semiacabados entre linhas de produção. O intuito passa por prevenir roturas de *stock* nos pontos de consumo e no armazém, evitar a acumulação de material nas linhas produtivas, reduzir as movimentações de material na fábrica, promover o abastecimento ergonómico e seguro e consequentemente melhorar a produtividade das linhas

de produção. De notar que, dado o estado embrionário de implementação da empresa, o resultado deste projeto de dissertação será o melhor cenário a adotar pela empresa para cada um dos sistemas. A implementação deste cenário ocorrerá apenas numa fase mais avançada, na qual o orçamento disponível para o projeto e os níveis de produção assim o justifiquem. Os objetivos secundários passam pela aplicação da metodologia 5S de forma a promover a organização, limpeza e normalização dos processos produtivos.

1.4 Método seguido no projeto

Primeiramente, houve um período de integração, perceção do problema inicial e análise do fluxo de materiais existente na fábrica. Seguiu-se uma análise crítica da situação inicial, através da recolha de tempos e de dados relacionados com o processo produtivo. Neste sentido, foram identificados os principais desperdícios e problemas existentes.

Foi elaborado um plano de ações a atuar em 3 áreas principais: o fluxo de matérias-primas, o fluxo de semiacabados e a metodologia 5S. Para o primeiro ponto, tornou-se necessário o estabelecimento de um sistema de manuseamento de materiais que contemplou a definição do plano para cada componente, criação dos respetivos bordos de linha, conceção do comboio logístico recorrendo a simulações teóricas e em ambiente real. Após seleção do cenário a adotar foi elaborado o método operativo. Foi ainda efetuada a definição do fluxo de informação através de cartões *kanban* entre o armazém e cada estação produtiva. Para o fluxo de semi-acabados entre linhas produtivas efetuou-se um estudo no qual foram analisados os movimentos a efetuar pelo operador, as necessidades de *buffer* em cada linha e ainda o modo de transporte e armazenamento de cada peça. A propósito da metodologia 5S, foi efetuada a classificação, organização, limpeza e normalização de cada uma das cinco linhas de produção.

O projeto terminou com uma análise do trabalho desenvolvido e foram identificados os próximos passos a seguir na empresa.

Numa fase inicial elaborou-se o diagrama temporal presente na Figura A.1 no Anexo A com o objetivo de melhor controlar o trabalho desenvolvido e evitar atrasos.

1.5 Estrutura da dissertação

A estrutura do presente relatório encontra-se organizada em 5 capítulos. No primeiro capítulo é feito o enquadramento do projeto, a apresentação da empresa e dos objetivos delineados bem como a descrição do método seguido durante o desenvolvimento do trabalho. No segundo capítulo faz-se um enquadramento teórico baseado na análise científica de conceitos relacionados com o tema do projeto e análise crítica da literatura relevante. No terceiro capítulo é feita uma descrição do produto final, do processo produtivo e do fluxo de materiais e análise crítica da situação inicial. No quarto capítulo são descritas as propostas de ação face aos problemas e identificadas as soluções que melhor eficiência trazem ao processo. No quinto capítulo, é feito um balanço final do trabalho realizado.

Capítulo 2

Enquadramento teórico

2.1 *Lean Production*

Lean Manufacturing, também conhecido como *Lean Production*, tem se revelado um dos paradigmas mais populares na eliminação de desperdícios nas indústrias de produção e serviços (Wahab et al., 2013).

A palavra “*lean*” associa-se ao *Lean Manufacturing* uma vez que este usa menos de tudo em comparação com a produção em massa. Usa apenas metade do esforço humano na fábrica, metade do espaço de produção, metade do investimento em ferramentas e metade das horas de engenharia para desenvolver um produto novo em metade do tempo (Wahab et al., 2013; Womack et al., 1990).

Em 2005 (Melton, 2005) refere-se ao “*lean*” como sendo uma revolução nas indústrias de processos. Não se baseia apenas na utilização de ferramentas ou na mudança de alguns passos nos processos produtivos. Baseia-se na mudança completa do negócio, desde o modo como opera a cadeia de abastecimento até à forma como os empregados realizam o seu trabalho no dia a dia.

O conceito de *Lean Manufacturing*, ao qual foram sendo atribuídas várias definições, surgiu pela primeira vez em 1990 no livro *The Machine that Changed the World*, escrito por James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Ross (Womack et al., 1990). Este livro compara e contrasta o Sistema de Produção em Massa intrínseco aos Estados Unidos e Europa com o Sistema de Produção *Lean* introduzido na indústria automóvel, no Japão (Melton, 2005).

2.1.1 Origem do *Lean*

De forma a perceber a origem do “*lean*” na sua essência torna-se relevante voltar ao final do século 19 e estudar a origem da indústria automotiva como um todo.

Segundo (Womack et al., 1990) no início de 1890, P&L produziu o primeiro automóvel comercial tendo por base a produção artesanal. A produção artesanal caracterizava-se por recorrer a colaboradores altamente qualificados, organizações descentralizadas e um baixo volume de produção. O conceito de linha de produção não se aplicava uma vez que cada carro era montado em separado desde o início até ao fim por um grupo de artesãos. Apesar do notório sucesso que levou

a centenas de empresas adotarem o mesmo método de produção, várias eram as desvantagens associadas ao mesmo. A produção artesanal apenas produzia de acordo com as especificações dos clientes, não havendo carros iguais. Assim, os custos de produção variavam entre os carros e eram naturalmente elevados. Além disso, como cada carro produzido era na verdade um protótipo a consistência e confiabilidade de cada peça final eram apenas ilusórias.

Em 1915, com a primeira guerra mundial, deu-se a transição para o método produtivo de *Henry Ford*, a produção em massa. *Henry Ford* combinou na produção em massa a utilização de peças intermutáveis, a normalização de processos e a divisão de tarefas no processo de produção. O novo sistema de produção em série possibilitou a produção em grandes volumes a baixos custos. A produção em massa direcionou a indústria automóvel por mais de meio século na Europa e na América do Norte. Contudo, este sistema de produção começou a manifestar alguns problemas à medida que as empresas foram expandindo para outros mercados em outros países. A produção em massa recorria a máquinas de propósito único que geravam elevados custos quando sujeitas a interrupções. Desta forma os longos lotes de produção a baixo custo apenas eram possíveis para produtos *standard* o que limitava a oferta de produtos ao consumidor (Seibel, 2021).

Após a Segunda Guerra mundial a indústria Japonesa encontrava-se numa situação crítica a nível de recursos materiais, humanos e financeiros. A *Toyota Motor Company*, empresa do ramo automóvel, não era exceção. Com as transformações económicas e tecnológicas os sistemas de controlo e planeamento de produção foram ficando desajustados às exigências do mercado. Para se manter competitiva tornou-se necessário desenvolver um novo sistema produtivo que permitisse uma maior flexibilidade, variabilidade de produtos e qualidade a um custo mínimo. Foi então que, na década de 1950 Taiichi Ohno desenvolveu o *Toyota Production System* (TPS), a base do *Lean Production*. As comparações presentes na Tabela 2.1 justificam a enorme vantagem ganha pelas empresas japonesas sobre os produtores em massa (Melton, 2005).

Tabela 2.1: Comparação entre os sistemas de produção. Adaptado de (Melton, 2005)

	Produção em massa	Produção <i>Lean</i>
Base	Henry Ford	<i>Toyota</i>
Pessoas-Desenvolvimento	Profissionais pouco qualificados	Equipas polivalentes nos vários níveis organizacionais
Pessoas-Produção	Trabalhadores não qualificados ou semiqualeificados	Equipas polivalentes nos vários níveis organizacionais
Equipamento	Máquinas caras de propósito único	Sistemas manuais ou automáticos capazes de produzir grandes volumes de uma grande variedade de produtos
Métodos de produção	Volumes elevados de produtos <i>standard</i>	Produção de acordo com as necessidades do cliente
Filosofia	"Bom o suficiente"	"Busca pela perfeição"

O *Toyota Production System* foi a base do que se tornou um movimento global para o "*think lean*". Após a *Toyota Motor Company* várias foram as empresas que adotaram iniciativas *lean* e o

conceito alargou-se a um diverso range de organizações. (Liker and Morgan 2006)

2.1.2 Toyota Production System

A teoria por detrás do TPS é usualmente representada de forma visual por uma casa uma vez que esta transmite facilmente o modelo a partir do qual este sistema produtivo funciona. De acordo com (Liker and Morgan, 2006) a casa tem o propósito de representar um sistema estrutural - com uma base ou pilares fracos a casa não é estável mesmo que as restantes partes o sejam. As partes trabalham em conjunto para criar um todo. Uma versão simples da *TPS House* é representada na Figura 2.1.

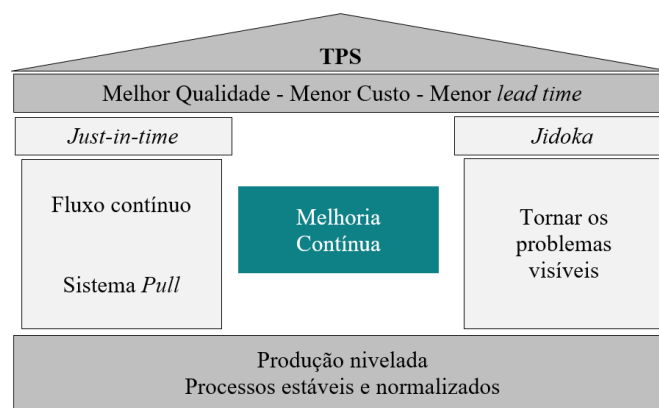


Figura 2.1: *Toyota Production System House*. Adaptado de (Liker and Morgan, 2006)

O TPS baseia-se em dois pilares cruciais denominados *Just-in-time* e *Jidoka* que sustentam aquilo que as empresas procuram com a implementação deste sistema de produção *lean*: estabilidade, produção e eficiência.

A técnica de produção *Just-in-time* tem por base a produção de bens na quantidade adequada para manter um fluxo contínuo de materiais de forma a levar o componente certo ao lugar certo no momento certo. Na prática, a matéria-prima move-se numa célula de produção de uma operação para a que a sucede, uma peça de cada vez, sem interrupções. Este método de produção proporciona um baixo valor de inventário uma vez que apenas se produz a quantidade que o consumidor necessita. Sendo o inventário reduzido, o valor dos custos de armazenamento de inventário são também reduzidos (Liker and Morgan, 2006; Nakaue, 2021)

O segundo pilar *Jidoka* é também conhecido como *Built-in Quality* e contempla um conceito mais complexo. Este representa uma máquina com inteligência humana. Na sua essência os equipamentos devem ter a capacidade de parar a atividade produtiva quando detectarem uma anomalia no processo. Desta forma, o *Jidoka* permite ao operador ser autónomo para parar a linha de produção e resolver o problema. Este conceito possibilita um controlo de qualidade antecipado das peças que estão a ser produzidas uma vez que surgindo um problema durante o processo produtivo este é detetado e resolvido, não passando para a estação seguinte. Liker and Morgan (2006); Nakaue (2021)

No centro da casa do TPS encontramos a melhoria contínua que pressupõe a constante resolução de problemas e eliminação de desperdícios associados à atividade da empresa realçando o contributo das pessoas.

2.1.3 Princípios *Lean Thinking*

O termo *lean* baseia-se em fazer mais com menos. Pressupõe utilizar a menor quantidade de esforço, energia, equipamento, tempo, espaço de instalação, materiais e capital enquanto oferece aos consumidores exatamente o que eles precisam. Agregado ao sistema *Lean Production* surge o *Lean Thinking*. Esta filosofia de pensamento surge em paralelo com a expansão da aplicabilidade do *lean* a outros setores da indústria, ao mundo do trabalho e da gestão do conhecimento. Womack and Jones (1997) definiram os 5 princípios sobre os quais assenta o pensamento *lean*:

1. **Valor:** O valor apenas pode ser estabelecido pelo consumidor final. É imperativo perceber o que o consumidor valoriza, o que considera que acrescenta valor ao produto e aquilo que está disposto a pagar.
2. **Cadeia de Valor:** Identificação das atividades que contribuem para obter as especificações do cliente. As atividades que não agregam valor são consideradas desperdício.
3. **Fluxo:** Deve ser criado um fluxo contínuo de materiais e informações sendo produzido apenas aquilo que é necessário e no momento em que é necessário. Adicionalmente deve se dar preferência à produção em pequenos lotes de forma a evitar desperdícios, nomeadamente excessos de inventário e esperas.
4. **Sistema Pull:** O cliente dá o arranque da produção. A empresa produz apenas o que o cliente necessita, quando necessita e com as especificações de produto definidas.
5. **Melhoria Contínua:** Não existe um final no processo de reduzir tempo, espaço, custos e erros. A empresa deve ser uma organização de aprendizagem e encontrar sempre formas de melhorar de dia para dia.

Os primeiros quatro princípios previnem os desperdícios no processo produtivo. O quinto princípio faz do pensamento *lean* e da melhoria contínua uma parte da cultura organizacional. Em conjunto, os cinco princípios propiciam a criação de uma organização eficiente e eficaz - criam competitividade, aumentam o valor entregue aos clientes, diminuem o custo associado ao negócio e melhoram a rentabilidade das empresas (Do, 2017a).

2.1.4 Os 3 Ms: *Muda, Mura e Muri*

Uma das principais barreiras para a implementação de metodologias *lean* é a dificuldade de identificar e isolar os desperdícios presentes na atividade de uma empresa. Os termos japoneses *Muda*, *Mura* e *Muri* destacam-se como práticas que geram desperdícios. Os três termos significam respectivamente desperdício, variabilidade e sobrecarga (Smalley, 2020).

O termo **Muri** representa a sobrecarga para além dos limites quer de máquinas, quer de pessoas. Quando presente durante um longo período de tempo pode resultar em absentismo e doenças por parte dos operadores e, ainda, avarias de máquinas. O *standard work* surge como uma técnica para evitar o *Muri*, através do desenho do processo e consequente distribuição da carga de trabalho de forma uniforme (Do, 2017b).

Por sua vez, o termo **Mura** representa as variações, não-uniformidades e irregularidades no processo. Por exemplo, quando numa linha de produção duas estações consecutivas têm capacidades diferentes, assistiremos a uma acumulação de resíduos sob a forma de sobreprodução, espera, entre outros. O sistema *Just-in-Time*, um dos pilares do TPS referido anteriormente apresenta-se como uma boa prática como forma de evitar a sobreprodução e o excesso de inventário, isto é, o *Mura* (Do, 2017b).

Por fim, **Muda** ou desperdício representa qualquer atividade que consuma recursos sem criar valor para o cliente. Ohno identificou os 7 principais tipos de desperdícios representados na Figura 2.2 também conhecidos como os 7 *Muda* de Ohno (Wahab et al., 2013):



Figura 2.2: Os 7 desperdícios adaptado de (Wahab et al., 2013)

2.1.5 Orientação para o *Gemba*

O *Gemba* representa o local onde as coisas realmente acontecem. Podemos, também, olhar para o *Gemba* no seu contexto mais vasto e numa perspetiva distinta da produção industrial. Na cultura Japonesa a palavra *Gemba* é utilizada no dia a dia com a conotação “Lugar real”. Em contexto de negócio as atividades que acrescentam valor para o consumidor final acontecem no *Gemba*. Assim, dependendo da indústria, o *gemba* será diferente.

Independentemente do contexto, revela-se essencial que os líderes passem tempo no *Gemba* com dois propósitos principais. Primeiramente, fomentar a consciência da possibilidade de melhoria dos processos. Segundo, e relacionado com o anterior, avaliar a capacidade de manter a estabilidade do sistema de gestão. De certa forma, ao acompanharem e vivenciarem a cadeia de

valor surge a oportunidade de identificar etapas dos processos produtivos ou serviços passíveis de serem eliminadas e simplificar as operações. O *Gemba* propicia uma melhor qualidade a um menor preço.

2.2 *Kaizen e Total Flow Management*

A filosofia *Kaizen* tem vindo a ser cada vez mais adotada em organizações de todo o mundo, desde empresas de produção, a hospitais e bancos. Trata-se de uma palavra Japonesa que significa “mudar para melhor” e que se aplica a aspetos da vida pessoal, social e profissional. Segundo (Imai, 2012), apesar desta abordagem ser feita de forma incremental com melhorias pequenas e graduais, o impacto das mudanças a longo prazo é impressionante em termos de qualidade, custos, segurança e motivação. O processo de melhoria e as respectivas mudanças devem contar com o envolvimento tanto de operadores como de gerentes. As abordagens nas quais o *Kaizen* se baseia apresentam um baixo risco para as organizações uma vez que é possível retornar ao estado inicial sem incorrer em grandes custos.

O *Kaizen Institute* desenvolveu um modelo que permite a implementação do TPS, o *Total Flow Management*. O *Total Flow Management* representa uma estratégia chave da abordagem *lean* e consiste na criação de um sistema com fluxo *pull* tanto na produção como na logística. Baseia-se num fluxo integrado de materiais e informações com o propósito de obter resultados inovadores que assegurem qualidade, redução de custos e melhorias dos prazos de entrega. (Euclides, 2013; Imai, 2012)

O modelo do *Total Flow Management* encontra-se representado na Figura . Os três pilares - fluxo de produção, fluxo interno de logística e fluxo externo de logística - abordam em conjunto toda a extensão da cadeia de abastecimento numa solução integrada de excelência operacional.

Tabela 2.2: Ferramentas do *Total Flow Management*. Adaptado de (Euclides, 2013)

5. <i>Design</i> da cadeia de abastecimento		
1. Fluxo de Produção	2. Fluxo Interno de Logística	3. Fluxo Externo de Logística
Automação de baixo custo	Planeamento de produção <i>pull</i>	Planeamento logístico <i>pull</i>
SMED	Nivelamento	Fluxo de entregas externas
Trabalho padronizado	Sincronização	Fluxo de fonte
Bordo de linha	<i>Mizusumashi</i>	<i>Milk Run</i>
<i>Design</i> de linha	Supermercados	<i>Design</i> de armazenamento
4. Fiabilidade Básica		

Fluxo de produção: Um dos passos para atingir o TFM passa pela melhoria do fluxo de produção com o objetivo de atingir um fluxo peça-a-peça, conseguir flexibilidade nas alterações (*changeovers*), criar um fornecimento de componentes flexível e eficiente e melhorar a eficiência do operador.

Fluxo Interno de Logística: Este domínio inclui todo o movimento de materiais no interior da área de produção, desde a receção da matéria-prima até à expedição do produto final. Por outro

lado, engloba ainda o fluxo de informação relacionado com o manuseamento de encomendas pedidas pelos consumidores. Estas encomendas, após efetuadas, integram o plano e escalonamento de produção.

Fluxo Externo de Logística: O terceiro domínio inclui todos os fluxos externos de materiais para as instalações de produção, bem como a criação dos fluxos de informação relacionados.

Para completar o modelo de TFM, existem, ainda, dois pilares fundamentais (Chavunduka, 2020):

Fiabilidade Básica: trata-se de desenvolver a estabilidade em termos de recursos humanos, máquinas, materiais e métodos (4M).

Design da cadeia de abastecimento: refere-se à elaboração de uma cadeia de abastecimento capaz de assegurar um fluxo total de materiais e informação. São aplicadas ferramentas *standard*, como o mapeamento do fluxo de valor (para representar o fluxo de material e informação) ou o diagrama de *spaghetti* (uma representação gráfica dos fluxos físicos).

O TFM traduz-se assim num modelo que pode desencadear uma melhoria significativa no desempenho de qualquer processo da cadeia de abastecimento e incorpora o poder de uma transformação *lean* completa para qualquer organização.

Tendo em conta o âmbito do projeto desenvolvido iremos aprofundar o bordo de linha e o trabalho *standard* relativamente ao domínio do fluxo de produção e o supermercado, o *mizusumashi* e a sincronização (através do sistema *kanban*) relativos ao domínio do fluxo interno de logística.

2.2.1 Supermercado de Abastecimento

Um supermercado define-se como uma área logística interna descentralizada para o armazenamento intermédio de peças localizado na proximidade das linhas de montagem que consomem as peças. Estas estruturas encontram-se associadas ao conceito *Just-in-Time*, uma vez que permitem colocar os materiais no local em que são necessários, linhas de produção ou montagem, de forma atempada e na quantidade correta (Battini et al., 2016; Emde and Boysen, 2012).

A concepção de um supermercado de abastecimento assenta sobre alguns princípios que levam ao seu bom funcionamento (Euclides, 2013):

- Cada componente tem uma localização fixa na estrutura. Alterações devem ser o menos frequente possível;
- Deve providenciar acesso fácil para *picking* ao longo do supermercado;
- Permite a gestão visual (identificação das localizações e esquema da disposição dos materiais);
- Assegura o princípio *First In First Out*;
- Deve assegurar o fácil manuseamento das peças de forma a garantir a segurança e o fluxo da produção a um ritmo constante.

O conceito de supermercado apresenta algumas vantagens quando utilizado no contexto da indústria automóvel uma vez que esta se caracteriza por possuir pouco espaço disponível nas linhas de produção. Os supermercados são reabastecidos a partir do armazém central com comparativamente grandes camiões industriais, enquanto que as estações de trabalho são abastecidas por pequenos comboios de reboque. Por um lado, o abastecimento de contentores de menores dimensões facilita o armazenamento próximo da linha. Por outro lado, o fornecimento de peças em pequenos lotes e curtas distâncias possibilita um rápido planeamento das entregas, o que permite o ajuste de forma mais flexível a acontecimentos imprevistos (Emde and Boysen, 2012). Este conceito apresenta-se na Figura 2.3.

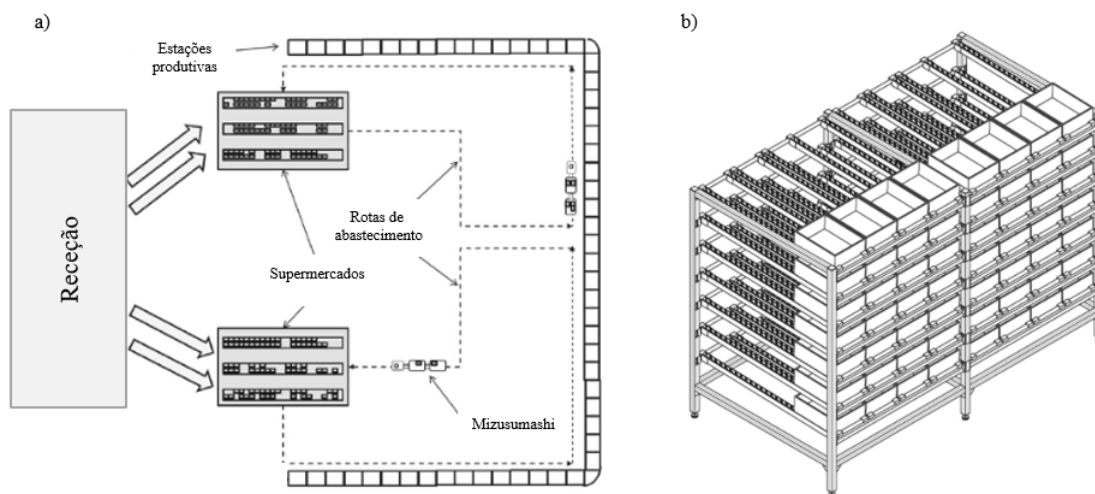


Figura 2.3: Supermecados no chão de fábrica. a) Conceito de uma fábrica com dois supermercados. b) Estante de supermercado. Adaptado de (Emde, 2017)

Como referido anteriormente e representado na figura 2.3, sendo os supermercados estruturas descentralizadas e com capacidade limitada de inventário, a sua utilização implica a utilização de um *mizusumashi* para abastecimento de peças aos pontos de uso.

2.2.2 *Mizusumashi*

As empresas, principalmente na indústria automóvel, procuram adequar os seus processos logísticos às necessidades dos princípios da produção *lean*, o que resulta em novos conceitos de abastecimentos de materiais (Droste and Deuse, 2011). A metodologia de produção *pull* em paralelo com a alta variedade de produtos levou à necessidade de um método que permitisse a redução de *Muda* de movimentação, a libertação de espaço da fábrica e uma maior rotação de *stocks* de forma a facilitar o controlo de inventários. Assim surge o comboio logístico, também conhecido como *mizusumashi* ou *in-plant milk run*, para substituir o transporte direto segundo um sistemas de empilhadores por uma circulação constante em pontos de entrega consecutivos.

O *mizusumashi* consiste num sistema de transporte que movimenta materiais desde a área de armazenamento até aos vários pontos de utilização em rotas previamente definidas e em curtos e

fixos períodos de tempo (Vilda et al., 2020; Euclides, 2013). Durante o seu percurso, o comboio logístico desempenha um conjunto de tarefas de forma repetitiva que permite um fluxo de material contínuo (Euclides, 2013).

1. Preparação e/ou recolha de contentores com material no supermercado;
2. Transporte de contentores para os *points of use* (POU) seguindo uma rota padrão pré-determinada;
3. Descarregamento dos contentores nos locais de armazenamento específicos dos POU;
4. Recolha dos contentores vazios retornados pelos operadores da linha de produção;
5. Transporte dos contentores vazios para o armazém;
6. Colocação dos contentores vazios no respetivo local de armazenamento.

A figura 2.4 apresenta de forma sintetizada o fornecimento de matéria-prima por via do *mizusumashi*:

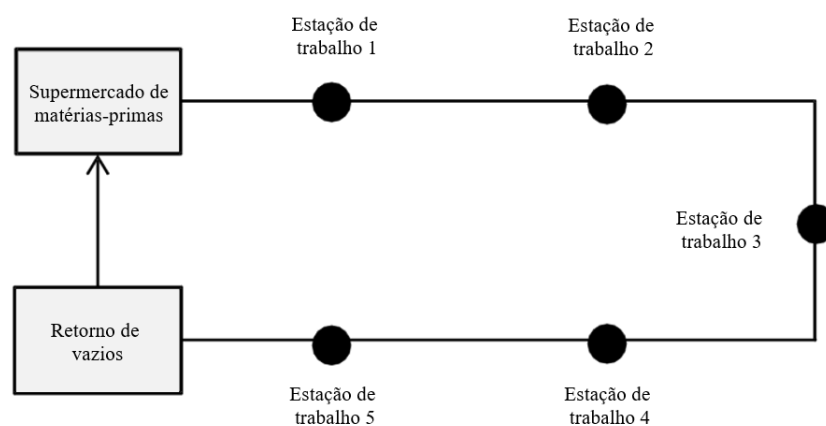


Figura 2.4: Estrutura base do fornecimento de material por via do *mizusumashi*. Adaptado de (Droste and Deuse, 2011)

As principais etapas envolvidas no desenho de um sistema de abastecimento por *Mizusumashi* são (Euclides, 2013):

1. Elaborar uma lista de tarefas a realizar pelo comboio logístico;
2. Fazer uma estimativa do tempo de ciclo associado a cada tarefa;
3. Desenhar uma rota circular no layout e definir os pontos de paragem;
4. Estruturar um comboio apropriado à quantidade de materiais a abastecer;
5. Testar o comboio com as carruagens vazias e verificar a viabilidade e segurança da estrutura;

6. Preparar os supermercados dos lados do consumidor e do fornecedor;
7. Fazer testes ao comboio, medir tempos e eliminar mudas;
8. Elaborar a folha com o trabalho e tempos padrão para todas as tarefas, denominada *standard work sheet*;
9. Calcular o tempo total do ciclo de abastecimento de toda a rota.

2.2.3 O sistema *kanban*

A sobreprodução manifesta-se indubitavelmente como sendo um dos desperdícios mais perigosos na atividade de uma empresa. Num mercado cada vez mais imprevisível que provoca alterações constantes no plano de produção, a sobreprodução surge à medida que o princípio *just-in-case* se sobrepõe ao *just-in-time*. O *kanban* surge como um sistema de controlo do pensamento *lean* que evita a produção de peças em excesso, assegurando em simultâneo um nível mínimo de inventário e o *takt time* (tempo de ciclo que varia de acordo com a procura de mercado) (Chiarini, 2013).

A palavra *kanban* tem origem japonesa e refere-se a sinalização. Um cartão *kanban* representa precisamente uma ordem de material entre dois intervenientes - um consumidor e um fornecedor - não necessariamente situados no mesmo nível da cadeia de abastecimento. Um exemplo de um cartão *kanban* é ilustrado na figura (Chiarini, 2013; Rick Harris and Wilson, 2003).

Supplier	To
A*** P***	Beta - AS6 cell - Entry 2
Part number and name	
654BF-S6 - Pump body	
Bar-code	
	
Location	# Kanban
AS6-Entry 2	3/6
Container	Container capacity
European container 600 x 400	50

Figura 2.5: Exemplo de um *kanban*. Adaptado de (Droste and Deuse, 2011)

Os cartões informam aos operadores das etapas precedentes os recursos consumidos nas etapas que os sucedem, funcionando como um pedido de reposição do produto. Desta forma, o sistema *kanban* funciona no sentido contrário ao sentido normal do fluxo produtivo, verificando-se a produção *pull*. Para garantir o fluxo de informação, circula entre os intervenientes um número definido de cartões *kanbans* normalmente associados aos contentores de materiais. Esta associação permite à empresa utilizar contentores de tamanhos *standard* que podem ser entregues em

vários POU e entregar diferentes componentes. Desta forma os cartões tornam-se económicos, fáceis de manusear e de transportar (Chiarini, 2013; Rick Harris and Wilson, 2003).

Tradicionalmente existem dois tipos de *kanban*: o de produção e o de transporte. O *kanban* de produção atribui a permissão para produzir um determinado produto. O *kanban* de transporte envolve o transporte de componentes para uma célula ou processo produtivo (Chiarini, 2013). No desenvolvimento desta dissertação iremos implementar o *kanban* de transporte como auxílio no fluxo de matéria-prima e o *kanban* de produção a propósito do fluxo de informação de semiacabados.

Ao implementar o sistema *kanban* no processo produtivo, o número de *kanbans* em circulação deve permitir fazer face a imprevistos que vão surgindo, nomeadamente, avarias, afinações e não conformidades. Quando isto não se verifica, o fluxo é interrompido constantemente e a capacidade produtiva diminui. Rick Harris and Wilson (2003), no livro *Making Materials Flow* referem que o cálculo do número de *kanbans* de transporte para cada componente requer 4 informações (Rick Harris and Wilson, 2003):

- A frequência de entrega do comboio logístico;
- Identificação da rota de abastecimento como sendo acoplada ou desacoplada do carregamento dos contentores e colocação dos mesmos nas carruagens;
- A quantidade máxima de componente a ser entregue em cada rota do comboio logístico;
- A quantidade de componente a ser entregue em cada contentor.

A Equação 2.1 é apresentada no mesmo livro como solução para calcular o número de cartões *kanban* para um dado componente.

$$N = \frac{A \cdot N \cdot B}{C} \quad (2.1)$$

Onde:

A= consumo médio do componente por unidade de tempo

N= fator de acoplamento, onde n=3 se rota acoplada e n=4 se rota desacoplada

B= frequência da rota por unidade de tempo

C= número de componentes transportados por contentor

2.2.4 Bordo de Linha

O bordo de linha refere-se ao local onde ocorre o armazenamento de todas as matérias primas necessárias ao fluxo de produção de uma peça, operando como uma interface entre a produção e a logística. A localização eficiente do bordo de linha permite minimizar movimentos desnecessários dos operadores, transporte e inventários desnecessários. A Figura 2.6 permite visualizar o movimento dos contentores o supermercado logístico e as estações produtivas através do bordo de linha (Euclides, 2013).

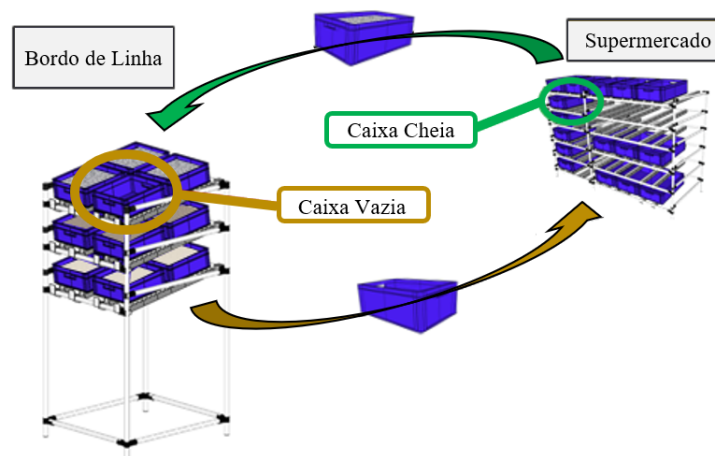


Figura 2.6: Movimento entre bordo de linha e supermercado. Adaptado de (Lean, 2023)

Um bordo de linha bem desenhado deve respeitar 4 critérios principais (Euclides, 2013):

- A localização do material no bordo de linha deve minimizar as movimentações do operador responsável pelo abastecimento das linhas de produção;
- A localização dos contentores deve minimizar o movimento de recolha dos operadores de produção;
- O tempo necessário para a mudança de uma referência na produção deve ser aproximadamente zero;
- A reposição de materiais na linha deve ser intuitiva e instantânea.

De forma a cumprir estes critérios, a localização das peças, o tipo de contentores a utilizar e o fluxo desses mesmos contentores deve ser cuidadosamente definido e alinhado entre os departamentos de engenharia industrial e logística. Por vezes, não é possível colocar o bordo de linha na frente do operador devido ao layout das linhas. Contudo, o foco principal deve ser a minimização dos movimentos dos trabalhadores através da localização dos pontos de recolha e abastecimento dos contentores o mais próximo possível do seu local de manuseamento (Euclides, 2013).

2.2.5 *Standard Work* ou Normalização do trabalho

O conceito de normalização do trabalho surgiu na *Toyota* como forma de minimizar movimentos desnecessários dos trabalhadores, proporcionando a criação de melhorias nos processos de produção. O estabelecimento de movimentos standard foca-se na adição de valor ao promover a utilização de movimentos curtos e intuitivos. (Jeffrey Liker, 2007; Euclides, 2013)

A implementação de processos produtivos normalizados passa pela definição de uma sequência de tarefas a serem executadas, dos tempos necessários para executar cada uma delas e as normas de qualidade a serem alcançadas por cada uma delas. (Euclides, 2013)

O *Lean Manufacturing* concentra-se na maximização da eficiência do processo produtivo e na minimização de desperdícios através da melhoria contínua, trabalho em equipa e eliminação de atividades que não acrescentam valor ao processo. O *standard work* é um componente essencial nesta abordagem uma vez que cria consistência e previsibilidade nos processos de trabalho, facilitando a identificação e eliminação de ineficiências. O desenvolvimento do trabalho padronizado atribui às empresas a capacidade de reduzir variações e caos nas suas atividades, conduzindo a resultados superiores. (Jeffrey Liker, 2007; Euclides, 2013)

Assim, ao definir padrões claros para as atividades, o *standard work* promove a eliminação de desperdícios *Muda, Mura e Muri*, estabiliza a geração de *stocks* intermédios (WIP) e facilita a deteção de problemas e anomalias. (Euclides, 2013)

2.3 Outras ferramentas *Lean*

2.3.1 5S

A metodologia 5S é uma das ferramentas *lean* mais aplicadas. Caracteriza-se por tornar visíveis os problemas à medida que é aplicada, fomentando a resolução de problemas e melhoria contínua dos processos. No universo *Lean* destaca-se por possibilitar simultaneamente o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade do produto acabado, a segurança e proteção dos colaboradores e por introduzir os princípios básicos de gestão e controlo visual. A denominação 5S deve-se à origem japonesa das 5 palavras que constituem o método, as quais se referem a práticas de limpeza e disciplina de trabalho. As 5 fases da metodologia podem ser descritas como (Chiarini, 2013):

- **Seiri** (Triagem): O termo Seiri significa escolher e separar e representa a primeira etapa para a implementação da metodologia 5S. Esta etapa relaciona-se com a identificação das atividades úteis ao processo e separação das atividades inúteis. Assim, o que é desnecessário no chão de fábrica é removido reduzindo-se os defeitos e interferências na cadeia de valor;
- **Seiton** (Organização): A segunda etapa passa por identificar o local de trabalho, nomeadamente as ferramentas, equipamentos e componentes utilizados no processo. Esta prática torna mais rápido e intuitivo para os trabalhadores encontrar e utilizar os materiais que precisam;
- **Seiso** (Limpeza): O termo Seiso significa limpar. Nesta terceira etapa, o objetivo é melhorar as condições do local de trabalho através da adoção de métodos de limpeza sobre os materiais utilizados no processo produtivo;
- **Seiketsu** (Normalização): Na quarta etapa criam-se normas e instruções com o objetivo de manter o local de trabalho consistentemente limpo e organizado;
- **Shitsuke** (Disciplina): A quinta etapa tem como objetivo assegurar que a empresa é capaz de manter e melhorar a ordem e arrumação alcançadas. Uma boa prática passa por realizar

inspeções de forma regular e colocar os respectivos relatórios numa área comum de forma a manter os colaboradores conscientes.

Os 5S normalizam a gestão diária do local de trabalho, e para isso é necessário um certo rigor e disciplina na sua aplicação uma vez que estes fazem parte de uma rotina de longa duração. Os indicadores de performance utilizados para medir a sua eficiência passam pela produtividade, quantidade de espaço ganho, defeitos, lead time e ainda acidentes.

2.3.2 Gestão Visual

A gestão visual manifesta-se como um ingrediente intrínseco do TPS e seus derivados, nomeadamente a produção Lean. Corresponde a uma técnica que permite melhorar o desempenho de uma organização por meio de estímulos visuais que comunicam informações importantes de forma clara e fácil de entender (Steenkamp et al., 2017).

Segundo (Steenkamp et al., 2017) quando aplicada corretamente a gestão visual permite aumentar a eficiência, reduzir erros, melhorar a qualidade e impulsionar a inovação numa organização.

A gestão visual relaciona-se com a metodologia 5S principalmente nas etapas “*Seiton*” e “*Seiketsu*” ao evitar a sobrecarga de informação visual. A redução de atividades desnecessárias e consequente criação de processos uniformes, simples e limpos permite diminuir estímulos visuais irrelevantes. Ao desenvolver dados visuais adequados e medidos, como marcações, é facilitada a captura apenas de informações pertinentes e o raciocínio e tomada de decisão ocorrem de forma mais rápida e intuitiva (Koskela et al., 2018).

Alguns exemplos de gestão visual são cartões *kanban*, identificações de áreas, etiquetas e *standard work*.

Capítulo 3

Descrição do Problema

Neste capítulo é primeiramente descrita a situação inicial da linha de produção, através da apresentação do produto, do processo produtivo e da caracterização do sistema de abastecimento utilizado. Numa segunda fase, após conhecida a linha produtiva, é realizada uma análise crítica do ponto de vista do fluxo de materiais e da metodologia 5S, terminando com a identificação dos problemas existentes neste âmbito.

Importa realçar que a empresa se encontra numa fase desafiante de validação de linha onde é esperado um crescimento acentuado acompanhado de constantes mudanças. Assim, ao longo do período de desenvolvimento do presente projeto são expectáveis alterações da disposição das estações nas linhas de produção, reformulação de processos produtivos, alteração do local de consumo de componentes, entre outros. Estas mudanças, apesar de esperadas são imprevisíveis e terão influência direta no trabalho desenvolvido. Desta forma, a situação inicial deve ser considerada apenas como ponto de partida, sendo necessário estar constantemente a par do processo produtivo e haver flexibilidade nas soluções apresentadas para este tipo de ocorrência.

3.1 Contextualização e caracterização da área produtiva

Este projeto engloba a produção do motor híbrido TSG DL. A implementação da área de produção iniciou-se em 2022, tendo sido produzidas as primeiras peças em outubro do mesmo ano. A linha encontra-se em fase de pré-produção estando a validação com o cliente agendada para a semana 33 do corrente ano, e o *Start Of Production* (SOP), isto é, o início da fase de produção em série, agendado para 2024.

A Figura 3.1 apresenta um gráfico que compara o valor do tempo de ciclo observado na semana 9, definido a partir do *bottleneck* de cada linha de produção, com o tempo objetivo definido com o cliente. Com a análise do gráfico é possível concluir que o tempo de ciclo se encontra bastante superior ao de 120 segundos, sendo a situação mais alarmante no caso da linha E-MT 1300.

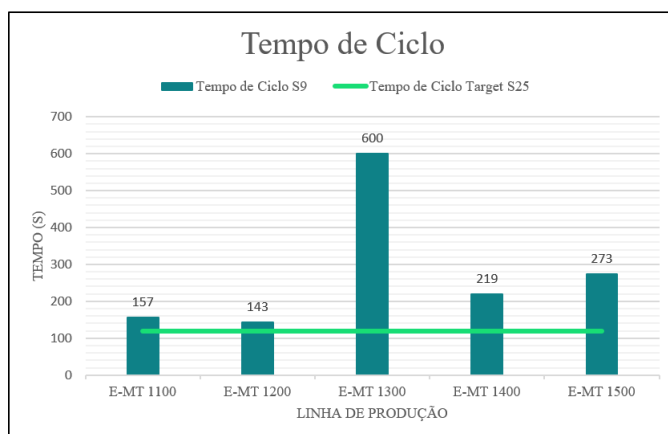


Figura 3.1: Tempo de ciclo registado na semana 9 em comparação com o *takt time*

Atualmente, a produção diária apresenta variação, tendo dias com cerca de 30 peças produzidas e dias sem qualquer nível de produção. Esta variação justifica-se ou por motivos externos, uma vez que a quantidade encomendada se baseia nestes números, ou por motivos internos como falhas de equipamentos, intervenções nas máquinas, ou roturas de *stock* de matérias primas. A evolução da quantidade de peças produzidas entre outubro e fevereiro encontra-se representada no gráfico da Figura 3.2.

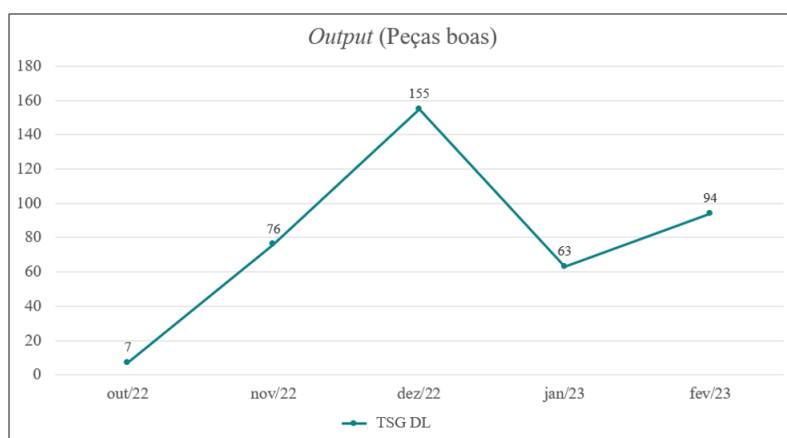


Figura 3.2: Quantidade de peças boas produzidas entre outubro e fevereiro

Esta unidade é composta por 12 colaboradores a operar num turno de 8 horas, 5 dias por semana. O valor de *takt time* de 120 segundos encontra-se associado à produção prevista para o ano de pico, 2026. A produção em massa inicia em 2024 e neste cenário a unidade irá operar com 90 operadores em 3 turnos diários com uma capacidade de produção de 220 peças por turno.

3.1.1 Layout do Processo

A área produtiva do motor é composta por 5 linhas de produção denominadas: *Stator Assembly*, *Motor Assembly*, *PE Integration*, *Final Assembly* e *Final Test*. A localização designada para

as linhas foi determinada de forma a garantir um fluxo contínuo entre as mesmas evitando o cruzamento de semiacabados. Na figura 3.3, é possível analisar o *layout* da área produtiva, realçando a disposição de cada linha e do armazém.

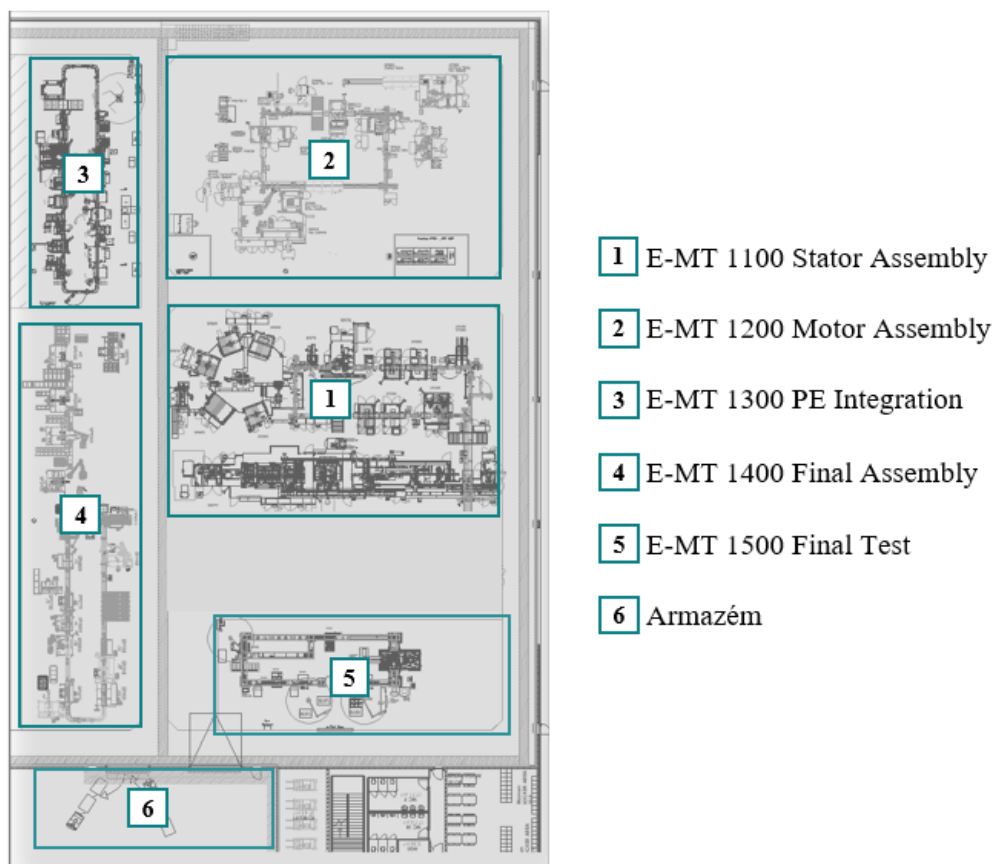


Figura 3.3: *Layout* da fábrica com sinalização das linhas produtivas e do armazém de matérias-primas

3.1.2 Processo Produtivo

Linha E-MT 1100 Stator Assembly

O processo produtivo inicia-se na Linha E-MT 1100. Esta linha é composta por oito estações, e nela são consumidos seis componentes em seis estações produtivas.

Na primeira estação é feita a colocação manual de uma laminação na paleta que corre na linha, seguindo-se a inserção automática de um papel característico e de fio de cobre, previamente dobrado. De seguida é realizado um teste elétrico de forma automática. Na estação seguinte, é feita a colocação do verniz, a introdução manual do componente *busbar* e a máquina procede à soldadura. Na penúltima estação é realizado o teste elétrico de final de linha de forma a garantir que a peça está dentro das conformidades. Por fim é realizada uma última inspeção e o *Stator*, produto final desta linha de produção, é removido da paleta.

Linha E-MT 1200 Motor Assembly

A linha E-MT 1200 é, por sua vez, composta por nove estações e consome um total de onze componentes divididos por cinco estações produtivas.

Na primeira estação ocorre a montagem manual de laminações, anéis de balanceamento e magnéticos, seguindo-se a operação mista da inserção do componente *shaft*. Destas operações surge o *rotor* que é submetido a uma operação automática de moldagem, uma operação mista de balanceamento e uma última operação automática de magnetização. Posteriormente, é introduzido o *Stator* no fluxo produtivo, através da execução do "*hot drop*" do mesmo dentro do componente *stator housing*. Após esta estação ocorre a inserção do *rotor* dando origem ao motor. Por fim é realizado um teste automático ao motor, seguindo-se uma inspeção visual. O produto final desta linha produtiva denomina-se *E Motor*.

Linha E-MT 1300 PE Integration

A linha E-MT 1300 é composta por componentes elétricos pelo que se trata de uma área de proteção ESD. Contempla catorze estações de produção e no total são consumidos dezanove componentes em seis estações.

Na primeira estação é colocado na paleta da linha o MGI e é realizado o *pré assembly* do componente *inverter*. A paleta segue para uma estação mista onde ocorre o *assembly* de diversos componentes. Segue-se uma operação automática de soldadura e inspeção. Após isto, em estações mistas é colocado um magnético no motor e efetuado o aparafusamento do *inverter* ao motor. Segue-se uma soldadura a laser e inspeção automática. Depois, é feito o *assembly* do componente *DC filter* e o seu aparafusamento, sendo esta operação mista. Seguidamente, realiza-se o dispensamento de silicone numa operação automática e o *assembly* e aparafusamento da *cover* numa operação mista. Numa última fase são realizados testes de fuga e elétricos e é efetuada uma última inspeção. Estando o motor dentro das especificações é efetuada a marcação a laser e o produto final, denominado MGI, é retirado da paleta da linha.

Linha E-MT 1400 Final Assembly

A Linha E-MT 1400 é composta por dezasseis estações produtivas. O consumo de matérias primas é feito em treze estações, sendo consumidos quarenta e oito componentes diferentes.

Numa primeira fase ocorre a preparação do *housing* e a pré-montagem da caixa de engrenagens em três estações mistas consecutivas. Segue-se a inserção do MGI no *housing* e o *assembly* de conectores ao mesmo em 2 estações também de operações mistas. Após estas operações o motor é submetido a um teste automático para avaliar fugas de água. Caso a peça esteja dentro das conformidades procede-se à montagem da *cover* e do solenoide à peça em duas estações mistas. Segue-se o aparafusamento automático dos parafusos e o *assembly* de cabos numa estação mista. Posteriormente, é realizado um teste final de fuga à peça. Por fim a peça é colocada na posição correta para remoção da linha e é inserido o óleo. Desta forma, é obtido o produto final desta linha, denominado de *TSG Assembly*.

Linha E-MT 1500 *Final Test*

A linha E-MT 1500 está sujeita à norma TISAX, que se trata de uma norma de segurança da informação desenvolvida especificamente para a indústria automotiva. Por este motivo, encontra-se rodeada por uma jaula e o acesso à linha é extremamente restrito. Esta linha é composta por sete estações distintas e são consumidos cinco componentes nas duas últimas estações de trabalho.

Na primeira estação é colocado o *TSG Assembly* na paleta que corre no tapete de linha. Seguidamente é efetuado um teste automático denominado *End of Line* de forma a validar o motor. Caso a peça esteja dentro das conformidades procede-se ao *flash* automático da peça seguindo-se o *assembly* das restantes cápsulas. Posteriormente, é realizada uma operação automática que consiste na marcação a laser e dispensação de lubrificante. Na última estação é retirado o motor da linha e colocado em carrinhos avançando para o muro de qualidade. Finalmente, o produto final desta linha denomina-se TSG DL.

Armazém

O armazém de matéria-prima está localizado numa área separada da produção. Está responsável por todas as atividades logísticas relacionadas com a preparação das matérias primas antes da entrada na produção. Tendo em consideração o propósito do projeto, podemos realçar algumas atividades realizadas na área do armazém: receção e *repacking* da matéria-prima, colocação das caixas nas *racks* localizadas na zona de *picking* e destinadas a este propósito e a montagem do comboio logístico.

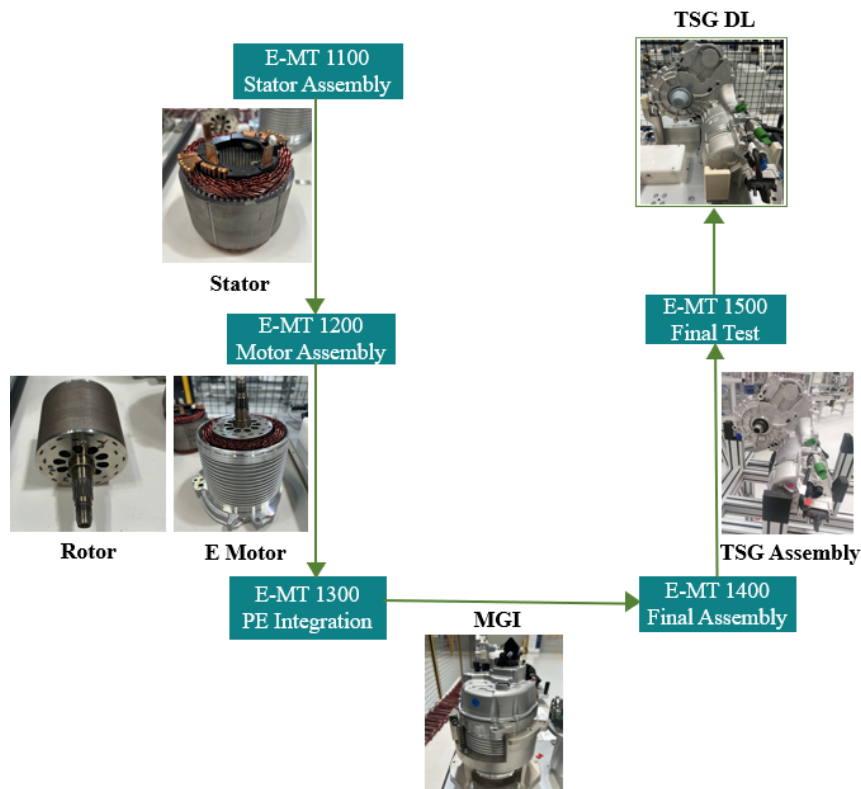


Figura 3.4: Fluxograma do processo produtivo

No Fluxograma representado na Figura 3.4 encontra-se uma visão geral do processo produtivo descrito anteriormente complementado com uma imagem de cada um dos semiacabados e do produto final.

3.1.3 Método de abastecimento de matéria-prima

As linhas de produção contêm cerca de trinta e duas estações produtivas dependentes do consumo de matéria-prima. Atualmente, o processo de abastecimento dos materiais não se encontra ainda definido.

3.1.3.1 Armazenagem e Transporte

As movimentações de componentes entre o armazém e a produção são feitas de forma manual ou com recurso a um porta paletes quando a quantidade de material requisitada assim justifica. O porta paletes transporta numa paleta de dimensões 1200x800 milímetros até dois níveis de caixas.

Por motivos de contaminação do ar e requisitos de limpeza da planta para garantir a qualidade do produto final, o departamento de qualidade estabeleceu uma política que proíbe a presença de caixas ou paletes de cartão na zona de produção. Assim, torna-se obrigatório o *repackaging* de todo o material que vem do fornecedor na zona do armazém. As caixas são a unidade de carga individual maioritariamente utilizada no transporte de componentes entre o armazém e a produção. Existem 14 tipos de caixas que variam entre si nas dimensões e no material pelo qual são compostas. Estão disponíveis 4 tipos de dimensões laterais e 3 níveis de altura. Relativamente ao material existem caixas de plástico e caixas de material ESD. Na Figura 3.5 estão representadas as dimensões externas das caixas segundo a ordem comprimento, largura e altura.

Dimensões externas	
Plástico	Material ESD
600x400x120	600x400x120 ESD
600x400x175	600x400x175 ESD
600x400x220	600x400x220 ESD
400x300x145	400x300x145 ESD
400x300x220	400x300x220 ESD
300x200x145	300x200x145 ESD
175x100x75	175x100x75 ESD

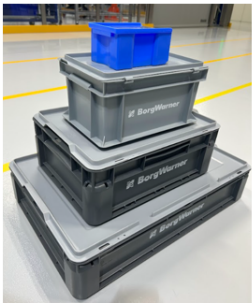



Figura 3.5: Unidade de carga da matéria-prima

3.1.3.2 Fluxo de informação

A Borgwarner opera segundo uma estratégia *make-to-order*. As ordens de produção são geradas a partir de informações de encomendas recebidas pelo cliente ou pelos centros de investigação internos. O processo de requisição de componentes é realizado pelo *Team Leader* da produção. Tendo conhecimento do planeamento da produção, o TL verifica as necessidades das linhas produtivas e efetua o pedido do material necessário ao armazém. O TL do armazém emite a guia e os operadores logísticos procedem ao abastecimento dos componentes.

3.1.3.3 Fluxo de materiais

Após a preparação dos materiais no armazém, o operador logístico inicia o abastecimento. O circuito percorrido pelo operador não se encontra normalizado dependendo de três variáveis: o operador que está a efetuar o abastecimento, a quantidade que está a ser abastecida e as linhas às quais é necessário entregar o material. A quantidade e frequência de componentes a abastecer tem uma elevada instabilidade o que é uma consequência do estado embrionário da implementação do projeto. Na chegada às estações produtivas a ação do operador logístico varia conforme a linha em que se encontra.

- Nas linhas **E-MT 1100** e **E-MT 1200** as caixas são deixadas em supermercados de bordo de linha que se encontram junto à estação onde os componentes são consumidos ou em paletes;
- A linha **E-MT 1300** possui dois supermercados localizados na lateral junto ao corredor. Estes supermercados funcionam como uma interface entre a logística e a produção, evitando a entrada de pessoas para abastecer componentes numa linha com algumas restrições de movimentação;
- Relativamente à linha **E-MT 1400** os componentes são colocados numa paleta situada no chão num ponto central da linha, junto ao corredor pedonal;
- A linha **E-MT 1500**, estando submetida a requisitos rigorosos de proteção de informação, possui, tal como na linha E-MT 1300, um supermercado que funciona como interface entre a logística e a produção.

À exceção das linhas E-MT 1300 e E-MT 1500, que possuem os supermercados nos bordos externos da linha produtiva, as restantes linhas possuem um supermercado com capacidade para duas horas junto à grande maioria das estações produtivas, colocados pelos fornecedores das máquinas. Esta capacidade encontra-se dimensionada tendo em conta o *cycle time* objetivo de 120 segundos por peça. Estes supermercados não estão a ser utilizados de forma normalizada pela logística por dois motivos. Primeiro, as prateleiras não se encontram devidamente identificadas e o operador logístico não tem conhecimento do local exato onde são consumidos cada um dos componentes. Segundo, não estando definido o plano para cada um dos componentes, o mesmo componente chega à produção em caixas de tamanhos diferentes pelo que as caixas muitas vezes não coincidem com o espaço disponível nas prateleiras.

O transporte dos componentes desde o ponto onde são deixadas pelo operador logístico até ao local de consumo é nos casos em que isto se aplica, da responsabilidade do operador da produção. Este transporte é feito de forma manual, aquando da produção, quando o material disponível no local de consumo acaba e surge a necessidade de componentes.

Na Figura 3.6 é possível analisar o processo de abastecimento dos materiais às linhas por meio de um diagrama *swimlane*. A finalização do processo significa que as caixas foram colocadas no respetivo ponto de consumo.

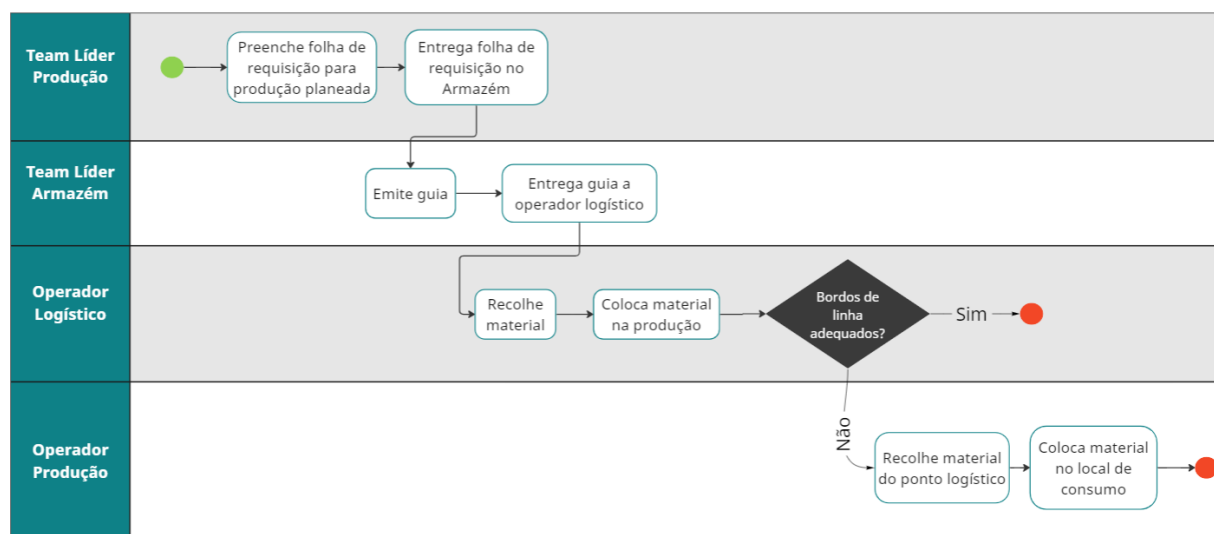


Figura 3.6: *Swimlane* do processo de abastecimento de matérias-primas a partir do armazém

3.1.4 Método de abastecimento de semiacabados

Como referido anteriormente existem quatro semiacabados, o *Stator*, o *E Motor*, o MGI e o *TSG Assembly* que servem de input às linhas E-MT 1200, E-MT 1300, E-MT 1400 e E-MT 1500, respetivamente. O fluxo destas peças entre as linhas produtivas não se encontra ainda definido.

3.1.4.1 Armazenagem e transporte

O processo de abastecimento de semiacabados é executado de forma manual ou com recurso a carrinhos. Cada peça possui um carrinho dedicado no qual é transportada. A frota de carrinhos contempla um carrinho para o *Stator*, dois carrinhos para o *E Motor*, dois carrinhos para o MGI e quatro para o *TSG Assembly*. Na Figura 3.7 é possível observar cada um dos carrinhos e a respetiva capacidade e dimensões externas.

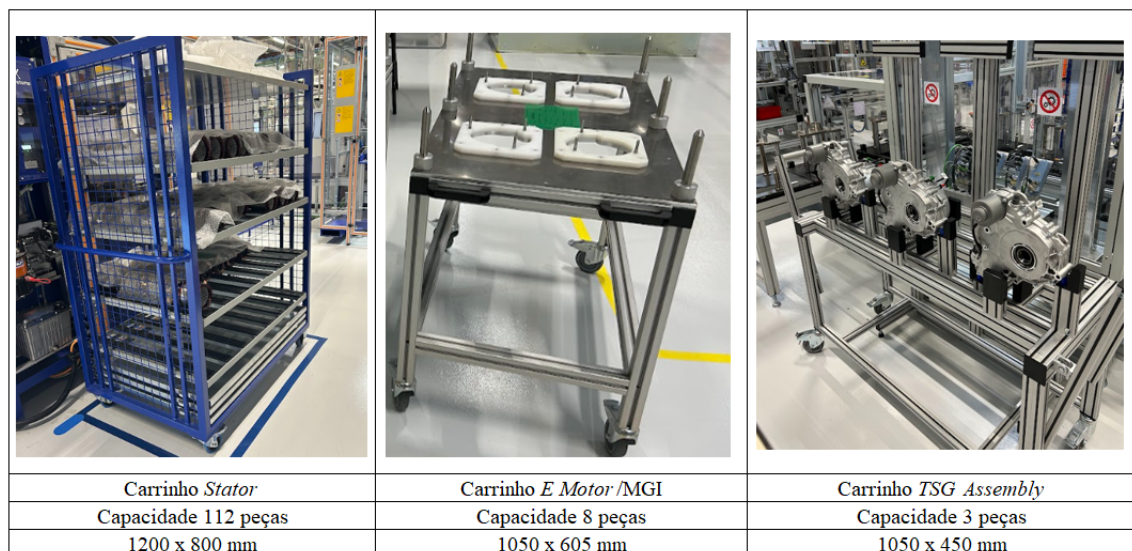


Figura 3.7: Frota inicial de carrinhos de transporte de semiacabados

O *Stator* é armazenado no carrinho transporte uma vez que a capacidade de carga do carrinho assim o permite. O *TSG Assembly* é, também, armazenado no carrinho de transporte dado o peso excessivo e dimensões que dificultam o manuseamento da peça. No caso do *E Motor* e do *MGI* as peças são armazenadas em caixas de esferovite individuais. Estas caixas são por sua vez colocadas em paletes que se encontram nas linhas em que as peças são produzidas. Na figura B.1 do Anexo B é possível visualizar o armazenamento do *E Motor* e do *MGI*.

3.1.4.2 Fluxo de semiacabados

O movimento dos semiacabados é realizado pelos operadores de produção, não existindo um operador completamente dedicado a este tipo de tarefas acíclicas. Desta forma, os operadores de cada uma das linhas são responsáveis por recolher no respetivo local de aprovisionamento o semiacabado que vai integrar a produção dessa linha. Nas estações em que as peças estão armazenadas em caixas de esferovite é necessário ao operador colocar as peças nos respectivos para as movimentar. Este processo juntamente com a baixa capacidade dos carrinhos levam à existência de elevadas movimentações, havendo, novamente, desperdício de tempo e recursos.

3.2 Análise crítica e identificação de problemas

Após algumas semanas de observação no chão de fábrica foram identificados vários problemas quer no processo de abastecimento de matérias-primas, quer no movimento de semiacabados entre as linhas de produção. Por outro lado, a implementação da metodologia 5S nas instalações é recente havendo uma notória falha na organização, identificação e limpeza dos postos de trabalho.

O atual sistema de fluxo de matérias-primas retira produtividade aos processos que acrescentam valor ao produto. A falta de método dos movimentos logísticos promovida pela inexistência

de rotas de abastecimento e recolha geram inconsistências no fluxo de trabalho, causando interrupções e dificuldades na coordenação das atividades. No processo de abastecimento, cada operador tem a liberdade de escolher a rota que deseja seguir, sem uma orientação clara. Essa falta de padronização na seleção de rotas pode levar a escolhas ineficientes em termos de distâncias e tempos de deslocamento. Importante também destacar que a utilização de um porta paletes com carga reduzida para transporte de matérias primas resulta num maior número de viagens para entrega do material.

Em termos de bordos de linha, estes foram colocados nas instalações pelos fornecedores de cada linha produtiva pelo que não se encontram adequados à forma como os materiais são abastecidos internamente. Por outro lado, o processo de *repackaging* dos componentes, realizado pelos operadores logísticos, não se encontra normalizado pelo que o mesmo componente pode chegar à linha em caixas de diferentes tamanhos. Isto gera não apenas um desperdício de recursos como também compromete a rastreabilidade dos componentes. Na Figura B.2 presente no Anexo B observam-se duas situações que representam este problema.

Ainda relacionado com o fluxo de matéria prima, verificou-se a falta de um fluxo de informação associado à mesma. A não padronização do fluxo de informação provoca ineficiências no planeamento de produção. A análise das folhas de requisição de material realizadas pelo TL da produção revelou uma grande variabilidade na quantidade pedida, o que dificulta a gestão de inventário em armazém. Por outro lado, não havendo uma clara visibilidade do consumo nas estações produtivas, a quantidade requisitada acaba por ser abastecida na totalidade, provocando o excesso de material nas linhas, como é exemplificado na Figura B.3 presente no Anexo B.

Em termos de fluxo de semiacabados verificou-se um excesso de movimentações resultado da baixa capacidade de carga dos carrinhos. Além disso, foi observado que o modo de armazenamento não apenas ocupava espaço adicional no chão de fábrica mas também apresentava um risco de segurança e qualidade. A instabilidade da esferovite juntamente com a falta de cuidado por parte do operador tem associado o risco de queda das peças.

A propósito de avaliar a implementação da metodologia 5S foi realizada uma auditoria a cada uma das linhas produtivas. Foram identificadas oportunidades de melhoria, principalmente, no que diz respeito à organização e limpeza dos postos de trabalho. Destacam-se os seguintes exemplos:

- Bordos de linha não identificados, quer do lado do abastecimento, quer do lado da recolha. Por um lado, a não identificação dos bordos de linha impossibilita ao operador logístico a colocação das caixas nos locais de consumo provocando uma quebra no fluxo. Por outro lado, adiciona tempos ao processo de *picking* do operador da produção que necessita de verificar as etiquetas das caixas para perceber qual é o componente em questão. (Figura B.4, Anexo B)
- A inexistência de marcações do chão de fábrica, nomeadamente carrinhos, caixas e estruturas móveis, tornam as atividades rápidas em atividades demoradas. (Figura B.5, Anexo B)

- Postos de trabalho desorganizados, tendo por vezes panos, luvas e documentação espalhados pelas bancadas. A falta de hábitos de limpeza compromete a segurança dos colaboradores e retira produtividade aos processos.(Figura B.6, Anexo B)

Na Tabela 3.1 é feito um resumo dos problemas encontrados. Para uma melhor organização e compreensão os problemas identificados e seus respectivos desperdícios e consequências foram divididos em três áreas principais: fluxo de materiais-primas, fluxo de semiacabados e metodologia 5S e gestão Visual.

Tabela 3.1: Síntese dos problemas encontrados

Área	Problema	Desperdício	Consequência
Fluxo de matérias-primas	Bordos de linha desadequados aos materiais a abastecer	Inventário; Movimentações; Transporte.	Quebras no fluxo de logística interna; Excesso de material nos pontos logísticos; Tempo despendido pelos operadores de produção a movimentar componentes até ao local de consumo.
	Falta de normalização do processo de abastecimento	Movimentações; Tempo de espera.	Movimentações desnecessárias; Paragens produtivas por falta de componentes.
	Inexistência de sistema de fluxo de informação	Inventário.	Roturas de inventário com frequência; Excesso de materiais nas linhas.
Fluxo de semiacabados	Estruturas de armazenamento desadequadas	Inventário; Defeitos.	Excesso de espaço ocupado; Risco de queda e destruição das peças armazenadas.
	Capacidade de carga reduzida	Movimentações; Tempo de espera.	Excesso de movimentações entre linhas; Tempo despendido à espera de peças.
	Falta de normalização do processo de abastecimento	Tempo de espera; Inventário.	Movimentações desnecessárias; Excesso de semiacabados nas linhas;
5S e gestão visual	Falta de gestão visual	Processamento; Tempo de espera.	Tempo despendido à procura de componentes e ferramentas; Desorganização do chão de fábrica.
	Falta de hábitos de limpeza	Processamento; Tempo de espera.	Postos de trabalho desorganizados; Menor produtividade dos processos.

Capítulo 4

Metodologia

4.1 Concepção do sistema de fluxo de matérias-primas

Para atender à necessidade da *BorgWarner* de criar uma fábrica mais simples e eficiente em termos de manuseamento de materiais, a concepção de um sistema de manuseamento de materiais simples e eficaz foi fundamental. Esse sistema tem como objetivo permitir que os materiais fluam suavemente pelas instalações, garantindo precisão e redução de custos. De forma mais concreta é necessário (Rick Harris and Wilson, 2003):

- Desenvolver um processo que descreva com grande precisão o manuseamento dos materiais ao longo do seu percurso nas instalações
- Criar supermercados de bordo de linha para todos os componentes a entrar na planta;
- Iniciar um sistema de abastecimento dos componentes até ao ponto de consumo;
- Integrar o novo sistema de manuseamento de materiais com o sistema de gestão de informação através do uso de sinais *pull* de forma a garantir que apenas as partes consumidas pelas estações são repostas nos bordos de linha.

4.1.1 Estruturação dos bordos de linha

4.1.1.1 Formulação do *Plan For Every Part*

A introdução de um sistema de manuseamento de componentes torna necessário, numa primeira fase, compreender o comportamento de cada peça, desde o embalamento inicial do fornecedor até ao embalamento interno e a forma como é entregue ao ponto de consumo. Apesar de alguma desta informação existir, encontrava-se guardada em diversos locais pelo que a sua análise não era fácil nem intuitiva. Desta forma foi elaborado o *Plan For Every Part* (PFEP) que compila todas as informações importantes dos componentes em apenas um documento.

A estrutura do documento contém cinco páginas independentes correspondentes às cinco linhas de produção. Cada página contempla a listagem de todos os componentes consumidos na

respectiva linha. Após algum pensamento crítico, optou-se por incluir no PFEP os elementos presentes na Tabela C.1 do Anexo C

Primeiramente, foram preenchidos os dados previamente conhecidos relativos à informação do componente e do fornecedor, isto é, "*part information*" e "*supplier information*". Posteriormente, para a definição do internal packaging foram tidos em consideração alguns fatores:

- O peso máximo estabelecido pelo departamento de Segurança e Higiene no Trabalho para uma caixa cheia é de oito quilogramas;
- A frequência de abastecimento é 1 vez por hora o que corresponde a 30 peças produzidas. Assim, de forma a maximizar o uso eficiente das matérias primas, sempre que possível a quantidade a colocar na caixa deve ser um número múltiplo de trinta;
- Priorizar a utilização de caixas de menores dimensões sempre que estas tenham capacidade para 30 ou mais componentes de forma a reduzir o espaço ocupado no transporte e na planta;
- Considerar o *packaging* do fornecedor, principalmente em componentes de pequenas dimensões, como parafusos, que habitualmente vêm em grandes quantidades por saco, no sentido de evitar a existência de caixas abertas no armazém.

Durante a análise verificou-se que no caso dos componentes 61022242, 2021666 e 2022272, as dimensões e peso impossibilitam levar mais do que uma peça por caixa o que resulta num consumo de 30 caixas por hora para cada um dos componentes. Este ponto já tinha sido previamente discutido na empresa que optou por abastecer estes componentes em carruagens dedicadas.

Finalizado o estudo, o departamento de logística procedeu à elaboração das instruções de repackaging de forma a garantir que os operadores logísticos procediam à correta construção das caixas, normalizando este processo.

A Tabela C.2 apresentada no Anexo C contempla a informação proveniente do PFEP importante a retirar como input para os próximos passos de dimensionamento dos bordos de linha e estruturação do comboio logístico. As células a laranja representam os componentes a serem abastecidos em carruagens dedicadas. O número de caixas consumido por hora de produção foi calculado a partir da equação 4.1, arredondando para o número inteiro superior:

$$\text{Caixas p/hora} = \frac{\text{Número de peças produzido p/ hora} \cdot \text{Quantidade de componentes utilizado p/ peça}}{\text{Quantidade de peças p/ caixa}} \quad (4.1)$$

4.1.1.2 Dimensionamento e localização dos bordos de linha

Os bordos de linha traduzem-se para cada componente como a interface entre a produção e a logística. O processo iniciou-se com uma análise cuidada dos materiais e respectivos pontos de consumo. Primeiramente efetuou-se a marcação no *layout* dos materiais consumidos em cada estação produtiva. O resultado deste estudo encontra-se na Figura D.1 do Anexo D.

Os componentes representados a azul são abastecidos em racks que se encontram incluídas nas máquinas já tendo o bordo de linha estruturado e implementado. Para os restantes componentes procedeu-se ao dimensionamento destas estruturas. Foram consideradas 3 variáveis chave: a capacidade necessária, o espaço disponível nas linhas e a proximidade aos pontos de consumo.

A empresa decidiu operar com rotas de abastecimento com intervalos de uma hora. Isto significa que no caso das linhas E-MT 1100, E-MT 1200 e E-MT 1400 os bordos de linha devem ter o tamanho correspondente a 2 ciclos de abastecimento, isto é, 1 hora de inventário a ser consumido pelo operador de produção e uma hora de inventário a ser entregue pelo operador logístico. Por sua vez, no caso das linhas E-MT 1300 e E-MT 1500, uma vez que estas possuem o supermercado de interface com capacidade para 1 hora de produção, os bordos de linha junto às estações produtivas apenas necessitam de ter capacidade para 1 ciclo de abastecimento. Em ambos os casos encontra-se implícito o espaço para o retorno de caixas vazias. Assim, o dimensionamento do bordo de linha individual foi calculado como representado nas equações 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

$$\text{Capacidade BDL} = \text{Caixas consumidas} + 1 \text{ caixa} \quad (4.2)$$

$$\#61024401 = 3 + 1 = 4 \text{ caixas} \quad (4.3)$$

$$\text{Profundidade BDL} = \text{Capacidade BDL} \cdot \text{Profundidade da caixa} \quad (4.4)$$

$$\#61024401 = 4 \cdot 400 = 1600 \text{ mm} \quad (4.5)$$

O espaço contemplado para a caixa extra tem como objetivo solucionar um problema de espaço que possa surgir nomeadamente quando o operador da logística se adianta nas suas tarefas e o operador da produção está uns minutos atrasado.

No Figura D.2 presente no Anexo D é possível visualizar a ocupação e os locais definidos para os diferentes bordos de linha e respetivos componentes. De notar que na proposta diversos componentes serão abastecidos no mesmo ponto, em estruturas com múltiplos alimentadores

De seguida, foi efetuada uma análise no chão de fábrica das estruturas existentes e comparação com as necessidades. Em conjunto com a equipa da manutenção foi iniciado um estudo para perceber que estruturas poderíamos alterar internamente de forma a não incorrer em gastos. A Figura D.3 presente no Anexo D resume os bordos de linha reutilizadas sem necessidade de alteração (sublinhado a cinzento), os necessários a pedir de raiz a fornecedores (sublinhado a verde) e os que serão reestruturados internamente com recurso ao material inutilizado (sublinhado a azul).

Relativamente às estruturas a comprar, foram contactados dois fornecedores. Foi efetuada uma visita à empresa de forma a recolher todas as medidas e informações necessárias. Uma vez recepcionados os desenhos e cotações procedeu-se à análise e validação das propostas. Dada a urgência da recessão das estruturas na planta e tendo em conta a quantidade a encomendar, optou-se por dividir as encomendas entre as duas empresas. Procedeu-se ao pedido interno da requisição

de compra e envio da ordem assim que rececionada.

4.1.2 Elaboração comboio logístico

Estando definidos os supermercados de bordo de linha, foi iniciada a implementação do sistema de abastecimento através do comboio logístico. A empresa tem como ideia inicial alocar apenas um comboio ao projeto. Como referido anteriormente, as estações produtivas devem ser abastecidas uma vez por hora, pelo que, a rota do comboio logístico terá, também, uma frequência de uma passagem por hora em cada paragem logística. Por outro lado, as cinco linhas produtivas precisam de ser abastecidas com matéria prima proveniente do armazém, havendo um total de 93 componentes diferentes a serem abastecidos. Desta forma torna-se necessário fazer um estudo sobre a viabilidade de fazer o abastecimento total em apenas uma volta do comboio.

4.1.2.1 Tarefas a realizar pelo comboio

Segundo Coimbra (2013) a primeira etapa na implementação do *mizusumashi* contempla a definição das tarefas a executar pelo mesmo. As tarefas atribuídas pela empresa ao operador logístico que conduz o *mizusumashi* são:

1. *Picking* dos componentes no armazém de matéria-prima;
2. Abastecer os componentes nos bordos de linha;
3. Recolher as caixas vazias e os sinais *pull*, isto é, cartões *kanban*;
4. Separar as caixas vazias no armazém de matéria prima

4.1.2.2 Definição da rota e paragens do comboio logístico

Após a análise do capítulo anterior, iniciou-se a percepção dos locais aos quais o operador logístico precisa de se dirigir ao longo da execução de uma rota de abastecimento. Estes contemplam as zonas de *picking* e separação de caixas no armazém, os bordos de linha e os supermercados das linhas E-MT 1300 e E-MT 1500 e correspondem a um total de 33 pontos de abastecimento. Em virtude de balancear os deslocamentos do operador logístico desde as carruagens até aos abastecimentos com as paragens e arranques do comboio logístico definiram-se 15 paragens.

A rota deve passar em todos os pontos logísticos e percorrer a menor distância possível. Os corredores apresentam uma largura de 1600 mm pelo que os deslocamentos devem ser unidirecionais. Na Figura E.1 presente no Anexo E é possível analisar a solução obtida para o percurso contemplando as paragens do comboio logístico, numeradas pela ordem de passagem e os pontos de abastecimento, identificados de A a Z7. O percurso inicia-se no armazém, na zona de *picking*. Segue até à zona de produção e aqui segue a direção do processo produtivo. Ao chegar à linha E-MT 1400 torna-se necessário contornar a mesma uma vez que possui pontos de abastecimento em todas as extremidades. Por fim, retorna ao armazém.

4.1.2.3 Desenho comboio logístico

Atualmente na empresa existem 3 veículos para realizar as tarefas do comboio logístico. A nível de carruagens a empresa comprou 4 carruagens, uma *standard* e 3 não *standard*, destinadas a testes internos, com dimensões úteis de 1200x800 milímetros.

Inicialmente foi realizado um teste de forma a perceber a quantidade de carruagens que o comboio consegue transportar dado as limitações de espaço. Foi identificado um ponto crítico no corredor junto à linha E-MT 1500 onde o curto espaço disponível levou a que a terceira carruagem batesse na grade delimitadora da linha produtiva. Assim, juntamente com o fornecedor, conclui-se que a melhor solução para aumentar a capacidade de carga do comboio seria optar por carruagens com as características:

- Espaço útil de 900x900 milímetros
- Carruagens *standard*: três prateleiras tendo duas delas espaço para dois níveis de caixas e uma espaço para um nível de caixas.
- Carruagens não *standard*: capacidade mínima de 30 peças por carruagem.

Na Figura 4.1 é possível observar o desenho validado para as carruagens.

			
Carro <i>standard</i>	Carro não <i>standard</i> #2021666 Capacidade 30 peças	Carro não <i>standard</i> #2022272 Capacidade 36 peças	Carro não <i>standard</i> #61022242 Capacidade 30 peças

Figura 4.1: Desenho das carruagens e respetiva capacidade das carruagens não *standard*

Relativamente às carruagens não *standard* em virtude de garantir o fluxo do sistema de abastecimento é necessário um total de três carruagens por componente: uma a ser consumida pelo operador de produção, uma a ser abastecida pelo comboio logístico e outra vazia. Contudo, nesta fase optou-se por encomendar apenas uma versão de cada, de forma a validar a estrutura e não incorrer em custos prescindíveis.

A determinação da quantidade de carruagens *standard* necessária considerou a rota previamente definida e a quantidade de caixas consumidas por hora para cada componente. Com o auxílio do *software Autocad* procedeu-se à composição das prateleiras com caixas na ordem em que serão abastecidas. A quantidade de caixas está arredondada para o número inteiro superior,

pelo que, em determinados componentes, se encontra superestimada. Isto é, por exemplo, em componentes que consomem 2,5 caixas por hora, foram consideradas 3 caixas para o estudo. Esta decisão foi tomada no sentido de garantir que, mesmo num pior cenário em que é necessário a quantidade máxima para uma hora de todos os componentes, o armazém possui os recursos necessários para efetuar o abastecimento. O resultado encontra-se representado nas Figuras E.2 e E.3 presentes no Anexo E. Concluiu-se uma necessidade de 4 carruagens. Na Tabela E.1 no Anexo E é possível observar a taxa de ocupação de cada uma das prateleiras. As prateleiras vazias nas carruagens 3 e 4 destinam-se à colocação das caixas vazias a ser recolhidas pelo operador logístico. Apesar de nesta fase ainda não ter sido validada a rota, a empresa optou por comprar os 4 carrinhos, dado a sua necessidade para outros projetos com uma *deadline* mais reduzida.

4.1.2.4 Simulação do cenário inicial

A empresa possui na planta os recursos necessários para a execução de uma rota do comboio, isto é, o veículo, carruagens, caixas e operadores logísticos. Nesta fase a taxa de ocupação de cada um destes recursos é reduzida pelo que a execução de uma simulação do abastecimento em ambiente real se torna viável sem incorrer em custos e desperdícios.

Assim, a avaliação da viabilidade de fazer o abastecimento total em apenas uma volta do comboio será fundamentada por um estudo de tempos e movimentos complementado e validado por simulações em ambiente real. A empresa definiu um limite de 80% por hora para a taxa de ocupação do comboio logístico.

Estudo de tempos e movimentos

O estudo de tempos e movimentos do percurso a efetuar pelo comboio seguiu três etapas:

1. Listagem das tarefas primárias a executar pelo operador e atribuição dos respetivos tempos padrão. Estes tempos foram obtidos a partir de um estudo feito na empresa para um projeto similar. O resultado encontra-se na Tabela E.2 do Anexo E.
2. Dimensionamento das distâncias entre as várias paragens do comboio e as carruagens e os bordos de linha com recurso ao *software Autocad*. O resultado encontra-se nas Tabelas E.3 e E.4 presentes no Anexo E.
3. Cálculo do tempo de ciclo do comboio logístico com recurso à ferramenta *excel*.

Para o cálculo do tempo de ciclo foi desenvolvida a Equação 4.6. Esta equação resulta do somatório de três parcelas que representam respetivamente o tempo estimado para as tarefas executadas no armazém, o tempo associado às deslocações do comboio logístico e o tempo de abastecimento em cada paragem.

$$TC = \frac{\text{Tempo}}{\text{Armazem}} + \text{Ciclo Vazio} + \sum_{i=1}^{15} \frac{\text{Tempo}}{\text{Paragem}_i} \quad (4.6)$$

De notar que, para o cálculo do tempo de ciclo foram utilizados valores médios para o número de caixas entregues por hora com o objetivo de não superestimar consistentemente a quantidade

de tempo necessária para esta rota. O cálculo foi efetuado como exemplificado na Tabela 4.1 para a paragem 7.

Tabela 4.1: Tempo de abastecimento na paragem 7

Part Nr	Descrição da atividade	Tipo de Caixa	Fração caixas p/hora	Tempo total da tarefa (S)
	Sair da cabine e deslocar-se para carruagem			5
2015924	Picking caixas cheias	300x200x145	0,625	4,38
	Desloca-se para a rampa O			1,5
2015924	Abastece caixas	300x200x145	0,625	3
2015924	Recolhe caixas vazias	300x200x145	0,625	2,69
	Desloca-se para carruagem			1,5
2015924	Picking caixas cheias	300x200x145	0,625	4,38
	Desloca-se para a rampa O			1,5
2015924	Abastece caixas	300x200x145	0,625	3
2015924	Recolhe caixas vazias	300x200x145	0,625	2,69
	Desloca-se para carruagem			1,5
2019101	Picking caixas cheias	400x300x145	0,08	0,55
	Desloca-se para a rampa O			1,5
2019101	Abastece caixas	400x300x145	0,08	0,37
2019101	Recolhe caixas vazias	400x300x145	0,08	0,34
	Desloca-se para carruagem			1,5
2014469	Picking caixas cheias	300x200x145	0,375	2,63
	Desloca-se para a rampa O			1,5
2014469	Abastece caixas	300x200x145	0,375	1,8
2014469	Recolhe caixas vazias	300x200x145	0,375	1,61
	Desloca-se para carruagem			1,5
	Desloca-se para cabine			5
			TOTAL	49,42 s

Na Tabela 4.2 encontra-se o tempo de ciclo obtido pelo estudo efetuado para o abastecimento por comboio logístico. Verifica-se um tempo de ciclo de 77,5 minutos equivalente a uma taxa de ocupação de 129%. Esta duração, superior a uma hora, invalida para as tarefas definidas para o operador o abastecimento de todos os materiais em apenas uma volta do comboio.

Tabela 4.2: Tempos de ciclo obtidos no estudo teórico

Tempo/ Armazem (m)	Ciclo Vazio (m)	Tempo/ Paragem (m)	Tempo ciclo (m)	Taxa de ocupação por volta
18,9	21	37,6	77,5	129%

Simulação em ambiente real

Finalizado o estudo, a simulação em ambiente real realizou-se com três objetivos principais:

- Verificar se as tarefas e os tempos padrão utilizados se encontram de acordo com a realidade;
- Analisar se as paragens definidas para o comboio eram adequadas;
- Identificar melhorias no percurso.

Dado que não é possível fazer entregas parciais de caixas, a rota foi planeada tendo em consideração o número inteiro de caixas para cada componente, presente na coluna 8 da Tabela C.2 do Anexo C. Para executar a rota na planta, foi elaborado o método operativo do comboio com grande grau de detalhe e entregue ao operador logístico no dia anterior à simulação juntamente com o *layout* devidamente assinalado. Na Figura E.4 do Anexo E é possível observar como exemplo a primeira página do documento entregue. O objetivo foi familiarizar o operador com as tarefas a executar, aproximando a simulação de um cenário real. Toda a simulação foi gravada, para uma melhor análise dos tempos.

A simulação realizada teve uma duração total de 87 minutos. É importante notar duas condições que incutem alguma variabilidade ao valor real obtido. Por um lado, foram utilizadas caixas vazias, uma vez que não estando a empresa a produzir ao ritmo esperado para o SOP, não faria sentido criar um inventário junto aos bordos de linha que ficaria acumulado durante semanas. Por outro lado, o comboio tinha apenas 4 carruagens atreladas.

Após a simulação foram retiradas amostras de tempo das várias tarefas base e atualizados os tempos padrão para os presentes na Tabela E.5 do Anexo E. Para além disso foram identificadas duas melhorias ao percurso:

- Reduzir o número de paragens na linha E-MT 1400. As paragens encontram-se definidas na Figura E.5 presente no Anexo E. Dado o comprimento do comboio, as paragens definidas inicialmente revelaram-se ineficientes no abastecimento da linha.
- Utilizar rollers de dimensões 600x400 milímetros para abastecer o componente 61017377 cujo consumo é de 10 caixas por hora. Para além da elevada ocupação no comboio, o tempo associado ao abastecimento deste componente é considerável. Repetindo o estudo para o desenho do comboio verificou-se que utilizando os rollers apenas são necessárias 3 carruagens standard para o abastecimento.

Efetuada as alterações, foi repetido o estudo de tempos e movimentos e obtiveram-se os resultados presentes na Tabela 4.3. Verifica-se uma taxa de ocupação de 100% superior ao valor *target* definido de 80 %.

Tabela 4.3: Tempos de ciclo obtidos no estudo teórico - pós implementação de melhorias

Tempo/ Armazem (m)	Ciclo Vazio (m)	Tempo/ Paragem (m)	Tempo ciclo (m)	Taxa de ocupação por volta
21	6,6	32,5	60,1	100%

Como referido anteriormente, a empresa tinha definido dois pontos base para o ciclo de abastecimento: abastecer as linhas de produção em apenas uma volta e ser responsabilidade do operador do comboio o carregamento das carruagens, abastecimento e separação das caixas. Contudo, pela análise dos valores obtidos, estes objetivos não são compatíveis, pondo em causa o fluxo produtivo. Assim, foram elaborados dois cenários alternativos:

- Cenário 1: O comboio percorre dois percursos independentes e as tarefas mantêm-se;
- Cenário 2: O comboio percorre um percurso único em que as tarefas consistem em acoplar e desacoplar carruagens no armazém e efetuar o abastecimento das linhas.

4.1.2.5 Análise dos cenários propostos

Cenário 1

Com o objetivo de perceber a forma mais eficiente de dividir o percurso inicial, foi analisada a quantidade de caixas consumidas por hora em cada uma das linhas produtivas. O resultado encontra-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Estudo da ocupação de cada linha no processo de abastecimento

Linha	Caixas consumidas p/hora	Taxa de ocupação
E-MT 1100	0,94	1%
E-MT 1200	19,09	24%
E-MT 1300	16,95	21%
E-MT 1400	40,86	51%
E-MT 1500	1,64	2%

Sendo que as últimas 3 linhas consomem cerca de 74 % do valor médio de caixas abastecidas numa hora, optou-se por fazer um percurso responsável pelo abastecimento destas linhas produtivas e um outro percurso responsável por abastecer as linhas E-MT 1100 e E-MT 1200. A análise do tempo de ciclo e o desenho das carruagens foi efetuado pelos métodos exemplificados anteriormente. O resultado obtido para o tempo de ciclo encontra-se na Tabela 4.5. As rotas e paragens logísticas de cada percurso encontram-se representados na Figura E.6 do Anexo E, estando o percurso 1 representado a azul e o percurso 2 representado a verde.

Tabela 4.5: Tempos de ciclo obtidos no estudo teórico - Cenário 1

	Linhas Produtivas	Tempo/ Armazem (m)	Ciclo Vazio (m)	Tempo/ Paragem (m)	Tempo ciclo (m)	Taxa de ocupação por volta
Percurso 1	E-MT 1300	15,7	3,70	25,12	40,82	74%
	E-MT 1400					
	E-MT 1500					
Percurso 2	E-MT 1100	5,3	4,43	7,38	17,11	29%
	E-MT 1200					

O comboio que efetua o percurso 1 encontra-se ocupado 74% do tempo, pelo que será utilizado apenas para a área produtiva do projeto em estudo. O comboio responsável pelo segundo percurso encontra-se ocupado 29% do tempo do ciclo de abastecimento. Assim, torna-se possível a sinergia deste comboio com outros projetos da empresa.

Os custos associados a esta alternativa estão descritos na Tabela 4.6. A nível de custos anuais, o veículo apresenta um custo para a empresa de 350€ por mês, cobrado nos 12 meses do ano. Relativamente ao custo do operador, o cálculo foi efetuado considerando o custo por hora de 12,5€ do operador para a empresa, a necessidade de um operador por turno, a operar 3 turnos por dia, 21 dias por mês e 12 meses por ano. Para o Percurso 2, foi apenas contabilizado a percentagem por hora em que o operador e o comboio estão efetivamente a ser utilizados como recurso para o projeto em questão, isto é 37,5% do tempo esperado de atividade por hora (80%).

Tabela 4.6: Análise dos custos associados ao cenário 1

			Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Investimento inicial	Percurso 1	Carruagem Não Standard #2021666	3	3 473,37 €	10 420,11 €
		Carruagem Não Standard #2022272	3	2 436,62 €	7 309,86 €
		Carruagens Standard	3	1 750,00 €	5 250,00 €
		Rollers	1	350,00 €	350,00 €
	Percurso 2	Carruagem Não Standard #61022242	3	3 073,37 €	9 220,11 €
		Carruagens Standard	1	1 750,00 €	1 750,00 €
		Rollers	2	350,00 €	700,00 €
TOTAL				35 000,08 €	
			Quantidade	Custo Mensal	Custo Anual
Custo anual	Percurso 1	Veiculo	1	350,00 €	4 200,00 €
		Operadores	1	6 300,00 €	75 600,00 €
	Percurso 2	Veiculo	1	131,00 €	1 575,00 €
		Operadores	1	2 362,50 €	28 350,00 €
TOTAL				109 725,00 €	

Cenário 2

No cenário 2, a transferência das atividades de *picking* e separação de caixas para o operador de *repackaging* visa aliviar a carga de trabalho do operador do comboio logístico.

Ao analisar as tarefas a desempenhar pelo operador de *repackaging*, observou-se que o efetuava o embalamento das caixas internas e as colocava numa estante designada. Sendo a proposta colocar as caixas diretamente no carrinho que se encontra posicionado no local da estante a transferência das tarefas proposta apresenta um baixo impacto para este operador. Desta forma, ao chegar ao armazém, o operador logístico retira as carruagens existentes, acopla as carruagens previamente preenchidas e inicia o percurso. No cenário anterior, as carruagens eram sempre movimentadas

juntamente com o operador logístico, o que exigia ao projeto apenas o número suficiente de carruagens para um ciclo de abastecimento. Neste cenário, torna-se crucial existirem carruagens a efetuar o abastecimento de componentes e carruagens a serem preenchidas no armazém por via de assegurar um fluxo contínuo e eficiente. Portanto, será necessário adquirir o dobro do número de carruagens *standard* precisas para o cenário inicial.

Mais uma vez, o tempo de ciclo foi calculado de forma semelhante ao estudo de métodos e distâncias descrito anteriormente e o resultado obtido encontra-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Tempo de ciclo obtido para a execução do cenário 2

Tempo/ Armazem (m)	Ciclo Vazio (m)	Tempo/ Paragem (m)	Tempo ciclo (m)	Taxa de ocupação por volta
5	6,6	32,5	44,1	74%

Para este cenário obteve-se um tempo de ciclo de 44 minutos, que se traduz numa redução de 15 minutos, face ao ponto de partida e numa taxa de ocupação do comboio inferior a 80%. Os custos estimados para este cenário encontram-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Análise dos custos associados ao cenário 2

		Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
Investimento inicial	Carruagem Não Standard #2021666	3	3 473,37 €	10 420,11 €
	Carruagem Não Standard #2022272	3	2 436,62 €	7 309,86 €
	Carruagem Não Standard #61022242	3	3 073,37 €	9 220,11 €
	Carruagens Standard	6	1 750,00 €	10 500,00 €
	Rollers	1	350,00 €	350,00 €
		TOTAL		37 800,08 €
		Quantidade	Custo Mensal	Custo Anual
Custo anual	Veiculo	1	350 €	4 200 €
	Operadores	1	6 300,00 €	75 600,00 €
		TOTAL		79 800,00 €

Comparando os dois cenários, no longo prazo, o cenário 2 revela-se claramente mais vantajoso para a empresa. Um ano após o investimento inicial traduz-se numa poupança de 27 125,00 €. Foi proposto à *Borgwarner* avançar com este cenário para o abastecimento de matérias-primas. A proposta foi aceite e será implementada assim que o nível de produção o justifique.

Com o intuito de promover a eficiência e a padronização das operações do comboio logístico, foi desenvolvido o diagrama de atividades detalhado na Tabela E.6. Adicionalmente, será disponibilizada uma representação visual do layout, com a rota de abastecimento e os pontos de paragem logísticos devidamente sinalizados para orientar o operador de forma adequada.

Para complementar o processo de aprendizagem, serão realizados *workshops* destinados a todos os operadores do armazém, visando familiarizá-los com as operações relacionadas com o comboio logístico. O domínio das tarefas desempenha um papel fundamental para o bom funcionamento do comboio logístico e também na prevenção de acidentes.

4.1.2.6 Indicadores de desempenho

Com o intuito de monitorizar, controlar e avaliar o desempenho do sistema de fluxo de matérias-primas desenvolvido foram estabelecidos indicadores de desempenho considerados relevantes. Estes indicadores devem ser quantificados regularmente após a implementação do comboio logístico no chão de fábrica a fim de controlar a produtividade e eficiência do mesmo. A deteção de desvios dos valores esperados permitirá identificar problemas e desencadear ações corretivas ou de melhoria necessárias.

Foram definidos indicadores em quatro âmbitos considerados cruciais: qualidade, produtividade, motivação e entrega.

Os dados utilizados para o cálculo dos indicadores serão retirados de fichas de registo da atividade do comboio logístico e do MES - sistema de monitorização da atividade produtiva que está a ser implementado na empresa.

Como referido anteriormente, a existência de atrasos nos ciclos de abastecimento tem grande impacto na produtividade das linhas de produção podendo gerar paragens por falta de componentes nos pontos de consumo. Assim, de forma a avaliar a existência destes atrasos, foi criado o indicador de entrega presente na Equação 4.7:

$$\text{Taxa de cumprimento horário} = \frac{\text{Número de voltas iniciadas no horário previsto}}{\text{Número de voltas iniciadas}} * 100 \quad (4.7)$$

Para a medição da eficiência das rotas definidas, o indicador presente na Equação 4.8 pretende analisar a existência de viagens efetuadas em vazio, isto é, para transporte de um número de carruagens inferior ao esperado. Se o indicador se aproximar dos 100% indica que a rota se encontra ajustada às necessidades das linhas. Caso contrário, pode ser necessário redefinir o processo de abastecimento.

$$\text{Taxa de ocupação} = \frac{\sum \text{Número de carruagens acopladas por ciclo}}{\text{Número de ciclos} \cdot \text{Número máximo estimado de carruagens}} * 100 \quad (4.8)$$

De forma a avaliar a saturação do operador logístico foi desenvolvido o indicador presente na Equação 4.9. O tempo de ciclo de abastecimento deve ser indicado em horas dado que o número de ciclos corresponde ao número de horas ocorridas. O resultado obtido não deve ser superior a 80%.

$$\text{Taxa de saturação} = \frac{\sum \text{Tempo de ciclo de abastecimento}}{\text{Número de ciclos}} * 100 \quad (4.9)$$

O indicador presente na Equação 4.10 pretende avaliar os riscos de qualidade associados ao comboio logístico.

$$\text{Taxa de acidentes} = \frac{\text{Número de ocorrências de queda de carga}}{\text{Número de ciclos}} * 100 \quad (4.10)$$

4.1.3 Fluxo de Informação

O mizusumashi, para além de movimentar material, movimenta informação. De forma a completar o sistema de abastecimento tornou-se necessário definir o procedimento do fluxo de informação.

Foi definido que o fluxo de informação entre as linhas produtivas e o armazém de matéria prima seria baseado em *kanbans* de transporte. Os *kanban* permitem a uma estação requisitar apenas a quantidade de material que necessita, permitindo à empresa controlar de forma precisa as quantidades de componentes e tempos de movimento mantendo o inventário sob controlo. Os operadores de produção, ao iniciar o consumo de uma caixa, retiram o cartão *kanban* e colocam num suporte específico para esse efeito situado junto à estação produtiva. Durante a execução do percurso, o operador logístico recolhe os cartões e movimenta-os até ao armazém. Na figura 4.2, encontra-se ilustrado o *Kanban* de transporte definido que possui a informação: linha produtiva, estação e produto final, referência e descrição, tipo de caixa, quantidade a ser transportada por caixa, o número do cartão e a *supply area* à qual é entregue.

Linha		E-MT 1400 Final Assembly		Operação	0100
Código		2022535		Produto Final	TSG DL
Descrição		Roller bearing CRB NJ204 ECP		Supply Area	Masmec
Tipo cx		300x200x145	Qtd/cx	36	Nº cartão 1 / 4
25/03/2023	Código Barras	Produto 		Quantidade 	

Figura 4.2: Exemplo de *kanban* de transporte

Como referido anteriormente, o operador logístico está responsável unicamente por acoplar as carruagens no armazém. A montagem das caixas é realizada por outro operador sendo a montagem das carruagens e o acoplamento duas tarefas descontínuas. Desta forma a rota do mizusumashi caracteriza-se como desacoplada. O número de *kanbans* no sistema para uma rota acoplada é igual ao número de contentores consumidos em quatro vezes a frequência da rota (um ciclo a ser abastecido, um ciclo a ser consumido, outro à espera de ser recolhido e um último a ser preparado no armazém). Assim, o cálculo do número de *kanbans* efetua-se como representado na Equação 4.11:

$$N_{kanbans} = \frac{\text{Consumo por hora}}{\text{Quantidade padrão por caixa}} \cdot 4 \quad (4.11)$$

Por exemplo, para o componente 2015914 o número de *kanbans* necessário é 20.

$$\#2015914 = \frac{30}{6} \cdot 4 = 20 \text{ kanbans} \quad (4.12)$$

4.2 Definição do sistema de fluxo de semiacabados

Como referido na análise da situação inicial, o sistema do fluxo de semiacabados bem como o armazenamento e transporte dos mesmos não se encontram ainda definidos nem normalizados na empresa. Primeiramente, importa referir que aquando da produção em série, o planeamento e determinação da cadência do TSG DL será efetuado para a última linha produtiva, a E-MT 1500 tendo em conta a procura verificada. O fluxo de componentes nas restantes linhas será gerido por meio dos supermercados de semiacabados e de *kanban* de produção.

4.2.1 Cálculo do nível de inventário

A empresa definiu que o supermercado de semiacabados deve conter capacidade para um ciclo de abastecimento, isto é, 30 peças, mais o inventário de segurança.

O cálculo do inventário de segurança (IS), baseou-se no método apresentado no livro *Creating Level Pull* (Smalley, 2009) que considera a incerteza em duas variáveis, a volatilidade da procura, através do *buffer stock* e as perdas internas, através do *safety stock* pela Equação 4.13.

$$\begin{aligned} IS &= \text{Cycle Stock} + \text{Buffer Stock} + \text{Safety Stock} \\ &= (A \cdot B) + \alpha(A \cdot B) + \beta[(A \cdot B) + \alpha(A \cdot B)] \end{aligned} \quad (4.13)$$

Onde:

A = Procura média diária

B = *Lead Time*

α = Variação da procura

β = Fator de segurança

O *cycle stock* contempla o número de peças necessário para que o arranque das linhas ocorra em simultâneo, sem qualquer espera. Uma vez que ainda não existem dados históricos de produção, o valor da procura média diária utilizado baseou-se na previsão estimada para o ano de 2024, onde se espera um volume de produção equivalente a 514 peças por dia. A procura média diária é multiplicada pelo equivalente ao número de dias necessários para repor uma peça do semiacabado em questão, isto é, o *lead time* para reposição. Este valor foi obtido pela análise dos diagramas de *gantt* do processo produtivo de cada linha e apresenta um valor constante.

O *buffer stock* contempla a incerteza associada à procura, isto é, a probabilidade de haver um aumento da procura durante o período que antecede o próximo reabastecimento. O cálculo do IS para o produto final foi efetuado anteriormente na empresa. O valor utilizado para o *buffer stock* teve como base dados históricos de um produto anteriormente produzido na PDS com características semelhantes ao TSG DL. Para este período, foi verificado que a procura seguiu uma

distribuição normal pelo que a empresa adotou a técnica estatística dos desvios padrão para avaliar a variação da procura. O *buffer stock* foi definido a um nível de dois desvios padrão acima da procura média diária, de modo a compreender 95% das variações da procura e proporcionar uma margem de segurança adequada. Especificamente, para o produto em questão, o valor obtido correspondeu a 25% do *cycle stock*, sendo o mesmo valor o utilizado para o TSG DL. Uma vez que a variação da procura já se encontra absorvida no inventário do produto final, foi considerado um nível de proteção inferior para os semiacabados, correspondente a 10% do *cycle stock*.

Por sua vez, o *safety stock* contempla a incerteza associada ao *lead time* de reposição, isto é, as perdas internas por origem de sucata, retrabalho de peças ou paragem das máquinas que podem provocar um aumento no tempo necessário para repor uma peça. Na fase de arranque das linhas espera-se que a eficiência global dos equipamentos, indicador que contempla as perdas referidas, seja de 75%. Assim, foi considerado um fator de segurança de 25 %.

O resultado encontra-se na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Calculo do inventário de segurança para cada um dos semiacabados

	Stator	Emotor	MGI	TSG Ass
Procura média diária (peças)	514	514	514	514
Cycle time (seg)	120	120	120	120
Lead time (seg)	9265	4360	3120	2040
Lead time (dias)	0,11	0,05	0,04	0,02
Cycle stock	55	26	19	12
Variação da procura	10%	10%	10%	10%
Buffer stock	6	3	2	1
Fator de segurança	25%	25%	25%	25%
Safety stock	15	7	5	3
Inventário de segurança	76	36	26	17

Concluiu-se que é necessário criar armazenamento para um inventário de segurança de 76 peças *Stator*, 36 *E Motor*, 26 *MGI* e 17 *TSG Assembly*. Importa realçar que as incertezas adotadas foram baseadas em valores previstos e não em dados históricos. Portanto, é essencial monitorizar e rever estes valores à medida que seja criado um histórico das linhas de modo a obter uma análise mais precisa e uma adaptação contínua das estimativas.

4.2.2 Dimensionamento e estruturação dos supermercados e carrinhos

Estando definidos os níveis de inventário é necessário criar estruturas para armazenar as peças em todas as linhas produtivas. Numa primeira fase, dado algumas limitações no orçamento definido para o projeto, a empresa optou por criar estruturas apenas para garantir um ciclo de abastecimento, isto é, com armazenamento para no mínimo 30 peças. Estas estruturas serão de teste, isto é, apesar de a dimensão ser menor, o método de funcionamento será semelhante para o armazenamento do inventário total.

Stator

O carrinho presente na empresa apesar de uma grande capacidade, tinha bastantes falhas a nível ergonómico nomeadamente pelo modo de colocação das peças. Por outro lado, são necessários três carrinhos na planta (um a ser consumido, um cheio e um a ser abastecido). Uma vez que a empresa pretende operar com ciclos de abastecimento com uma frequência de uma hora, manter a estrutura inicial torna-se ineficiente a nível de fluxo e espaço ocupado. Assim, optou-se por desenhar uma nova versão com as dimensões mínimas necessárias que permitam guardar 30 *Stators*.

E Motor e MGI

A introdução do *E Motor* e do *MGI* nas linhas em que são consumidos é realizada com recurso a um manipulador. A peça tem que estar apoiada em três pinos e numa determinada posição, que varia entre as duas peças, de forma a possibilitar a pega e colocação da peça na paleta da linha. A solução existente na empresa, os carrinhos com os pinos acoplados, para além de pouco eficiente a nível da capacidade de transporte, implica uma ocupação de espaço da planta insustentável. Desta forma, a solução proposta foi a criação de paletes dedicadas a cada peça que seriam armazenadas em supermercados junto às linhas e transportadas por meio de carrinhos.

No que toca às paletes, foi estudada a posição dos pinos para cada uma das peças tendo por base os carrinhos existentes. O resultado encontra-se na Figura 4.3. As paletes foram devidamente identificadas de modo a que o operador perceba rápida e intuitivamente em que sentido deve ser colocada a peça nos supermercados de cada linha.

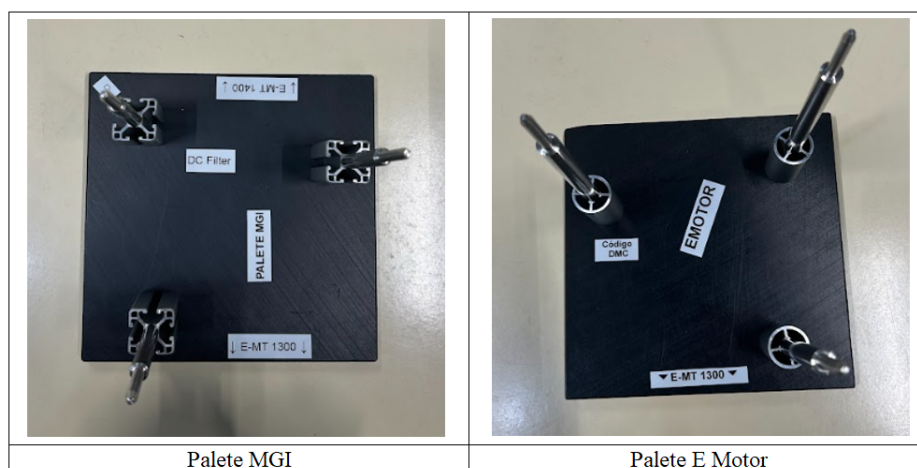


Figura 4.3: Paletes dedicadas para armazenamento do *E Motor* e *MGI*

Os supermercados revelam-se necessários: na linha E-MT 1200 para armazenar os *E Motors*; na linha E-MT 1300 para armazenar os *E Motors* que são abastecidos e os *MGIs* que são retornados; e, por fim, na linha E-MT 1400 para armazenar os *MGIs*. O desenho dos supermercados teve como prioridade a otimização do espaço ocupado e o posicionamento requerido das paletes em cada linha. De notar que foram efetuadas várias iterações nas estruturas até obter uma solução compatível com o funcionamento dos manipuladores (Figura 4.4).

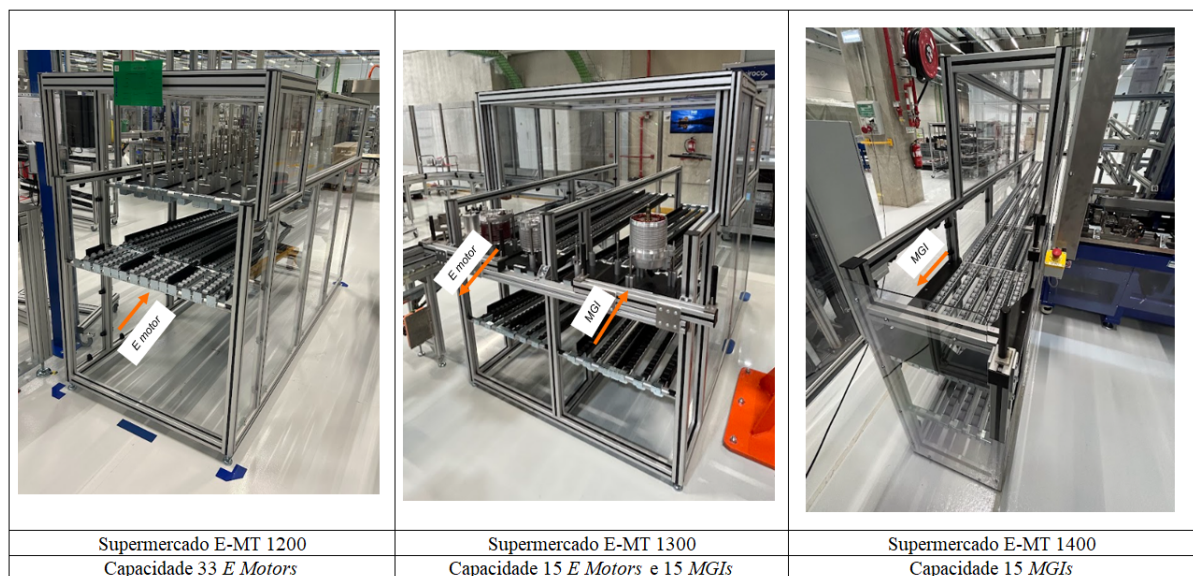


Figura 4.4: Supermercados de armazenamento de semiacabados

Relativamente aos carrinhos, optou-se pela utilização de carrinhos elevatórios com uma base de rolos adaptada à tampa do carrinho. Estes carrinhos permitem nivelar a tampa com a altura da prateleira do supermercado, de forma a que o operador apenas tenha que empurrar as paletes para o carrinho, ou para a rampa, dependendo da situação. Desta forma, torna-se uma solução mais viável a nível ergonómico ao evitar que o operador pegue nas paletes. Por outro lado, a transferência de paletes é mais rápida tornando o processo mais eficiente. A capacidade destes carrinhos é de 8 peças.

Como demonstrado na Tabela 4.10 as alterações propostas resultam numa redução de 70% da ocupação do chão de fábrica. Para o sistema inicial, o espaço ocupado por peça foi obtido pela divisão da área do carrinho pela capacidade de carga. No caso do sistema proposto foi considerada a área de uma palete.

Tabela 4.10: Análise da redução de espaço ocupado pela implementação do novo sistema de abastecimento

		Sistema inicial	Sistema proposto
E Motor	Numero de peças movimentadas por abastecimento	4	8
	Espaço ocupado por peça (m2)	0,16	0,05
	Quantidade de peças definidas para Inventário	66	
	Espaço total ocupado (m2)	10,48	3,19
	Redução do espaço ocupado com a nova proposta	70%	
MGI	Numero de peças movimentadas por abastecimento	4	8
	Espaço ocupado por peça (m2)	0,16	0,05
	Quantidade de peças definidas para Inventário	56	
	Espaço total ocupado(m2)	8,89	2,71
	Redução do espaço ocupado com a nova proposta	70%	

TSGAssembly

Relativamente ao TSG Assembly, as suas dimensões e peso comprometem a capacidade de carga e armazenamento. No curto prazo, concluiu-se que o carrinho existente na empresa correspondia à opção mais viável. Contudo, outras soluções continuarão a ser estudadas.

Na Figura 4.5 presente em baixo encontram-se os carrinhos descritos anteriormente para cada peça.

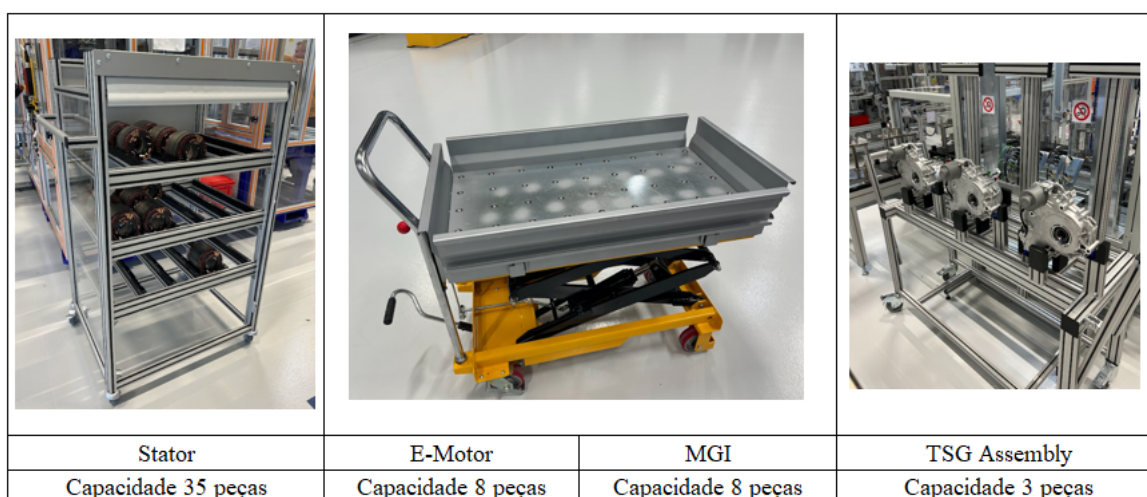


Figura 4.5: Carrinhos para transporte de semiacabados

4.2.3 Tarefas a realizar pelo *Water Spider*

No processo de organização do fluxo de materiais no chão de fábrica existe uma opção com origem na metodologia *lean manufacturing* denominada *water spider*. O *water spider* é o termo que se refere ao operador cujo trabalho principal é garantir que os materiais são fornecidos no local onde são necessários. Ao atribuir a responsabilidade de reabastecimento de material a um operador, isto é, as atividades não cíclicas, é permitido que o resto dos operadores dediquem a sua atenção às tarefas que acrescentam valor ao processo. Neste tópico é feito um estudo sobre as tarefas a realizar pelo *water spider*, o cálculo da necessidade de operadores com esta função e o balanceamento das tarefas entre os operadores.

4.2.3.1 Tarefas a executar - Diagrama de *spaghetti*

Numa primeira fase foi analisado o layout com o objetivo de perceber os percursos a efetuar pelo operador. O resultado encontra-se no diagrama de spaghetti presente na Figura 4.6, na qual é possível analisar os movimentos a efetuar pelo *Water Spider*.

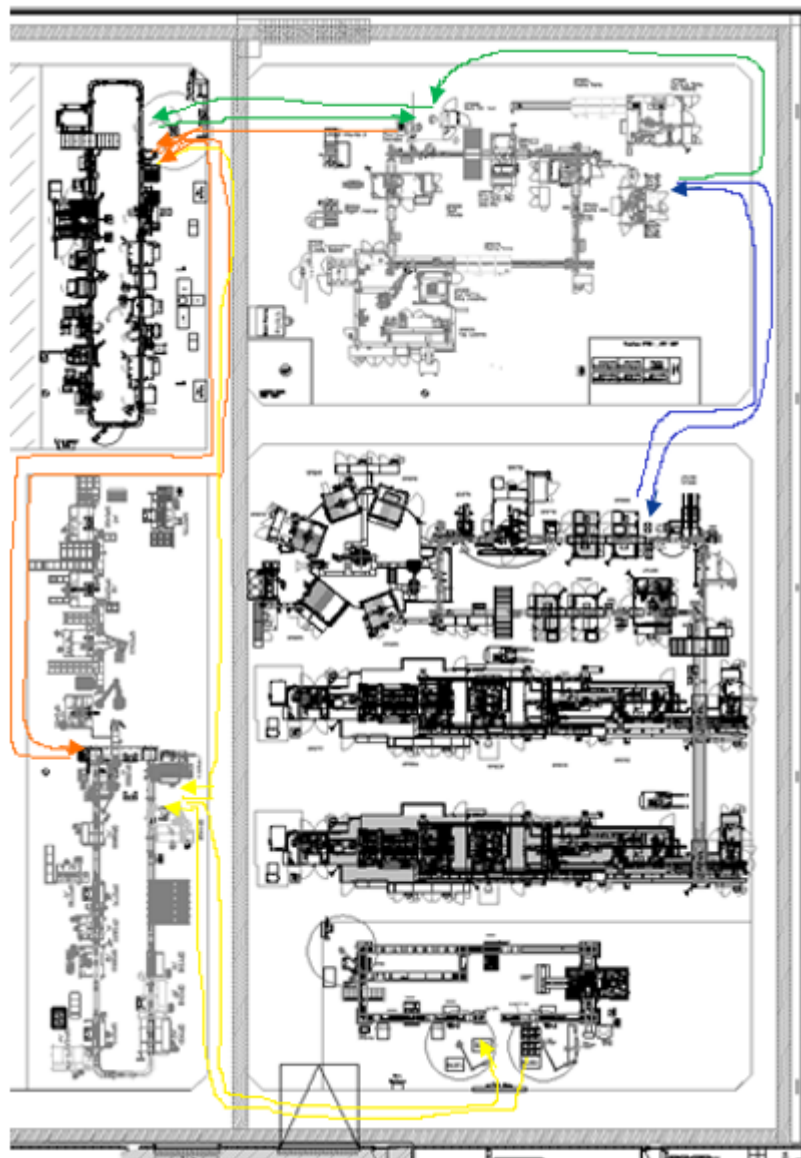


Figura 4.6: Diagrama de *spaghetti* dos percursos a efetuar pelo *water spider*

4.2.3.2 Dimensionamento do número de operadores necessários

O cálculo do número de operadores necessários para garantir que o material é entregue às linhas no tempo requerido foi efetuado recorrendo à utilização do *Indirect Work Sheet*. O resultado, para um turno de 8 horas de trabalho encontra-se na Figura 4.7. Foi estabelecido como limite uma taxa de ocupação de 80% do tempo disponível por operador.

O tempo das tarefas que correspondem a deslocamentos foi obtido recorrendo à ferramenta *Autocad* e considerando um tempo padrão de um metro por segundo para a velocidade do operador. De notar que no caso em que os deslocamentos implicam a entrada ou saída nas linhas de acesso restrito, contabilizou-se o tempo de espera pela abertura da porta. O tempo associado às tarefas

manuais foi calculado no *gemba*. Recolheram-se várias amostras dos movimentos a efetuar e calcularam-se os valores médios. O resultado encontra-se nas Tabelas F.1 e F.2 do Anexo F.

A frequência de execução de cada tarefa foi calculada pela Equação 4.14:

$$\text{Frequência} = \frac{\text{Tempo trabalho disponível} \cdot \text{Produção por hora}}{\text{Capacidade de carga do carrinho}} \quad (4.14)$$

O tempo de trabalho disponível corresponde aos 480 minutos brutos subtraindo-se 40 minutos de pausa para o operador, o que equivale a 440 minutos, ou seja, 7,33 horas.

Por exemplo, para a tarefa “Recolher carrinho do *Stator* vazio” o cálculo decorre:

$$\text{Frequência} = \frac{7,33 \cdot 30}{35} = 6,3 \text{ vezes/turno} \quad (4.15)$$

O número de operadores necessário por turno foi calculado utilizando a Equação 4.16:

$$\text{Operadores} = \frac{\text{Total walk time} + \text{Total manual work}}{\text{Tempo trabalho disponível}} \cdot \text{Ocupação Operador} \quad (4.16)$$

Foi obtida uma necessidade de 4,1 operadores por turno para a execução das tarefas.

Task ID	Elementos de trabalho	Tempo manual (s)	Tempo manual (m)	Frequência turno	Tempo manual total (dia)	Tempo elemental de máquina (s)	Tempo deslocação (s)	Outras atividades (s)	OP#
1	Recolher carrinho do Stator vazio	30	0,5	6,3	3,1				1
2	Deslocar-se até à estação E MT 1100 OP0100		0,0	6,3	0,0		30		1
3	Deixa carrinho Stator vazio	30	0,5	6,3	3,1				1
4	Colocar peças e Recolher carrinho do Stator com peças	380	6,3	6,3	39,8				1
5	Deslocar-se até à estação E MT 1200 OP0600		0,0	6,3	0,0		30		1
6	Deixar o carrinho Stator	30	0,5	6,3	3,1				1
7	Deslocar-se até à estação E MT 1200 OP0900		0,0	6,3	0,0		43,1		1
8	Recolher o carrinho elevatório	30	0,5	27,5	13,7				1
9	Transferir 8 paletes com eMotors para o carrinho	240	4,0	27,5	110,0				1
10	Deslocar-se até à estação E MT 1300 OP0100 e esperar pela a		0,0	27,5	0,0		38,5		1
11	Transferir 8 paletes com eMotors para a rack	240	4,0	27,5	110,0				1
12	Recolher 8 paletes vazias	160	2,7	27,5	73,3				1
13	Desloca-se até à E MT 1200 OP0900		0,0	27,5	0,0		38,5		1
14	Transferir 8 paletes vazias	160	2,7	27,5	73,3				1
15	Deslocar-se até à estação E MT 1300 OP0100		0,0	27,5	0,0		38,5		1
16	Recolher 8 paletes com MGI para o carrinho	240	4,0	27,5	110,0				1
17	Deslocar-se até à estação E MT 1400 OP0400		0,0	27,5	0,0		60,2		1
18	Transferir 8 paletes com MGI para o carrinho	240	4,0	27,5	110,0				1
19	Recolher 8 paletes MGI Vazias para o carrinho	160	2,7	27,5	73,3				1
20	Deslocar-se até à estação E MT 1300 OP0100		0,0	27,5	0,0		60,2		1
21	Transferir 8 paletes MGI Vazias para o carrinho	160	2,7	27,5	73,3				1
22	Deslocar-se até à estação EMT 1200 OP0900		0,0	27,5	0,0		38,5		1
23	Deixar Carrinho	30	0,5	27,5	13,7				1
24	Deslocar-se até à estação E MT 1400 OP1400		0,0	73,3	0,0		51,3		1
25	Recolher carrinho com 3 TSG	30	0,5	73,3	36,7				1
26	Deslocar-se até à estação E MT 1500 OP0100 e esperar que p		0,0	73,3	0,0		75,8		1
27	Deixa carrinho TSG	35	0,6	73,3	42,8				1
28	Recolhe carrinho TSG Vazio	35	0,6	73,3	42,8				1
29	Deslocar-se até à estação E MT 1400 OP1400		0,0	73,3	0,0		75,8		1
Tempo Total (m)		2230	37,2		931,9		504,6		
Tempo Total (h)					15,5		8,41		
Operator occupation					80%				
Operators Required					4,1				

Figura 4.7: Indirect Standard Worksheet

4.2.3.3 Sequenciamento das tarefas

Uma vez determinado o número necessário de operadores foi iniciado um estudo para definir as tarefas a executar por cada um dos operadores. O sequenciamento das tarefas é um processo que visa determinar a ordem das tarefas a serem executadas por um posto de trabalho. Esse processo tem como objetivo alcançar as datas de entrega estabelecidas, minimizar o tempo de fluxo, reduzir os custos, diminuir a quantidade de itens em processo e maximizar a utilização dos recursos disponíveis.

Inicialmente, as tarefas listadas anteriormente foram divididas em quatro categorias principais com base no sentido da produção: abastecimento do *Stator*, abastecimento do *E Motor*, abastecimento do *MGI* e abastecimento do *TSG Assembly*. Em seguida, foi calculado o tempo total associado a cada uma dessas tarefas, bem como a frequência por turno. O resultado encontra-se na Tabela 4.11

Tabela 4.11: Tempo de execução das tarefas a executar pelo *water spider* e respetiva frequência

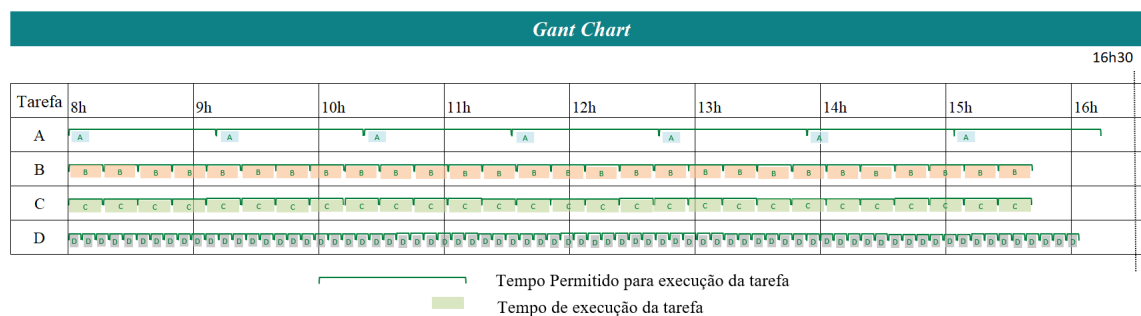
Tarefas		Ponto partida	Ponto chegada	Tempo (m)	Freq. p/turno
A	Recolher carrinho do Stator vazio	EMT 1200 OP0600	EMT 1100 OP0100	8,83	6,3
	Deslocar-se até à estação E MT 1100 OP0100				
	Deixa carrinho Stator vazio				
	Colocar e recolher carrinho do Stator com peças	EMT 1100 OP0100	EMT 1200 OP0600		
	Deslocar-se até à estação E MT 1200 OP0600				
Deixar o carrinho Stator					
B	Transferir 8 paletes com eMotors para o carrinho Deslocar-se até à estação E MT 1300 OP0100 e esperar abertura da porta Transferir 8 paletes com eMotors para a rack	E MT 1200 OP0900	E MT 1300 OP0100	14,62	27,5
	Recolher 8 paletes vazias	E MT 1300 OP0100	E MT 1200 OP0900		
	Desloca-se até à E MT 1200 OP0900				
	Transferir 8 paletes vazias				
C	Recolher 8 paletes com MGI para o carrinho Deslocar-se até à estação E MT 1400 OP0400	E MT 1300 OP0100	E MT 1400 OP0400	15,34	27,5
	Transferir 8 paletes com MGI para o carrinho				
	Recolher 8 paletes MGI Vazias para o carrinho	E MT 1400 OP0400	E MT 1300 OP0100		
	Deslocar-se até à estação E MT 1300 OP0100				
	Transferir 8 paletes MGI Vazias para o carrinho				
D	Recolher carrinho com 3 TSG Deslocar-se até à estação E MT 1500 OP0100 e esperar abertura da porta Deixar carrinho TSG	E MT 1400 OP1400	E MT 1500 OP0100	4,19	73,3
	Recolher carrinho TSG Vazio	E MT 1500 OP0100	E MT 1400 OP1400		
	Deslocar-se até à estação E MT 1400 OP1400				
	Deixar carrinho				

Com a divisão das tarefas ocorreu uma interrupção no fluxo sequencial das mesmas, o que levou à necessidade de avaliar os tempos entre duas tarefas consecutivas. O resultado encontra-se na Tabela 4.12

Tabela 4.12: Tempos em minutos de deslocamento entre tarefas consecutivas

	A	B	C	D
A	0,00	1,22	0,50	1,21
B	1,22	0,00	0,64	1,41
C	0,50	0,64	0,00	1,36
D	1,21	1,41	1,36	0,00

Foi estabelecido que, durante um turno, a tarefa A seria executada 7 vezes enquanto as tarefas B e C seriam executadas 28 vezes, e a tarefa D 74 vezes, optando-se por arredondar para cima o valor de frequência obtido. Realizou-se uma análise para determinar os tempos mínimos e máximos de início e término de cada tarefa e os resultados foram registados na Tabela F.3 presente no Anexo F. Para facilitar a compreensão dos dados foi elaborado o gráfico de *gantt* presente na Figura 4.8 que visualiza de forma mais intuitiva a programação das tarefas ao longo do tempo. É importante realçar que o tempo de pausa não foi incluído na elaboração do gráfico uma vez que os operadores realizam a pausa simultaneamente, resultando em uma interrupção total da produção. Dessa forma, não há atrasos no processo produtivo decorrentes das pausas.

Figura 4.8: Gráfico de *gantt* para a execução das tarefas do *water spider*

Após a conclusão do processamento e análise de todos os dados disponíveis, procedeu-se à formulação do algoritmo de sequenciamento heurístico e aplicação recorrendo a programação em *Visual Basic* na ferramenta *Excel*.

O problema de sequenciamento em questão é caracterizado por conter um conjunto de tarefas $N=\{1,...,n\}$, um conjunto de operadores $O=\{1,...,o\}$ e um conjunto de instantes de tempo $T=\{1,...,T_{max}\}$. Dado estes conjuntos, o problema tem as seguintes características:

- Cada tarefa $i \in N$ deve ser alocada a um único operador $j \in O$, utilizando um ou vários instantes de tempo $k \in T$;
- Cada tarefa $i \in N$ tem um tempo de processamento p_i para qualquer máquina;
- Cada tarefa $i \in N$ tem um instante de tempo mínimo $a_i \in T$ e um instante de tempo máximo b_i entre o qual deve ser efetuada;

- Uma vez iniciada, a execução da tarefa i não pode ser interrompida. Dessa forma, o processamento de uma tarefa deve utilizar k instantes de tempo consecutivos;
- Uma vez terminada a tarefa i no instante f_i , a tarefa $i+1$ que a sucede tem como tempo de início, i_{i+1} , o valor máximo entre a_{i+1} e a soma de f_i e o tempo de deslocamento entre as tarefas $d_{(i,i-1)}$.
- Cada tarefa $i \in N$ deve ser processada uma única vez.

Definiu-se como função objetivo minimizar o tempo inativo de cada operador pela Equação 4.17. Uma vez que o valor obtido foi de 4,1 operadores, refletindo uma ocupação total dos 4 operadores, o objetivo foi garantir que a carga de trabalho estava igualmente distribuída maximizando a utilização de cada operador.

$$\text{Minimize } T_j^{\text{inat}} \quad (4.17)$$

O tempo inativo de cada operador j é dado pela diferença entre o tempo máximo disponível e o tempo das tarefas e deslocamentos executados pelo operador pela equação:

$$T_j^{\text{inat}} = T_{\text{max}} - \left(\sum_{i=1}^{z_j} [p_i + d_{(i-1,i)}] \right) \quad (4.18)$$

Onde z_j é o número de tarefas i atribuídas ao operador j .

Para execução do algoritmo foram definidas duas regras de prioridade como heurísticas para determinação da ordem segundo a qual as tarefas devem ser processadas:

- *Earliest Due Date* (EDD): É dada prioridade à tarefa com data de entrega mais próxima.
- *Folga Mínima*: É dada prioridade à tarefa cuja diferença entre a data de entrega e o tempo de processamento é menor.

Para avaliar o desempenho do algoritmo foram definidos como indicadores o número de tarefas atrasadas, isto é, realizadas fora de tempo e a taxa de ocupação de cada operador.

O resultado para cada uma das heurísticas aplicadas encontra-se nas Figuras F.1 e F.2 do Anexo F. As Tabelas 4.13 e 4.14 apresentam de forma concisa os resultados obtidos para o tempo utilizado na execução das tarefas, o tempo gasto em deslocamentos entre tarefas, o número de tarefas atrasadas e taxa de ocupação para cada operador.

Tabela 4.13: Resultados obtidos para a heurística EDD

	Earliest Due date					
	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4	Soma	Média
Tempo tarefas (m)	298,20	297,03	309,35	306,34	1210,93	302,73
Tempo deslocamentos (m)	34,16	36,05	32,75	32,74	135,70	33,93
Número de tarefas atrasadas	13	18	15	12	58	15
Taxa ocupação	75%	74%	78%	73%	-	75%

Tabela 4.14: Resultados obtidos para a heurística Folga Mínima

	Folga Mínima					
	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4	Soma	Média
Tempo tarefas (m)	309,38	306,73	298,20	296,61	1210,93	302,73
Tempo deslocamentos (m)	34,28	33,32	33,57	30,65	131,83	32,96
Número de tarefas atrasadas	13	14	14	14	55	14
Taxa ocupação	78%	77%	75%	74%	-	76%

Pela análise dos resultados, constatamos que, para ambas as soluções, embora a taxa de ocupação dos operadores esteja próxima dos 80%, cada operador executa em média 14 ou 15 tarefas atrasadas por dia. Por outro lado, os operadores gastam mais de 130 minutos do seu tempo ativo em deslocamentos entre tarefas. Esta situação pode ser explicada pela função objetivo estabelecida, que busca reduzir o tempo inativo dos operadores, resultando nos referidos deslocamentos. Por outro lado, analisando criticamente a sequência de tarefas obtidas, observa-se que não existe uma padronização ou sequência nas tarefas a executar por cada operador. Esta solução apenas resultaria num cenário hipotético em que seriam presenciados zero desperdícios. Caso contrário, sendo que os operadores executam as mesmas tarefas chegaria a um ponto em que se iriam cruzar numa mesma tarefa.

De forma a garantir o cumprimento de prazos e a padronização nas tarefas a executar procedeu-se à execução do estudo com o critério "Menor Deslocamento" que prioriza as tarefas cujo deslocamento entre a tarefa anterior e esta seja a menor disponível. O intuito passa por atribuir uma tarefa por operador. O resultado encontra-se na Figura F.3. A Tabela 4.15 apresenta uma síntese dos resultados de forma semelhante ao estudo anterior.

Tabela 4.15: Resultados obtidos para a heurística Menor Deslocamento

	Menor Deslocamento					
	Operador 1	Operador 2	Operador 3	Operador 4	Soma	Média
Tempo tarefas (m)	350,80	337,48	310,31	212,34	1210,93	302,73
Tempo deslocamentos (m)	0,00	0,00	0,00	11,44	11,44	2,86
Número de tarefas atrasadas	0	0	0	0	0	0
Taxa ocupação	80%	77%	71%	51%	-	70%

Os resultados obtidos demonstram que a aplicação desta regra resultou em zero tarefas atrasadas. Como esperado, a solução encontrada consiste em atribuir as atividades B, C e D aos operadores 1, 2 e 3, respetivamente, priorizando a ocupação total destes operadores. Por outro lado, o operador 4 é responsável pela atividade A, mas também auxilia os operadores 1 e 2, que enfrentam uma carga de trabalho mais intensa devido às tarefas B e C, de forma a que eles não estejam ocupados mais do que 80% do tempo disponível, o denominado tempo planeado. De forma a não incorrer de novo no cruzamento de tarefas, o operador 4, apenas deve auxiliar os operadores 1 e 2 quando o *Team Leader* assim o indicar. Na Figura 4.9, é apresentado o gráfico de balanceamento dos operadores.

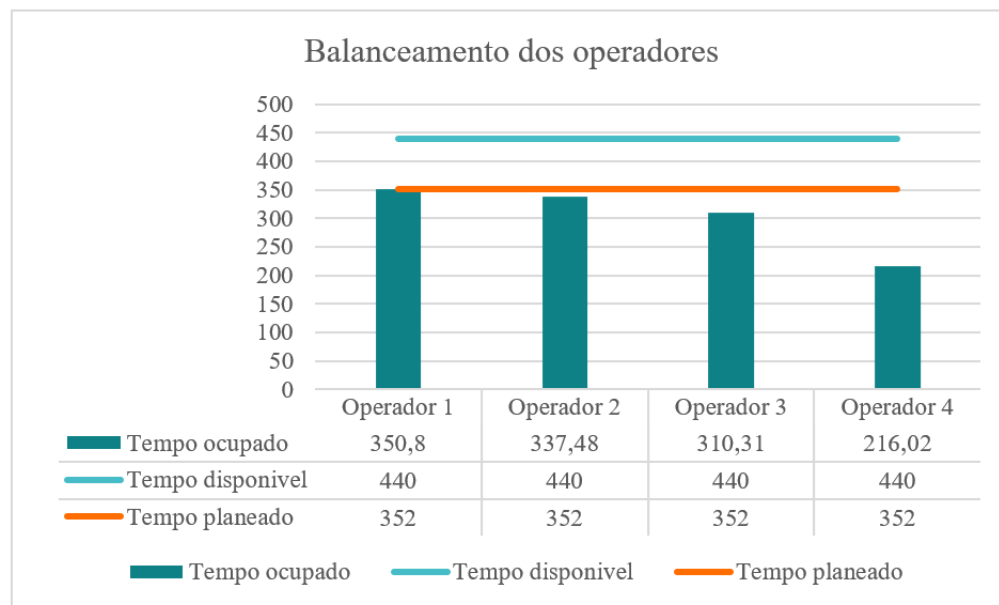


Figura 4.9: Gráfico de balanceamento de operadores

Verifica-se que o trabalho está balanceado entre os primeiros três operadores enquanto o operador 4 tem apenas cerca de 50% do tempo disponível ocupado. No entanto, esse valor não indica ineficiência no estudo realizado. Além do transporte de semiacabados, o *water spider* tem outras responsabilidades, como o fluxo de sucata e resíduos entre as linhas e os pontos de recolha. Assim, o operador 4, em cada ciclo, tem tempo disponível para executar as restantes tarefas atribuídas ao *water spider*.

Do ponto de vista *lean*, as atividades de valor não acrescentado devem ser reduzidas de forma a aumentar a produtividade dos operadores e priorizar as tarefas que geram valor para a empresa. Neste caso, considerando os deslocamentos entre tarefas atividades de valor não acrescentado, verificamos que, com a última abordagem, o tempo total dispendido nos deslocamentos entre tarefas reduziu cerca de 91%. Considerando que a empresa vai operar em 3 turnos produtivos 5 dias por semana, esta redução traduz-se numa poupança de 18 988,22 € para a empresa ao final de um ano de produção. O impacto financeiro entre a solução obtida para a heurística da Folga Mínima (1) e a heurística do Menor Deslocamento(2) está detalhado na Tabela 4.16.

Tabela 4.16: Cálculo dos ganhos com a implementação da heurística Menor Deslocamento

Ganhos com a implementação da solução (2)	
Tempo deslocamento por hora (1)	132 min/8horas=16,5 min
Tempo deslocamento por hora (2)	11,44 min/8 horas=1,43 min
Tempo ganho por hora	16,5 min -1,43 min =15,07 minutos
Tempo ganho por dia	15,07 min *24 horas = 361,68 min = 6,03 horas
Custo do Operador por hora	12,5 €
Ganho p/ano	6,03 horas * 12,5€ * 21 dias * 12 meses = 18 988,2 €

Assim, optou-se por avançar com a solução obtida pela aplicação da heurística do Menor Deslocamento. Com o propósito de tornar as operações relacionadas com o *water spider*, padronizadas, eficientes e uniformes para todos os operadores, foram criados diagramas de atividades padrão para dar conhecimento aos operadores da sequência e tempo médio atribuído a cada uma das operações associadas às tarefas. Na figura 4.10 encontra-se como exemplo o diagrama de atividades realizado para a tarefa C.

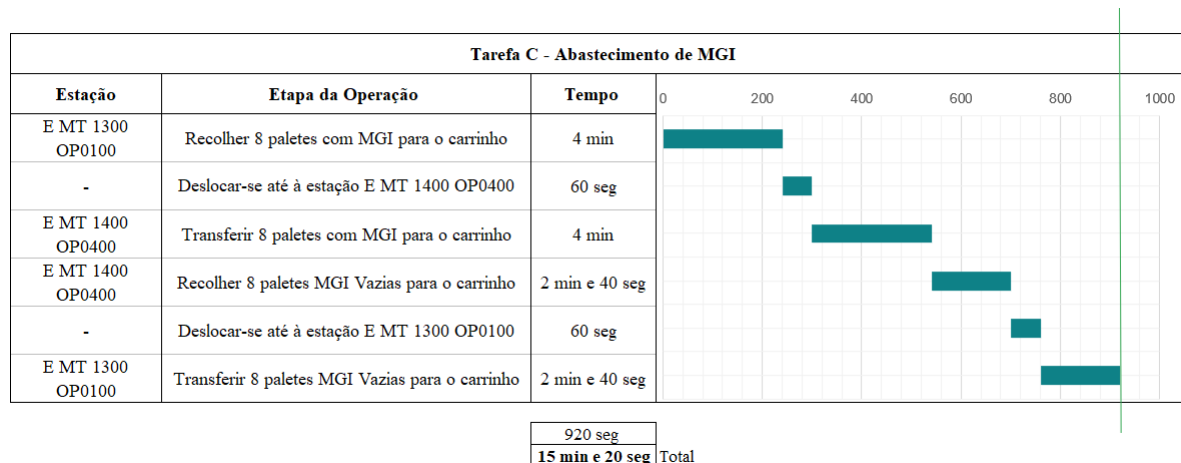


Figura 4.10: Diagrama de operações para a execução da Tarefa C

Para complementar o processo de aprendizagem serão realizados *workshops* para os operadores ficarem mais familiarizados com estas operações. Adicionalmente, de forma a garantir que as tarefas estão a ser efetuadas de forma eficiente, serão realizadas auditorias ao chão de fábrica para verificar se o trabalho efetuado pelos operadores segue o diagrama definido e identificar pontos de melhoria.

4.3 Implementação da metodologia 5S

Como referido no Capítulo 3, na fase inicial do projeto foi realizada uma auditoria 5S na área produtiva que revelou algumas deficiências significativas relacionadas à falta de organização, arrumação e práticas de limpeza. Assim, tornou-se necessário implementar algumas ferramentas 5S e técnicas de gestão visual. Embora os colaboradores estivessem familiarizados com a metodologia 5S e conscientes da importância de sua implementação, a falta de recursos no chão de fábrica dificultava esse processo. Como medida para mitigar esses problemas foram adotadas três ações principais: a identificação dos bordos de linha, a marcação do chão de fábrica e a criação de instruções de limpeza. Essas medidas visam promover a melhoria contínua do ambiente de trabalho, visibilidade e eficiência operacional.

Identificação dos bordos de linha

Com o objetivo de facilitar o trabalho do operador logístico e do operador de produção foram criadas etiquetas de bordo de linha. Optou-se por colocar apenas a informação essencial para rápida identificação do componente. Desta forma os campos presentes na etiqueta são: a referência, a descrição e uma imagem ilustrativa. O resultado encontra-se na Figura 4.11

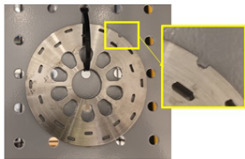
BorgWarner	Referência	Imagem
	61019358	
	Descrição	
	Balance ring top (ODE)	

Figura 4.11: Exemplo de uma etiqueta de bordo de linha

Para cada componente as etiquetas foram colocadas nos bordos de linha, no lado de abastecimento, no lado de consumo e ainda nos pontos de consumo quando estes eram distintos dos bordos de linha.

Marcação do chão de fábrica

A marcação do chão de fábrica desempenha um papel fundamental na organização e na otimização do fluxo de trabalho dentro da planta. A utilização de cores padrão para marcar os vários itens como áreas de armazenamento, corredores, equipamentos, materiais ou qualquer outro elemento relevante na fábrica permite uma identificação rápida e intuitiva. Assim, procedeu-se à marcação com recurso a fita adesiva e etiquetas identificadoras. Os principais elementos de marcação foram: estruturas para armazenamento de matéria-prima, estruturas para armazenamento de semiacabados, locais para aprovisionamento de carrinhos, áreas para armazenar peças sucata e áreas para armazenar peças de retrabalho. Alguns exemplos encontram-se na Figura G.1 do Anexo G.

Criação de instrução de limpeza

Com o intuito de preservar a limpeza dos postos de trabalho foi elaborada uma instrução de trabalho de forma a estabelecer um padrão de limpeza para as bancadas, organização das ferramentas no respetivo local de aprovisionamento e remoção adequada do lixo. A instrução de trabalho estabelece diretrizes sobre como realizar as tarefas de limpeza, indicando os materiais e produtos a serem utilizados, assim como os procedimentos a serem seguidos. A instrução deve ser executada diariamente no final do turno de trabalho. Na Figura G.2, do Anexo G é possível visualizar a instrução definida. Esta foi partilhada com o Team Leader da área produtiva que por sua vez comunicou aos colaboradores.

De forma a promover a melhoria continua, perpetuação de boas práticas e assegurar que é dedicado o tempo devido à implementação da metodologia 5S, serão realizadas todos os meses auditorias 5S no chão de fabrica. Será afixado no quadro Kaizen Diário, o resultado das auditorias do mês anterior com a comparação com o mês que o antecedeu de forma a perceber a evolução neste sentido.

Capítulo 5

Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

O presente projeto iniciou em fevereiro de 2023 com duração até junho do mesmo ano e atuou em três áreas principais: a concepção do sistema de abastecimento de matérias-primas por meio de um comboio logístico, a definição do fluxo de semiacabados e normalização das tarefas a executar pelo *water spider* e a implementação da metodologia 5S e gestão visual.

O curto período de execução para as várias metas definidas juntamente com o estado embrionário em que a empresa se encontra afetado pela variabilidade dos processos, manifestaram-se como os maiores desafios presenciados. A adoção de uma gestão eficiente do tempo, uma organização adequada e um foco claro nas prioridades foi crucial.

Relativamente ao fluxo de matérias-primas planeou-se o desenvolvimento de um sistema de manuseamento de materiais simples e eficaz. Juntamente com o departamento de logística foi estruturado o plano para cada componente onde se definiu o *packaging* interno, aferiu as quantidades de cada componente a transportar por caixa e determinou a respetiva quantidade de caixas necessária por ciclo. Complementando este resultado com uma análise dos pontos de consumo de cada componente identificou-se a necessidade de bordos de linha a construir.

Estando a produção pronta para a recessão dos materiais, iniciou-se a elaboração do sistema de abastecimento por meio de um comboio logístico. Esta etapa contemplou a definição das tarefas a realizar pelo operador logístico, o desenho de um comboio adequado às características da fábrica e a definição da rota de abastecimento e paragens logísticas. Por meio de um estudo de tempos e movimentos complementado por uma simulação em ambiente real concluiu-se a inviabilidade de abastecer a produção em apenas uma volta do comboio, solução inicialmente ambicionada pela empresa. Assim, foram desenvolvidos dois cenários alternativos. No primeiro cenário, a rota foi dividida em dois percursos independentes, enquanto no segundo cenário, parte da carga de

trabalho foi retirada do operador do comboio. Uma análise comparativa destes cenários revelou que apesar de ambos permitirem o abastecimento sem atrasos e de forma eficiente, o segundo cenário resultaria numa poupança ao final do primeiro ano de implementação de 27 125,00€ pelo que esta foi a proposta final colocada e aceite pela empresa.

Por outro lado, a conceção do fluxo de semiacabados iniciou com o cálculo do nível inicial do inventário de cada peça e com a estruturação dos supermercados e carrinhos de transporte correspondentes. O método desenvolvido para o transporte e armazenamento dos semiacabados permitiu uma significativa economia de espaço, reduzindo em 70% a área necessária para esta finalidade. Este revela-se um valor excecional para a empresa tendo em conta a necessidade imperativa de espaço disponível na planta para a fase de elevação da produção, definida para 2027, que requer a instalação de novas máquinas e, inclusive, a duplicação de duas linhas produtivas. O desenvolvimento do sistema de manuseamento dos semiacabados entre todas as linhas produtivas, incluiu a análise das rotas e tarefas associadas a esse processo, que seriam executadas pelo *water spider* e resultou numa necessidade de 4 operadores. Os dados obtidos foram utilizados como variáveis de entrada para um estudo de sequenciamento de tarefas, que concluiu com a elaboração dos diagramas de atividades a executar por cada um dos operadores.

Numa fase final, conclui-se que estão presentes na empresa os recursos e ferramentas necessários para a implementação de um sistema de fluxo de matérias-prima eficiente pelo que o trabalho proposto foi completamente executado. Contudo, a reduzida duração deste projeto impossibilitou a execução de todas as metas estabelecidas para o sistema de semiacabados. Como proposta de próximos passos e de forma a completar o trabalho desenvolvido é sugerido à empresa a definição dos *kanban* de produção que dão informação às linhas produtivas para a quantidade de peças a produzir. Por outro lado, estando as estruturas validadas é necessário comprar a quantidade necessária de carrinhos e supermercado para garantir o armazenamento e transporte de todos os componentes evitando paragens ou estrangulamentos.

Por fim, são deixadas duas propostas de melhoria ao trabalho realizado:

- Utilização de *e-kanban* como alternativa aos cartões *kanban* definidos no projeto. A empresa tem como objetivo tornar-se completamente livre de papel, o que reforça a necessidade de procurar alternativas digitais. Nesse contexto, e tendo em conta que a empresa está a desenvolver um sistema de gestão da produção com capacidade de gerir de forma precisa a quantidade de componentes a serem consumidos a adoção deste método é uma escolha estratégica que atende aos objetivos de sustentabilidade da empresa e oferece benefícios em termos de eficiência operacional e controle do fluxo de informações na produção.
- Estudar a viabilidade de utilizar um AGV, isto é, um robot móvel industrial para a movimentação de semiacabados entre as linhas. A utilização destes robots tende a resultar numa redução de custos para a empresa, com a diminuição da mão de obra necessária e promover a eficiência e produtividade dado a autonomia e precisão nos movimentos do mesmo.

Bibliografia

- Battini, D., Calzavara, M., Otto, A., and Sgarbossa, F. (2016). The integrated assembly line balancing and parts feeding problem with ergonomics considerations. *IFAC-PapersOnLine*, 49:191–196.
- Chavunduka, O. (2020). Kaizen Training - Total Flow Management (TFM). [https://za.kaizen.com/blog/post/2020/04/03/kaizen-training---total-flow-management-\(tfm\)](https://za.kaizen.com/blog/post/2020/04/03/kaizen-training---total-flow-management-(tfm)). [Accessed 12-Mar-2023].
- Chiarini, A. (2013). *Lean Organization: from the Tools of the Toyota Production System to Lean Office*, volume 3. Springer Milan.
- Do, D. (2017a). The Five Principles of Lean. <https://theleanway.net/The-Five-Principles-of-Lean>. [Accessed 11-Mar-2023].
- Do, D. (2017b). What is Muda, Mura, and Muri? <https://theleanway.net/muda-mura-muri>. [Accessed 11-Mar-2023].
- Droste, M. and Deuse, J. (2011). A planning approach for in-plant milk run processes to optimize material provision in assembly systems.
- Emde, S. (2017). Scheduling the replenishment of just-in-time supermarkets in assembly plants. *OR Spectrum*, 39:321–345.
- Emde, S. and Boysen, N. (2012). Optimally routing and scheduling tow trains for jit-supply of mixed-model assembly lines. *European Journal of Operational Research*, 217:287–299.
- Euclides, C. (2013). Kaizen in logistics supply chains.
- Imai, M. (2012). *Gemba kaizen: A commonsense approach to a continuous improvement strategy*, second edition.
- Jeffrey Liker, D. M. (2007). *Toyota Talent: Developing Your People the Toyota Way*. McGraw Hill.
- Koskela, L., Tezel, A., and Tzortzopoulos, P. (2018). Why visual management? *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, 1:250–260.
- Lean, . (2023). Lean Tools. <https://www.4lean.net/pt/lean-tools/>. [Accessed 07-Jun-2023].

- Liker, J. K. and Morgan, J. M. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development.
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83:662–673.
- Nakaue, R. (2021). Explaining the Toyota Production System (TPS) House. <https://structuredlean.com/tps-house/>. [Accessed 11-Mar-2023].
- Rick Harris, C. H. and Wilson, E. (2003). *Making Materials Flow*. The Lean Enterprise Institute.
- Seibel, P. (2021). Da Linha de Produção em Massa a Produção Lean: a evolução nos conceitos, métodos e técnicas de produção. https://pt.linkedin.com/pulse/da-linha-de-produ%C3%A7%C3%A3o-em-massa-lean-evolu%C3%A7%C3%A3o-nos-conceitos-seibel?trk=articles_directory. [Accessed 13-Mar-2023].
- Smalley, A. (2009). *Creating Level Pull*. The Lean Enterprise Institute.
- Smalley, A. (2020). Muda, Mura, Muri. <https://www.lean.org/lexicon-terms/muda-mura-muri/>. [Accessed 11-Mar-2023].
- Steenkamp, L. P., Hagedorn-Hansen, D., and Oosthuizen, G. A. (2017). Visual management system to manage manufacturing resources. *Procedia Manufacturing*, 8:455–462.
- Vilda, F. G., Yagüe-Fabra, J. A., and Torrents, A. S. (2020). An in-plant milk-run design method for improving surface occupation and optimizing mizusumashi work time. *CIRP Annals*, 69:405–408.
- Wahab, A. N. A., Mukhtar, M., and Sulaiman, R. (2013). A conceptual model of lean manufacturing dimensions. *Procedia Technology*, 11:1292–1298.
- Womack, J., Jones, D., and Roos, D. (1990). The machine that changed the world.
- Womack, J. P. and Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48:1148–1148.

Anexo A

Método seguido no projeto

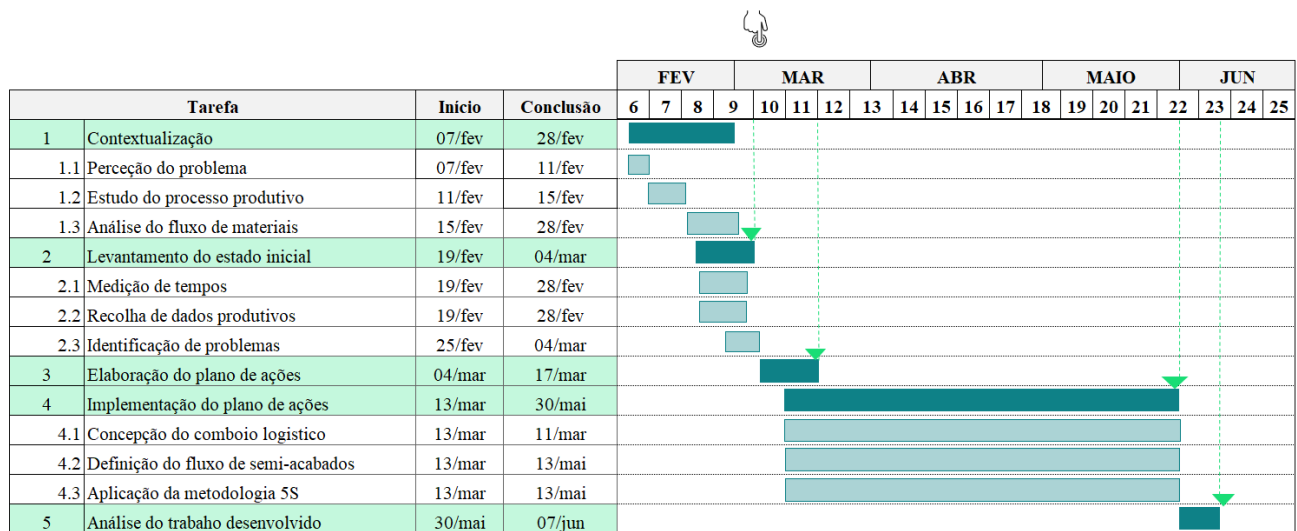


Figura A.1: Primeira versão diagrama temporal

Anexo B

Evidências da situação inicial

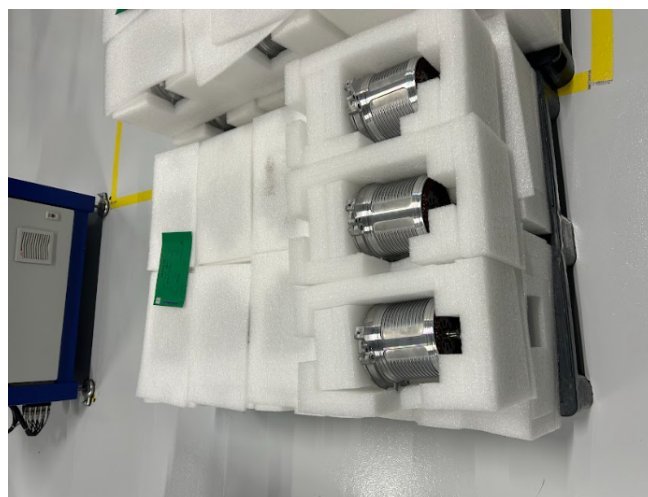


Figura B.1: Armazenamento E *Motor*



Figura B.2: Bordos de linha desadequados



Figura B.3: Excesso de material no ponto logístico

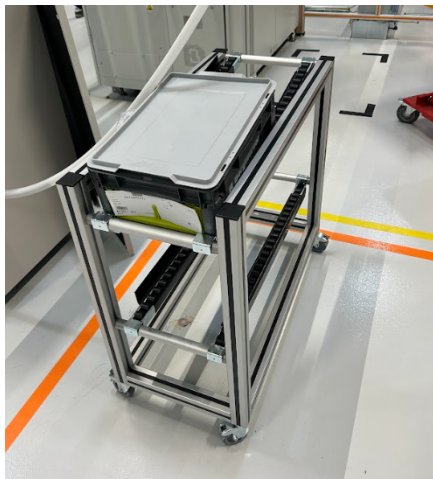


Figura B.4: Bordos de linha sem etiquetas de identificação

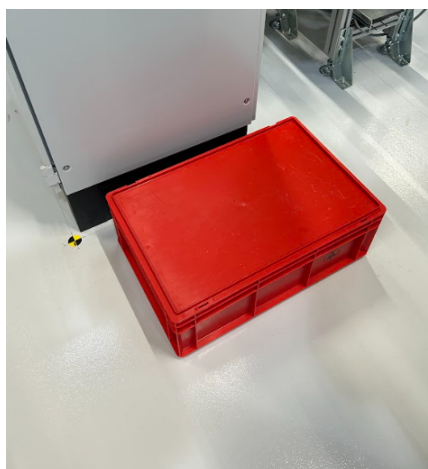


Figura B.5: Falta de marcações no chão de fábrica

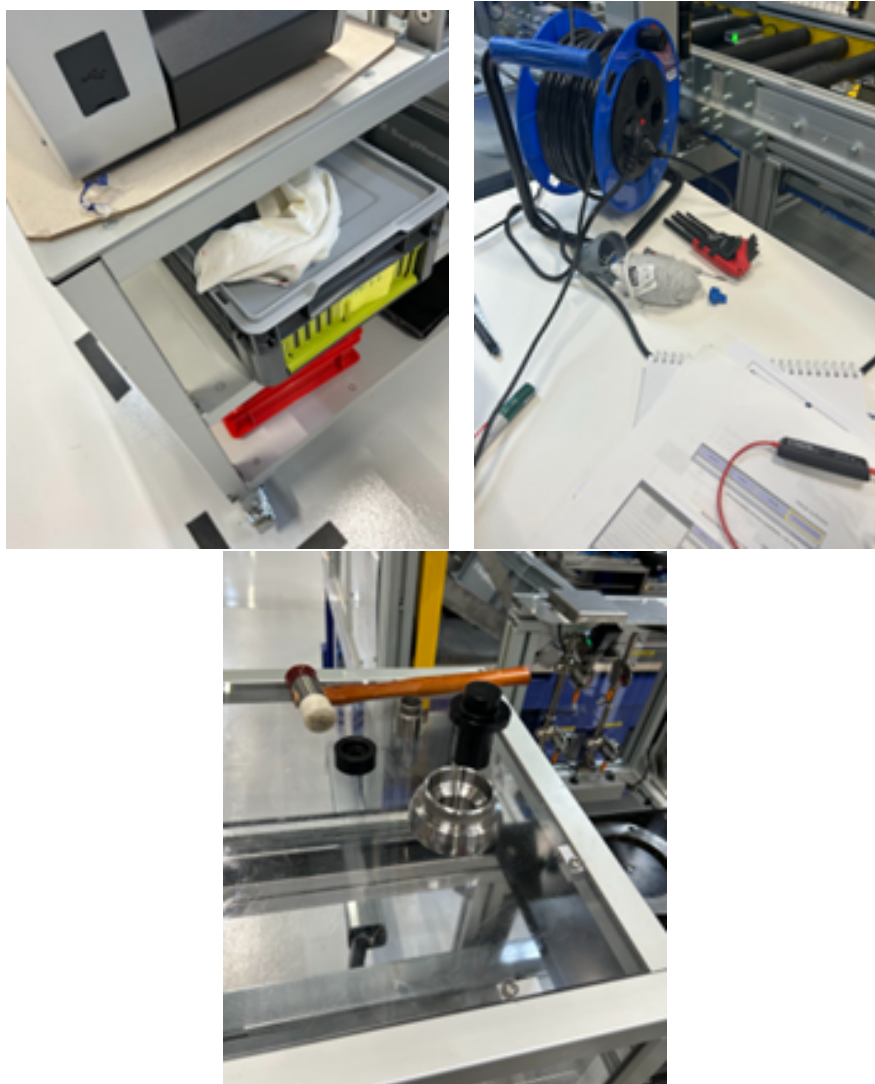


Figura B.6: Postos de trabalho desorganizados e sujos

Anexo C

Dados e resultados do *Plan for Every Part*

Tabela C.1: Tópicos a considerar no *Plan For Every Part*

Borgwarner PFEP - Elementos de Dados		
Part Information	Operation Number	Número da operação em que o componente é consumido
	Part Number	Número utilizado para identificar o componente na fábrica
	Amount per unit	Quantidade de componentes utilizado na operação em questão
	Part Name	Nome do material
	Part Image	Imagem exemplificativa do material
	Part Dimensions	Comprimento, largura e altura do componente
	Volume	Volume do componente
	Weight	Peso do componente
Internal Packaging	Type of Material	Tipo de material
	Type of Box	Tipo e dimensões da caixa utilizada internamente
	Box Weight	Peso da caixa
	Interior Box Dimensions	Dimensões internas da caixa
	Theoretical parts per box by volume	Valor teórico do número de peças que cabe na caixa por volume
	Theoretical parts per box by weight	Valor teórico do número de peças que cabe na caixa por peso
	Parts per box	Quantidade de peças por caixa
	weight of full box [kg]	Peso total da caixa
Supplier Information	Containers used per hour	Quantidade de caixas necessárias por hora
	Total containers (2h)	Quantidade de caixas necessárias para duas horas
	Supplier	Nome do fornecedor
	Pallet	Dimensões das paletes (se aplicável)
	Container	Dimensões das caixas (se aplicável)
	Tray	Dimensões dos trays (se aplicável)
	Plastic Bag	Dimensões dos sacos de plástico (se aplicável)
	Packaging Images	Imagens do packaging
	Packaging Status	Estado do packaging
	Label Status	Estado da etiqueta de identificação

Tabela C.2: Resultado do estudo feito a cada componente

	OP Nr	Part Nr	Quantidade p/peça	Tipo de caixa (cx)	Partes p/ cx	Fração de cxs p/hora	Cxs p/hora	Total cxs (2h)
E-MT 1100	300	61016319	77,8 (mm)	Non standard	-	-	-	-
	400	61016320	77,4 (mm)	Non standard	-	-	-	-
	710	61018666	1	600x400x175	32	0,94	1	2
E-MT 1200	100	61017377	5	600x400x120	15	10	10	20
	100	61016312	100	400x300x145	1110	2,70	3	6
	100	61019358	1	300x200x145	38	0,79	1	2
	100	61019357	1	300x200x145	38	0,79	1	2
	200	61016308	1	400x300x145	14	2,14	3	5
	320	ME10547	0,096 (g)	400x300x220	3	1	1	2
	620	61022242	1	Non standard	-	-	-	-
	610	61020564	1	300x200x145	120	0,25	1	1
	610	61015369	1	175x100x75	100	0,3	1	1
	710	61018876	3	175x100x75	1000	0,09	1	1
	720	61015550	1	175x100x75	1000	0,03	1	1
E-MT 1300	100	61024401	1	600x400x220 ESD	12	2,5	3	5
	200	61016623	1	175x100x75 ESD	30	1	1	2
	200	61016622	1	175x100x75 ESD	30	1	1	2
	200	61016621	1	175x100x75 ESD	30	1	1	2
	200	2019392	1	175x100x75 ESD	90	0,33	1	1
	200	61018876	8	175x100x75 ESD	240	1	1	2
	200	61018884	2	175x100x75 ESD	120	0,5	1	1
	400	61017590	1	400x300x145 ESD	240	0,13	1	1
	500	61016359	4	175x100x75 ESD	120	1	1	2
	500	61023291	1	300x200x145 ESD	60	0,5	1	1
	500	61022729	1	175x100x75 ESD	30	1	1	2
	500	61022730	1	175x100x75 ESD	30	1	1	2
	700	61023065	1	175x100x75 ESD	120	0,25	1	1
	700	61019909	2	175x100x75 ESD	120	0,5	1	1
	700	61023260	3	175x100x75 ESD	180	0,5	1	1
	900	61023258	1	600x400x220 ESD	10	3	3	6
	900	61018876	7	175x100x75 ESD	210	1	1	2
	900	61019916	4	175x100x75 ESD	240	0,5	1	1
	900	61008103	1	175x100x75 ESD	125	0,24	1	1
	100	2021666	1	Non standard	-	-	-	-
	100	2022535	1	300x200x145	36	0,83	2	4
	100	2016000	1	175x100x75	100	0,3	1	2

E-MT 1400	100	2015925	1	300x200x145	84	0,36	1	2
	100	2012355	1	175x100x75	90	0,33	1	2
	100	2014468B	1	300x200x145	80	0,38	1	2
	200	2015913	1	400x300x145	12	2,5	6	12
	200	2015914	1	600x400x120	6	5	12	23
	200	2016001	1	300x200x145	300	0,1	1	1
	200	2015924	1	300x200x145	24	1,25	3	6
	200	2015922	1	300x200x145	44	0,68	2	4
	200	2015923	1	400x300x145	60	0,5	2	3
	300	2016013	1	300x200x145	85	0,35	1	2
	200	2020528	1	300x200x145	90	0,33	1	2
	300	2016148	1	400x300x145	20	1,5	4	7
	300	2016139	1	400x300x145	8	3,75	9	17
	300	2015999	1	175x100x75	100	0,3	1	2
	300	2017462	4	175x100x75	120	1	3	5
	300	2014470	1	300x200x145	80	0,38	1	2
	400	2019770	1	175x100x75	200	0,15	1	1
	400	61018317	2	300x200x145	300	0,2	1	1
	400	2015952	3	175x100x75	300	0,3	1	2
	400	2015912	1	400x300x145	42	0,71	2	4
	400	2018412	1	175x100x75	30	1	3	5
	400	2012355	1	175x100x75	90	0,33	1	2
	500	2019392	3	175x100x75	1000	0,09	1	1
	500	2016815	1	400x300x145	82	0,37	1	2
	500	61018876	4	175x100x75	500	0,24	1	2
	500	61024883	1	175x100x75	60	0,5	2	3
	500	61024881	1	400x300x145	60	0,5	2	3
	710	2018159	1	300x200x145	160	0,19	1	1
	710	2001190	1	175x100x75	60	0,5	2	3
	730	2017435	2	175x100x75	120	0,5	2	3
	730	2018565	2	175x100x75	120	0,5	2	3
	730	2019124	1	600x400x220	40	0,75	2	4
	720	2019291	1	300x200x145	200	0,15	1	1
	720	2018177	1	300x200x145	30	1	3	5
	720	2020395	1	400x300x145	40	0,75	2	4
	1010	2017901	1	400x300x145	6	5	12	23
	1010	2016155	2	175x100x75	120	0,5	2	3
	1010	2015952	10	175x100x75	300	1	3	5
	1020	2022272	1	Non-standard	-	-	-	-
	1020	2015924	1	300x200x145	24	1,25	3	6
	1020	2019101	1	400x300x145	385	0,08	1	1
	1020	2014469	1	300x200x145	80	0,38	1	2
	1200	2016370	1	600x400x120	100	0,3	1	2
	1300	2016697	1	175x100x75	90	0,33	1	2
	1300	2019048B	1	175x100x75	500	0,06	1	1
	1400	2019090	1	175x100x75	60	0,5	2	3
	1400	2016697	1	175x100x75	90	0,33	1	2
	1400	2019048B	1	175x100x75	500	0,06	1	1
	1300	2016005	2	300x200x145	120	0,5	2	3
E-MT 1500	400	2019393	1	175x100x75	500	0,06	1	1
	400	2018644	1	300x200x145	45	0,67	1	2
	600	2016006	1	300x200x145	45	0,67	1	2
	1300	2018597	1	300x200x145	120	0,25	1	1

Anexo D

Análise dos pontos de consumo e bordos de linha

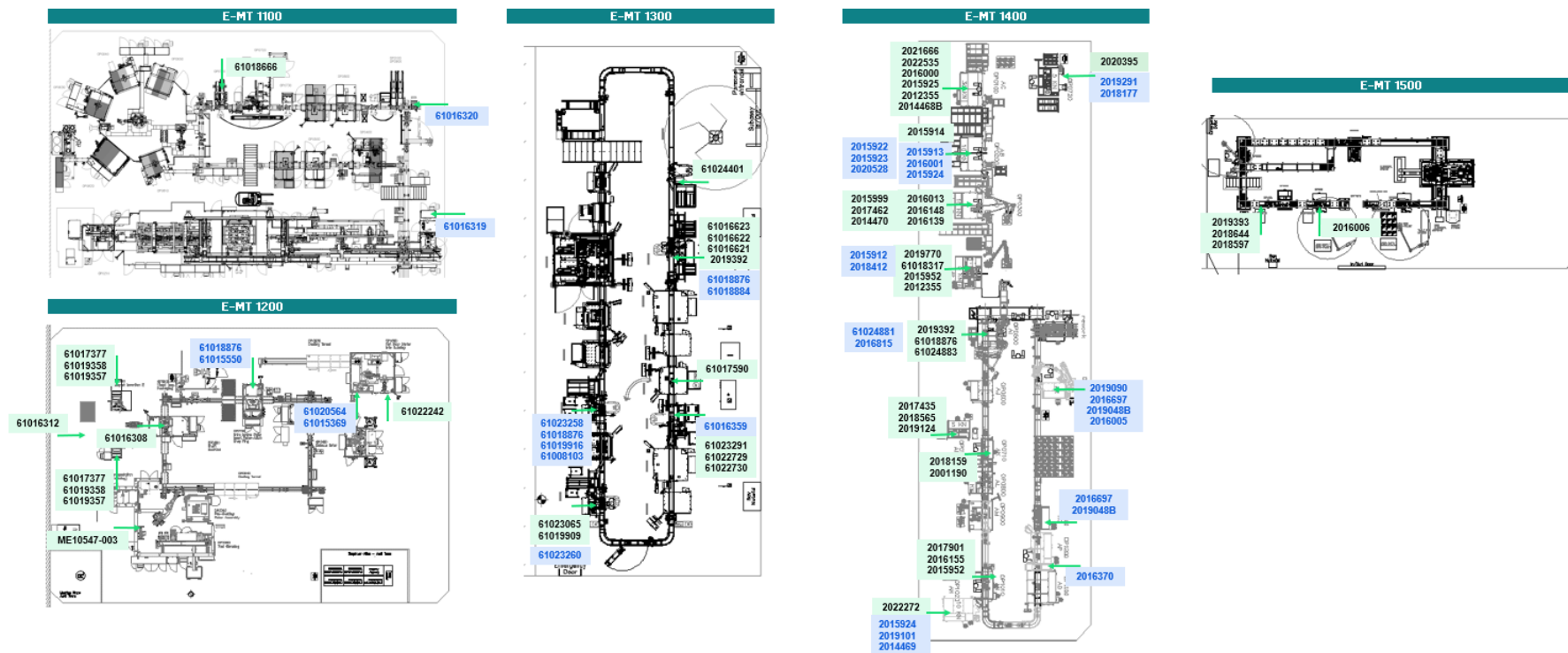


Figura D.1: Pontos de consumo de matérias-primas

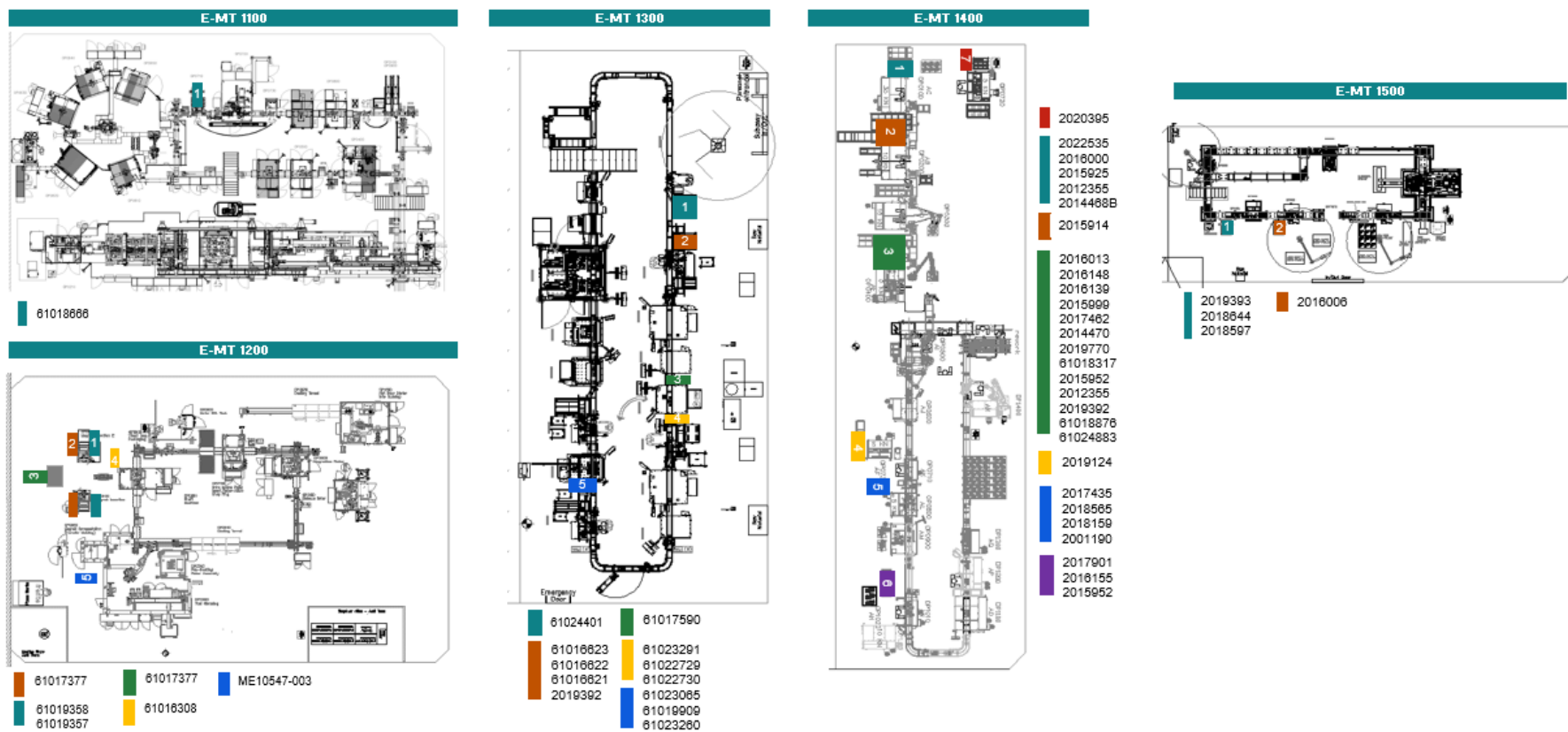


Figura D.2: Localização definida para integração dos bordos de linha

	BDL	Capacidade Atual	Capacidade Pretendida
E-MT 1100	1	4 cxs 600x400x175	2 cxs 600x400x175
E-MT 1200	1	-	1 cx 300x200x145 1 cx 300x200x145
	2	-	10 cxs 600x400x120
	3	-	6 cxs 400x300x145
	4	5 cxs 400x300x145	5 cxs 400x300x145
	5	2 cxs 400x300x220	2 cxs 400x300x220
E-MT 1300	1	-	3 cxs 600x400x220 ESD
	2	-	1 cxs 175x100x75 ESD 1 cxs 175x100x75 ESD 1 cxs 175x100x75 ESD 1 cx 175x100x75 ESD
	3	-	1 cx 400x300x145 ESD
	4	-	1 cx 300x200x145 ESD 1 cxs 175x100x75 ESD 1 cxs 175x100x75 ESD
	5	-	1 cx 175x100x75 ESD 1 cx 175x100x75 ESD
E-MT 1500	1	2 cxs 300x200x145 2 cxs 300x200x145 3 cxs 175x100x75 3 cxs 175x100x75	2 cxs 300x200x145 1 cx 300x200x145 1 cx 175x100x75
	2	2 cxs 300x200x145 2 cxs 300x200x145	2 cxs 300x200x145
E-MT 1400	1	4 cxs 300x200x145 4 cxs 300x200x145 4 cxs 300x200x145 4 cxs 300x200x145 4 cxs 300x200x145	4 cxs 300x200x145 1 cxs 175x100x75 1 cxs 300x200x145 1 cxs 175x100x75 1 cxs 300x200x145
	2	5 cxs 600x400x120 9 cxs 300x200x145 9 cxs 300x200x145 5 cxs 400x300x145	10 cxs 600x400x120
	3	4 cxs 400x300x145 4 cxs 400x300x145 10 cxs 300x200x145 10 cxs 300x200x145	1 cx 300x200x145 3 cxs 400x300x145 8 cxs 400x300x145 2 cxs 175x100x75 1 cx 175x100x75 1 cx 300x200x145 1 cx 175x100x75 1 cx 300x200x145 1 cx 175x100x75 1 cx 175x100x75 1 cx 175x100x75 1 cx 175x100x75
	4	2 cxs 600x400x220	2 cx 600x400x220
	5	3 cx 300x200x145 3 cx 300x200x145 3 cx 300x200x145 2 cx 300x200x145	1 cx 175x100x75 1 cx 175x100x75 1 cx 300x200x145 1 cx 175x100x75
	6	7 cxs 400x300x145	10 cxs 400x300x145 2 cxs 175x100x75 1 cx 175x100x75
	7	2 cxs 400x300x145	2 cxs 400x300x145

Figura D.3: Comparação entre os bordos de linha existentes na planta e os definidos como necessários no projeto

Anexo E

Elaboração comboio logístico

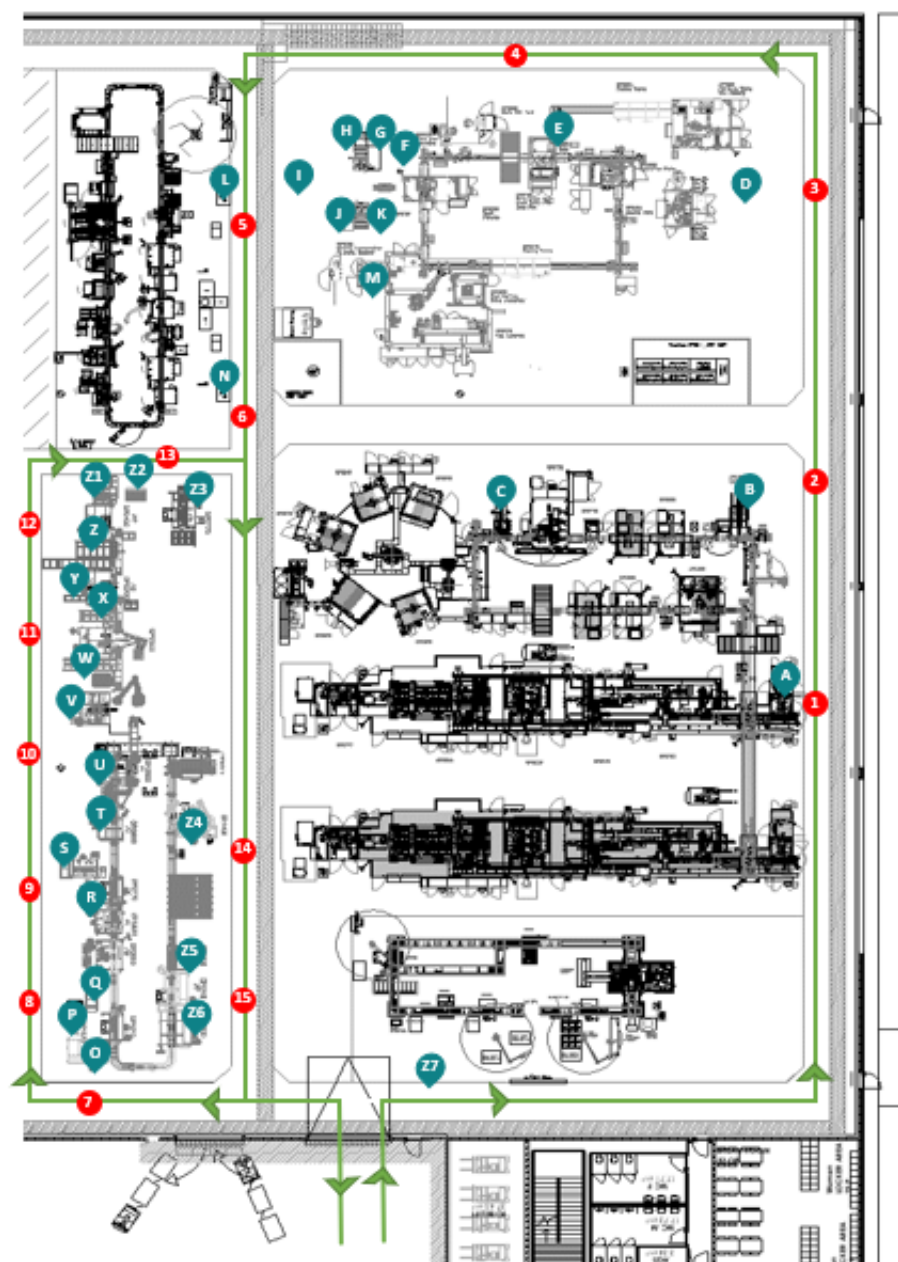


Figura E.1: Paragens e rota de abastecimento do comboio logístico

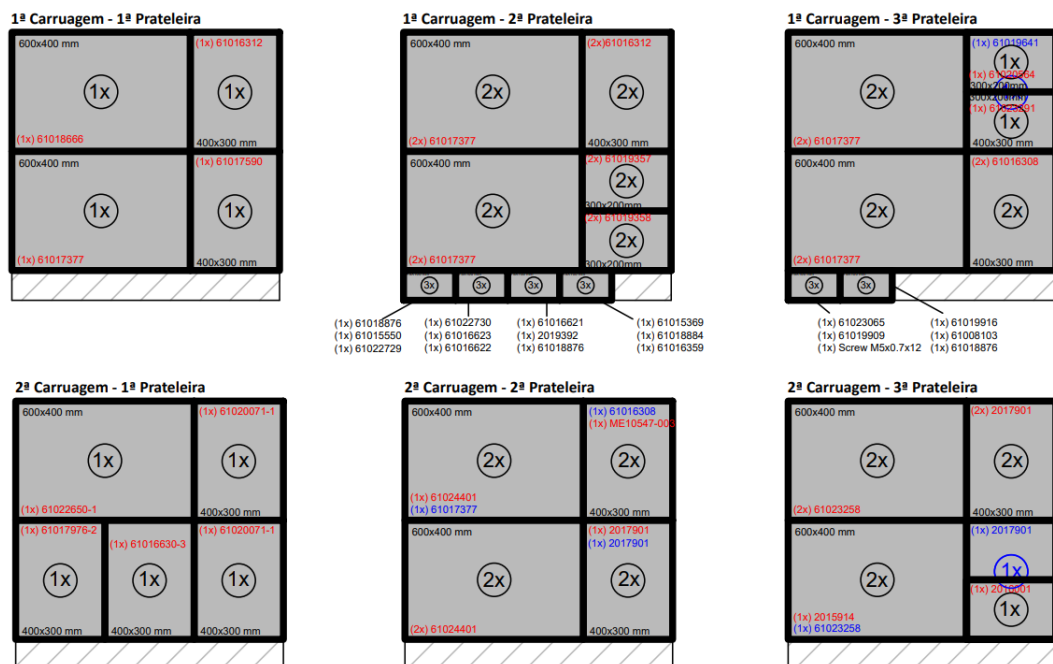


Figura E.2: Desenho comboio logístico: ocupação das carruagens um e dois

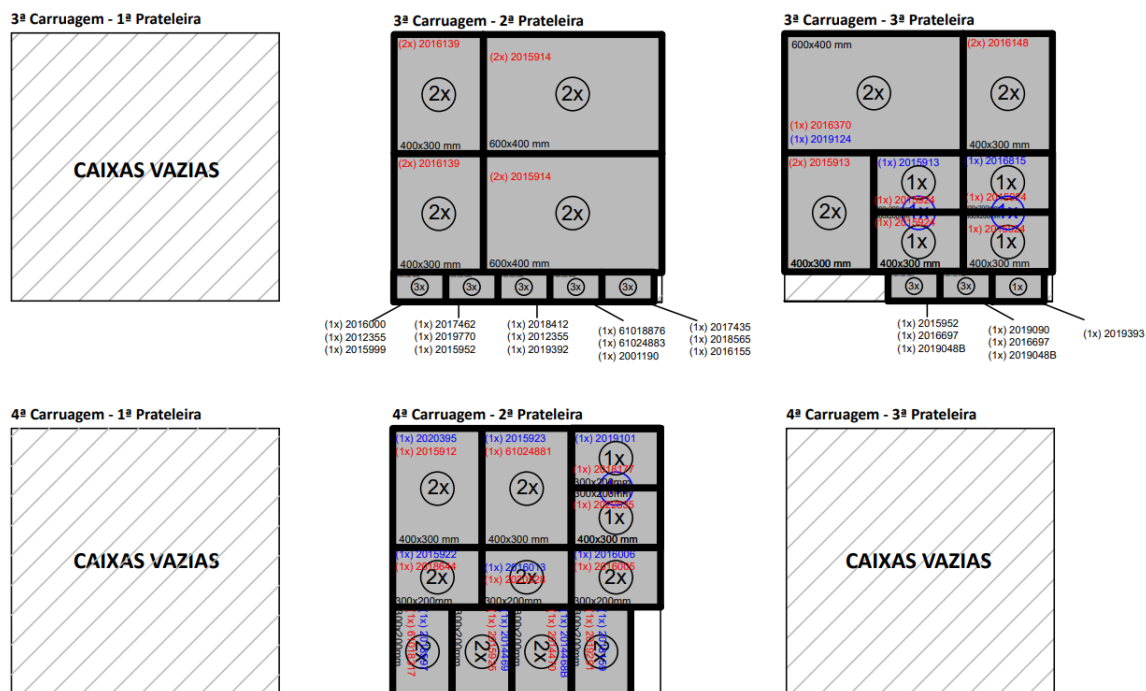


Figura E.3: Desenho comboio logístico: ocupação das carruagens três e quatro

Tabela E.1: Taxa de ocupação carruagens comboio logístico

		Taxa ocupação
Carruagem 1	Prateleira 1	89%
	Prateleira 2	95%
	Prateleira 3	95%
Carruagem 2	Prateleira 1	89%
	Prateleira 2	89%
	Prateleira 3	81%
Carruagem 3	Prateleira 1	0%
	Prateleira 2	100%
	Prateleira 3	95%
Carruagem 4	Prateleira 1	0%
	Prateleira 2	96%
	Prateleira 3	0%

Tabela E.2: Atividades primárias a realizar pelo comboio logístico e respetivos tempos padrão

Tempos Padrão da atividade - Método MTM	
Atividade	Tempo padrão (s)
Check Point	3,2
Picking caixas cheias	5
Abastecimento de caixas	4,8
Recolha de caixas vazias c/leitura	9,2
Recolha de caixas vazias s/leitura	4,3
Separação de caixas vazias - Armazém	3,8
Paragem/Arranque	60
Troca de carruagem	3,8
Velocidade do comboio m/s	1
Deslocamento a pé m/s	0,6
Picking carruagens	7
Atrelar carruagens	7

Tabela E.3: Distâncias em metros entre paragens consecutivas

Distâncias entre paragens (m)		
Armazém	P1	74,64
P1	P2	14,9
P2	P3	17,51
P3	P4	27,96
P4	P5	25,66
P5	P6	21,27
P6	P7	55,17
P7	P8	15,61
P8	P9	9,33
P9	P10	7,96
P10	P11	6,77
P11	P12	7,72
P12	P13	12,62
P14	P15	9,74
P15	Armazém	28,75
TOTAL		335,617 m

Tabela E.4: Distâncias em metros entre o comboio e os bordos de linha

Distâncias comboio - bordo de linha (m)					
Carruagem	Rack A	1,5	Carruagem	Rack R	4
Carruagem	Rack B	3,26	Carruagem	Rack S	2,6
Carruagem	Rack C	24,4	Carruagem	Rack T	4
Carruagem	Rack D	2,74	Carruagem	Rack U	4,5
Carruagem	Rack E	6	Carruagem	Rack V	6,4
Carruagem	Rack I	3,5	Carruagem	Rack W	3,5
Carruagem	Rack H	6	Carruagem	Rack X	6,5
Carruagem	Rack G	8	Carruagem	Rack Y	4
Carruagem	Rack J	6	Carruagem	Rack Z	3,5
Carruagem	Rack K	8	Carruagem	Rack Z1	3,5
Carruagem	Rack F	12	Carruagem	Rack Z2	4
Carruagem	Rack L	1,5	Carruagem	Rack Z3	6,5
Carruagem	Rack N	1,5	Carruagem	Rack Z4	6,4
Carruagem	Rack M	8	Carruagem	Rack Z5	6
Carruagem	Rack O	1,5	Carruagem	Rack Z6	4
Carruagem	Rack P	3	Carruagem	Rack Z7	15
Carruagem	Rack Q	5			

Operador logístico	
	Deslocar-se para a rack de abastecimento
	Carruagem 1: Picking de 9 cxs 600x400, 6 cx 400x300, 4 cx 300x200 e 18 cx 175x100
	Carruagem 2: Picking de 9 cxs 600x400, 13 cx 400x300 e 4 cx 300x200
	Carruagem 3: Picking de 6 cxs 600x400, 10 cx 400x300, 4 cx 300x200 e 22 cx 175x100
	Carruagem 4: cx 400x300 e 17 cx 300x200
	Deslocar-se para carruagem 5
	Alocar carrinho de Stator Housing
	Deslocar-se para carruagem 6
	Alocar carrinho de Housing 1
	Deslocar-se para carruagem 7
	Alocar carrinho de Housing 2
	Desloca-se para cabine
	Arranca o comboio e desloca-se para o P1
	Sair da cabine e desloca-se para 1ª carruagem
Slot liner spool	Picking Rolos Slot Liner Spool, desloca-se até à rack A, abastece, recolhe os rolos vazios, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se para cabine
	Arranca o comboio e desloca-se para o P2
	Sair da cabine e desloca-se para 1ª carruagem
Slot wedge spool	Picking Rolos Slot Wedge Spool, desloca-se até à rack B, abastece, recolhe os rolos vazios, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se até carruagem 1
Busbar	Picking 1 cx. 600x400, desloca-se até à rack C, abastece, recolhe cx vazia, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se para cabine
	Arranca o comboio e desloca-se para o P3
	Desloca-se para carruagem 5
Stator housing	Picking Carruagem Statot Housing, desloca-se para rack D, abastece, recolhe carruagem vazia, desloca-se para carruagem 5 e acopla vazia ao comboio.
	Desloca-se para cabine
	Arranca o comboio e desloca-se para o P4
	Sai da cabine e desloca-se para Carruagem 1
Bolt + Snap ring	Picking 2 cxs. 175x100, desloca-se para rack E, abastece, recolhe cxs vazias, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se para cabine
	Arranca o comboio e desloca-se para o P5
	Desloca-se para carruagem 1
Shaft	Picking 1 cx. 400x300, desloca-se até à rack F, abastece, recolhe cx vazia, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se para carruagem 1
	Picking 1 cx. 400x300, desloca-se até à rack F, abastece, recolhe cx vazia, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se para carruagem 2
	Picking 1 cx. 400x300, desloca-se até à rack F, abastece, recolhe cx vazia, desloca-se até à carruagem 3 e deixa.
	Desloca-se para carruagem 1
Lamination Stack	Picking 1 cx. 600x400, desloca-se até à rack H, abastece, recolhe cx vazia, desloca-se até à carruagem 4 e deixa.
	Desloca-se para carruagem 1

Figura E.4: Tarefas a executar pelo operador na execução da simulação em ambiente real - página

Tabela E.5: Atividades primárias a realizar pelo comboio logístico e respetivos tempos padrão definidos após simulação em ambiente real

Tempos padrão da atividade	
Atividade	Tempo padrão (s)
Check Point	3,2
Picking caixas cheias - armazém	10
Picking caixas cheias - produção	5
Abastecimento de caixas	4,8
Recolha de caixas vazias c/leitura	9,2
Recolha de caixas vazias s/leitura	4,3
Separação de caixas vazias - armazém	3,8
Paragem/Arranque	5
Troca de carruagem	3,8
Velocidade do comboio m/s	1
Deslocamento a pé m/s	0,6
Picking carruagens	18
Atrelar carruagens	22,3

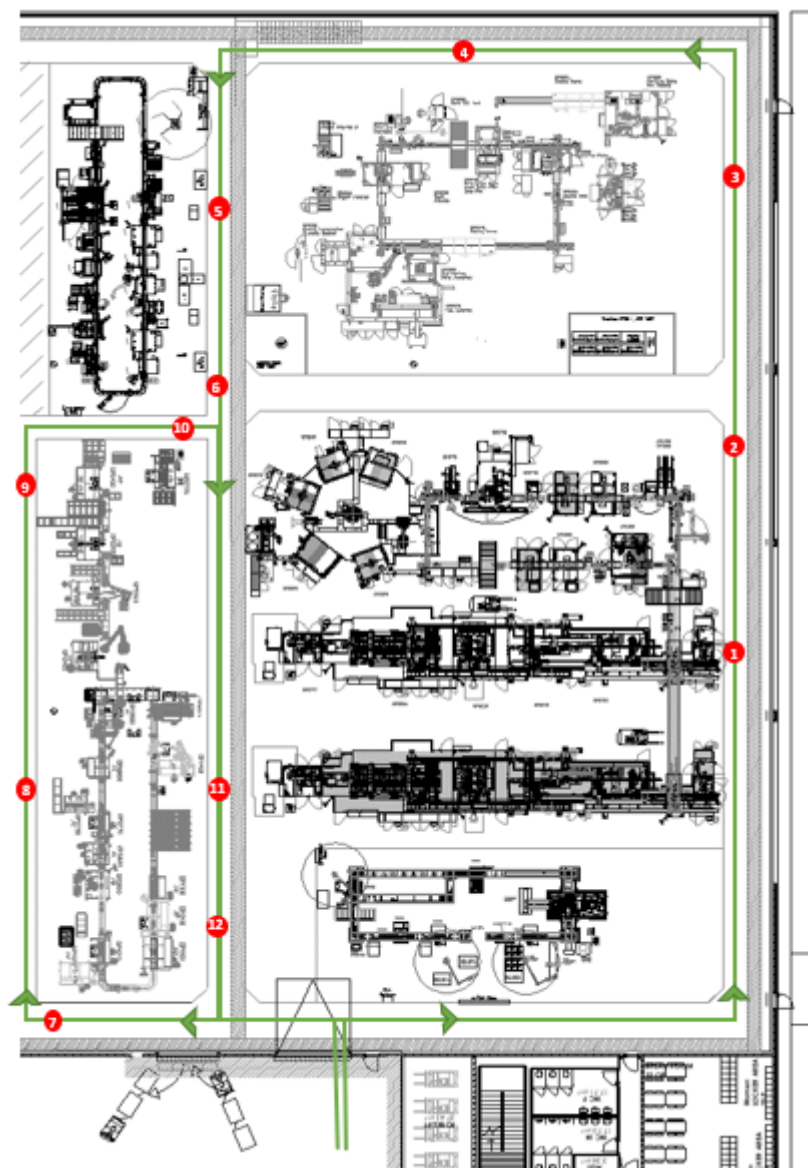


Figura E.5: Paragens e rota de abastecimento do comboio logístico após implementação de melhorias

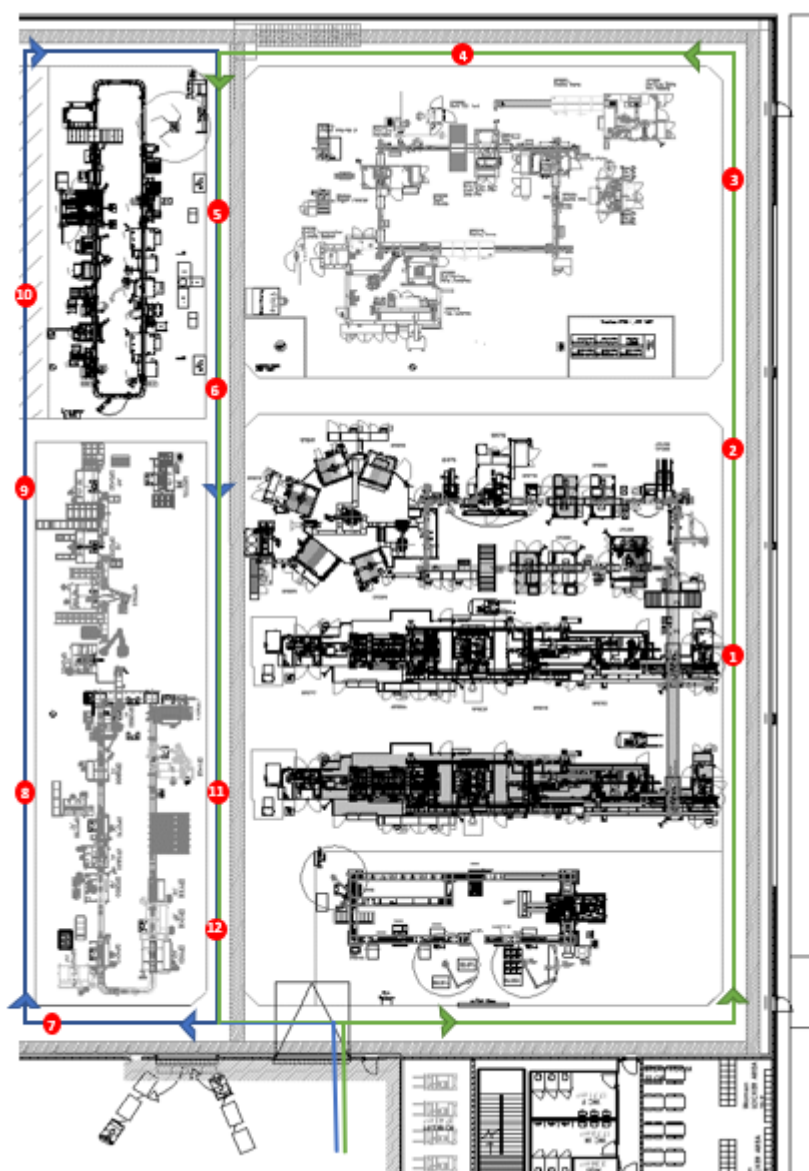


Figura E.6: Paragens e rota de abastecimento do comboio logístico para o cenário 1

Tabela E.6: Método operativo comboio logístico

Percurso 1		
Paragem	Descrição de Operações	Operador
Armazém	Atrelar carruagens	Mizusumashi
	Deslocamento para a próxima paragem	
P1	Paragem no ponto P1	
	Abastecer bordo de linha A	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P2	Paragem no ponto P2	
	Abastecer bordos de linha B e C	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P3	Paragem no ponto P3	
	Abastecer bordo de linha D	
	Recolher caixas vazias, carruagem vazia e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P4	Paragem no ponto P4	
	Abastecer bordos de linha E	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P5	Paragem no ponto P5	
	Abastecer bordos de linha F, G, H, I, J, K, L e M	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P6	Paragem no ponto P6	
	Abastecer bordo de linha N	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P7	Paragem no ponto P7	
	Abastecer bordo de linha O	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P8	Paragem no ponto P8	
	Abastecer bordos de linha P,Q,R,S,T,U	
	Recolher caixas vazias, carruagem vazia e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P9	Paragem no ponto P9	
	Abastecer bordos de linha V,W,X,Y,Z,Z1	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P10	Paragem no ponto P10	
	Abastecer bordo de linha Z2	
	Recolher carruagem vazia e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P11	Paragem no ponto P11	
	Abastecer bordo de linha Z4	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
P12	Paragem no ponto P12	
	Abastecer bordo de linha Z5, Z6 e Z7	
	Recolher caixas vazias e cartões Kanban	
	Arranque para próxima paragem	
Armazém	Separação das carruagens não standard	

Anexo F

Tarefas a realizar pelo Water Spider

Tabela F.1: Tempos de deslocamento tarefas

Estações		Distância (m)	Tempo deslocação (s)	Tempo espera abrir portas (s)	Tempo total (s)
E-MT 1100 OP0100	E-MT 1200 OP0600	30	30		30
E-MT 1200 OP0600	E-MT 1200 OP0900	43,1	43,1		43,1
E-MT 1200 OP0900	E-MT 1300 OP0100	13,5	13,5	25	38,5
E-MT 1300 OP0100	E-MT 1400 OP0400	60,2	60,2		60,2
E-MT 1400 OP0400	E-MT 1400 OP1400	61,8	61,8		61,8
E-MT 1400 OP1400	E-MT 1500 OP0100	45,8	45,8	30	75,8
E-MT 1300 OP0100	E-MT 1400 OP1400	51,3	51,3		51,3
E-MT 1200 OP0900	E-MT 1400 OP1400	54,8	54,8		54,8

Tabela F.2: Tempos médios de execução de cada tarefa

Tarefa	Tempo médio (s)
Recolher carrinho Stator / E Motor / MGI	30
Deixar carrinho Stator / E Motor / MGI	30
Transferir Stator da rack para o carrinho	10
Transferir palete E Motor / MGI para o carrinho	30
Transferir palete E Motor / MGI para a Rack	20
Recolher carrinho TSG Assembly	35
Deixar carrinho TSG Assembly	35

Tabela F.3: Análise do tempo mínimo e máximo para execução de cada tarefa

	Tarefa	Tempo de tarefa (m)	Minuto mínimo	Minuto máximo	ID Sequência
A	1	8,83	0	70	1
	2	8,83	70	140	2
	3	8,83	140	210	3
	4	8,83	210	280	4
	5	8,83	280	350	5
	6	8,83	350	420	6
	7	8,83	420	440	7
B	1	14,62	0	16	8
	2	14,62	16	32	9
	3	14,62	32	48	10
	4	14,62	48	64	11
	5	14,62	64	80	12
	6	14,62	80	96	13
	7	14,62	96	112	14
	8	14,62	112	128	15
	9	14,62	128	144	16
	10	14,62	144	160	17
	11	14,62	160	176	18
	12	14,62	176	192	19
	13	14,62	192	208	20
	14	14,62	208	224	21
	15	14,62	224	240	22
	16	14,62	240	256	23
	17	14,62	256	272	24
	18	14,62	272	288	25
	19	14,62	288	304	26
	20	14,62	304	320	27
	21	14,62	320	336	28
	22	14,62	336	352	29
	23	14,62	352	368	30
	24	14,62	368	384	31
	25	14,62	384	400	32
	26	14,62	400	416	33
	27	14,62	416	432	34
	28	14,62	432	440	35
C	1	15,34	0	16	36
	2	15,34	16	32	37
	3	15,34	32	48	38
	4	15,34	48	64	39
	5	15,34	64	80	40
	6	15,34	80	96	41
	7	15,34	96	112	42
	8	15,34	112	128	43
	9	15,34	128	144	44
	10	15,34	144	160	45
	11	15,34	160	176	46
	12	15,34	176	192	47
	13	15,34	192	208	48
	14	15,34	208	224	49

	Tarefa	Tempo tarefa (m)	Minuto mínimo	Minuto máximo	ID Sequência
C	15	15,34	224	240	50
	16	15,34	240	256	51
	17	15,34	256	272	52
	18	15,34	272	288	53
	19	15,34	288	304	54
	20	15,34	304	320	55
	21	15,34	320	336	56
	22	15,34	336	352	57
	23	15,34	352	368	58
	24	15,34	368	384	59
	25	15,34	384	400	60
	26	15,34	400	416	61
	27	15,34	416	432	62
	28	15,34	432	440	63
D	1	4,19	0,00	6	64
	2	4,19	6,00	12	65
	3	4,19	12,00	18	66
	4	4,19	18,00	24	67
	5	4,19	24,00	30	68
	6	4,19	30,00	36	69
	7	4,19	36,00	42	70
	8	4,19	42,00	48	71
	9	4,19	48,00	54	72
	10	4,19	54,00	60	73
	11	4,19	60,00	66	74
	12	4,19	66,00	72	75
	13	4,19	72,00	78	76
	14	4,19	78,00	84	77
	15	4,19	84,00	90	78
	16	4,19	90,00	96	79
	17	4,19	96,00	102	80
	18	4,19	102,00	108	81
	19	4,19	108,00	114	82
	20	4,19	114,00	120	83
	21	4,19	120,00	126	84
	22	4,19	126,00	132	85
	23	4,19	132,00	138	86
	24	4,19	138,00	144	87
	25	4,19	144,00	150	88
	26	4,19	150,00	156	89
	27	4,19	156,00	162	90
	28	4,19	162,00	168	91
	29	4,19	168,00	174	92
	30	4,19	174,00	180	93
	31	4,19	180,00	186	94
	32	4,19	186,00	192	95
	33	4,19	192,00	198	96
	34	4,19	198,00	204	97
	35	4,19	204,00	210	98

	Tarefa	Tempo de tarefa (m)	Minuto mínimo	Minuto máximo	ID Sequência
D	36	4,19	210,00	216	99
	37	4,19	216,00	222	100
	38	4,19	222,00	228	101
	39	4,19	228,00	234	102
	40	4,19	234,00	240	103
	41	4,19	240,00	246	104
	42	4,19	246,00	252	105
	43	4,19	252,00	258	106
	44	4,19	258,00	264	107
	45	4,19	264,00	270	108
	46	4,19	270,00	276	109
	47	4,19	276,00	282	110
	48	4,19	282,00	288	111
	49	4,19	288,00	294	112
	50	4,19	294,00	300	113
	51	4,19	300,00	306	114
	52	4,19	306,00	312	115
	53	4,19	312,00	318	116
	54	4,19	318,00	324	117
	55	4,19	324,00	330	118
	56	4,19	330,00	336	119
	57	4,19	336,00	342	120
	58	4,19	342,00	348	121
	59	4,19	348,00	354	122
	60	4,19	354,00	360	123
	61	4,19	360,00	366	124
	62	4,19	366,00	372	125
	63	4,19	372,00	378	126
	64	4,19	378,00	384	127
	65	4,19	384,00	390	128
	66	4,19	390,00	396	129
	67	4,19	396,00	402	130
	68	4,19	402,00	408	131
	69	4,19	408,00	414	132
	70	4,19	414,00	420	133
	71	4,19	420,00	426	134
	72	4,19	426,00	432	135
	73	4,19	432,00	438	136
	74	4,19	438,00	440	137

Earliest Due Date																							
Operador 1					Operador 2					Operador 3					Operador 4								
Tarefas indic	Tarefa letra	Ttarefa	Tdeslocament	FT	DD	Tarefas indic	Tarefa letra	Ttarefa	Tdeslocament	FT	DD	Tarefas indic	Tarefa letra	Ttarefa	Tdeslocamentos	FT	DD	Tarefas indic	Tarefa letra	Ttarefa	Tdeslocamentos	FT	DD
64	D1	4,19	0,00	4,19	6,00	65	D2	4,19	0,00	10,19	12,00	8	B1	14,62	0,00	14,62	16,00	36	C1	15,34	0,00	15,34	16,00
66	D3	4,19	0,00	16,19	18,00	68	D5	4,19	0,00	28,19	30,00	67	D4	4,19	1,41	22,19	24,00	70	D7	4,19	1,36	40,19	42,00
37	C2	15,34	1,36	32,89	32,00	9	B2	14,62	1,41	44,22	32,00	69	D6	4,19	0,00	34,19	36,00	10	B3	14,62	1,41	56,22	48,00
72	D9	4,19	1,36	52,19	54,00	71	D8	4,19	1,41	49,83	48,00	38	C3	15,34	1,36	50,89	48,00	74	D11	4,19	1,41	64,19	66,00
11	B4	14,62	1,41	68,22	64,00	73	D10	4,19	0,00	58,19	60,00	1	A1	8,83	0,50	60,22	70,00	75	D12	4,19	0,00	70,19	72,00
76	D13	4,19	1,41	76,19	78,00	39	C4	15,34	1,36	74,89	64,00	12	B5	14,62	1,22	78,62	80,00	40	C5	15,34	1,36	86,89	80,00
77	D14	4,19	0,00	82,19	84,00	78	D15	4,19	1,36	88,19	90,00	79	D16	4,19	1,41	94,19	96,00	80	D17	4,19	1,36	100,19	102,00
41	C6	15,34	1,36	98,89	96,00	13	B6	14,62	1,41	104,22	96,00	42	C7	15,34	1,36	111,34	112,00	14	B7	14,62	1,41	116,22	112,00
84	D21	4,19	1,36	124,19	126,00	82	D19	4,19	1,41	112,19	114,00	81	D18	4,19	1,36	116,89	108,00	86	D23	4,19	1,41	136,19	138,00
85	D22	4,19	0,00	130,19	132,00	43	C8	15,34	1,36	128,89	128,00	83	D20	4,19	0,00	121,08	120,00	44	C9	15,34	1,36	152,89	144,00
2	A2	8,83	1,21	140,23	140,00	88	D25	4,19	1,36	148,19	150,00	15	B8	14,62	1,41	137,11	128,00	90	D27	4,19	1,36	160,19	162,00
16	B9	14,62	1,22	156,07	144,00	17	B10	14,62	1,41	164,22	160,00	87	D24	4,19	1,41	142,72	144,00	92	D29	4,19	0,00	172,19	174,00
91	D28	4,19	1,41	166,19	168,00	18	B11	14,62	0,00	178,84	176,00	89	D26	4,19	0,00	154,19	156,00	93	D30	4,19	0,00	178,19	180,00
46	C11	15,34	1,36	182,89	176,00	96	D33	4,19	1,41	196,19	198,00	45	C10	15,34	1,36	170,89	160,00	47	C12	15,34	1,36	194,89	192,00
95	D32	4,19	1,36	190,19	192,00	97	D34	4,19	0,00	202,19	204,00	94	D31	4,19	1,36	184,19	186,00	3	A3	8,83	0,50	204,22	210,00
20	B13	14,62	1,41	206,62	208,00	48	C13	15,34	1,36	218,89	208,00	19	B12	14,62	1,41	200,22	192,00	99	D36	4,19	1,21	214,19	216,00
49	C14	15,34	0,64	223,34	224,00	102	D39	4,19	1,36	232,19	234,00	98	D35	4,19	1,41	208,19	210,00	101	D38	4,19	0,00	226,19	228,00
104	D41	4,19	1,36	244,19	246,00	22	B15	14,62	1,41	248,22	240,00	100	D37	4,19	0,00	220,19	222,00	50	C15	15,34	1,36	242,89	240,00
23	B16	14,62	1,41	260,22	256,00	106	D43	4,19	1,41	256,19	258,00	21	B14	14,62	1,41	236,22	224,00	51	C16	15,34	0,00	258,23	256,00
109	D46	4,19	1,41	274,19	276,00	108	D45	4,19	0,00	268,19	270,00	103	D40	4,19	1,41	241,83	240,00	4	A4	8,83	0,50	267,56	280,00
110	D47	4,19	0,00	280,19	282,00	24	B17	14,62	1,41	284,22	272,00	105	D42	4,19	0,00	250,19	252,00	112	D49	4,19	1,21	292,19	294,00
25	B18	14,62	1,41	296,22	288,00	111	D48	4,19	1,41	289,83	288,00	107	D44	4,19	0,00	262,19	264,00	26	B19	14,62	0,00	306,81	304,00
114	D51	4,19	1,41	304,19	306,00	113	D50	4,19	0,00	298,19	300,00	52	C17	15,34	1,36	278,89	272,00	27	B20	14,62	0,00	321,43	320,00
116	D53	4,19	0,00	316,19	318,00	54	C19	15,34	1,36	314,89	304,00	53	C18	15,34	0,00	294,23	288,00	120	D57	4,19	1,41	340,19	342,00
117	D54	4,19	0,00	322,19	324,00	118	D55	4,19	1,36	328,19	330,00	115	D52	4,19	1,36	310,19	312,00	5	A5	8,83	1,21	350,23	350,00
56	C21	15,34	1,36	338,89	336,00	28	B21	14,62	1,41	344,22	336,00	55	C20	15,34	1,36	326,89	320,00	123	D60	4,19	1,21	358,19	360,00
29	B22	14,62	0,64	354,15	352,00	122	D59	4,19	1,41	352,19	354,00	119	D56	4,19	1,36	334,19	336,00	58	C23	15,34	1,36	374,89	368,00
125	D62	4,19	1,41	370,19	372,00	124	D61	4,19	0,00	364,19	366,00	121	D58	4,19	0,00	346,19	348,00	128	D65	4,19	1,36	388,19	390,00
59	C24	15,34	1,36	386,89	384,00	30	B23	14,62	1,41	380,22	368,00	57	C22	15,34	1,36	362,89	352,00	32	B25	14,62	1,41	404,22	400,00
130	D67	4,19	1,36	400,19	402,00	127	D64	4,19	1,41	385,83	384,00	126	D63	4,19	1,36	376,19	378,00	6	A6	8,83	1,22	414,28	420,00
132	D69	4,19	0,00	412,19	414,00	129	D66	4,19	0,00	394,19	396,00	31	B24	14,62	1,41	392,22	384,00	134	D71	4,19	1,205	424,19	426,00
33	B26	14,62	1,41	428,22	416,00	60	C25	15,34	1,36	410,89	400,00	131	D68	4,19	1,41	406,19	408,00	7	A7	8,83	1,205	434,23	440,00
135	D72	4,19	1,41	433,83	432,00	133	D70	4,19	1,36	418,19	420,00	61	C26	15,34	1,36	422,89	416,00	136	D73	4,19	1,205	439,63	438,00
63	C28	15,34	1,355	450,53	440,00	62	C27	15,34	1,36	434,89	432,00	34	B27	14,62	0,64	438,15	432,00	35	B28	14,62	1,41	455,66	440,00
						137	D74	4,19	1,36	442,19	440,00												
Total		298,20	34,16			297,03	36,05			309,35	32,75			306,34	32,74								
Tempo Total Operador		Ttarefas + Tdeslocamentos		332,36		333,08				342,10				339,08									
Tempo Inativo		Tmax - Tempo Total Operador		107,44		106,72				97,70				100,72									
Número de tarefas				13		18				15				12									
atrasadas																							
Taxa ocupação		76%				76%				78%				77%									
Tarefas Atrasadas																							

Figura F.1: Solução obtida pela aplicação da heurística EDD

Folga mínima																							
Operador 1						Operador 2						Operador 3						Operador 4					
Tarefas indic	Tarefas letra	TTarefa	Deslocamer	FT	DD	Tarefas indic	Tarefas letra	TTarefa	Deslocament	FT	DD	Tarefas indice	Tarefas letra	TTarefa	Deslocamentos	FT	DD	Tarefas indice	Tarefas letra	TTarefa	Deslocamentos	FT	DD
64	D1	4,19	0,00	4,19	6,00	65	D2	4,19	0,00	10,19	12,00	36	C1	15,34	0,00	15,34	16,00	8	B1	14,62	0,00	14,62	16,00
66	D3	4,19	0,00	16,19	18,00	67	D4	4,19	0,00	22,19	24,00	70	D7	4,19	1,36	40,19	42,00	69	D6	4,19	1,41	34,19	36,00
37	C2	15,34	1,36	32,89	32,00	68	D5	4,19	0,00	28,19	30,00	10	B3	14,62	1,41	56,22	48,00	38	C3	15,34	1,36	50,89	48,00
72	D9	4,19	1,36	52,19	54,00	9	B2	14,62	1,41	44,22	32,00	74	D11	4,19	1,41	64,19	66,00	1	A1	8,83	0,50	60,22	70,00
39	C4	15,34	1,36	68,89	64,00	71	D8	4,19	1,41	49,83	48,00	75	D12	4,19	0,00	70,19	72,00	76	D13	4,19	1,21	76,19	78,00
12	B5	14,62	0,64	84,15	80,00	73	D10	4,19	0,00	58,19	60,00	40	C5	15,34	1,36	86,89	80,00	78	D15	4,19	0,00	88,19	90,00
79	D16	4,19	1,41	94,19	96,00	11	B4	14,62	1,41	74,22	64,00	80	D17	4,19	1,36	100,19	102,00	13	B6	14,62	1,41	104,22	96,00
14	B7	14,62	1,41	110,62	112,00	77	D14	4,19	1,41	82,19	84,00	42	C7	15,34	1,36	116,89	112,00	83	D20	4,19	1,41	118,19	120,00
81	D18	4,19	1,41	116,22	108,00	41	C6	15,34	1,36	98,89	96,00	86	D23	4,19	1,36	136,19	138,00	15	B8	14,62	1,41	134,22	128,00
84	D21	4,19	0,00	124,19	126,00	82	D19	4,19	1,36	112,19	114,00	44	C9	15,34	1,36	152,89	144,00	87	D24	4,19	1,41	142,19	144,00
85	D22	4,19	0,00	130,19	132,00	43	C8	15,34	1,36	128,89	128,00	90	D27	4,19	1,36	160,19	162,00	89	D26	4,19	0,00	154,19	156,00
2	A2	8,83	1,21	140,23	140,00	88	D25	4,19	1,36	148,19	150,00	92	D29	4,19	0,00	172,19	174,00	17	B10	14,62	1,41	170,22	160,00
16	B9	14,62	1,22	156,07	144,00	45	C10	15,34	1,36	164,89	160,00	93	D30	4,19	0,00	178,19	180,00	94	D31	4,19	1,41	184,19	186,00
91	D28	4,19	1,41	166,19	168,00	18	B11	14,62	0,64	180,15	176,00	47	C12	15,34	1,36	194,89	192,00	19	B12	14,62	1,41	200,22	192,00
46	C11	15,34	1,36	182,89	176,00	96	D33	4,19	1,41	196,19	198,00	3	A3	8,83	0,50	204,22	210,00	97	D34	4,19	1,41	205,83	204,00
95	D32	4,19	1,36	190,19	192,00	20	B13	14,62	1,41	212,22	208,00	99	D36	4,19	1,21	214,19	216,00	98	D35	4,19	0,00	210,02	210,00
48	C13	15,34	1,36	207,34	208,00	102	D39	4,19	1,41	232,19	234,00	101	D38	4,19	0,00	226,19	228,00	100	D37	4,19	0,00	220,19	222,00
49	C14	15,34	0,00	223,34	224,00	22	B15	14,62	1,41	248,22	240,00	50	C15	15,34	1,36	242,89	240,00	21	B14	14,62	1,41	236,22	224,00
104	D41	4,19	1,36	244,19	246,00	23	B16	14,62	0,00	262,84	256,00	106	D43	4,19	1,36	256,19	258,00	103	D40	4,19	1,41	241,83	240,00
51	C16	15,34	1,36	260,89	256,00	109	D46	4,19	1,41	274,19	276,00	108	D45	4,19	0,00	268,19	270,00	105	D42	4,19	0,00	250,19	252,00
4	A4	8,83	0,50	270,22	280,00	110	D47	4,19	0,00	280,19	282,00	24	B17	14,62	1,41	284,22	272,00	107	D44	4,19	0,00	262,19	264,00
112	D49	4,19	1,21	292,19	294,00	25	B18	14,62	1,41	296,22	288,00	111	D48	4,19	1,41	289,83	288,00	52	C17	15,34	1,36	278,89	272,00
54	C19	15,34	1,36	308,89	304,00	115	D52	4,19	1,41	310,19	312,00	113	D50	4,19	0,00	298,19	300,00	53	C18	15,34	0,00	294,23	288,00
27	B20	14,62	0,64	324,15	320,00	55	C20	15,34	1,36	326,89	320,00	26	B19	14,62	1,41	314,22	304,00	114	D51	4,19	1,36	304,19	306,00
120	D57	4,19	1,41	340,19	342,00	119	D56	4,19	1,36	334,19	336,00	118	D55	4,19	1,41	328,19	330,00	116	D53	4,19	0,00	316,19	318,00
5	A5	8,83	1,21	350,23	350,00	121	D58	4,19	0,00	346,19	348,00	28	B21	14,62	1,41	344,22	336,00	117	D54	4,19	0,00	322,19	324,00
123	D60	4,19	1,21	358,19	360,00	122	D59	4,19	0,00	352,19	354,00	29	B22	14,62	0,00	358,84	352,00	56	C21	15,34	1,36	338,89	336,00
58	C23	15,34	1,36	374,89	368,00	124	D61	4,19	0,00	364,19	366,00	126	D63	4,19	1,41	376,19	378,00	57	C22	15,34	0,00	354,23	352,00
128	D65	4,19	1,36	388,19	390,00	30	B23	14,62	1,41	380,22	368,00	31	B24	14,62	1,41	392,22	384,00	125	D62	4,19	1,36	370,19	372,00
60	C25	15,34	1,36	404,89	400,00	127	D64	4,19	1,41	385,83	384,00	130	D67	4,19	1,41	400,19	402,00	59	C24	15,34	1,36	386,89	384,00
6	A6	8,83	0,50	414,22	420,00	129	D66	4,19	0,00	394,19	396,00	132	D69	4,19	0,00	412,19	414,00	131	D68	4,19	1,36	406,19	408,00
34	B27	14,62	1,22	430,62	432,00	32	B25	14,62	1,41	410,22	400,00	33	B26	14,62	1,41	428,22	416,00	61	C26	15,34	1,36	422,89	416,00
137	D74	4,19	1,41333	442,19	440,00	133	D70	4,19	1,41	418,19	420,00	135	D72	4,19	1,41	433,83	432,00	134	D71	4,19	1,355	428,44	426,00
						62	C27	15,34	1,36	434,89	432,00	63	C28	15,34	1,355	450,53	440,00	136	D73	4,19	0	436,19	438,00
						35	B28	14,62	0,64	450,15	440,00							7	A7	8,83	1,205	446,23	440,00

Total	309,38	34,28		306,73	33,32		298,20	33,57		296,61	30,65
Total Operador		343,66			340,06			331,77			327,27
Tempo Inativo		96,14			99,74			108,03			112,54
Número de tarefas atrasadas		13			14			14			14
Taxa ocupação		78%			77%			75%			74%

Tarefas Atrasadas

Figura F.2: Solução obtida pela aplicação da heurística Folga Mínima

Menor deslocamento																							
Operador 1						Operador 2						Operador 3						Operador 4					
Tarefas indic	arefas let	TTarefa	Deslocame	FT	DD	Tarefas indic	Tarefas let	TTarefa	Deslocamento	FT	DD	Tarefas indic	Tarefas let	TTarefa	Deslocamentos	FT	DD	Tarefas indic	Tarefas let	TTarefa	Deslocamentos	FT	DD
8	B1	14,62	0,00	14,62	16,00	36	C1	15,34	0,00	15,34	16,00	64	D1	4,19	0,00	4,19	6,00	1	A1	8,83	0,00	8,83	70,00
9	B2	14,62	0,00	30,62	32,00	38	C3	15,34	0,00	47,34	48,00	65	D2	4,19	0,00	10,19	12,00	37	C2	15,34	0,50	31,34	32,00
11	B4	14,62	0,00	62,62	64,00	39	C4	15,34	0,00	63,34	64,00	66	D3	4,19	0,00	16,19	18,00	10	B3	14,62	0,64	46,62	48,00
12	B5	14,62	0,00	78,62	80,00	40	C5	15,34	0,00	79,34	80,00	67	D4	4,19	0,00	22,19	24,00	2	A2	8,83	1,22	78,83	140,00
13	B6	14,62	0,00	94,62	96,00	42	C7	15,34	0,00	111,34	112,00	68	D5	4,19	0,00	28,19	30,00	41	C6	15,34	0,50	95,34	96,00
15	B8	14,62	0,00	126,62	128,00	43	C8	15,34	0,00	127,34	128,00	69	D6	4,19	0,00	34,19	36,00	14	B7	14,62	0,64	110,62	112,00
16	B9	14,62	0,00	142,62	144,00	44	C9	15,34	0,00	143,34	144,00	70	D7	4,19	0,00	40,19	42,00	3	A3	8,83	1,22	148,83	210,00
17	B10	14,62	0,00	158,62	160,00	45	C10	15,34	0,00	159,34	160,00	71	D8	4,19	0,00	46,19	48,00	46	C11	15,34	0,50	175,34	176,00
18	B11	14,62	0,00	174,62	176,00	47	C12	15,34	0,00	191,34	192,00	72	D9	4,19	0,00	52,19	54,00	19	B12	14,62	0,64	190,62	192,00
20	B13	14,62	0,00	206,62	208,00	48	C13	15,34	0,00	207,34	208,00	73	D10	4,19	0,00	58,19	60,00	4	A4	8,83	1,22	218,83	280,00
21	B14	14,62	0,00	222,62	224,00	49	C14	15,34	0,00	223,34	224,00	74	D11	4,19	0,00	64,19	66,00	50	C15	15,34	0,50	239,34	240,00
22	B15	14,62	0,00	238,62	240,00	51	C16	15,34	0,00	255,34	256,00	75	D12	4,19	0,00	70,19	72,00	23	B16	14,62	0,64	254,62	256,00
24	B17	14,62	0,00	270,62	272,00	52	C17	15,34	0,00	271,34	272,00	76	D13	4,19	0,00	76,19	78,00	5	A5	8,83	1,22	288,83	350,00
25	B18	14,62	0,00	286,62	288,00	53	C18	15,34	0,00	287,34	288,00	77	D14	4,19	0,00	82,19	84,00	56	C21	15,34	0,50	335,34	336,00
26	B19	14,62	0,00	302,62	304,00	54	C19	15,34	0,00	303,34	304,00	78	D15	4,19	0,00	88,19	90,00	6	A6	8,83	0,50	358,83	420,00
27	B20	14,62	0,00	318,62	320,00	55	C20	15,34	0,00	319,34	320,00	79	D16	4,19	0,00	94,19	96,00	59	C24	15,34	0,50	383,34	384,00
28	B21	14,62	0,00	334,62	336,00	57	C22	15,34	0,00	351,34	352,00	80	D17	4,19	0,00	100,19	102,00	7	A7	8,83	0,50	428,83	440,00
29	B22	14,62	0,00	350,62	352,00	58	C23	15,34	0,00	367,34	368,00	81	D18	4,19	0,00	106,19	108,00						
30	B23	14,62	0,00	366,62	368,00	60	C25	15,34	0,00	399,34	400,00	82	D19	4,19	0,00	112,19	114,00						
31	B24	14,62	0,00	382,62	384,00	61	C26	15,34	0,00	415,34	416,00	83	D20	4,19	0,00	118,19	120,00						
32	B25	14,62	0,00	398,62	400,00	62	C27	15,34	0,00	431,34	432,00	84	D21	4,19	0,00	124,19	126,00						
33	B26	14,62	0,00	414,62	416,00	63	C28	15,34	0,00	447,34	448,00	85	D22	4,19	0,00	130,19	132,00						
34	B27	14,62	0,00	430,62	432,00							86	D23	4,19	0,00	136,19	138,00						
35	B28	14,62	0,00	446,62	448,00							87	D24	4,19	0,00	142,19	144,00						
												88	D25	4,19	0,00	148,19	150,00						
												89	D26	4,19	0,00	154,19	156,00						
												90	D27	4,19	0,00	160,19	162,00						
												91	D28	4,19	0,00	166,19	168,00						
												92	D29	4,19	0,00	172,19	174,00						
												93	D30	4,19	0,00	178,19	180,00						
												94	D31	4,19	0,00	184,19	186,00						
												95	D32	4,19	0,00	190,19	192,00						
												96	D33	4,19	0,00	196,19	198,00						
												97	D34	4,19	0,00	202,19	204,00						
												98	D35	4,19	0,00	208,19	210,00						
												99	D36	4,19	0,00	214,19	216,00						
												100	D37	4,19	0,00	220,19	222,00						
												101	D38	4,19	0,00	226,19	228,00						
												102	D39	4,19	0,00	232,19	234,00						
												103	D40	4,19	0,00	238,19	240,00						
												104	D41	4,19	0,00	244,19	246,00						
												105	D42	4,19	0,00	250,19	252,00						
												106	D43	4,19	0,00	256,19	258,00						
												107	D44	4,19	0,00	262,19	264,00						
												108	D45	4,19	0,00	268,19	270,00						
												109	D46	4,19	0,00	274,19	276,00						
												110	D47	4,19	0,00	280,19	282,00						
												111	D48	4,19	0,00	286,19	288,00						
												112	D49	4,19	0,00	292,19	294,00						
												113	D50	4,19	0,00	298,19	300,00						
												114	D51	4,19	0,00	304,19	306,00						
												115	D52	4,19	0,00	310,19	312,00						
												116	D53	4,19	0,00	316,19	318,00						
												117	D54	4,19	0,00	322,19	324,00						
												118	D55	4,19	0,00	328,19	330,00						
												119	D56	4,19	0,00	334,19	336,00						
												120	D57	4,19	0,00	340,19	342,00						
												121	D58	4,19	0,00	346,19	348,00						
												122	D59	4,19	0,00	352,19	354,00						
												123	D60	4,19	0,00	358,19	360,00						
												124	D61	4,19	0,00	364,19	366,00						
												125	D62	4,19	0,00	370,19	372,00						
												126	D63	4,19	0,00	376,19	378,00						
												127	D64	4,19	0,00	382,19	384,00						
												128	D65	4,19	0,00	388,19	390,00						
												129	D66	4,19	0,00	394,19	396,00						
												130	D67	4,19	0,00	400,19	402,00						

Anexo G

Evidências de implementação da metodologia 5S e gestão visual



Figura G.1: Marcações do chão de fábrica

BorgWarner		INSTRUÇÃO DE OPERAÇÃO		Nº Documento Data de emissão Data de revisão Nível de Revisão		QR Code
Cliente	Referência interna	Denominação de peça	Nº Instrução			
	2020978	TSG MODUL BORGWARNER				
Refº Cliente	Referência do sub-conjunto	Denominação do sub-conjunto	Data revisão			
			Página 1 de 1			
Nº de linha	Nº de máquina	Código de operação	Denominação da Operação			
ALL	-	OPMULTI	Instrução de Limpeza Geral			
Descrição Modo Operatório						
1 O material encontra-se no carrinho de limpeza 5S						
		Material disponível: Mopa Panos Pulverizador Vassoura Aspirador				Cada linha produtiva possui um carrinho de limpeza 5S
2 Colocar material no respectivo sítio de aprovisionamento						
						Arrumar ferramentas, úteis, maquetas e documentos. Fechar tampas e colocar carrinhos no devido local.
3 Limpar bancada de trabalho						
				Certificar que não fica lixo nas bancadas!		
4 Limpar chão na zona de trabalho						
				Na linha E MT 1300 PE Integration utilizar apenas aspirador ESD para limpar o chão. Utilizar apanhador e colocar lixo nos contentores		
Componentes no Processo						
Código dos componentes	Quantidade	Denominação dos componentes				
Elaboração	Validação ME	Validação PL	Validação AE	Validação Packaging	Validação HSE	
Carina Marques			NÃO APLICÁVEL	NÃO APLICÁVEL		
Data da revisão:		Motivo da revisão:				

Figura G.2: Instrução de limpeza geral