

Implementação de um comboio logístico no abastecimento de matérias-primas às secções produtivas

Bernardo Gonçalves de Araújo Barros

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Carlos Bragança



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2020-09-21

The only way of catching a train I have ever discovered is to miss the train before.

Resumo

A crescente competitividade no mercado levou à necessidade de as empresas investirem em ferramentas de melhoria contínua. Estas permitem eliminar desperdícios no processo produtivo, o que se traduz numa redução dos custos associados às operações e num aumento da produtividade.

O projeto realizado surge da necessidade de a empresa otimizar o seu fluxo de logística interna, mais especificamente, a distribuição de matérias-primas pela unidade industrial que revelava baixa eficiência. Tendo isso em conta, intentou-se realizar o estudo e a respetiva implementação de uma distribuição utilizando um transportador logístico.

Primeiramente, foi feita uma análise ao fluxo de matérias-primas de toda a fábrica. Deste estudo, foram retirados dados que serviram de variáveis de entrada para a realização de uma simulação computacional que pretendia recriar o uso de um comboio logístico na distribuição de matérias-primas por 4 sectores da unidade industrial. Foram ensaiados 3 cenários, que se diferenciavam no tipo de operação de carga e descarga de materiais em cada estação. Para além disso, avaliou-se em cada um deles o impacto da alteração da capacidade de paletes transportadas. Constatou-se que, em todos cenários de simulação, a utilização do transportador revelava ser benéfica para a fábrica. Tendo em conta os resultados da simulação, ficou decidido que o número de paletes que o transportador iria armazenar seria de 6 e que, para o processo de carga e descarga de matérias-primas, seria estudada a implementação de tipos de operações diferentes, para avaliar a que mais se adaptava à fábrica.

A segunda parte do projeto consistiu na implementação do comboio logístico. Foram executadas várias voltas de teste, de forma a perceber de que maneira a fábrica e os operadores se adaptavam às novas operações. O que, além do mais, permitiu definir qual o método de descarga de paletes mais eficiente. Para tornar a distribuição mais *just-in-time*, foram criados cartões *Kanban*, que serviram para aprimorar o fluxo de informação entre o armazém de matérias-primas e as fábricas. Foram também delineados um plano de entregas para o transportador e um plano de programação de encomendas para os engenheiros responsáveis pelo planeamento de cada secção.

Por fim, foi criado um documento em que se encontram todos os indicadores de desempenho do comboio logístico, com o intuito de avaliar a performance diária do mesmo.

Implementation of a logistics train to supply raw materials to the productive sections

Increasing competitiveness in the market has led to the need for companies to invest in tools for continuous improvement. These tools allow for the elimination of waste in the productive process, and this translates into a reduction in costs associated with operations and an increase in productivity.

The present project arose from the company's need to optimize its internal logistics flow, more specifically, the distribution of raw materials in the industrial unit: initially this was outdated and with low efficiency levels. With that in mind, a study was first carried out and a distribution system was implemented through the use of a logistics transporter.

In the first place, an analysis was undertaken of the flow of raw materials within the whole factory. From this study, data were extracted which served as input variables for carrying out a computer simulation: this intended to recreate the use of a logistics train in the distribution of raw materials across four sectors of the industrial unit. Three scenarios were evaluated which differed in the type of loading and unloading of materials at each station. Furthermore, the impact of changing the capacity of transported pallets was assessed in each of them. It was noted that in all the simulated scenarios the use of the transporter proved to be beneficial for the factory. Taking into account the results of the simulation, it was decided that the transporter would be able to store six pallets and, for the process of loading and unloading raw materials, the implementation of different types of operations would be studied in order to assess the one which best suited the factory.

The second part of the project consisted of implementing the logistics train. Several test runs were performed, in order to understand how the factory and the operators were adapting to the new operations. Above all, this made it possible to define the most efficient method for unloading pallets. To make distribution more just-in-time, Kanban cards were created in order to improve the flow of information between the raw materials warehouse and the factories. A delivery plan was also defined for the carrier, as was an order programming plan for the engineers responsible for planning each section.

Finally, a document was created containing all the performance indicators for the logistics train with the aim of being able to assess its daily performance.

Agradecimentos

Foram os meus primeiros 5 anos a estudar Engenharia. Com certeza não pararei de o fazer. Sinto que fui ganhando cada vez mais gosto pelo curso com o decorrer desta caminhada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, que culminou com a elaboração da presente dissertação. Nunca poderei dizer que andei sozinho. Muitas pessoas me acompanharam e apoiaram. A todos eles quero demonstrar o meu sincero agradecimento.

Em primeiro lugar, não podia deixar de agradecer à CIN, pela oportunidade que me proporcionou de concretizar a minha última etapa como estudante e por me ter aberto as portas para o mundo empresarial.

Também gostaria de expressar gratidão à minha orientadora da empresa, Engenheira Mariana Martins, pela disponibilidade constante, pelo apoio demonstrado e pelo conhecimento partilhado. Na empresa, também não poderei esquecer o Engenheiro Pedro Cruz, a quem estou grato pela oportunidade concedida e pelo acompanhamento dispensado.

Ao Professor Carlos Bragança, orientador do projeto na Universidade, pela preciosa ajuda disponibilizada e pela atenta orientação.

A todos os colaboradores do armazém de matérias-primas, pela paciência, pela colaboração, pela amizade, pelos ensinamentos transmitidos e pelo excelente ambiente de trabalho criado. Sem eles, este projeto não teria sido tão compensador.

Aos meus amigos e fiéis companheiros, pelos tempos que passámos juntos e pelos momentos que vivemos sempre ao máximo.

Finalmente, aos meus Pais. Sem eles, este percurso nunca tinha sido possível. Obrigado por me incentivarem a ambicionar sempre mais e por estarem presentes nos momentos bons e, acima de tudo, nos maus. Foram o meu Grande exemplo.

Um obrigado a todos eles, bem como às demais pessoas que tornaram estes anos tão especiais e que irei sempre recordar.

Índice de Conteúdos

Siglas	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	x
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2 O Grupo CIN.....	1
1.3 Objetivos do projeto	3
1.4 Método seguido no projeto.....	4
1.5 Estrutura da dissertação.....	4
2 Revisão Bibliográfica.....	5
2.1 <i>Toyota Production System</i>	5
2.2 Princípios <i>Lean</i>	6
2.3 <i>Kaizen</i> e <i>Total Flow Management</i>	7
2.4 Fluxo de logística interna	9
2.4.1 <i>Mizusumashi</i>	9
2.5 Simulação.....	12
2.5.1 Construção de um modelo de simulação	13
2.5.2 ARENA	14
3 Diagnóstico da situação inicial.....	16
3.1 Processo de Produção de tintas	16
3.2 Armazém de matérias-primas.....	16
3.2.1 Descrição dos processos do armazém	18
3.2.1.1 Receção.....	19
3.2.1.2 Arrumação	19
3.2.1.3 <i>Picking</i> e pesagens.....	19
3.2.1.4 Expedição e distribuição.....	22
3.2.2 <i>Kaizen</i> Diário.....	22
3.3 Análise do fluxo de distribuição de matérias-primas	23
4 Apresentação da solução proposta	25
4.1 Comboio Logístico.....	25
4.1.1 Tarefas a realizar pelo comboio	25
4.1.2 Rota a percorrer pelo comboio	26
4.1.3 Veículo e atrelados	26
4.2 Simulação.....	27
4.2.1 Recolha de dados.....	28
4.2.2 Simulação Computacional.....	29
4.2.3 Identificação dos indicadores de desempenho e validação do modelo.....	34
4.2.4 Análise dos cenários criados	35
4.3 Implementação do comboio logístico	37
4.3.1 Postos de paragem.....	38
4.3.2 Normalização das operações	39
4.3.3 Plano de distribuição e fluxo de informação	40
4.3.4 Indicadores de performance	42
5 Conclusão.....	44
Referências Bibliográficas	46
ANEXO A: Blocos utilizados na simulação	47

ANEXO B: Diagrama de operações realizadas na fábrica	49
ANEXO C: Modelo completo de simulação	50
ANEXO D: Submodelo de apoio à decisão	51
ANEXO E: Tempo de voltas de teste.....	52
ANEXO F: Normas de funcionamento do comboio logístico.....	53
ANEXO G: Etiquetas de identificação das paletes	62
ANEXO H: Gráficos de tempos de voltas padrão do comboio logístico	62

Siglas

CIN - Corporação Industrial do Norte

ISO - *International Organization for Standardization*

QSA - Gestão da Qualidade, Segurança e Ambiente

TPS - *Toyota Production System*

TFM - *Total Flow Management*

JIT - *Just In Time*

OF - Ordem de fabrico

TE - Talão de Enchimento

IBC - *Intermediate Bulk Container*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

FEFO - *First Expired, First Out*

WMS - *Warehouse Management System*

MP - Matéria-Prima

Índice de Figuras

Figura 1 - Empresas possuídas pelo grupo CIN	2
Figura 2 - <i>Layout</i> da fábrica CIN Maia	3
Figura 3 - <i>Toyota production system house</i> (adaptado de Liker e Morgan, 2006).....	6
Figura 4 - Método de distribuição de empilhadora e de <i>Mizusumashi</i>	10
Figura 5 - Cartão <i>kanban</i> (adaptado de Ohno, 1988)	11
Figura 6 - Fluxograma de etapas para a realização de uma simulação (adaptado de Law e Kelton, 2000)	14
Figura 7 - Planta interna do armazém de matérias-primas	17
Figura 8 - Fluxo de operações de armazém	18
Figura 9 - Etiqueta de localização de lugar em estante convencional	19
Figura 10 - <i>Pick list</i> de sólidos (direita) e de líquidos (esquerda)	20
Figura 11 - Zona de pesagens	21
Figura 12 - Quadro <i>Kaizen</i>	23
Figura 13 - Rota de circulação do comboio logístico.....	26
Figura 14 - Veículo e atrelados escolhidos para executarem as tarefas do transportador	27
Figura 15 - Modelação do processo de avaliação do número de paletes de cada OF	30
Figura 16 - Modelação do processo de escolha de OF a alocar ao comboio logístico.....	31
Figura 17 - Características do módulo <i>Search</i> de procura na fila de espera	31
Figura 18 - Variáveis de carga do comboio alteradas no módulo <i>Assign</i>	32
Figura 19 - Modelação da estação “Armazém de Matérias-Primas”	32
Figura 20 - Modelação da Estação 1	33
Figura 21 - Modelação da Estação 3	33
Figura 22 - Características do transportador.....	33
Figura 23 - Distância definida entre as estações.....	33
Figura 24 - Planta da zona de expedição do armazém de matérias-primas.....	39
Figura 25 - Planta da zona de receção da estação 1 (esquerda) e 2 (direita)	39
Figura 26 - Gráfico de trabalho padrão de volta do comboio logístico com paragem nas estações 1 e 2	40
Figura 27 - Cartões <i>Kanban</i> de transporte.....	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Ferramentas do <i>Total Flow Management</i> (adaptado de Coimbra, 2013).....	8
Tabela 2 - Tipos de armazenamento de matérias-primas	18
Tabela 3 - Valores médios diários de distribuição de paletes.....	23
Tabela 4 - Estações de paragem do comboio logístico.....	26
Tabela 5 - Aumento diário do número de paletes em cada nave.....	28
Tabela 6 - Distribuições estatísticas referentes aos dados de entrada da simulação	29
Tabela 7 - Dados operacionais do comboio logístico utilizados na simulação	29
Tabela 8 - Números mínimos de réplicas para cada variável de entrada	35
Tabela 9 - Valores médios da amostra e valores médios da simulação.....	35
Tabela 10 - Valores médios dos indicadores obtidos nos primeiro e segundo cenários de simulação.....	36
Tabela 11 - Valores médios dos indicadores obtidos nos primeiro e terceiro cenários de simulação.....	36
Tabela 12 - Valores médios dos indicadores obtidos nos primeiro e quarto cenários de simulação.....	37
Tabela 13 - Plano de programação de encomendas.....	42
Tabela 14 - Indicadores de <i>performance</i> do comboio logístico	42

1 Introdução

O presente projeto foi desenvolvido na unidade industrial da CIN localizada no concelho da Maia, pertencente ao Grupo CIN, SA, no âmbito da unidade curricular de Dissertação em Ambiente Empresarial do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia de Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Com o passar dos anos, tem vindo a ser mais notória a importância da eliminação de desperdícios por parte das empresas nos seus processos produtivos. São incontáveis as empresas que atualmente utilizam ferramentas de melhoria contínua no intuito de obterem o máximo de eficiência nas suas operações. Para manter a competitividade, a CIN investiu, desde 2009, num projeto de implementação de práticas de melhoria contínua em todas as suas unidades produtivas, o qual se baseia na implementação de metodologias *Lean Manufacturing*.

A unidade industrial da CIN localizada na Maia tem vindo a aumentar a sua complexidade produtiva, o que levou a um incremento considerável e inevitável do seu fluxo de logística interna. Este fluxo elevado é notório na quantidade de movimentações de materiais e operações de apoio que ocorrem dentro da fábrica, que resulta numa utilização ineficiente de recursos e numa diminuição da produtividade.

Após uma análise dos problemas descritos, o departamento de melhoria contínua constatou que um dos principais fatores que leva a este elevado fluxo é a dificuldade em corresponder aos muitos pedidos de entrega de matérias-primas às naves produtivas, o que gerou a necessidade de implementação de um novo sistema logístico de abastecimento. Neste sentido, surge a necessidade de adequar e definir este sistema de abastecimento, visando uma resposta eficiente e a criação de um fluxo constante.

1.2 O Grupo CIN

O grupo CIN surgiu em 1917, como Companhia Industrial do Norte, SARL. Fabricava não só tintas e vernizes, mas também outros produtos, como óleos, sabões e velas. Em 1926, foi constituída uma nova sociedade, denominada Corporação Industrial do Norte, Lda, tendo por objeto social a produção e comercialização de tintas, vernizes e produtos afins.

Sedeada no concelho da Maia, é desde 1992 a empresa líder de mercado na produção de tintas e vernizes na Península Ibérica, com uma cota de mercado de 11%. Com mais de 1400 colaboradores e faturação anual de 241 milhões de euros, apresenta 10 unidades de produção, 3 centros de investigação e desenvolvimento (I&D) e 3 centros de distribuição, espalhados por cinco países: Portugal, Espanha, França, Angola e Moçambique. O grupo detém 8 empresas, cada uma com a sua marca própria e com a responsabilidade de uma posição de liderança no respetivo mercado (figura 1).

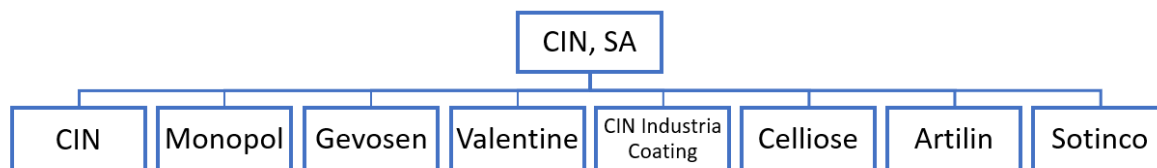


Figura 1 - Empresas do grupo CIN

A CIN distribui os seus produtos através de uma ampla rede de lojas: próprias, de franchisados, de concessionados e de revendedores autorizados. Os produtos fabricados e comercializados estão inseridos em 3 segmentos de mercado diferentes, apresentando cada um deles uma necessidade específica do cliente.

- i. Construção Civil: segmento que abrange tintas e vernizes de base solvente e aquosa, direcionadas para a decoração e reparação de superfícies do sector da construção civil; é o segmento com o maior peso nas vendas do grupo, com uma percentagem de 52% da sua totalidade.
- ii. Indústria: os produtos deste segmento destinam-se às indústrias do metal, madeira, plástico, vidros, repintura de veículos industriais e de transporte; enquadram-se aqui as tintas em pó para os mercados da arquitetura, aplicações industriais, mobiliário metálico, utilidades domésticas e componentes automóveis; este segmento representa 37% das vendas totais do grupo.
- iii. Proteção anticorrosiva: tintas e vernizes destinados à proteção de estruturas e equipamentos de aço e betão, quando expostos a ambientes agressivos, nomeadamente marítimos, químicos, urbanos e rurais; representa os restantes 11% da totalidade de vendas do grupo.

O grupo CIN anuncia assumir a missão de satisfazer integralmente as necessidades dos clientes, fornecendo as soluções mais adequadas, com a melhor equipa de mercado de vernizes e tintas. Procurando sempre conduzir os negócios com integridade e respeito pela lei e pelo ambiente.

A empresa possui tripla certificação QSA: ISO 9001 (Qualidade), ISO 14 001 (Gestão Ambiental) e OSHAS 18001 (Gestão da Saúde e Segurança Ocupacional). O que demonstra a preocupação do grupo no desenvolvimento sustentável e o comprometimento com o futuro do meio ambiente e com o bem-estar dos seus colaboradores, fornecedores e clientes em geral.

1.2.1 Unidade industrial Maia

O complexo industrial da CIN, na Maia, representa 65% da produção total do grupo. É constituído por várias unidades produtivas, denominadas naves de produção, com características próprias e finalidades distintas. Apresenta ainda um centro de investigação e desenvolvimento e um centro de distribuição, com instalações próprias, aproximadamente a um quilómetro das unidades produtivas. O *layout* da fábrica consta da figura 2.

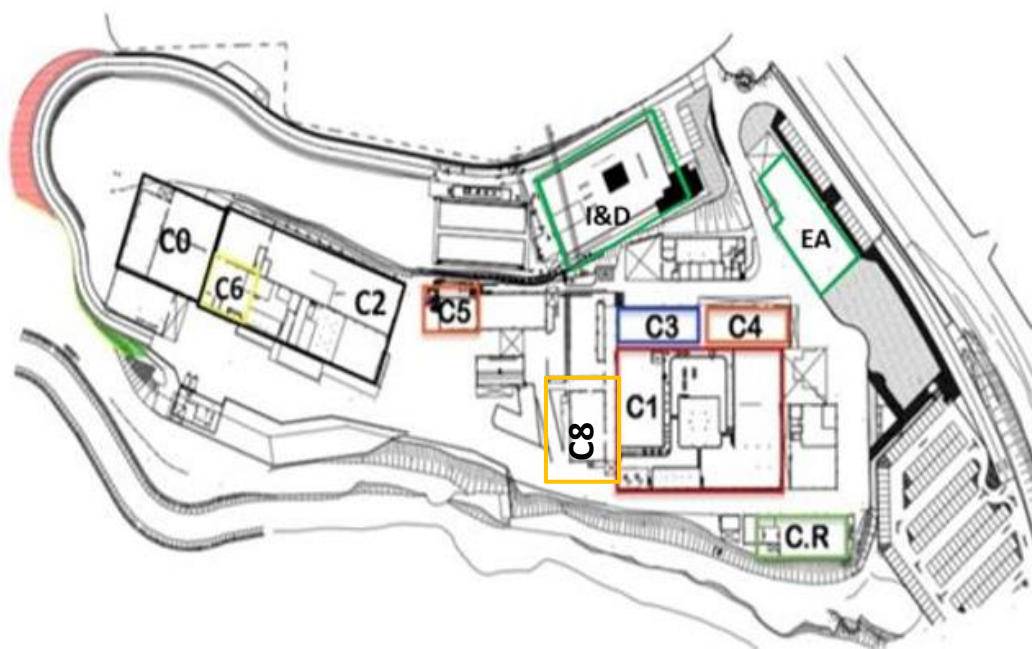


Figura 2 - Layout da fábrica CIN Maia

C0: Armazém de Matérias-Primas

C1: Nave Central – Produção de tintas de base aquosa e solvente

C2: Nováqua – Produção de tintas de base aquosa

C3: Fábrica de Brancos – Produção de tintas brancas e bases neutras (tanto de base aquosa como de base solvente)

C4: Fábrica de Vernizes

C5: Fábrica de Diluentes

C6: Fábrica de Massas de Reparação

C8: Fábrica de Tintas Industriais e Anticorrosivas

C.R.: Centro de Rotulagem - Rotulagem das embalagens

I&D: Departamento de Investigação e Desenvolvimento

EA: Edifício Administrativo

1.3 Objetivos do projeto

O presente projeto visa o estudo de implementação de um comboio logístico de distribuição de matérias-primas pelas diferentes naves produtivas, de forma a reduzir desperdícios e aumentar a produtividade. Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Estudo da melhoria da distribuição de matérias-primas para os diferentes sectores, com recurso a um comboio logístico;

- Definição dos fluxos de informação entre as diferentes fábricas e o armazém de matérias-primas, tendo em vista a otimização do processo produtivo;
- Normalização das tarefas a realizar pelo comboio logístico e resolução de problemas referentes à sua implementação na fábrica.

De forma a cumprir os objetivos definidos, efetuou-se a deteção dos constrangimentos e o levantamento das necessidades, relativamente à distribuição de matérias-primas, procedendo-se de seguida à sua análise e propondo-se finalmente a implementação de soluções que contribuam para o melhoramento da logística interna da fábrica.

1.4 Método seguido no projeto

Inicialmente, foi feita uma análise ao fluxo de distribuição de matérias-primas que vigora atualmente na fábrica. De seguida, foi efetuado um estudo, para entender de que maneira o comboio logístico poderia ser implementado na fábrica. Neste estudo, foram definidos as possíveis rotas e estações de paragens do comboio e o modo de operação do veículo. Posteriormente, analisou-se o impacto da implementação de uma política de distribuição das matérias-primas *just-in-time*, em que as paletes contêm matérias-primas referentes apenas a uma ordem de fabrico específica, em comparação com o método atual, em que são distribuídas matérias-primas de fabricos diferentes na mesma palete.

Recorrendo aos valores obtidos relativos às necessidades de paletes de matérias-primas por cada setor, foram elaborados diferentes cenários, utilizando um *software* de simulação em que se variou a capacidade de transporte do comboio logístico. Após a obtenção dos indicadores de cada cenário, foi efetuada uma análise crítica, tendo em vista uma solução otimizada.

Foi ainda necessária a definição do fluxo de informação entre o armazém de matérias-primas e os diferentes destinos das matérias-primas. Recorreu-se à elaboração de cartões *kanban*, para sinalizar a necessidade de matérias-primas específicas por cada sector, e à criação de um plano de programação de encomendas, de forma a estimular os intervalos de tempo nos quais é obrigatório fazer o pedido de matérias-primas.

Por fim, fez-se o acompanhamento da implementação do comboio na fábrica, de forma a reportar e eliminar os problemas encontrados e normalizar as tarefas a realizar.

1.5 Estrutura da dissertação

A presente dissertação é composta por cinco capítulos. No primeiro, é feito o enquadramento do tema, definem-se os objetivos do projeto, descreve-se a metodologia de investigação utilizada e apresenta-se a estrutura da dissertação. No segundo capítulo, faz-se uma revisão bibliográfica dos conceitos fundamentais que foram a base teórica para a realização da dissertação. No terceiro, é apresentado o processo de produção, com uma descrição mais pormenorizada dos processos referentes ao armazém de matérias primas, bem como a formulação do problema. No quarto, são descritas detalhadamente as propostas de melhoria ao problema e é discutida a solução ótima. No quinto e último capítulo, são apresentadas as principais conclusões e formuladas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Toyota Production System

Atualmente, na maioria das fábricas, o modelo geral de produção consiste na retenção de *stocks* em todos os seus processos, para prevenir problemas que possam ocorrer ou alterações inesperadas na procura. Na prática, este modelo cria frequentemente um desequilíbrio de inventário entre os processos. O que gera peças paradas, que poderão eventualmente não vir a ser utilizadas. Usualmente denominado por sistema *Push*, é um modelo em que os processos empurram o material para o processo seguinte, o que cria grandes desperdícios produtivos, tanto a nível de excessos de máquinas ou trabalhadores, como de produtos. Para contrariar este paradigma, foi criado o *Toyota Production System* (Sugimori *et al* 1977).

O *Toyota Production System* surgiu no Japão depois da segunda guerra mundial, face à necessidade das principais fábricas da indústria automóvel nacionais de acompanharem os grandes produtores dos países ocidentais. Tendo os japoneses menos recursos, tanto a nível de fundos como de infraestruturas, foi necessária a implementação de um sistema que aumentasse a produção e reduzisse os custos (Monden, 1983).

Segundo Liker e Morgan (2006), o objetivo deste sistema de produção Toyota é a eliminação completa de desperdícios. A maneira mais comum de o esquematizar é através da representação de uma casa (figura 3). Foi escolhida esta configuração por realçar a importância que deve ser dada a todos os alicerces do sistema e à sua interdependência. Os dois pilares necessários para suportar o sistema são a filosofia *Just-in-Time* e o *Jidoka*. Sendo a estabilidade e padronização dos processos um pré-requisito do mesmo.

O sistema de gestão *Just-in-Time* é caracterizado pela produção apenas das unidades necessárias, nas quantidades necessárias e no tempo mínimo necessário. Se fosse aplicado integralmente, todos os *stocks* seriam eliminados, tornando-se dispensáveis os armazéns para guardar materiais parados. É baseado num sistema *pull*, em que só são produzidas as unidades encomendadas pelo cliente, sendo este quem desencadeia todas as operações de produção. Os operadores de um determinado processo dirigem-se ao processo anterior e retiram apenas as unidades necessárias para iniciarem o seu processo. Na sequência do que, os operadores do processo anterior iniciam a produção do número de peças que foram retiradas, para as substituir. Tal implica um fluxo de informação entre os centros de trabalho muito precisa e de resposta rápida. Uma das técnicas mais utilizadas para transmitir essa informação da necessidade de produção é denominada por cartão *kanban*, que adiante vai ser descrito com mais detalhe. (Monden, 1983)

O outro pilar do sistema de produção Toyota é o *Jidoka*. Atualmente, a maioria das máquinas trabalha sozinha, com pouca intervenção humana. No entanto, se existir qualquer anomalia no seu processo de funcionamento, como por exemplo a queda de material exterior para dentro da máquina, esse funcionamento fica comprometido, podendo originar dezenas ou centenas de peças defeituosas, até que o incidente seja detetado. Para combater este tipo de problemas, a solução encontrada foi a autonomação ou *Jidoka* (automação com o toque humano). Sistema em que as máquinas conseguem detetar e prevenir os problemas autonomamente. Esta ideia foi desenvolvida durante o processo de criação de uma máquina de tecelagem, pelo fundador da Toyota *Toyoda Sakichi*. Esta máquina possuía um dispositivo capaz de distinguir as condições normais e anormais no seu funcionamento. Detetada qualquer anomalia, a máquina parava automaticamente. Tal possibilidade altera totalmente a dinâmica dentro de uma fábrica. Como um operador só é necessário quando ocorre uma situação anormal, este consegue atuar

simultaneamente em várias máquinas. Fator que reduz o número de operadores e aumenta a eficiência da produção (Ohno, 1988).

A estabilidade e padronização dos processos é um pré-requisito do sistema, só sendo possível equilibrar estes dois pilares do TPS com recurso a um nivelamento da produção, denominado *heijunka*. Tal nivelamento visa equilibrar o volume e a variedade da produção, bem como a carga de trabalho, proporcionando oportunidades de padronização de processos. Desta forma, aumenta-se a estabilidade e a flexibilidade da produção, bem como a capacidade de resposta à variação da procura no mercado (Liker e Morgan, 2006).

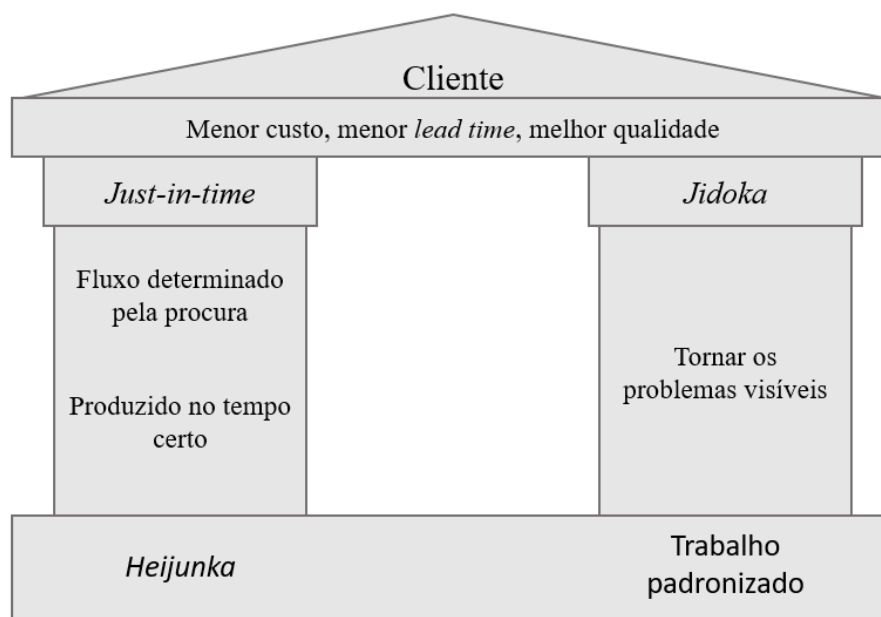


Figura 3 - *Toyota production system house* (adaptado de Liker e Morgan, 2006)

2.2 Princípios *Lean*

O termo *lean* foi pela primeira vez utilizado e tornou-se conhecido em todo o mundo com o livro *The Machine that Changed the World*, de Womack *et al* (1990). Os princípios do pensamento *lean* baseiam-se na evolução do *Toyota Production System*, tendo objetivos similares, quais sejam, a sistemática eliminação do desperdício e a criação de valor. No entanto, é mais abrangente, podendo ser aplicado a novas áreas empresariais (Pinto, 2014).

Segundo Womack e Jones (2003), existem 5 princípios essenciais que guiam os comportamentos base de uma organização e que, interligados, definem o pensamento *lean*.

Identificar valor - A identificação de valor é o primeiro passo de uma organização para se tornar *lean*. Esta etapa consiste em determinar o que o cliente valoriza e detetar como os produtos ou serviços da organização vão de encontro a essa necessidade do cliente.

Cadeia de valor - O segundo princípio *lean* passa pela definição da cadeia de valor da organização. A cadeia de valor é o ciclo de vida completo do produto. São enumeradas todas as ações necessárias para a execução do produto, tanto as de valor acrescentado com as de valor não acrescentado, através de um fluxo, começando nas matérias-primas e acabando no cliente. Estas ações consideram tanto o fluxo de materiais como o de informações da cadeia de abastecimento. Tal análise é utilizada para identificar as atividades que não acrescentam valor ao produto, sendo dispensáveis, e tentar eliminá-las (Rother e Shook, 1999).

Fluxo - Numa mentalidade *lean*, o fluxo contínuo é um conceito chave. Este princípio baseia-se na realização progressiva de tarefas ao longo do fluxo de valor, de maneira a que o produto passe do *design* à produção e aos clientes sem paragens, desperdícios ou retornos. A sua aplicação ao modelo de produção permite reduzir o tempo de resposta e de entrega do produto ao cliente.

Sistema pull - O sistema *pull*, uma das bases do *Toyota Production System* já descrito, defende que a necessidade de materiais sentida no processo final deverá despoletar uma reação em cadeia até ao processo inicial, pela qual a necessidade de materiais em cada um dos processos determine os produzidos nos processos que imediatamente os precedem. (Ohno, 1988).

Jacobs *et al* (2009) definiram as vantagens associadas ao sistema *pull* como sendo:

- Modelo pouco dependente de *stock*;
- Produção em pequenos lotes o que permite controlo do *WIP* e redução do *stock* de produto acabado;
- *Lead times* mais curtos;
- Fluxos de informação e produção mais contínuos.

Perfeição - O último princípio *lean*, para que uma empresa alcance o sucesso, é a perfeição. A aptidão de uma empresa para aprender e melhorar poderá ser a sua vantagem competitiva mais sustentável. A melhoria contínua deverá ser parte do dia-a-dia das operações. Sendo certo que, quanto mais curtos forem os *lead times* dos processos, mais simples são os ciclos de aprendizagem, que formam a base para o domínio consistente da empresa. Ao melhorar continuamente os seus processos, a empresa estará cada vez mais perto de alcançar a perfeição, ou seja, da eliminação total de desperdícios, de modo a que todas as atividades da cadeia acrescentem valor. Uma das metodologias de melhoria contínua mais utilizadas denomina-se *Kaizen* e será de seguida analisada mais detalhadamente.

2.3 *Kaizen e Total Flow Management*

O conceito *Kaizen* está a ser implementado com cada vez mais frequência em empresas de todo o mundo. É uma palavra japonesa que significa “mudar para melhor”. De acordo com Imai (2012), traduz-se na melhoria contínua da vida pessoal, social e profissional. Apoia-se na implementação de estratégias operacionais sustentáveis, apresentando resultados extraordinários em termos de segurança, qualidade, custos e motivação. Essas estratégias incluem noções, sistemas e ferramentas acompanhadas por uma liderança ativa e por uma cultura de envolvimento de toda a equipa na melhoria de processos.

Baseado no desenvolvimento de estratégias *Kaizen* desde 1985, o *Kaizen Institute* desenvolveu o *Total Flow Management* (TFM), um modelo detalhado que permite a implementação do *Toyota Production System* não apenas dentro das fábricas, mas também através de toda a cadeia de abastecimento. Este modelo baseia-se na criação de um sistema de fluxo *pull* (peça a peça), acompanhado de um comprometimento de todos na melhoria. O objetivo é a redução do *lead time* total da cadeia de abastecimento, que consegue ser medido pela cobertura total de *stock* na cadeia. A diminuição deste indicador resulta na eliminação de desperdícios relacionados com tempos de espera (Imai, 2012).

Os sistemas, processos e padrões necessários para criar e manter esse fluxo exigem um alto nível de rigor e trazem resultados muito importantes em termos de redução de custos, de aumento da produtividade, de qualidade e de satisfação dos clientes (Imai, 2012).

Segundo Coimbra (2013), a implementação do *Total Flow Management* é focada na aplicação de ferramentas em 3 secções distintas da cadeia de abastecimento, como representado na tabela 1.

Tabela 1 -Ferramentas do *Total Flow Management* (adaptado de Coimbra, 2013)

5. <i>Design</i> da cadeia de Abastecimento		
1. Fluxo de Produção	2. Fluxo de logística interna	3. Fluxo de logística externa
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>
Design de linha	Supermercados	<i>Design</i> de armazenamento
4. Fiabilidade Básica		

Fluxo de produção

A primeira área de foco do TFM é no fluxo de produção. Para otimizar este fluxo, o modelo defende a implementação de diversas ferramentas, de forma a: (Coimbra, 2013)

- Criar uma produção peça a peça desde o processamento das matérias-primas até ao produto final;
- Minimizar o desperdício em movimentos de operadores;
- Criar flexibilidade, tendo em vista alcançar a produção eficiente de pequenos lotes.

Fluxo de logística interna

O fluxo de logística interna inclui todos os movimentos de carga que ocorrem dentro de uma unidade industrial. Assume a responsabilidade da transmissão do fluxo de informação por toda a fábrica. É função da logística interna o fornecimento dos materiais corretos, nas quantidades corretas, no tempo e no local corretos. As encomendas dos clientes têm de ser transformadas em ordens de fabrico que, por sua vez, têm de ser enviadas o mais rapidamente possível para a produção, de forma a serem abastecidas as linhas com as matérias-primas necessárias a esse fabrico. O fluxo de logística interna faz essa ligação entre a produção e a logística, de modo a que o sistema trabalhe de forma sincronizada para entregar o produto ao cliente *just in time*. Esta secção, por ser o foco principal da presente dissertação, irá ser descrita mais pormenorizadamente. (Coimbra, 2013)

Fluxo de logística externa

O último campo de atuação do TFM é a logística externa, sector responsável pelas movimentações externas de materiais e informação. O objetivo da melhoria contínua nesta área é eliminar todo o tipo de desperdícios dos fluxos externos e providenciar serviços que acrescentem valor aos clientes, ao longo da cadeia de abastecimento. Para alcançar esse objetivo, torna-se necessário: (Coimbra, 2013)

- Minimizar inventários (material em espera);

- Atingir mais de 98% de entregas dentro do prazo e de acordo com especificações;
- Eliminar todos os desperdícios relacionados com a movimentação dos operadores logísticos;
- Minimizar custos logísticos.

De forma a suportar estas três áreas de atuação do *Total Flow Management*, é necessário introduzir dois conceitos deste modelo: o de fiabilidade básica; o de desenho da cadeia de abastecimento.

A fiabilidade está relacionada com a noção de estabilidade do *Toyota Production System*. Para a obtenção desta, é necessário ter a confiança de que todos os recursos de um processo - pessoas, máquinas, materiais e métodos - vão trabalhar de forma exemplar. Sem a confiabilidade nos trabalhadores, dada a interdependência que existe entre todos, não é possível criar um fluxo de material. O mesmo se aplica às máquinas. Se estas não estiverem prontas para executar as tarefas predefinidas, o fluxo pára. O mesmo acontece para o fornecimento de materiais e para os métodos utilizados na organização. É importante ter este conceito sempre presente, visto que podem surgir grandes obstáculos na cadeia de abastecimento, sendo necessário encontrar maneira de os ultrapassar (Imai, 2012).

O outro conceito que importa a esta metodologia é o da criação de uma cadeia de abastecimento capaz de assegurar um fluxo total de informação e de material. Levando em conta todas as características particulares do sistema em causa (Coimbra, 2013).

2.4 Fluxo de logística interna

A logística interna é um dos mais importantes sectores dentro de uma empresa, especialmente numa fábrica de grandes dimensões. Esta área da logística é responsável pela gestão, organização, planeamento e entrega de materiais, desde matérias-primas até produtos finais. O que a torna uma parte vital da cadeia de abastecimento.

Segundo Coimbra (2013), a organização do fluxo de logística interna é conseguida com recurso a determinadas ferramentas. Tais como:

Mizusumashi - Transporte do fluxo de material de forma rápida para os locais de produção;

Sincronização - Começo de produção, *picking* e transporte dos materiais necessários, de uma maneira sincronizada e *just-in-time*.

2.4.1 Mizusumashi

Mizusumashi é o termo japonês que designa a aranha aquática. A adoção de tal denominação inspira-se na agilidade deste animal enquanto nada. Do ponto de vista industrial, o *mizusumashi* é o operador logístico responsável por todos os transportes dentro de uma fábrica, utilizando uma rota predefinida. É um elemento chave na criação de um fluxo de logística interna, em que os clientes são os operadores das linhas de produção, que têm no *mizusumashi* um fornecedor que, a cada 20 ou 60 minutos, verifica se é necessário mais material. Este operador logístico move todas as informações relacionadas com as ordens de produção e também todo o fluxo de materiais entre os supermercados de materiais e as zonas de receção destes, utilizando uma rota fixa (habitualmente com a duração de 20 a 60 minutos). Pára num conjunto de estações ao longo da rota, verifica se é necessária a entrega de materiais e entrega esse material na volta seguinte. Frequentemente, é utilizado um pequeno comboio com capacidade para abastecer todas as linhas (Coimbra, 2009).

Tradicionalmente, a distribuição de materiais é efetuada utilizando empilhadoras que carregam as paletes. Este processo não é padronizado, visto que não existe nem uma rota fixa nem um ciclo definido. O operador responsável pelo transporte movimenta a empilhadora consoante as ordens que recebe. Originando que, durante alguns períodos do dia, o recurso possa estar sobrecarregado de encomendas e, durante outros, sem utilização. Outro ponto crítico é o facto de a capacidade de transporte da empilhadora ser limitado. Normalmente, apenas consegue transportar uma paleta de cada vez, o que é equivalente a uma carruagem do *mizusumashi*. Esta limitação de capacidade gera um grande número de viagens a efetuar pelo operador, sendo metade delas com a empilhadora vazia. O que representa grande desperdício (Coimbra, 2013).

Na planificação de um *mizusumashi*, há restrições práticas a considerar. Por exemplo, a falta de capacidade dos veículos, que limita o número máximo de mercadorias transportadas. Ou a não coordenação do tempo de ciclo com o da procura pelos produtos, que provocaria congestionamentos ou paragens na produção. (Knezi e Brigita, 2015). O modelo ilustrativo da distribuição através do *mizusumashi* em comparação com a empilhadora está presente na figura 4.

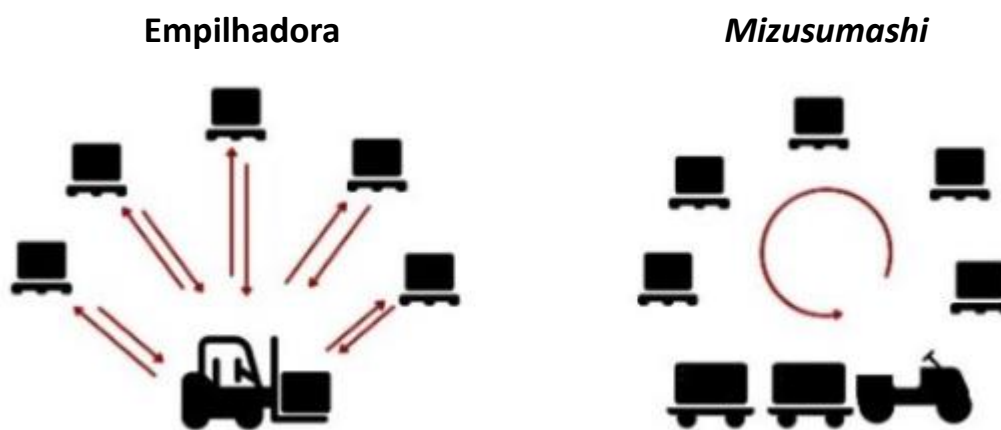


Figura 4 - Método de distribuição de empilhadora e de *Mizusumashi*

De forma a padronizar o trabalho do operador, poderá ser criado um suporte visual com a descrição de todos os processos a realizar. Os elementos principais deste suporte são:

- Desenho da rota na planta da fábrica;
- O tempo de ciclo da rota;
- As tarefas e o tempo de realização destas ao longo do percurso.

Segundo Coimbra (2009), as etapas necessárias para o desenho de uma rota para o *mizusumashi* são:

1. Fazer uma lista com todas as tarefas que vão ser executadas;
2. Estimar o tempo de execução de cada tarefa;
3. Desenhar uma rota circular na planta da fábrica;
4. Identificar os pontos de paragem;
5. Contruir um comboio protótipo apropriado;
6. Fazer uma volta teste com o comboio vazio;

7. Garantir a preparação das estações para a carga e a descarga do comboio;
8. Escolher o melhor operador para o guiar;
9. Implementar o comboio por um período de 4 a 5 dias;
10. Desenhar a folha de realização de trabalhos;
11. Treinar o operador do comboio durante 20 dias, de forma a padronizar as tarefas a executar.

2.4.2 Sincronização

Após a definição do fluxo de material a ser transportado na logística interna de uma organização, é necessário determinar como é que a informação vai circular através da cadeia de abastecimento.

Geralmente, numa empresa, a definição de “como”, “quando” e “quantas partes” são produzidas fica a cargo da secção de planeamento, que a concretiza na forma de um plano de produção e de um plano de transporte, entregues no chão de fábrica. Quando este tipo de sistema é usado, o “quando” é definido arbitrariamente, através dos conhecimentos do responsável pelo plano, julgando-se normal o facto de as peças chegarem antes ou no tempo exato de início da produção. No entanto, a gestão de partes que chegam demasiado cedo significa um desperdício em termos de sobreprodução e espaço (Ohno, 1988). Para que isso não ocorra, é necessário um fluxo de informação bem definido, que pode ser atingido utilizando ciclos *kanban*, como seguidamente com mais detalhe se expõe.

2.4.2.1 Kanban

Kanban é um método de passagem de informação dentro de uma cadeia de abastecimento. Regula a produção JIT, ao controlar a produção e entrega dos componentes necessários, nas quantidades precisas e no tempo exato. O termo japonês *kanban* significa cartão. Os cartões são utilizados para sinalizar a necessidade de transporte ou de produção de mais componentes. (figura 5)

Para o seu funcionamento, é colocado em circulação um número de cartões equivalente à capacidade do sistema. A cada cartão está associado um componente, que atua como mecanismo de sinalização. O início da produção ou da entrega de material só pode ser desencadeado quando um cartão está disponível. O cartão é associado a um componente e percorre o sistema com ele. Este mecanismo é conhecido como sistema *pull*, dado que a ordem de início de trabalho só é atendida quando houver capacidade para (ou necessidade de) a processar, em vez de ser calculada por referência a uma estimativa da procura (Anderson, 2010).

Hora da Entrega 10:30	Área de Estocagem A 1 - 1		Fábrica Central da Toyota Motors
 Fundação Ohashi Prateleira nº 1 - Embaixo	Número do Item 53018-60011	Identificação	Montagem nº 2
	Nome do Item Linha de pressão do radiador	Usado em FJ Carro tipo (I)	
	21	Tipo de caixa Especial	
	Capacidade da caixa 30		
Kanban de pedido de peças			50

Figura 5 - Cartão *kanban* (adaptado de Ohno, 1988)

Os princípios básicos de um sistema *kanban* de transporte são idênticos a todos os outros sistemas *kanban*. No entanto, são muitos diferentes dos sistemas de logística interna tradicionais, que usam previsões para criar os pedidos (Zaenglein, 2000). Segundo Coimbra (2013), existem 6 tipos de sistemas *kanban*, sendo 3 de produção (responsáveis pelo início da produção) e 3 de movimento (responsáveis por movimentações de materiais).

Os 3 tipos de sistema *kanban* de transporte são:

- *Kanban* de transporte de encomendas finais;
- *Kanban* de transporte interno;
- *Kanban* de transporte de origem.

No âmbito desta dissertação, o sistema *kanban* mais relevante é o de transporte interno, visto que analisamos a logística interna da fábrica. Este sistema é responsável pelo reabastecimento interno das linhas de produção.

É possível representar o sistema *kanban* de transporte interno num conjunto de 5 operações: (Coimbra, 2013)

1. Paragem do *mizusumashi* em cada estação, em todos os ciclos;
2. Recolha dos cartões *kanban* dos materiais que é necessário reabastecer;
3. Volta ao armazém de fornecimentos de materiais;
4. Recolha dos materiais a abastecer;
5. Entrega dos materiais em cada estação e volta com recolha dos cartões referentes a materiais que, entretanto, se esgotaram.

2.5 Simulação

A simulação é uma poderosa e decisiva ferramenta de avaliação e análise de novos sistemas que se queiram implementar ou de modificações que se pretendam introduzir em sistemas existentes. A realização de uma simulação válida é uma arte e uma ciência (Carson, 2004).

Um modelo de simulação descreve um processo ou sistema, incluindo normalmente parâmetros que permitem a sua reconfiguração, assim possibilitando configurações diferentes desse processo ou sistema. Permitem, por exemplo, ao utilizador variar o número de trabalhadores num posto de trabalho ou a velocidade de uma máquina ou veículo. Como modelo descritivo que é, poderá ser usado para experimentar, avaliar e comparar qualquer número de possíveis sistemas. Essas avaliação, comparação e análise são os principais motivos de interesse da simulação, sendo a previsão da performance do sistema e a identificação dos seus problemas e suas causas os principais resultados a obter (Carson, 2004).

Uma das razões que justifica o desenvolvimento de um modelo de simulação é o facto de este ser uma forma fácil de obter informações sobre um sistema, quando o custo, o risco ou a logística da manipulação do sistema real são elevados.

Para fábricas ativas no mercado global, são essenciais sistemas de produção de alto desempenho, que contribuam para o crescimento e competitividade das empresas. No entanto, na maioria das indústrias, o processo de modelação do sistema de produção tem recebido pouca atenção por parte dos engenheiros, que vêm sistematicamente ignorando o seu potencial para as empresas ganharem uma vantagem competitiva. A maior virtualidade de um *design* de processos eficiente não é a sua contribuição para a redução dos custos operacionais, mas sim a

maneira como ajuda as empresas na tentativa de atingir tempos de chegada ao mercado mais rápidos, um aumento mais acelerado da produção e uma aceitação aprimorada pelo cliente dos novos produtos (Bruch e Bellgran, 2013)

Seguindo Law e Kelton (2000), enumeram-se um conjunto de áreas de aplicação da simulação:

- Desenho e análise de sistemas de produção;
- Avaliação de requisitos de *hardware* e de *software* para um sistema computacional;
- Determinação da política de pedidos de um sistema de armazenamento de inventário;
- Desenho de sistemas de comunicação e de protocolos de mensagem para eles;
- Projeto de instalações de infra-estruturas de transporte, como auto-estradas, aeroportos, metros ou portos;
- Avaliação de projetos para organizações que prestam serviços, tais como hospitais, correios ou restaurantes.

2.5.1 Construção de um modelo de simulação

É possível dividir o processo de construção de um modelo de simulação em sete etapas distintas. As quais, no entanto, não se apresentam como um processo sequencial simples. À medida que se aprofunda o seu estudo e se obtém uma melhor compreensão da problemática em causa, impõe-se a mais das vezes um retorno a etapas anteriores, na procura de uma reavaliação global do sistema. As etapas (figura 6), tal como enunciadas por Law e Kelton (2000), são:

1. Formulação dos objetivos gerais do estudo e especificação dos problemas a equacionar;
2. Recolha de dados e informações que definem o modelo. Estes dados são utilizados para especificar procedimentos operacionais e distribuição de probabilidades para as variáveis aleatórias usadas no modelo;
3. Validação do modelo. No processo de construção do modelo, é imperativo para o modelador envolver pessoas no estudo que estejam familiarizadas com as operações do sistema, de forma a obter a sua validação;
4. Construção do modelo previamente desenvolvido utilizando um *software* de simulação;
5. Execução de testes piloto, para obtenção de dados de comparação com o modelo atual, se este existir;
6. Elaboração de cenários de simulação, se houver mais do que uma alternativa de solução a equacionar;
7. Execução dos modelos, para obtenção de dados de performance de cada cenário em estudo;
8. Análise dos dados obtidos;
9. Documentação, apresentação e implementação dos resultados.

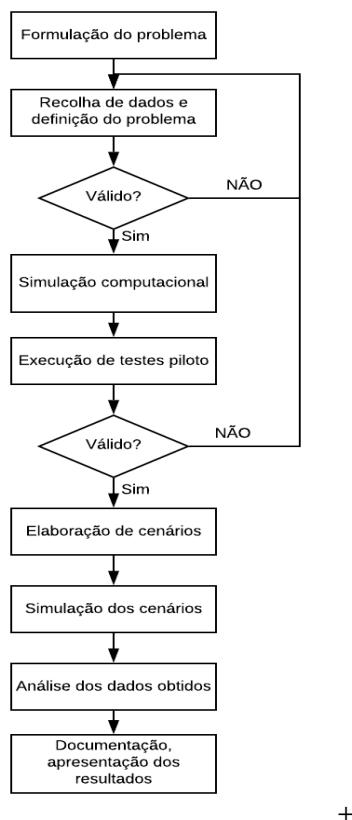


Figura 6 - Fluxograma de etapas para a realização de uma simulação
(adaptado de Law e Kelton, 2000)

2.5.2 ARENA

As simulações computacionais são utilizadas na representação de modelos que necessitam de ser estudados e permite a obtenção de indicadores importantes para a avaliação desses sistemas. O software ARENA é uma ferramenta de simulação que utiliza uma interface gráfica para o *design* da simulação. Os utilizadores conseguem modelar sistemas complexos, selecionando e arrastando elementos, como módulos e blocos, disponíveis no *software*. Estes elementos estão presentes nas livrarias do *software* e variam desde peças lógicas básicas até itens complexos como, por exemplo, transportadores ou correias de transporte. Cada elemento representa uma combinação de código *siman*, que é agrupado de forma a executar uma função específica. Os módulos e blocos utilizados na simulação em estudo estão presentes na ANEXO A. (Guner e Seker, 2008).

De forma a entender as características de uma simulação no *software* ARENA, é possível listar um conjunto de elementos, cruciais para a simulação:

- **Modelo** – Combinação de processos e fluxos de processos que representam um cenário. Um modelo típico pode incluir muitas características diferentes de diversos cenários, como filas de diversos processos ao longo das quais as entidades viajam pelo sistema;
- **Entidades** – Objetos que se movem através dos processos do sistema. São os condutores essenciais da simulação. As partes dinâmicas do modelo, que mudam ao longo do tempo (Rabelo, 2009);
- **Blocos de modelagem** – Existem dois tipos de blocos ou módulos: os módulos de fluxo e os módulos de dados. Os módulos de fluxo são aqueles que realmente se interconectam e formam uma rede de informações e comandos onde as entidades atravessam.

Apresentam visualmente a lógica do processo. Os módulos de dados, editados através de formulários, têm como função inserir as especificações de cada elemento do fluxo (Rabelo, 2009);

- **Atributos** – Informações relativas às entidades. Servem como “etiquetas” presentes na entidade. São úteis, aquando da tomada de decisões dentro do fluxo (Rabelo, 2009);
- **Variáveis** – Parâmetros do modelo que não são relativos a nenhuma entidade ou processo. Podem ser atualizadas ao longo da simulação, se for necessário;
- **Recursos** - Entidades estáticas que prestam serviço às entidades dinâmicas, tais como, por exemplo, pessoas ou equipamentos (Guner e Seker, 2008);
- **Filas** - Locais do sistema onde as entidades dinâmicas esperam, enquanto aguardam por uma ordem de libertação. As filas podem adoptar uma ordenação FIFO, isto é, a primeira entidade a chegar será a primeira a ser processada, ou ser ordenadas de acordo com o valor de um atributo de cada entidade do sistema (Rabelo, 2009).

Depois de o modelo de simulação estar devidamente concluído, procede-se à introdução dos parâmetros necessários à simulação, nomeadamente, o número e o tamanho das replicações. O tempo de simulação deve ser o suficiente para permitir a saída de todas as entidades que entraram no sistema, como é o caso do sistema em estudo. No entanto, em muitos cenários, o tempo de simulação deve ser o suficiente para que os resultados consigam ter um número de amostras que os tornem estatisticamente significativos (Guner e Seker, 2008).

Decorrido o tempo de simulação, geram-se relatórios com os resultados da simulação. Nestes relatórios, os diversos parâmetros e medidas de desempenho obtidos permitem avaliar o comportamento das entidades, dos recursos e dos processos (Guner e Seker, 2008).

3 Diagnóstico da situação inicial

3.1 Processo de produção de tintas

O processo de produção de tintas, executado nas diferentes naves produtivas da CIN, desdobra-se em duas etapas fundamentais: fabrico e enchimento. O fabrico consiste na transformação das matérias-primas em tintas e vernizes. Após o seu enchimento, dá origem ao produto final. Antes de se iniciar o fabrico, é necessário encomendar os materiais necessários para a produção e para o acondicionamento dos produtos.

As matérias-primas são rececionadas no armazém de matérias-primas e distribuídas pelas naves de produção, quando necessárias para o fabrico (este processo vai ser descrito com mais especificidade nos capítulos seguintes). Relativamente ao acondicionamento dos produtos, o responsável do fabrico, ao verificar a inexistência de embalagens, comunica esse facto ao responsável pelo aprovisionamento, para que este faça o pedido das mesmas aos fornecedores. O prazo de entrega das embalagens varia entre um e cinco dias úteis. Estas embalagens são acondicionadas no armazém adequado da fábrica.

A CIN possui uma estratégia de produção mista, baseada numa política de *make-to-stock* e *make-to-order*. Na produção *make-to-stock*, os stocks são planeados em função do nível dos já existentes e de acordo com previsões de vendas. Esta previsão é feita com base nas vendas dos anos anteriores e na situação macroeconómica da altura. Por outro lado, para conseguir satisfazer encomendas de clientes, que por vezes são urgentes, a empresa adota também uma estratégia *make-to-order*.

A equipa de planeamento, aquando da necessidade do fabrico de um produto, cria dois tipos de documentos. Uma ordem de fabrico (OF) e um ou mais talões de enchimento (TE), conforme o produto seja acondicionado em um ou mais tipos de embalagens diferentes. As OFs são lançadas para as naves para se dar início à produção e contêm a descrição de todos os processos que são necessários realizar, por parte do operador, para a produção associada a cada OF. Nos TEs, podem ser encontradas informações relativas ao produto, às embalagens e aos rótulos necessários ao enchimento.

O fabrico de tintas estratifica-se num conjunto de 5 etapas, essenciais até o produto estar pronto para embalar: a pesagem, a dispersão, a moagem, o acabamento e o controlo de qualidade.

Antes de começar a produção, é por vezes necessário que o operador efetue a pesagem de algumas matérias-primas líquidas, que estão armazenadas nos supermercados existentes em cada fábrica. De seguida, é feita a mistura das matérias-primas (resinas, diluentes aditivos e pigmentos) em tanques dispersores. Depois de executada totalmente a dispersão, poderá ser necessário fazer uma moagem em alguns produtos, que consiste na refinação da pasta obtida, efetuada só se a granulometria obtida na dispersão não satisfizer as especificações. Para finalizar a produção da tinta, são adicionadas, em agitação, algumas matérias-primas e é afinada a cor no processo de acabamento. Após o que, para assegurar que as propriedades do produto final estão em conformidade com o esperado (por exemplo, massa volúmica, viscosidade e brilho) é executado um controlo de qualidade.

O processo de produção é concluído com o enchimento, no qual o produto é acondicionado em embalagens próprias, ficando pronto para ser entregue ao cliente.

Todo este processo está representado no diagrama do ANEXO B.

3.2 Armazém de matérias-primas

O armazém de matérias-primas está localizado na secção mais a oeste das instalações da CIN, na Maia. Este armazém é responsável por todas as atividades logísticas relacionados com as

matérias-primas, antes de se iniciar a produção. O armazém está dividido em duas zonas, uma interior e outra exterior.

A zona exterior contém dois espaços, sendo um composto por estruturas para o armazenamento das matérias-primas e outro onde estas são armazenadas em blocos. A zona interior está dividida em sete espaços, em que três apresentam um armazenamento em estruturas, um em blocos, dois com *drive-ins* e um em blocos e *drive-ins*. A distribuição pelas 2 zonas é feita tendo em conta o tipo de matéria-prima a armazenar. A zona exterior é destinada a matérias-primas líquidas inflamáveis e inócuas e a interior a matérias-primas líquidas com especificações de temperatura e matérias-primas sólidas. Atualmente, encontram-se a trabalhar no armazém seis operadores, distribuídos pelos diferentes processos do armazém, e o chefe de operações, responsável por aqueles. Na figura 7, está representado o *layout* da zona interior do armazém.

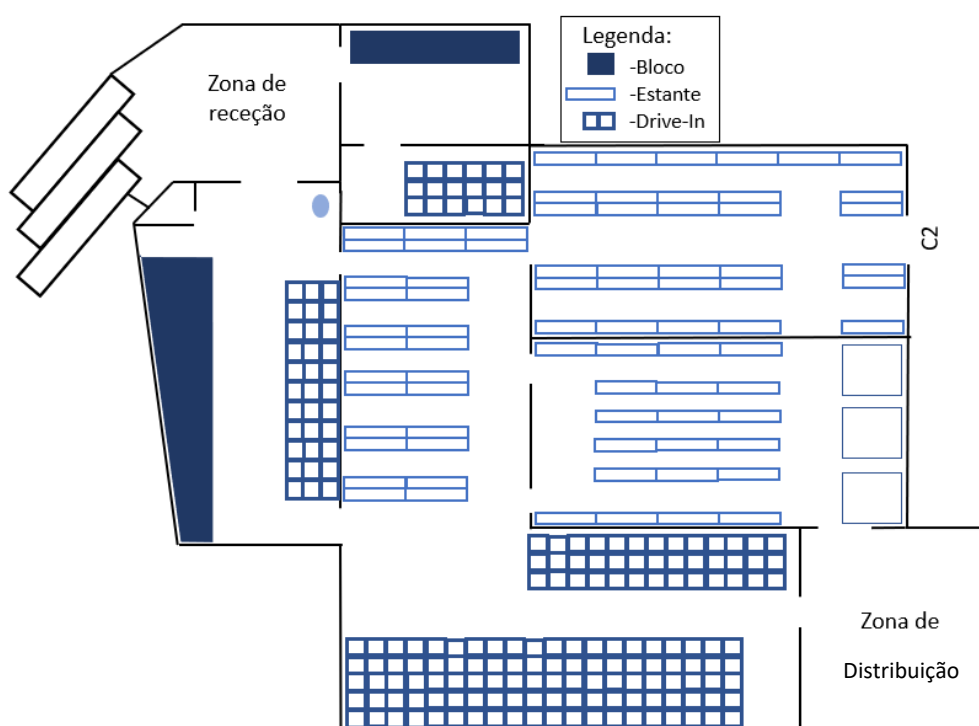


Figura 7 - Planta interna do armazém de matérias-primas

As matérias-primas entregues a cada fábrica são divididas em líquidas e sólidas. As sólidas estão armazenadas em sacos convencionais ou *big bags*. As líquidas estão armazenadas em barris ou IBCs. Na tabela 2, estão exemplos de cada um destes tipos de armazenamento.

Tabela 2 - Tipos de armazenamento de matérias-primas

Tipos de armazenamento de matérias-primas	
Big Bags	Sacos
	
IBCs	Barris
	

3.2.1 Descrição dos processos do armazém

Todas as operações realizadas no armazém de matérias-primas da CIN estão interligadas através de um fluxo que se inicia com a receção da matéria-prima do fornecedor e termina com a expedição para outra unidade industrial do grupo ou com a distribuição pelas naves produtivas da fábrica. Este fluxo está representado no diagrama da figura 8.

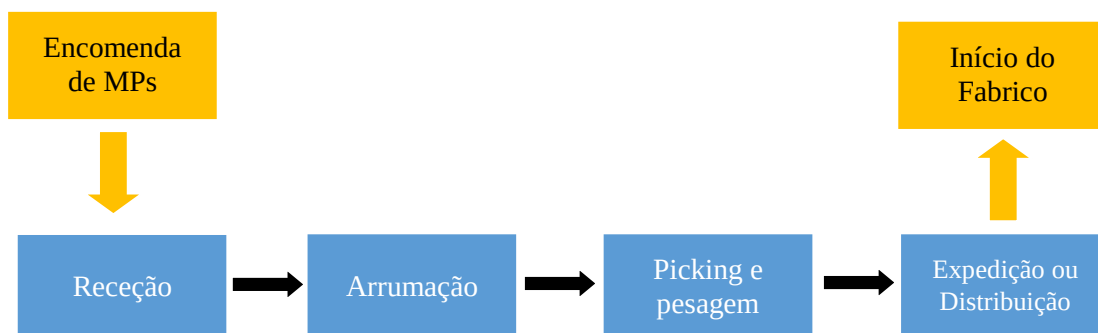


Figura 8 - Fluxo de operações de armazém

3.2.1.1 Receção

O processo de receção de matérias-primas inicia-se com a chegada do camião à portaria da fábrica. A secretária contacta o armazém para verificar se é possível realizar a descarga ou se o cais de receção está lotado. Quando houver um lugar livre no cais, é dada a ordem de entrada do camião. De seguida, o chefe de operações introduz o número da encomenda no sistema ASW (corresponde ao sistema ERP da empresa) e imprime a nota de receção. Ao chegar ao cais, o motorista entrega a guia do fornecedor e esta é comparada com a nota de receção. Se os documentos não estiverem idênticos, a receção é considerada não conforme e não se efetua a descarga. Se estiverem em conformidade, é dada ordem de descarga das paletes do camião para a zona de receção, realizada por um operador utilizando uma empilhadora. Após a descarga, as matérias-primas são introduzidas no sistema, sendo impressas e coladas as etiquetas de identificação das matérias-primas, que incluem o seu nome interno, a localização no armazém e o lote a que pertencem. Pode ser necessária a recolha de uma amostra da matéria-prima, para análise no centro de controlo de qualidade.

3.2.1.2 Arrumação

O processo de arrumação de paletes é executado com recurso a uma empilhadora, nas posições indicadas nas etiquetas, em estantes convencionais, em *drive-ins* ou em bloco. O método de armazenagem utilizado no armazém baseia-se na procura que a matéria-prima tem e é efetuado pelo software WMS, que rastreia todas as transações efetuadas no armazém. É de salientar que não há uma localização fixa para as matérias-primas. No caso de não existirem locais livres, o WMS atribui a posição “*overflow*” e a paleta permanece na zona de receção. Se a atribuição das posições for feita para a zona de bloco ou de *drive-ins*, o WMS não distingue os vários corredores, sendo o operador a determinar o local onde as deve arrumar. No caso das estantes convencionais, a matéria-prima é armazenada numa localização específica (figura 9). Os três primeiros algarismos indicam o corredor, os três seguintes a posição e os últimos dois números o nível em que está a paleta. Por fim, os dois dígitos a branco indicam o *check-digit* da localização. Este número é utilizado como confirmação, no momento de arrumação e do *picking*.



Figura 9 - Etiqueta de localização de lugar em estante convencional

3.2.1.3 Picking e pesagens

As matérias-primas líquidas e sólidas necessárias a cada fabrico são encomendadas ao armazém. Para facilitar o trabalho de cada nave de fabrico, o armazém possui uma zona de pesagens, onde é efetuada a pesagem das matérias-primas sólidas. Desta forma, os sólidos são entregues nas quantidades exatas necessárias para cada fabrico. Relativamente às matérias-primas líquidas, são entregues as unidades completas de armazenamento necessárias para cada fabrico e a restante quantidade, menor que a de uma unidade completa de armazenamento, é retirada dos supermercados presentes em cada nave. Por exemplo, se para um fabrico são necessários 4.200 quilogramas de uma determinada matéria-prima, sendo a unidade de armazenamento em tambores de 1.000 quilogramas, são entregues 4 tambores à respetiva nave e os restantes 200 quilogramas são retirados do supermercado da fábrica.

O *software* WMS gera *pick lists*, garantido o FEFO, indicando a quantidade a recolher de cada matéria-prima e a respetiva localização. Atualmente, são gerados 2 tipos de *pick lists*, que se destinam à separação de duas espécies de produtos diferentes. Uma delas é referente às operações da nave de pesagens de matérias-primas sólidas, determinando-se a quantidade de sacos a entregar, através da pesagem da quantidade necessária de cada matéria-prima para o fabrico. A outra é referente aos artigos que não são pesados, apenas sendo recolhidos e alocados a paletes, tendo em conta o seu destino. Estas unidades correspondem a todos os líquidos necessários ao fabrico (unidades completas) ou aos artigos armazenados nos supermercados existentes em cada nave.

O responsável do armazém verifica todos os dias as encomendas feitas no sistema ERP da fábrica. As encomendas podem ser referentes: a sólidos que necessitam de ser pesados para iniciar o fabrico; a unidades completas necessárias para o fabrico; a unidades necessárias para reabastecer os supermercados presentes em cada fábrica. O responsável pela encomenda das unidades para cada fabrico, tanto de sólidos para serem pesados como de líquidos, é o programador de cada nave. O responsável pela encomenda das unidades para reabastecer os supermercados é o responsável de cada fábrica. As *pick lists* de pesagem de sólidos e de separação de unidades completas e de stocks de supermercado estão representadas na figura 10.

Ordem_Fabrico	CTRAB	Produto	ARTIGO	Qtd_Maquia	Quantidade	NrUnidadesinteiras	Qtd_Embalagem	Nave
20522	7			11,112	800	32	25	C8
20522	7			0	200	8	25	C8
20522	7			7,222	15	1	15	C8
20522	7			15	25	1	25	C8
20522	7			6	50	5	10	C8
20522	7			2	40	4	10	C8
20523	2			20	250	10	25	C8
20523	2			12	75	3	25	C8
20523	2			6	60	6	10	C8
20523	2			15	120	6	20	C8
20523	8			8	0	0	10	C1
20523	8			0	100	4	25	C1
20523	8			0	100	4	25	C1
20522	1			0	15	1	15	C1
20522	1			12,511	100	4	25	C1
20522	1			12,511	75	3	25	C1
20522	1			0	50	2	25	C1
20522	1			7,778	0	0	25	C1
20522	1			1,111	0	0	25	C1
20522	1			0	40	2	20	C1
20522	1			16,667	0	0	25	C1
20522	1			0	25	1	25	C1
20522	1			0	900	36	25	C1
20522	1			14,989	200	8	25	C1
20522	1			24,994	600	24	25	C1
20522	1			5,556	0	0	10	C1
20522	1			6,945	0	0	25	C1
20523	1			4,688	50	2	25	C1
20523	1			11,719	0	0	25	C1
20523	1			0,781	0	0	25	C1
20523	1			5	20	1	20	C1
20523	1			8,594	0	0	20	C1
20523	1			1,563	0	0	10	C1
20523	1			0,207	600	24	25	C1
20523	1			14,4	50	2	25	C1
20523	1			8,72	75	3	25	C1
20523	1			7,857	0	0	15	C1
20523	1			22,7	250	10	25	C1
20523	1			24,995	25	1	25	C1
20523	1			11,815	20	1	20	C1
20523	1			4,545	0	0	10	C1

PICK LIST		Pág	1
2545553		Data	31/07/20
Avenida Dom Mendu, c.831 (antes EN3)		Nº encomenda	856197 INO Encomenda interna
Apartado 1058		Data encom	31/07/20
4471-909 MAIA		Cliente	ARMC
Endereço de Faturação		Endereço de Entrega	
ARMAZEM IND+PC C18-Maia		ARMAZEM IND+PC C18-Maia	
C18-Maia		C18-Maia	
4471-909 MAIA		4471-909 MAIA	
Meio de Transporte		V/Referência	V/Encomenda
Não Especificado			
Códigos de Entrega		W/Referência	
REABASTECIMENTO INTERNO		Financeira C/R Clientes	
Marca Mercadoria		Códigos de Pagamento	
Código de Expedição		PRG	
Parcial Line Dispatch			
Lista Sem Lock	Produto	Qtd pick	Quantidade Unid Data exp Enviado
1 C8		3500,000	3500,000 KG 31/07/20

Arz Localiz.	Arz Localiz.	Cia Item	LOTE	Quant.
CO AREA PDI	CO DOCK PEX	MP		1
CO AREA PDI	CO DOCK PEX	MP		1
CO AREA PDI	CO DOCK PEX	MP		1
CO AREA PDI	CO DOCK PEX	MP		1
CO AREA PDI	CO DOCK PEX	MP		1

Figura 10 - *Pick list* de sólidos (direita) e de líquidos (esquerda)

A separação das matérias-primas sólidas necessárias ao fabrico em cada uma das naves produtivas é efetuada numa zona de pesagens própria existente no armazém (figura 11). Esta zona é constituída por dezanove estantes convencionais com quatro níveis e por três células de pesagem, com uma balança de solo e uma balança móvel, onde são manobradas as matérias-primas recorrendo a um manipulador de sacos com sistema de exaustão. As balanças de solo servem para efetuar a pesagem de sacos, que são colocados na paleta que está sobre a balança. As 3 balanças móveis têm a função de efetuar a pesagem de maquia (termo que designa a quantidade de matéria-prima inferior à existente num saco, sendo necessário enxertar este para a recolher). Nas estantes, estão os produtos com maior rotação, que são repostos

frequentemente. O armazém só faz a separação e pesagem nesta zona de matérias-primas para as naves C1, C3, C4 e C8, visto que as C5 e C6 são fábricas que não necessitam de matérias-primas sólidas e que a C2, dada a sua grande produção, apresenta uma zona de pesagem própria, que dispensa a efetuada no armazém. O processo de pesagem de sacos no armazém de matérias-primas facilita o fluxo de produção de cada nave, visto que são apenas pesadas as matérias-primas sólidas necessárias para cada fabrico. Para além disso, por serem pesados sacos de matérias-primas diferentes na mesma paleta, economiza-se o número de paletes transportadas para cada nave.

A ordem de *picking* tem de ser inversa à ordem de utilização da matéria-prima na produção, de forma a estarem na parte superior da paleta os sacos referentes às primeiras matérias-primas a serem utilizadas. Após o *picking* da paleta com os sacos da matéria-prima, o operador, com o auxílio do manipulador de sacos, coloca saco a saco as matérias-primas em cima da paleta que está na balança. Se for necessária uma quantidade não correspondente à utilização da totalidade dos sacos, o operador utiliza a balança móvel para proceder à pesagem da maquia, que retira do último saco. Por exemplo, se a ordem de fabrico indica 425 kg de uma matéria-prima, cuja unidade de armazenamento pesa 20 kg, será necessário fazer o *picking* e pesagem de 21 sacos e pesar mais 5kg (maquia). No final da pesagem da ordem de fabrico, é colocado um autocolante na paleta, onde está discriminada a ordem de fabrico e a nave para a qual a separação vai ser entregue. Após a recolha de todas as matérias-primas da respetiva ordem de fabrico, as paletes são plastificadas, de modo a proteger e facilitar a carga durante o transporte, e colocadas na zona de matérias-primas sólidas. Este processo é efetuado diariamente por dois operadores, com recurso a uma empilhadora. O facto de só haver um recurso de transporte disponível é um factor que atrasa o processo. Na verdade, se um operador necessitar de efetuar o *picking* enquanto a empilhadora está a ser utilizada, fica parado até a empilhadora estar disponível.



Figura 11 - Zona de pesagens

Atualmente, a alocação das matérias-primas líquidas a paletes é efetuada de forma a maximizar o espaço nas paletes. O que, consequentemente, se reflete num número inferior de viagens de distribuição das empilhadoras. No entanto, este método distribuição de matérias-primas tem como resultado a sobrelocação das zonas de receção das fábricas. A qual se deve ao facto de serem transportadas na mesma paleta matérias-primas referentes a fabricos diferentes, que se iniciam em momentos não coincidentes, do que resulta a permanência da paleta na zona de receção até à última matéria-prima da paleta ser necessária. O mesmo acontece com as matérias-primas de reposição de supermercado, muitas vezes transportadas em paletes com matérias-primas referentes a fabricos específicos, que, devido à sua menor urgência por parte das naves produtivas, permanecem muito tempo nas zonas de receção. Os operadores do armazém efetuam este tipo de distribuição, dado que não existe diferenciação da finalidade de cada

matéria-prima nas *pick lists* geradas. Como apenas é marcado o seu destino, são transportadas matérias-primas para fabricos diferentes na mesma paleta.

3.2.1.4 Expedição e distribuição

O armazém de matérias-primas é responsável pela expedição de algumas matérias-primas para outras fábricas do grupo e pela distribuição de todas as matérias-primas separadas para as naves de produção.

A separação para expedição para outras fábricas do grupo reporta-se maioritariamente a paletes completas, que não precisam de ser pesadas. O operador, com recurso a uma empilhadora, recolhe a paleta que se encontra no armazém e coloca-a na zona de receção. Depois da chegada do camião ao cais, procede-se à carga deste e à entrega das guias de remessa e de transporte.

A distribuição para as naves de fabrico das instalações da CIN na Maia é executada com recurso a uma empilhadora, que transporta as paletes com as matérias-primas para a zona de receção de cada nave.

O armazém de matérias-primas faz a distribuição de matérias-primas para 6 naves produtivas da fábrica: C1, C2, C3, C4, C5 e C8. Sendo que, relativamente a matérias-primas sólidas, entrega *big bags* para a reposição dos supermercados de sólidos de todas as naves, entrega as separações feitas no armazém de pesagem, às naves C1, C3, C4 e C8, bem como paletes completas de sacos para serem pesados no armazém C2. Relativamente a líquidos, entrega barris e IBCs, tanto para reposição de supermercados como para início de fabrico, às naves C1, C3, C4, C5 e C8.

3.2.2 Kaizen diário

A CIN iniciou em 2013 um projeto de implementação da filosofia KAIZEN, no intuito de melhorar a produtividade e o nível de serviços em toda a unidade fabril.

No armazém de matérias-primas, foi implementada uma reunião de *Kaizen* diária, a fim de organizar a equipa e planear as tarefas que vão ser executadas. Esta reunião tem como base um quadro de equipa que serve de ponto de partida e de orientação (figura 12).

No quadro, está representado o plano semanal de trabalho da equipa, com recurso a uma matriz de trabalho, em que cada operador é associado às suas tarefas diárias. Nele figura também o relatório de receções previstas, no qual é possível ver a quantidade de paletes que vão ser rececionadas bem como o peso de cada paleta e o tipo de amostra que nela se encontra. Na reunião, é comunicada à equipa a quantidade de paletes recebidas no dia anterior e o número de pesagens médias realizadas por homem/hora, que são marcadas diariamente no quadro, formando gráficos para monotonizar o desempenho do armazém. É de salientar que não existem indicadores de monotonização das entregas realizadas, sendo por isso difícil de avaliar a performance desta actividade do armazém.

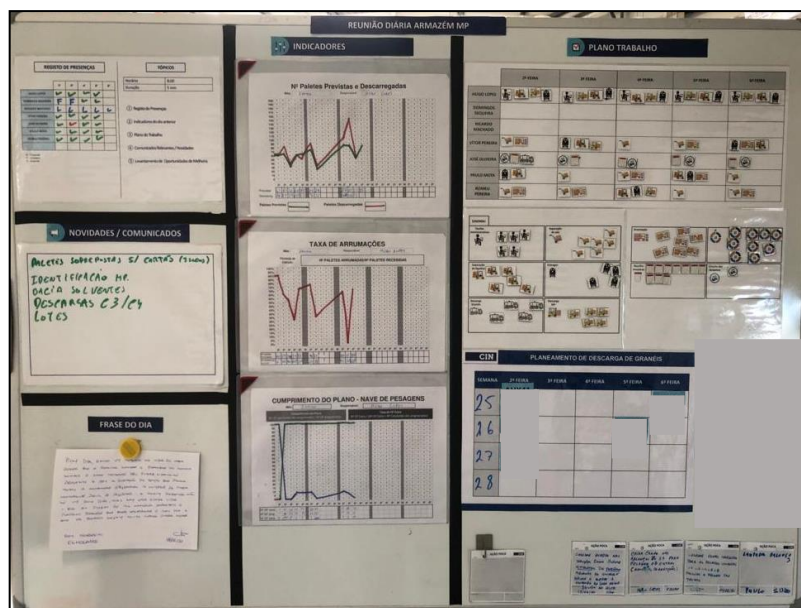


Figura 12 - Quadro Kaizen

3.3 Análise do fluxo de distribuição de matérias-primas

Foi feita uma análise ao fluxo de distribuição de matérias-primas para as naves C1, C2, C8, C3, C4 e C5, nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro de 2019 e Janeiro, Fevereiro e Março de 2020. Este estudo teve como intuito primordial a obtenção de informações detalhadas acerca das quantidades de paletes de matérias-primas que eram distribuídas para todas as naves da fábrica. Sendo também aferido o número de movimentações realizadas pelas empilhadoras de distribuição de matérias-primas que poderão ser substituídas pelo comboio logístico.

Foi feita uma análise detalhada da distribuição de matérias-primas em cada mês e, no final, um estudo aglomerado de todos os meses. A tabela 3 apresenta, para cada mês, a média do número de paletes de cada tipo de matéria-prima que foram distribuídas a cada destino por dia. Para além disso, apresenta a distância entre a origem e cada destino e o tempo médio que leva o operador a realizar cada rota. Para a análise dos dados foram, posteriormente, obtidos os seguintes valores:

- Média diária de entregas feitas pelo armazém de matérias-primas;
- Peso de cada sector na necessidade de matérias-primas;
- Número médio diário de quilómetros realizados pela empilhadora;
- Tempo médio diário gasto na distribuição de matérias-primas.

Tabela 3 - Valores médios diários de distribuição de paletes

Número médio de paletes entregues												
	C1		C2	C3		C4		C5	C8		Total	Km
	Pesadas	Não Pesadas	Não Pesadas	Pesadas	Não Pesadas	Pesadas	Não Pesadas	Não Pesadas	Pesadas	Não Pesadas		Horas
Distância a C0	0,2 km		0,06 km	0,4 km		0,4 km		0,13 km	0,2 km			
Tempo	3min 20seg		40seg	6min 40seg		6min 40seg		1min 30seg	3min 20seg			
Média Outubro	10,3	7,4	18,2	2,0	4,4	0,1	4,0	0,8	3,7	9,1	60,0	22,98
Média Novembro	9,7	7,4	18,4	2,0	2,7	0,5	3,8	1,1	3,4	7,5	56,2	20,76
Média Dezembro	9,3	6,9	19,0	1,6	3,3	0,6	5,3	1,0	4,8	7,7	59,4	22,62
Média Janeiro	9,6	7,8	21,5	2,7	3,8	0,3	4,3	1,0	4,3	9,7	64,9	24,25
Média Fevereiro	10,1	7,9	16,0	3,2	3,8	0,3	4,0	0,8	3,5	9,6	59,3	23,64
Média Março	8,4	6,6	11,1	2,7	2,0	0,3	4,6	0,6	4,0	9,1	49,3	20,35
Média total	9,6	7,3	17,4	2,4	3,3	0,3	4,3	0,9	3,9	8,8	58,2	22,43
peso %	16,4	12,6	29,8	4,1	5,7	0,6	7,4	1,5	6,8	15,1		
peso por sector %	29,0		29,8	9,8		8,0		1,6	21,8			

Após a análise dos resultados obtidos, é possível constatar que os sectores com maior afluência de receção de matérias-primas são o C1, o C2 e o C8. O número de paletes médio transportadas por dia é de 58,2, sendo o valor máximo referente ao mês de Janeiro, com uma média de 60 paletes transportadas por dia, e o valor mínimo referente ao mês de Março, com uma média diária de 49,3 paletes transportadas. Actualmente, o armazém executa a tarefa de distribuição de matérias-primas com recurso a uma empilhadora, que percorre em média 22,43km por dia, estimando-se que demora entre 2,8 h e 3,2h a executar as distribuições.

O sistema atual de distribuição de matérias-primas retira produtividade às atividades do armazém e aos processos que acrescentam valor ao produto. O processo de distribuição de matérias-primas com recurso a uma empilhadora revela-se extremamente ineficiente, visto que a empilhadora tem uma capacidade de carga limitada, apenas conseguindo transportar uma paleta de cada vez, e vai sempre vazia no percurso de retorno ao armazém, representando esta viagem um desperdício.

Para além disso, o procedimento dos operadores logísticos no transporte de material entre setores não segue qualquer norma ou regra, posto que, muitas vezes, as matérias-primas são distribuídas quando o operador entende. Outras vezes, a mensagem de necessidade das matérias-primas por parte das naves é feita pelo chefe da fábrica, através de uma chamada telefónica para o responsável do armazém, que ordena ao operador a entrega. Este fluxo de informação revela ser extremamente ultrapassado e de baixa eficiência. Na verdade, as entregas aleatórias geram grande aglomerado de paletes de matérias-primas nas zonas de receção das naves. Tal dissincronia é crítica para as operações da fábrica, podendo gerar atrasos significativos no início do processo de produção.

4 Apresentação da solução proposta

O presente capítulo debruça-se sobre a resolução dos problemas identificados no capítulo anterior, de forma a melhorar o fluxo de distribuição de matérias-primas às naves produtivas da fábrica. Com esse objetivo, foi feito um estudo de simulação da implementação de um comboio logístico na fábrica, com recurso ao *software* de simulação ARENA. Além disso, foi proposta a utilização de algumas ferramentas de melhoria contínua, no intuito de melhorar o fluxo de informação entre as naves produtivas e o armazém de matérias-primas, e procedeu-se à implementação e normalização das operações do distribuidor logístico.

4.1 Comboio Logístico

Como já referido no capítulo anterior, os processos logísticos entre o armazém de matérias-primas e as restantes naves produtivas não se encontram otimizados. Existe um grande desperdício de tempo e de recursos, na forma como o armazém presentemente opera.

Para colmatar tal défice, a CIN pretende implementar um comboio logístico de distribuição de matérias-primas. Assim criando uma operação normalizada de entrega de materiais entre os diversos sectores, que minimize os tempos de entrega, diminua os custos de operação, reduza os *stocks* nas naves de fabrico e consiga realocar recursos para outras funções. Foi realizado um vasto conjunto de estudos, para definição das necessidades desta implementação, e propuseram-se várias soluções, tendo em vista a otimização de todos os processos.

4.1.1 Tarefas a realizar pelo comboio

Como foi visto no capítulo anterior, existem atualmente na fábrica 6 naves produtivas que consomem matérias-primas provenientes do armazém. Sendo necessário fazer um estudo de viabilidade da utilização do comboio logístico para a sua distribuição por todas elas.

Após a análise do *layout* da unidade fabril, foi considerada inviável a utilização do comboio logístico para a distribuição de matérias-primas para a fábrica de tinta solventes (C2), visto que se encontra no mesmo edifício do armazém de matérias-primas. Dada a proximidade entre os dois sectores, o tempo da operação de *picking* da matéria-prima da prateleira até à zona de expedição onde o comboio é carregado é maior do que o da entrega imediata, com recurso à empilhadora, até à zona de receção da fábrica. Assim, incluir a distribuição de matérias-primas para esta fábrica nas tarefas a serem desempenhadas pelo comboio logístico representaria um desperdício, a nível de tempo e de espaço.

Resulta também da análise efetuada no capítulo anterior que a fábrica C5 apresenta a necessidade média diária de apenas uma paleta de matérias-primas. Tendo em conta o que, a distribuição para este sector também não foi incluída nas tarefas a realizar pelo comboio logístico. A paragem iria aumentar o tempo de ciclo do comboio e não justificava o investimento nas infraestruturas necessárias para o abastecimento através do comboio. Obtém-se desse modo maior flexibilidade, concluindo-se as entregas mais cedo e criando-se folga para mais operações.

Portanto, vai ser apenas estudada a implementação do comboio para as naves C1, C3, C4 e C8. Tendo o comboio logístico como principal função distribuir as matérias-primas para as referidas naves, foram criadas 2 estações de distribuição (tabela 4).

Tabela 4 - Estações de paragem do comboio logístico

Estação	Nave
Estação 1	C1 e C8
Estação 2	C3 e C4

Dada a proximidade entre as naves produtivas, foram definidas estações polivalentes em que a descarga de matérias-primas será feita no mesmo local para duas delas. É o caso das naves C1 e C8 e das naves C3 e C4.

4.1.2 Rota a percorrer pelo comboio

Após a definição das tarefas a realizar pelo comboio logístico e a determinação das estações de paragem, é necessário desenhar uma rota circular pré-definida e otimizada que passe por toda a fábrica de forma a que o comboio logístico consiga ter espaço para se deslocar livremente.

Este estudo teve algumas limitações, em virtude de a fábrica possuir poucos espaços internos e externos que possibilitem a passagem do comboio logístico. No entanto, foi encontrada uma solução viável de percurso que passe por todas as estações (figura 13). Esta rota tem como ponto inicial o armazém de matérias-primas. Segue um percurso exterior até à estação 1, onde descarrega os materiais para as naves C1 e C8. Após o que se dirige à estação 2, aí descarregando materiais para as naves C3 e C4. Por fim, retorna ao armazém.

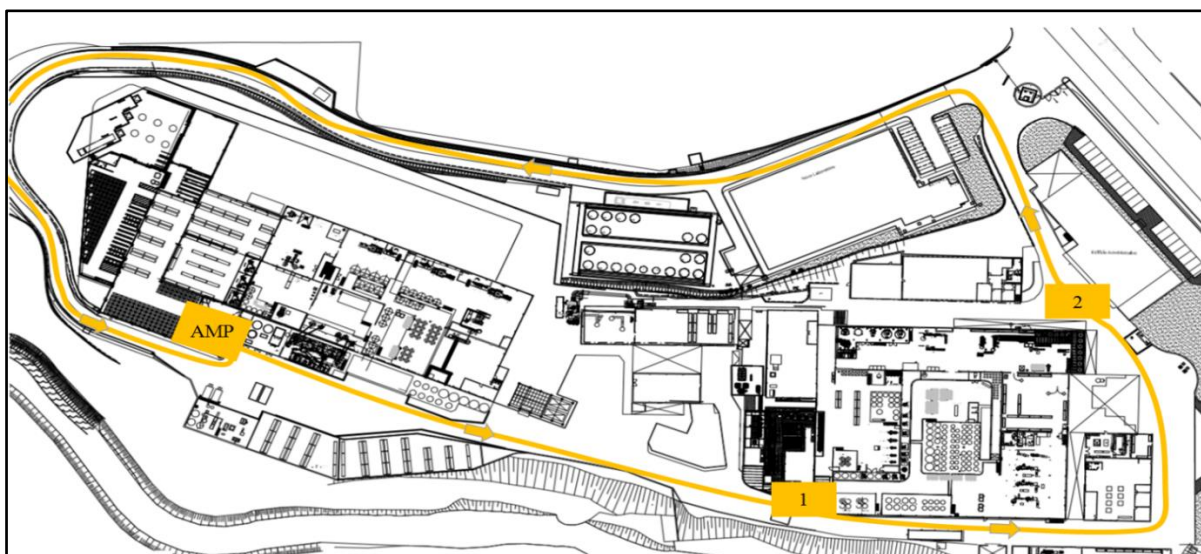


Figura 13 - Rota de circulação do comboio logístico

4.1.3 Veículo e atrelados

Após uma pesquisa feita previamente pela empresa, foi adquirido o veículo adequado a realizar as tarefas do comboio logístico. Consta da figura 14.

O trator e os atrelados foram desenvolvidos pela a empresa alemã STILL, pioneira no mercado de fabrico de empilhadoras e equipamentos de armazenagem. O modelo de trator escolhido designa-se R 07-25, sendo um dos mais robustos da marca, com capacidade para transportar materiais até 25 toneladas, tanto em ambientes externos como internos.



Figura 14 - Veículo e atrelados escolhidos para executarem as tarefas do transportador

O sistema de atrelados é constituído por um conjunto de *trailers*, nos quais estão apoiados os *trolleys* que suportam as paletes. Tanto os *trailers* como os *trolleys* foram também adquiridos à empresa STILL. No momento da carga do comboio logístico, o operador baixa os *trailers*, de modo a inserir os *trolleys* que possuem as matérias-primas em paletes. De seguida, estes são elevados, até que os *trolleys* deixem de estar em contacto com o chão, para que o comboio possa iniciar a marcha. No momento da descarga das matérias-primas, os *trailers* são baixados e retirados do comboio para a zona de receção das matérias-primas. Os movimentos dos *trolleys*, quando estes estão carregados, é efetuado com recurso a um *power pusher* manual, que deverá estar presente em todas as estações. Quando os *trolleys* estão vazios, são utilizadas duas varetas para os manusear, visto que estão mais leves. A energia necessária para o movimento dos *trailers* é fornecida hidraulicamente.

O sistema de carga e descarga proposto inicialmente pela STILL para o comboio logístico designa-se sistema de *trolleys* semiautomático. Este sistema baseia-se na substituição dos *trolleys* vazios que se encontram nas estações pelos *trolleys* carregados que são entregues em cada volta, por forma a que haja uma reciclagem de *trolleys*. Ao passar pelas estações fazendo a distribuição das matérias-primas, o comboio recolhe os *trolleys* vazios que foram entregues na viagem anterior. Este sistema otimiza a distribuição de matérias-primas, garantindo aos operadores das naves uma grande janela temporal que lhes permite retirá-las dos *trolleys* antes de estes serem recolhidos e voltarem para o armazém. Outro ponto positivo é a redução do número de *trolleys* utilizados já que estes são reciclados em todas as voltas. Outra solução que também será estudada será a recolha de *trolleys* com recurso a uma empilhadora no lugar do *power-pusher*. Este método reduz o número de *trolleys* vazios a circular pela fábrica e nas zonas de receção por ser, no processo de descarga nas estações, automaticamente retirada a paleta do *trolley* o que permitiria a colocação imediata do *trolley* vazio no comboio. Para além disso, torna a operação de descarga mais rápida, não necessitando o operador de manusear com o *power-pusher* o *trolley* carregado com a matéria-prima. No entanto esta solução requer uma empilhadora e um operador livre em cada nave sempre que o comboio chega à estação.

4.2 Simulação

Para comparar a solução da implementação do comboio logístico com o método atual de distribuição de matérias-primas, que utiliza empilhadoras, foram realizadas 4 simulações, com cenários diferentes. Recorreu-se ao software de simulação *Arena*, desenvolvido pela empresa *Rockwell Automation*, fazendo variar a capacidade de *trolleys* transportados. O primeiro cenário corresponde à situação atual, em que é utilizada uma empilhadora para distribuição de paletes. Nos restantes 3, avaliaram-se diferentes opções de processos de carga e descarga dos *trolleys*.

4.2.1 Recolha de dados

Para a execução da simulação, foram necessárias a obtenção e a análise de dados, de forma a tornar o modelo o mais aproximado possível da realidade. Obteve-se o número de encomendas diariamente distribuídas a cada sector, o número de paletes que cada encomenda iria conter, a distância entre as várias estações, a velocidade média do comboio e o tempo de carga e de descarga dos *trolleys* por parte do operador do comboio.

Com a implementação do comboio logístico, pretende-se efetuar uma distribuição *just-in-time* de matérias-primas às naves de fabrico, em que as encomendas cheguem ao seu destino no momento exato em que se inicia o fabrico do produto associado. Como já referido, com o atual modelo de *picking* do armazém, as matérias-primas de reposição de supermercados são distribuídas em conjunto com as destinadas a uma ordem de fabrico específica, posto que todas as encomendas de líquidos para cada nave constam da mesma *pick list*. Com a implementação desta nova forma de distribuição, as paletes referentes a cada ordem de fabrico são entregues separadamente das relativas a matérias-primas de reposição. Consequentemente, o número de matérias-primas por palete vai diminuir, aumentando o número de paletes totais distribuídas.

Com o fito de avaliar as repercussões que a implementação desta prática poderá vir a ter, foram analisadas as encomendas distribuídas em cada um dos meses de Outubro de 2019 a Março de 2020, agrupando as matérias-primas em paletes correspondentes apenas à ordem de fabrico designada. As restantes matérias-primas, que correspondem a encomendas de reposições de supermercados, foram agrupadas em paletes de 1000 Kg, tendo em conta o seu destino.

Na tabela 5, foi contabilizado o número de paletes totais que seriam distribuídas mensalmente em cada nave e comparado com o número de paletes distribuídas com o modelo atual, em que não há separação por ordem de fabrico das matérias-primas não pesadas.

Tabela 5 - Aumento diário do número de paletes em cada nave

Fábrica	Meses	Paletes sem separação de Rep e Of	Paletes com separação de Rep e Of	Aumento	Aumento por dia	Aumento %
C1	Outubro	396	415	19	0,8	4,8
	Novembro	332	348	16	0,8	4,8
	Dezembro	132	147	15	1,3	11,4
	Janeiro	375	396	21	1,0	5,6
	Fevereiro	318	338	20	1,1	6,3
	Março	316	340	24	1,3	7,6
	Média				1,0	6,7
C3	Outubro	146	148	2	0,1	1,4
	Novembro	92	94	2	0,1	2,2
	Dezembro	40	44	4	0,3	10,0
	Janeiro	136	140	4	0,2	2,9
	Fevereiro	124	126	2	0,1	1,6
	Março	100	102	2	0,1	2,0
	Média				0,2	3,3
C4	Outubro	86	104	18	0,8	20,9
	Novembro	76	91	15	0,8	19,7
	Dezembro	43	59	16	1,3	37,2
	Janeiro	91	110	19	0,9	20,9
	Fevereiro	73	90	17	0,9	23,3
	Março	93	111	18	1,0	19,4
	Média				0,9	23,6
C8	Outubro	288	297	9	0,4	3,1
	Novembro	210	218	8	0,4	3,8
	Dezembro	110	113	3	0,3	2,7
	Janeiro	302	309	7	0,3	2,3
	Fevereiro	230	239	9	0,5	3,9
	Março	284	291	7	0,4	2,5
	Média				0,4	3,1

Concluiu-se, como seria de esperar, um aumento do número de paletes transportadas, que varia entre 23,9%, nas encomendas que têm como destino a nave C4, e 3,3%, nas encomendas com destino à nave C3. Esse aumento é traduzido, no máximo, em 1,3 paletes por dia em média a

circularem para cada nave. Após troca de impressões com o chefe do armazém, pôde-se depreender que este aumento não iria representar uma sobrecarga significativa nas operações do armazém. Sendo certo que a adoção deste modelo de distribuição vai reduzir o número de matérias-primas nas zonas de receção das naves, visto que a utilização imediata da totalidade das matérias-primas da paleta vai fazer com que esta fique na zona de receção por pouco tempo.

Os dados recolhidos neste estudo foram utilizados para a obtenção de distribuições estatísticas que representem da forma mais real possível o funcionamento do armazém de matérias-primas. Para isso, usou-se a ferramenta inserida no ARENA chamada *Input Analyser*, que aproxima um conjunto de dados a uma distribuição estatística. Foram obtidas distribuições relativas ao número de encomendas diárias requisitadas por cada nave, tanto a nível de matérias-primas para fabricos específicos como de matérias-primas de reposição de supermercados. Para além disso, foram calculadas as distribuições estatísticas referentes ao número de paletes associado a cada ordem de fabrico. Na tabela 6, figuram as distribuições estatísticas usadas para simular o fluxo de encomendas do armazém.

Tabela 6 - Distribuições estatísticas referentes aos dados de entrada da simulação

Descrição	Distribuição estatística
Número de encomendas referentes a OFs entregues por dia a C1	NORM(7.9, 2.81)
Número de encomendas referentes a OFs entregues por dia a C3	$-0.5 + 3 * \text{BETA}(3.53, 3.22)$
Número de encomendas referentes a OFs entregues por dia a C4	$-0.5 + \text{WEIB}(2.42, 1.88)$
Número de encomendas referentes a OFs entregues por dia a C8	$-0.5 + 9 * \text{BETA}(1.53, 2.57)$
Número paletes de reposições entregues por dia a C1	$-0.5 + \text{GAMM}(1.38, 4.31)$
Número paletes de reposições entregues por dia a C3	$-0.5 + \text{LOGN}(1.08, 0.943)$
Número paletes de reposições entregues por dia a C4	$-0.5 + \text{LOGN}(2, 1.45)$
Número paletes de reposições entregues por dia a C8	$-0.5 + 17 * \text{BETA}(0.638, 1.64)$
Número de paletes por encomenda entregues a C1	$0.5 + \text{EXPO}(1.1)$
Número de paletes por encomenda entregues a C3	NORM(10.04, 3.58)
Número de paletes por encomenda entregues a C4	$0.5 + 8 * \text{BETA}(1.08, 3.77)$
Número de paletes por encomenda entregues a C8	$0.5 + \text{LOGN}(2.55, 2.86)$

Quanto aos dados operacionais do comboio logístico, foram eles aferidos através de comparações com o comboio logístico presente noutra unidade fabril do grupo CIN, a Megadur, e com dados fornecidos pelo fornecedor. Estes dados estão na tabela 7.

Tabela 7 - Dados operacionais do comboio logístico utilizados na simulação

Descrição	Valor
Velocidade do comboio logístico	2.78 m/s
Tempo de setup trolley vazio	25 seg
Tempo de setup trolley com MP com recurso a empilhadora	55 seg
Tempo de setup trolley com MP com recurso a power-pusher	70 seg
Distância AMP – Estação 1	200 m
Distância Estação 1 – Estação 2	200 m
Distância Estação 2 - AMP	584 m

4.2.2 Simulação Computacional

Com o intuito de prever o comportamento do comboio logístico e avaliar diferentes soluções de implementação, foi executada uma simulação computacional com recurso ao *software* ARENA. O modelo de simulação vai ser descrito detalhadamente neste capítulo, dividido em secções. É possível contemplar o modelo completo no ANEXO C.

A modelação das atividades diárias do comboio logístico inicia-se com a geração de entidades, que correspondem às ordens de fabrico que necessitam de matérias-primas para iniciar o respetivo fabrico e a paletes de matérias-primas de reposição de supermercados que foram encomendas para o dia em questão. São utilizados 8 blocos *Create*, 4 deles criando entidades que correspondem a ordens de fabrico de cada um dos 4 destinos e os outros 4 gerando entidades que correspondem a paletes de reposição que têm como destino cada uma das estações de paragem. Pressupõe-se que as encomendas de cada nave chegam todas ao mesmo tempo ao armazém antes da simulação começar, sendo o número de chegadas por dia representado por uma distribuição estatística. Em cada ordem de fabrico é utilizado um bloco *Assign*, para definir um atributo a cada entidade que corresponde ao número de paletes de cada encomenda. O número de paletes segue uma distribuição estatística, tendo em conta o seu destino. Às entidades relativas a reposições é atribuído um número de paletes correspondente a 1, devido ao facto, de cada entidade representar apenas uma paleta de matérias-primas, contrariamente ao que acontece com as encomendas referentes a ordens de fabrico, que podem necessitar de mais do que uma paleta de material.

Após as entidades serem criadas e lhes ser atribuído um número de paletes, é avaliada a quantidade de paletes de matérias-primas que são transportadas na entidade. Esta avaliação é necessária, visto que se à entidade estiver associada um número de paletes maior do que a capacidade do comboio este não a conseguirá transportar em apenas uma viagem. Para resolver esse problema, foi necessário filtrar as entidades, de forma a separar as que continham mais paletes do que a capacidade do comboio, utilizando um bloco *Dicide*. As entidades separadas passam por um bloco *Separate*, que cria outra entidade com um número de paletes correspondente à diferença entre a capacidade do comboio e o número de paletes da entidade inicial. Esta diferença corresponde às paletes restantes. A nova entidade volta a passar no bloco *Dicide* e repete este ciclo. A modulação do processo está representada na figura 15. É de salientar que apenas as entidades criadas nos blocos *Create* referentes a ordens de fabrico passam por este ciclo, visto que as relativas a encomendas de reposição de supermercado apenas possuem 1 paleta.

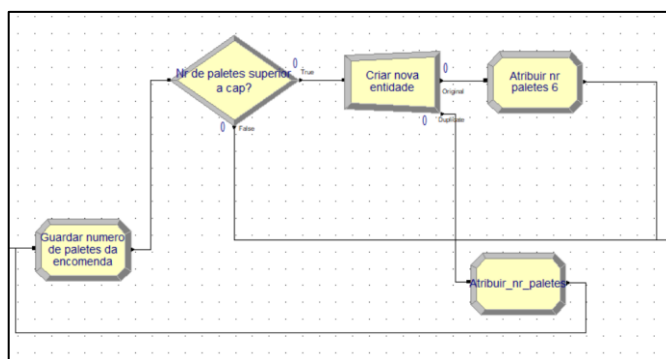


Figura 15 - Modelação do processo de avaliação do número de paletes de cada OF

Após cada encomenda ser criada e avaliada, permanece num bloco *Hold*, conjuntamente com as do mesmo tipo e com o mesmo destino, até todas as encomendas serem criadas.

De seguida, é dada a alocação das encomendas ao comboio logístico. De forma a tornar o modelo de simulação mais simplificado e pelo facto de não ser possível prever as necessidades ao longo do dia de cada matéria-prima, foram feitos alguns ajustamentos à carga a ser transportada no comboio:

- Só é transportada uma encomenda se a totalidade do número de paletes couber dentro do comboio;

- É dada prioridade às encomendas referentes a ordens de fabrico e só se transportam as paletes com matérias-primas para reposição se houver algum espaço livre no comboio ou no final do dia.

Tendo isso em conta, o objetivo inicial do comboio é levar em cada viagem, pelo menos, uma encomenda referente a uma ordem de fabrico de cada nave. No entanto, dada a capacidade limitada do transportador, nem sempre tal é possível. Assim, foi definida uma ordem de prioridades entre as naves de fabrico, tendo em conta a maior necessidade de matérias-primas. A nave considerada prioritária foi a C1, seguindo-se a C8, a C3 e, por fim, a C4, julgada a menos prioritária.

Foi elaborado um submodelo que utiliza uma entidade auxiliar que, ao passar em blocos *Signal*, liberta as entidades que correspondem às encomendas que estão em fila de espera nos blocos *Hold*. Esse submodelo define de que tipo vai ser a próxima encomenda a transportar. O submodelo consta do ANEXO D.

No modelo principal, é libertada uma encomenda da fila de espera, que passa por um bloco *Decide*, o qual verifica se o número de paletes da entidade em questão, ao ser adicionado ao número de paletes que já estão alocadas ao transportador, é inferior ou igual à capacidade do comboio. O número de paletes a serem transportadas no comboio é representado por uma variável, denominada “Nr_pal_transp”. Se a condição for falsa, a entidade passa por um bloco *Search*, que procura na fila de espera de encomendas de onde essa entidade veio uma entidade com o número de paletes que, somada às paletes que o comboio contém, seja inferior ou igual à capacidade do comboio. Se houver entidade que satisfaça essa condição, segue para um bloco *remove*, que remove da fila de espera a entidade encontrada no bloco *Search* (figura 17). A entidade que passou por esse bloco volta à fila de espera. Se não houver entidades que satisfaçam a condição de procura, a que passa por esse bloco volta à fila de espera. Este ciclo (figura 16) ocorre em todas as filas de espera, seguindo a ordem de prioridade definida. Só não está presente para filas de espera relativas às paletes de reposição, porque cada entidade representa apenas uma paleta e não há necessidade de fazer esta verificação. Este método de modelação pretende substituir a tomada de decisão por parte chefe do armazém, ao escolher as matérias-primas que vão ser transportadas no comboio.

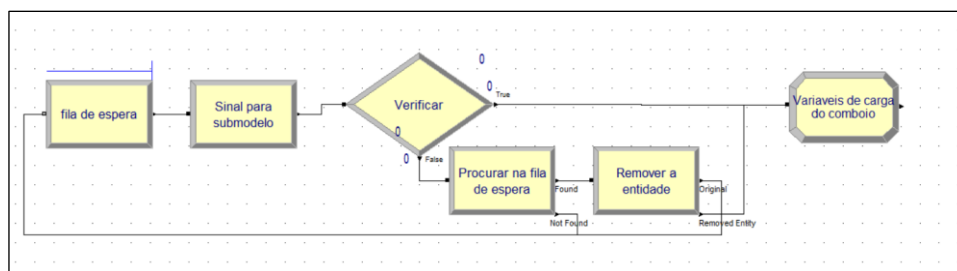


Figura 16 - Modelação do processo de escolha de OF a alocar ao comboio logístico

Figura 17 - Características do módulo Search de procura na fila de espera

Após a encomenda ser escolhida para entrega, é alterado o valor da variável incremental “nr_enc_tranp”, que representa o número de entidades que o comboio vai transportar. Também são incrementadas as variáveis “Cont_Pal_Estacao1” e “Cont_Pal_Estacao2”, dependendo de qual o destino da encomenda. São variáveis importantes para os blocos seguintes da simulação. Sendo alteradas no bloco *assign* “Variáveis de carga do comboio” (figura 18).

Assignments

	Type	Variable Name	New Value
1	Variable	Nr_enc_tranp	Nr_enc_tranp + 1
2	Variable	Nr_pal_tranp	Nr_pal_tranp + paletes
3	Variable	Cont_Pal_Estacao2	Cont_Pal_Estacao2 + paletes

Figura 18 - Variáveis de carga do comboio alteradas no módulo Assign

O transporte das encomendas é realizado através de blocos *Transport*, que fazem as entidades circular entre 4 estações com recurso a um transportador, o comboio logístico. As estações criadas são as seguintes:

- Armazém de MP;
- Estação 1 – referente à zona de receção dedicada às naves C1 e C8;
- Estação 2 – referente à zona de receção dedicada às naves C3 e C4;
- Estação 3 – estação auxiliar, situada à mesma distância das restantes estações a que está o armazém de matérias-primas, utilizada para fazer a saída das entidades do sistema.

As encomendas, após preencherem os requisitos para serem alocadas ao comboio, entram na estação do armazém de matérias-primas (figura 19), onde se agrupam num bloco *Delay* de 1 segundo, para que as encomendas que primeiro forem alocadas ao comboio esperem enquanto as restantes são escolhidas. Depois da carga do comboio ser escolhida, é criado um *batch* com todas as encomendas a entregar, de forma a representar apenas uma entidade. O tamanho do *batch* é o valor da variável “Nr_enc_tranp” definida anteriormente. A operação de descarga está representada por um bloco *Process*, com uma duração correspondente ao valor da variável “Nr_pal_tranp” vezes o tempo de descarga de um *trolley*, visto que são sempre retirados do comboio os *trolleys* vazios, para carregar a quantidade a ser distribuída. De seguida, o *batch* passa por outro módulo *process*, referente à carga das matérias-primas no comboio logístico. A duração desse processo é igual ao valor da variável “Nr_pal_tranp” vezes o tempo de *setup* de um *trolley* no comboio. Para definir uma variável incremental, é utilizado um bloco *assing*, com a informação do número da volta a que corresponde a viagem. Por fim, é utilizado um bloco *Request*, para fazer o pedido de transporte ao armazém de matérias-primas, e um bloco *Transport*, para fazer o transporte do *batch* até à estação 1.

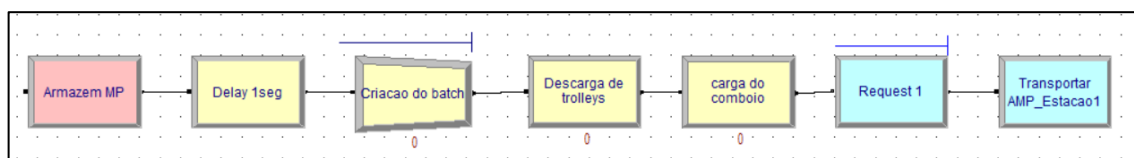


Figura 19 - Modelação da estação “Armazém de Matérias-Primas”

A estação 1 (figura 20) foi modelada de forma a representar as operações de carga e descarga de *trolleys* a ela destinados. A entidade entra na estação e atravessa um bloco *Process*, que representa o processo de descarga dos *trolleys*. O tempo de processamento foi calculado através da multiplicação do valor da variável “Cont_Pal_Estacao1” pelo tempo de descarga de cada *trolley*. De seguida, é verificado se o número de *trolleys* na estação é maior do que o número de paletes a descarregar, com recurso a um bloco *Dicide*. O número de *trolleys* na estação é representado pela variável “Nr_trolleys_Est1”, que é atualizada a cada volta. Se a condição for verdadeira, o número de *trolleys* vazios a carregar é igual ao número dos que foram

descarregados. Se for falsa, o número de *trolleys* a carregar é igual ao número dos presentes na estação e a entidade passa por um bloco *Assign*, que atualiza a variável “Nr_trolleys_Est1”. É de salientar que, se a condição for verdadeira, não é necessário alterar o valor desta variável, visto que o número de *trolleys* a carregar é igual aos que foram descarregados, o que não altera o número de *trolleys* na estação. As entidades dirigem-se para a estação 2, através de um bloco *transport*.

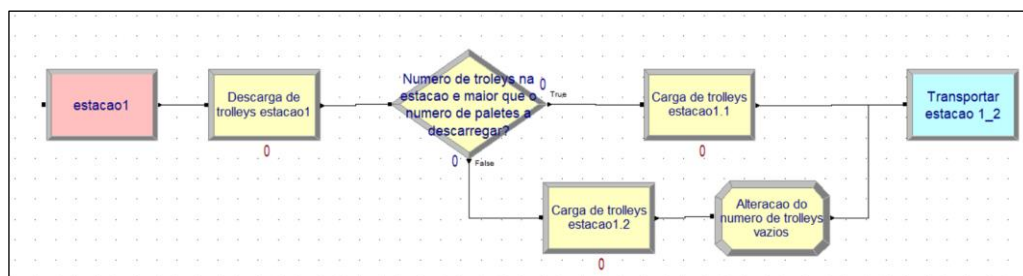


Figura 20 - Modelação da Estação 1

A estação 2 foi modelada de forma idêntica à estação 1, apenas variando o número de paletes a serem descarregadas para a variável “Cont_Pal_Estacao2” e o número de *trolleys* presentes na estação para a variável “Nr_trolleys_Est2”. O *batch* é transportado para a estação 3, que está localizada à mesma distância do armazém de matérias-primas.

A última estação de passagem das encomendas é a 3 (figura 21), onde as entidades saem do sistema. Esta estação tem por finalidades libertar o transportador (bloco *free*), alterar alguns valores de variáveis, para ser possível nova escolha das matérias-primas a alocar ao comboio (bloco *assign*), e separar o *batch* em que as encomendas estão contidas (bloco *separate*).

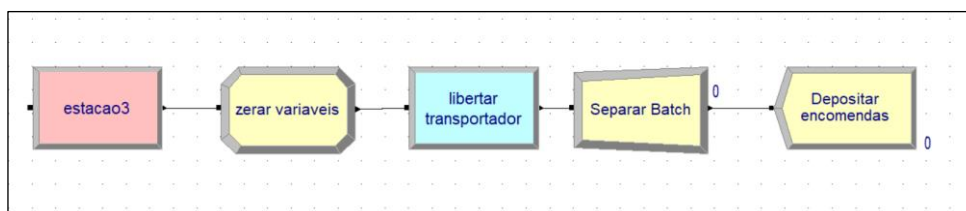


Figura 21 - Modelação da Estação 3

Para completar a construção do modelo, foram definidas as características do transportador e as distâncias entre estações (Figura 22 e 23).

Transporter - Advanced Transfer									
	Name	Number of Units	Type	Distance Set	Network Name	Velocity	Units	Initial Position Status	Report Statistics
1 ▶	Comboio logístico	1	Free Path	Comboio logístico.Distance ▼	Comboio	2.78	Per Second	1 rows	☒

Figura 22 - Características do transportador

Stations			
	Beginning Station	Ending Station	Distance
1	Armazem MP	estacao1	200
2	estacao1	estacao2	200
3	estacao2	estacao3	584
4	estacao3	Armazem MP	0

Figura 23 - Distância definida entre as estações

4.2.3 Identificação dos indicadores de desempenho e validação do modelo

No intuito de avaliar o desempenho de cada cenário de simulação, definiram-se os seguintes indicadores de desempenho, de forma a encontrar a solução ótima de capacidade do comboio logístico:

- Número médio de voltas diárias efetuadas pelo transportador;
- Tempo de ciclo médio do transportador;
- Tempo necessário para entregar todas as encomendas diárias;
- Tempo despendido em operações de transporte;
- Tempo despendido em operações de carga e descarga.

Depois do modelo construído, foi necessário adicionar alguns blocos *Record*, para a obtenção de alguns indicadores que o relatório não reportava automaticamente. Acrescentou-se um bloco *record*, no final de cada viagem do comboio, na estação 3, que contava o número de voltas por ele efetuado. Para o cálculo do tempo de ciclo médio, foi feita a divisão do tempo de entrega de todas as matérias-primas pelo número de voltas que este efetuava diariamente.

Ao longo da construção do modelo, utilizou-se diversas vezes o módulo *Variable*, para verificar se os valores de atributos e variáveis representavam os valores supostos nesse momento. É exemplo disso a utilização deste módulo para saber quantas paletes de matérias-primas estavam alocadas ao comboio numa determinada altura, na impossibilidade de fazer essa aferição pela visualização das entidades a atravessar o modelo. Além disso, executou-se o modelo sempre que uma parte do mesmo era adicionada, para verificar se as entidades tomavam os caminhos corretos, de acordo com as condições subjacentes.

Após a certificação do bom funcionamento do modelo, foi necessário definir o número de replicações a executar, de maneira a que a simulação pudesse ser conclusiva. Segundo Ahmed, K. (1999), o resultado da seguinte fórmula representa o número de replicações requeridas (N) para um estudo de simulação, dado um número inicial de replicações efetuadas (m):

$$N(m) = \left(\frac{\sigma(m)t_{m-1,1-\alpha/2}}{\bar{X}(m)\varepsilon} \right)^2$$

Em que,

$N(m)$	= Número de replicações necessárias, dadas m replicações iniciais;
$\sigma(m)$	= Desvio padrão proveniente de m simulações executadas;
$\bar{X}(m)$	= Média proveniente de m simulações;
$t_{m-1,1-\alpha/2}$	= Valor crítico da distribuição t bicaudal com um grau de confiança de α e $m-1$ graus de liberdade;
α	= Grau de confiança;
ε	= Percentagem de erro estimada.

Para determinar o número de replicações a serem executadas, foi definida a precisão e o grau de confiança desejados. Consideraram-se um grau de confiança de 95% e uma percentagem de erro de 10%. Como ponto de partida, foram realizadas 100 replicações piloto e avaliadas a

média e o desvio padrão da amostra para cada distribuição, calculando-se o número de replicações mínimo de cada variável (tabela 8).

Tabela 8 - Números mínimos de réplicas para cada varável de entrada

Descrição	Desvio Padrão	Média	Erro Máximo	Número de Réplicas
OFs C1	2,78	7,51	0,75	55
OFs C3	0,47	0,34	0,034	776
OFs C4	1,17	1,15	0,11	419
OFs C8	2,00	2,32	0,23	300
Paletes por OF C1	0,37	1,69	0,16	20
Paletes por OF C3	5,46	3,75	0,37	850
Paletes por OF C4	1,69	2,01	0,20	284
Paletes por OF C8	2,56	2,45	0,24	436
Paletes reposição C1	3,5	5,44	0,54	170
Paletes reposição C3	1,29	1,05	0,10	604
Paletes reposição C4	0,67	0,50	0,05	731
Paletes reposição C8	3,85	3,89	0,38	393

Da análise da tabela pode-se concluir que será necessária a execução de 850 replicações, resultado referente à variável “Paletes por OF C3”, de forma a que todos os conjuntos de valores gerados se enquadrem nas especificações definidas. Após a execução do modelo computacional com 850 replicações, foram comparados os resultados desta simulação com os coletados na amostra de 6 meses. Com base nos dados obtidos no modelo de simulação pode-se verificar a aproximação destes à realidade. (ver Tabela 9)

Tabela 9 - Valores médios da amostra e valores médios da simulação

Descrição	Média da Amostra	Média Simulada
OFs C1	7,90	7,40
OFs C3	0,40	0,35
OFs C4	1,55	1,20
OFs C8	2,72	2,47
Paletes por OF C1	1,60	1,68
Paletes por OF C3	7,97	8,93
Paletes por OF C4	2,27	3,02
Paletes por OF C8	3,06	2,97
Paletes reposição C1	5,43	5,12
Paletes reposição C3	0,72	0,96
Paletes reposição C4	0,50	0,34
Paletes reposição C8	4,10	3,84

4.2.4 Análise dos cenários criados

Construído e validado o modelo, segue-se a fase de simulação do mesmo. Como já referido, realizaram-se 850 replicações, cada uma com a duração equivalente ao tempo de entrega de

todas as matérias-primas do dia em questão. Inicialmente, fizeram-se 6 cenários de simulação, em 5 dos quais se variou entre 3 e 7 o número de *trolleys* que o comboio conseguia transportar numa viagem, sendo o outro referente à distribuição com recurso a uma empilhadora. Os valores médios dos indicadores para cada valor de capacidade do comboio encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios dos indicadores obtidos no primeiro e segundo cenário de simulação

Número de trolleys	Número de voltas	Tempo de distribuição	Tempo de ciclo	Tempo de transporte	Tempo de cargas e descargas
3	11,43	2h 52min	15min 00 seg	1h 07min	1h 44min
4	8,69	2h 36min	17min 57seg	51min	1h 44min
5	7,06	2h 26min	20min 44 seg	41min	1h 44min
6	5,97	2h 20min	23min 27seg	35min	1h 44min
7	5,18	2h 15min	26min 08seg	30min	1h 44min
Empilhadora		2h 49min	-	2h 49min	-

Da análise dos resultados, conclui-se que o tempo médio necessário para fazer a distribuição das matérias-primas diminui com o aumento do número de *trolleys*. Esta diminuição deve-se à redução do número de voltas necessárias para fazer todas as entregas. Em comparação com o cenário atual, só não seria vantajosa a implementação de um comboio logístico que tivesse um número de *trolleys* igual ou inferior a três, sendo que todos os outros cenários trariam benefícios para a logística interna da fábrica.

No entanto, constata-se que o tempo de cargas e descargas é muito elevado, comparativamente ao tempo de transporte. Para o reduzir, foi pensada a utilização do operador responsável pela preparação da carga para o comboio executar a operação de descarga de *trolleys* vazios utilizando duas varetas enquanto o operador do comboio estaria a fazer a carga de *trolleys* com matérias-primas utilizando o *power-pusher* no armazém de matérias-primas. Desta forma, o tempo total de preparação da carga diminuiria.

Para simular este cenário, foi retirado o bloco *Process* referente à descarga de *trolleys* na estação do armazém de matérias-primas. Como os processos de carga e descarga se realizam simultaneamente e a carga demora mais tempo do que a descarga, o *bottleneck* das operações é a carga, sendo, portanto, o tempo que deve ser considerado na simulação. Os resultados obtidos estão na tabela 11.

Tabela 11 - Valores médios dos indicadores obtidos no primeiro e terceiro cenário de simulação

Número de trolleys	Número de voltas	Tempo de distribuição	Tempo de ciclo	Tempo de transporte	Tempo de cargas e descargas
3	11,43	2h 38min	13min 49seg	1h 07min	1h 30min
4	8,69	2h 21min	16min 19min	51min	1h 30min
5	7,06	2h 12min	18min 43min	41min	1h 30min
6	5,97	2h 05min	21min 02min	35min	1h 30min
7	5,18	2h01min	23min 23min	30min	1h 30min
Empilhadora	-	2h 49min	-	2h 49min	-

É possível verificar, pela análise da tabela 11, que, com o aprovisionador a efetuar o processo de descarga de *trolleys* vazios do comboio, o tempo de descarga e carga de *trolleys* diminui 14 minutos por dia. Consequentemente, os tempos de distribuição diária e de ciclo também são mais reduzidos.

Dada a complexidade do sistema de *trolleys* semiautomático e a sobrecarga que para o operador do comboio existiria no manuseamento dos mesmos, foi considerado um último cenário de simulação, que utiliza um processo de carga e descarga de paletes alternativo ao estudado nas anteriores simulações. Assim, foi estudado o comportamento do comboio logístico com a utilização de um operador de cada nave que, no momento da chegada do comboio, iria com uma empilhadora retirar a paleta do *trolley* ao local de paragem do comboio. Este cenário acabaria com o aglomerado de *trolleys* nas zonas de receção de cada nave e tornaria a operação de descarga mais rápida, não necessitando o operador de manusear com o *power-pusher* o *trolley* carregado com a matéria-prima. Para esta simulação, foi reduzido o tempo de descarga de cada *trolley* de 70 segundos para 55 segundos, retirando-se o bloco *Process* referente à carga de *trolleys* vazios em ambas as estações, visto que esta operação deixaria de existir. Os resultados da simulação estão presentes na tabela 12.

Tabela 12 - Valores médios dos indicadores obtidos nos primeiro e quarto cenário de simulação

Número de <i>trolleys</i>	Número de voltas	Tempo de distribuição	Tempo de ciclo	Tempo de transporte	Tempo de cargas e descargas
3	11,43	2h 29min	13min	1h 07min	1h 22min
4	8,69	2h 13min	15min 20seg	51min	1h 22min
5	7,06	2h 03min	17min 30seg	41min	1h 22min
6	5,97	1h 57min	19min 38seg	35min	1h 22min
7	5,18	1h 52min	21min 44seg	30min	1h 22min
Empilhadora		2h 49min	-	2h 49min	-

Como seria de esperar, o tempo de carga e descarga, neste último cenário, diminui 8 minutos, por força da redução do tempo das operações.

Tendo em conta os resultados obtidos nos 3 cenários de simulação, entendeu-se que o número de *trolleys* ideal para serem transportados pelo comboio em cada volta seria de seis. A utilização de um comboio com 7 *trolleys* torná-lo-ia demasiado longo, dificultando o seu manuseamento dentro da fábrica, não sendo a diferença de tempo entre as duas capacidades muito significativa. A utilização de um operador de cada nave para o auxílio nas operações de descarga revelou ser a mais vantajosa para a logística interna da fábrica. No entanto, o impacto para cada fábrica da alocação de um operador para a zona de descarga no momento da chegada do comboio poderá vir a ser prejudicial para o bom funcionamento das operações de fabrico. Portanto, decidiu-se testar os dois últimos cenários estudados no processo de implementação do comboio na fábrica.

Este estudo, para além da obtenção de várias soluções de melhoria, permitiu adquirir indicadores importantes que foram tidos em conta aquando da implementação do comboio logístico na fábrica. Tanto para a definição de um horário de passagem do comboio por todos as naves como para a normalização das operações a serem desempenhadas.

4.3 Implementação do comboio logístico

Na sequência do estudo realizado, foi iniciada a implementação do comboio logístico na unidade fabril. A implementação e normalização dos processos teve como finalidade a adaptação do armazém de matérias-primas, dos operadores e das naves produtivas aos processos e necessidades do comboio logístico.

Começou-se com um conjunto de voltas de teste diárias, para entender como o comboio se adaptava à fábrica e o operador se entrosava com os processos associados ao comboio. Inicialmente, apenas foram realizadas distribuições para a estação 1, que recebe matérias-primas destinadas às naves C1 e C8. Passadas 2 semanas, estenderam-se as entregas também à

estação 2. Foram coletados os tempos de realização de todas as tarefas executadas pelo operador do comboio e os tempos das viagens entre as estações presentes na tabela do ANEXO E. À medida que os testes foram decorrendo, implementaram-se diversas medidas e práticas, de forma a tornar o processo o mais normalizado possível.

Após algumas semanas, constatou-se que o modo de manuseamento e gestão dos *trolleys* que se estava a testar, que consistia na reciclagem de *trolleys*, se revelava de baixa eficiência. O estacionamento dos *trolleys* carregados nas zonas de receção poderia originar um congestionamento na zona e requeria bastante esforço por parte do operador do comboio logístico. Portanto, foi determinado que a maneira otimizada de contrariar esse problema seria a utilização de um operador em cada estação que, com recurso a uma empilhadora, retiraria as paletes dos *trolleys*. O operador do comboio apenas teria que recorrer ao *power-pusher* para puxar o *trolley* para fora do comboio e esperar que a empilhadora retirasse a paleta. Saliente-se que foi estabelecido que as empilhadoras não poderiam ir buscar matérias-primas diretamente ao comboio, para não o danificar. Com este processo, os *trolleys* não necessitam de ficar nas zonas de receção, já que são imediatamente acoplados ao comboio no final da descarga. Para além disso, como foi constatado na simulação efetuada anteriormente, este processo de descarga revela ser de menor duração comparado com o anterior. No entanto, foi necessário definir operadores, um em cada nave, para, no momento da chegada do transportador, irem recolher as matérias-primas imediatamente. Para facilitar o fluxo de informação referente à chegada do transportador, foi introduzido um sinal sonoro, que o operador do comboio emite aquando da sua chegada.

4.3.1 Postos de paragem

Durante a implementação do transportador, foi necessário definir os locais exatos de paragem do comboio que trariam mais eficiência a todo o processo de descarga e carga. O que levou à escolha de três locais específicos onde ocorrem todas as operações.

É na zona de expedição do armazém de matérias-primas que se realiza a carga de *trolleys* com matérias-primas para distribuir e a descarga de *trolleys* vazios do comboio logístico. Esta zona do armazém foi escolhida devido à sua largura, possibilitando que o comboio seja estacionado, e por ser uma zona tapada, o que resguarda os operadores da chuva, nas alturas em que as condições climáticas sejam mais desfavoráveis. Foi definida uma zona de estacionamento de *trolleys*. Os quais, quando o comboio logístico está a percorrer a fábrica, são carregados de matérias-primas por um aprovisionador. Para que, quando o transportador regresse, apenas seja necessário retirar os *trolleys* vazios que foram recolhidos na última volta e carregar os estacionados nessa zona. Por sua vez, os *trolleys* vazios retirados são colocados nessa área, prontos para serem carregados para a distribuição da próxima volta. Também foi definido o posicionamento do comboio e o local de estacionamento do *power pusher*. A representação da zona de expedição do armazém de matérias-primas consta da figura 24.

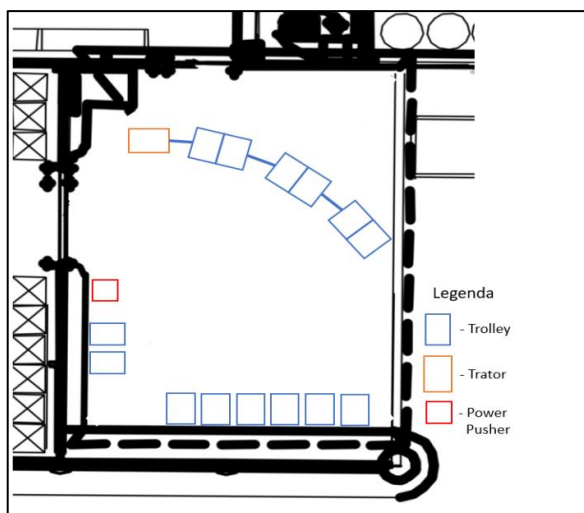


Figura 24 - Planta da zona de expedição do armazém de matérias-primas

Também foram definidos locais de estacionamento do comboio e do *power pusher* em cada estação de distribuição de matérias-primas. Estes locais foram escolhidos de forma a estarem o mais perto possível da entrada de cada nave, para que a empilhadora percorra a menor distância possível, no momento de ir buscar as paletes aos *trolleys*. Os *layouts* de cada uma das zonas de receção estão representados na figura 25

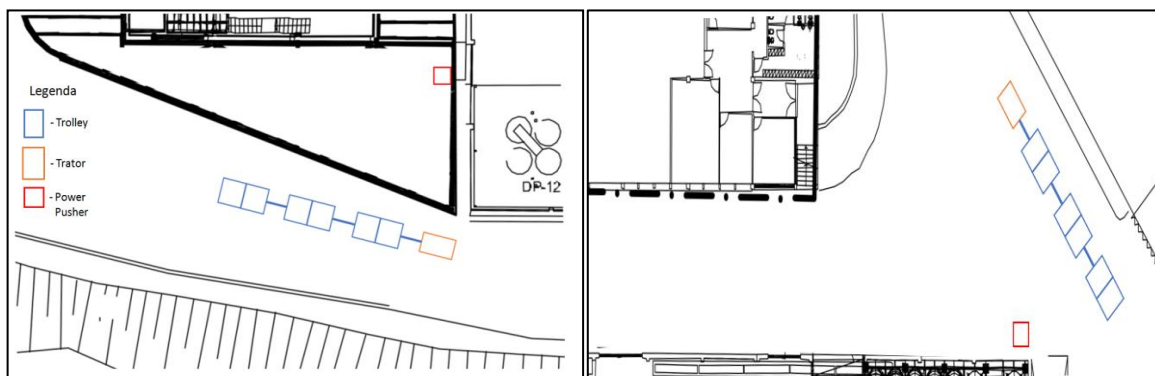


Figura 25 - Planta da zona de receção das estações 1 (esquerda) e 2 (direita)

4.3.2 Normalização das operações

Com o propósito de tornar as operações relacionadas com o comboio logístico mais eficientes e uniformes para todos os operadores, foram elaboradas diversas normas referentes ao funcionamento do transportador, do *power-pusher* e das operações de carga e descarga (ANEXO F). Para complementar o processo de aprendizagem, foram realizados *workshops* para todos os operadores do armazém, que ficaram mais familiarizados com estas operações. O domínio das tarefas é fulcral para o bom funcionamento do comboio logístico e para prevenir a não ocorrência de acidentes.

Para além disso, foram criadas etiquetas referentes a cada nave de destino das matérias-primas, para serem colocadas pelo aprovisionador em cada palete no momento de preparação da carga. Estas etiquetas permitem que, no momento da descarga nas estações, o operador do comboio consiga identificar os *trolleys* a descarregar (ANEXO G).

Com bases nas voltas de teste efetuadas, foram criadas folhas de trabalho padrão, para dar conhecimento aos operadores do tempo médio atribuído a cada uma das operações. Foram elaborados 3 tipos de folhas, cada uma delas referente a um tipo de volta que o comboio poderá dar: paragem apenas na estação 1 (ANEXO H), paragem apenas na estação 2 (ANEXO H) e

paragem em ambas as estações (figura 26). Nos três casos, o procedimento de descarga mantém-se o mesmo. No entanto, o tempo total de finalização de uma volta altera-se, visto que o operador, quando necessita de parar nas duas estações, executa duas vezes todas as operações necessárias à descarga.

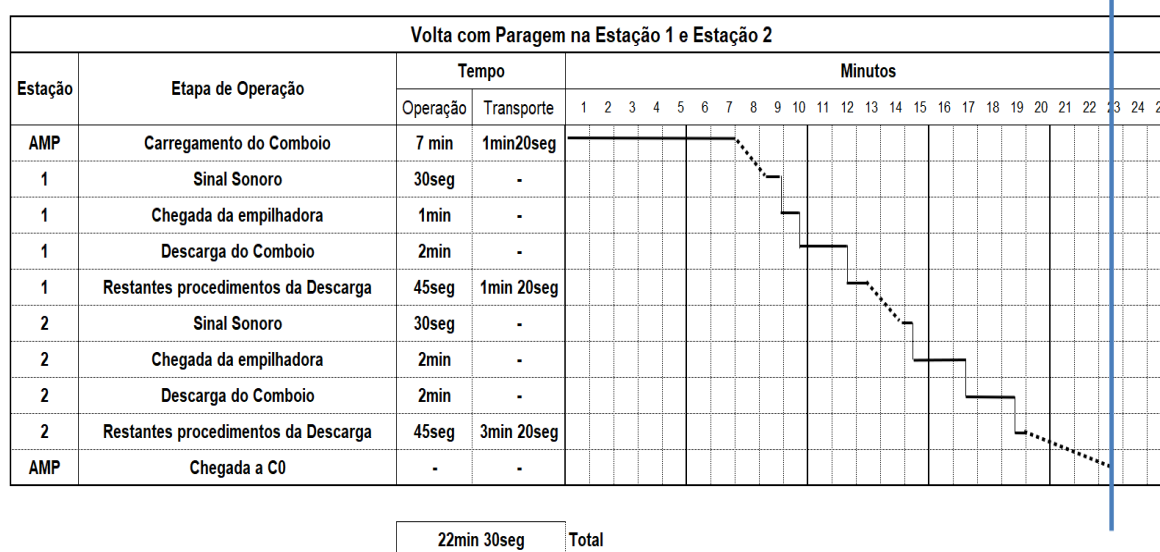


Figura 26 - Gráfico de trabalho padrão de volta do comboio logístico com paragem nas estações 1 e 2

4.3.3 Plano de distribuição e fluxo de informação

De maneira a que o fluxo de distribuição do comboio logístico não atrasasse os processos de produção de cada sector, foi definido um plano de entregas fixo para cada nave de produção. Após diálogo com os responsáveis de cada nave de fabrico e do armazém de matérias-primas, ficou delineado que se dividiria o dia em dois períodos e que, em cada um desses períodos, seria feita a distribuição das matérias-primas de naves diferentes. Foi estabelecido que, no período da manhã (8h30 – 12h), apenas seriam efetuadas as entregas com destino à nave C1, por ser a nave com um fluxo de matérias-primas mais elevado. As restantes naves receberiam as suas matérias-primas no período da tarde (13h – 16h30). Este plano não se articula com a filosofia *just-in-time* pretendida para as entregas, já que uma nave poderá ter de receber matérias-primas antes de se iniciar o seu fabrico. Por exemplo, na nave C1, por receber apenas matérias-primas no período da manhã, terá de acondicionar as paletes com matérias-primas que só irão ser utilizadas no período da tarde. No entanto, entendeu-se fazer esta divisão, para não ter um operador com uma empilhadora todo o dia na função de descarregar o comboio em cada nave e para que, durante o período da manhã, não fosse necessário fazer duas paragens por volta, o que atrasaria o tempo de ciclo.

Para que, durante cada período, as matérias-primas fossem entregues consoante as necessidades do momento em causa, foram criados 4 tipos de cartões *kanban* de transporte. No período de entrega destinado a cada nave, o responsável tem ao seu dispor os vários cartões, que preenche com a ordem de fabrico ou com a matéria-prima de que necessita. Esse cartão é colocado na zona de receção de cada nave, sendo recolhido pelo operador responsável pelo comboio no momento da chegada do transportador à estação. O cartão tem a informação da carga que é necessário transportar na próxima volta. Os cartões criados constam da figura 27. Infelizmente, não foi possível iniciar o processo de implementação dos cartões no fluxo de distribuição da fábrica, visto que o tempo de elaboração do projeto terminou.

OF A ENTREGAR	OF A ENTREGAR	OF A ENTREGAR	OF A ENTREGAR
PRODUTO	PRODUTO	PRODUTO	PRODUTO
HORA DO PEDIDO	HORA DO PEDIDO	HORA DO PEDIDO	HORA DO PEDIDO
C3	C4	C1	C8

Figura 27 - Cartões Kanban de transporte

Com esta afinação do plano de distribuição, pretendeu-se não só normalizar as operações do armazém e de receção por parte das naves, mas também as dos engenheiros encarregados da programação da produção para cada nave, quando fazem as encomendas das matérias-primas ao armazém. Antes da implementação do comboio logístico, não havendo um tempo limite dentro do qual se tivessem de fazer as encomendas, estas eram feitas muitas vezes em cima da hora, o que dava pouca flexibilidade ao armazém para conseguir separar a carga. Desse problema, surgiu a necessidade de definir um plano de encomendas que não prejudicasse o armazém e as naves produtivas. Após discussão com os engenheiros responsáveis por efetuar as encomendas e os colaboradores do armazém de matérias-primas, aferiu-se um plano de encomenda para todos os tipos de matérias-primas (tabela 13), sendo elas para fabricos, que são encomendadas pelo programador de cada nave, ou para reposição de supermercados, estas a cargo do chefe de cada setor. O intervalo temporal de antecedência da encomenda variou de nave para nave e consoante o tipo de matéria-prima, tendo em conta as necessidades e o funcionamento de cada nave:

Sólidos - São entregues todas as paletes das naves C1 e C8 que foram pesadas no dia anterior. Nas naves C3 e C4, são entregues todas as paletes pesadas no próprio dia. Para ser possível pesar e entregar os sacos no mesmo dia, é necessário que os fabricos relativos a estas naves sejam os primeiros a ser pesados.

Unidades Líquidas Completas - São entregues no dia seguinte à receção da encomenda, quanto às naves C3 e C4. As matérias-primas de C8 e C1 são entregues dois dias depois de ser recebida a encomenda. As datas de pedidos correspondem ao mesmo dia em que são encomendados os sólidos para pesar na nave de pesagem, de modo a serem feitas em conjunto.

Unidades Reposição de Supermercados - São encomendadas entre as 16h30 do dia anterior ao de entrega e as 10h30 deste. Isto aplica-se para as naves C1, C3 e C4. Já as matérias-primas de reposição da secção C8 podem ser encomendadas até às 15h30 do dia da entrega, visto que há dificuldade em prever o momento em que o supermercado fica com carência de matérias-primas.

Tabela 13 - Plano de programação de encomendas

Sector	Tipo de Matéria-Prima	Hora de entrega	Data da encomenda
C1	Sólidos	8h30 - 12h	N - 2
	Unidades Liquidas Ofs		N - 2
	Unidades Reposição		[16h30(N-1) - 10h30(N)]
C1	Sólidos	13h00 - 16h30	N - 2
	Unidades Liquidas Ofs		N - 2
	Unidades Reposição		[15h30(N-1) - 15h30(N)]
C1	Sólidos	13h00 - 16h30	N - 1
	Unidades Liquidas Ofs		N - 1
	Unidades Reposição		[16h30(N-1) - 10h30(N)]

*N representa o dia da entrega

Devido ao facto de, por vezes, os saldos informáticos das matérias-primas dos supermercados não corresponderem à quantidade exata que realmente está armazenado em cada setor, são feitas encomendas de matérias-primas que não estavam previstas serem distribuídas. Este tipo de situações gera uma distribuição urgente por parte do armazém dessa matéria-prima para não haver um atraso da produção, podendo essa necessidade surgir ao longo de todo o dia. Tendo isso em conta, todas as encomendas que sejam efetuadas fora do horário estipulado para o pedido das matérias-primas é considerada encomenda extraplano.

4.3.4 Indicadores de *performance*

Com o propósito de medir a *performance* do plano de entregas e do funcionamento do comboio logístico, foi elaborada uma folha com diversos indicadores (tabela 14), que é diariamente preenchida pelo chefe do armazém de matérias-primas. Através da base de dados do sistema ERP da empresa, é possível obter, a partir das encomendas efetuadas, o número de ordens de fabrico de sólidos e o de unidades líquidas que estão previstas para entregar. Para além disso, também é possível aferir o número de unidades líquidas de reposição de supermercado que são encomendadas fora do horário estipulado, que são contabilizadas como extraplano. As colunas representadas a vermelho são preenchidas pelo chefe do armazém, ao final do dia, o que permite comparar os valores previstos com os reais, desse modo se obtendo taxa de cumprimento das entregas.

Tabela 14 - Indicadores de performance do comboio logístico

Ano	Mês	Semana	Data	Nº OF sólidos a entregar	Nº OF sólidos entregues	Taxa Cumpriment o Sólidos	Nº OF sólidos extra plano	Nº unidades de líquidos a entregar	Nº unidades de líquidos cumpridas	Taxa Cumpriment o Líquidos	Nº unidades de líquidos extra plano Geral	Taxa Cumpriment o Global
2020	7	31	27-07-2020	9	9	100%	0	38	38	100%	22	100%
2020	7	31	28-07-2020	17	17	100%	3	43	43	100%	4	100%
2020	7	31	29-07-2020	11	11	100%	1	59	59	100%	5	100%
2020	7	31	30-07-2020	0				0			0	
2020	7	31	31-07-2020	0				0			0	
2020	8	31	01-08-2020									
2020	8	32	02-08-2020									
2020	8	32	03-08-2020	0				0			0	
2020	8	32	04-08-2020	0				0			0	
2020	8	32	05-08-2020	0				0			0	
2020	8	32	06-08-2020	0				0			0	
2020	8	32	07-08-2020	0				0			0	
2020	8	32	08-08-2020									
2020	8	33	09-08-2020									
2020	8	33	10-08-2020	0				0			0	
2020	8	33	11-08-2020	0				0			0	
2020	8	33	12-08-2020	0				0			0	
2020	8	33	13-08-2020	0				0			0	

O preenchimento deste documento é de extrema importância, dado que serve para monitorizar a performance de todas as atividades do comboio logístico e obter indicadores diários, que poderão ser acrescentados ao quadro *Kaizen*, para serem discutidos com toda a equipa do armazém de matérias-primas.

5 Conclusão

A melhoria contínua e as ferramentas *lean* têm-se revelado metodologias de gestão eficazes, sendo utilizadas pelas empresas com o objetivo de responder às exigências dos clientes com os menores custos possíveis. Um dos principais desafios da CIN é transformar o fluxo de informação e material ao longo da fábrica num processo fluido e ágil, tendo em vista a eliminação de desperdícios e maior eficiência da produção.

O alcance desse desígnio constituiu o principal objetivo do presente projeto, que assentou no estudo de implementação de um comboio logístico capaz de satisfazer as necessidades de matérias-primas de todas as secções da unidade industrial da Maia. A concretização do projeto exigiu um planeamento e um estudo teórico complexos, na tentativa de equacionar devidamente a situação, bem como um trabalho exaustivo de implementação e acompanhamento dos processos do comboio logístico, que não ficaram todavia totalmente concluídos no período de realização desta dissertação.

Foi necessário apreender em detalhe todas as operações realizadas no armazém de matérias-primas e no processo de distribuição destas pela fábrica. Analisaram-se os dados relativos a encomendas efetuadas, referentes a 6 meses de 2019, de forma a aferir as quantidades de materiais que circulavam do armazém para as secções. O sistema de alocação de carga às paletes que vigorava na fábrica não correspondia ao que mais se adequava a uma distribuição sem desperdícios. Pelo que se investigou a exequibilidade da alteração do mesmo para um modelo em que apenas fossem alocadas a cada palete matérias-primas da mesma ordem de fabrico, o que não estava a acontecer. Concluiu-se que essa alteração não afetaria a performance do processo de *picking* do armazém e melhoraria o processo de distribuição de paletes de matérias-primas pelas secções.

Numa fase seguinte, foi necessário definir um transportador e um modelo de transporte adequados às características da fábrica. Também foram determinadas as secções em que se justificaria o comboio logístico proceder à distribuição e o número de estações que era necessário criar. Ficou delineada uma rota circular para o comboio, que abastecia 4 das 6 secções da fábrica, parando em 2 estações, numa delas fazendo o abastecimento para as naves C1 e C8 e na outra para as naves C3 e C4.

Após a averiguação e constatação de que a fábrica tinha condições para a implementação das operações relacionadas com o comboio logístico, procedeu-se a um estudo de simulação, para apurar se a alteração do método de distribuição de matérias-primas traria uma mais valia para a fábrica. Na simulação, recorreu-se ao software ARENA, no qual foram modelados todos os processos que o comboio logístico iria realizar. Para a criação de distribuições estatísticas que serviram de variáveis de entrada da simulação, utilizaram-se os dados das encomendas recolhidos no início do projeto. Após a conceção do modelo, procedeu-se a uma validação do mesmo, em que se concluiu a proximidade entre a realidade e a simulação efetuada.

Foram ensaiados quatro cenários diferentes. Um referente à distribuição atual, utilizando uma empilhadora. Os outros três simulavam distribuições utilizando o comboio logístico, com operações de carga e descarga diferentes. Num deles, foi estudado o modelo de descarga e carga de *trolleys* utilizando um *power-pusher* em todas as estações. No segundo, foi retirada a operação de descarga de *trolleys* vazios no tempo total de distribuição, que passaria a ser realizada por outro operador, em simultâneo com a operação de carga. No último cenário, foi ensaiado o recurso aos operadores de cada nave para proceder à descarga das matérias-primas utilizando uma empilhadora. Saliente-se que, dentro de cada um destes três cenários, ainda se fez alterar o número de paletes que era possível transportar no comboio, no intuito de avaliar a capacidade ideal que este deveria ter. Em cada uma das simulações, foram testados o número médio diário de que o comboio efetuava e o tempo médio diário de distribuição. Apurando-se,

dentro desse tempo, o que era gasto em operações de carga e descarga e o que era gasto em operações de transporte.

Foi possível concluir que, em qualquer dos três cenários estudados, o tempo de distribuição das matérias-primas era significativamente inferior ao gasto quando utilizada a empilhadora. Apenas as simulações relativas a uma capacidade do transportador de 3 e 4 paletes, no primeiro cenário, demonstraram ser menos eficientes do que o transporte utilizando uma empilhadora. O cenário que mais eficiente tornava o processo era o da utilização de empilhadoras para fazer a descarga das matérias-primas, com uma capacidade do comboio de 7 paletes, que representou uma redução de 33,8% no tempo de entrega. No entanto, constatou-se que a utilização de um comboio com a capacidade de 7 paletes tornaria o transportador demasiado longo, dificultando o seu manuseamento dentro da fábrica. Portanto, decidiu-se que se iria utilizar um transportador com a capacidade de 6 paletes. Relativamente ao método de descarga de paletes, decidiu-se testar os últimos dois cenários estudados no processo de implementação do comboio na fábrica, visto que ambos tinham os seus aspetos positivos e negativos. A simulação relativa a um transportador com capacidade para transportar 6 paletes, utilizando o *power pusher* para fazer a descarga das paletes, representou uma redução de 26% no tempo de entregas. Com a utilização de empilhadoras, representou uma redução de 30,6%.

De tudo o que se conclui que a implementação de um comboio logístico nas operações do dia-a-dia traria vantagens inegáveis para a empresa.

O estudo do processo de implementação acabou por ser muito desafiante, posto que se debruçou sobre uma alteração que implicará que toda a fábrica tenha de se adaptar a um processo completamente novo.

Inicialmente, durante as voltas de teste realizadas, concluiu-se que o processo de descarga de *trolleys* utilizando um *power pusher* se revelava ineficiente, tanto ao nível do aproveitamento do espaço, dado que os *trolleys* vazios ocupavam grande parte da zona de receção e da via, como ao nível de esforço e tempo de operação por parte do operador do comboio. Tendo isso em conta, optou-se pela descarga de *trolleys* com recurso a um operador em cada nave, o que acabou por ser muito mais eficaz. Frise-se que, com o passar do tempo, houve um entrosamento dos operadores das naves com as atividades operacionais do transportador, o que acabou por se refletir na melhoria progressiva dos tempos das entregas.

Também se conclui que, com a implementação do plano de entregas e de programação de encomendas definido, as naves ficam muito mais bem preparadas para receber as matérias-primas e o número de pedidos de encomendas urgentes diminui significativamente.

Infelizmente, não foi possível terminar todo o processo. A utilização dos cartões *kanban* para a execução dos pedidos de matérias-primas não chegou a ser implementada. O desempenho das entregas com a utilização desse mecanismo será um aspeto interessante a estudar.

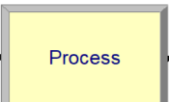
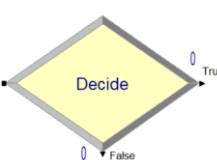
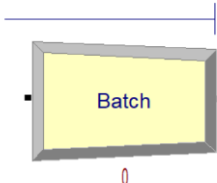
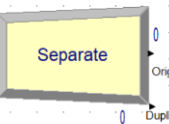
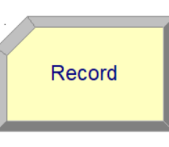
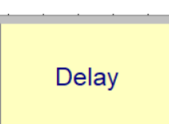
Por outro lado e apesar de o processo desenvolvido no projeto apresentar bons resultados na generalidade, seria interessante avaliar a entrada do comboio logístico dentro de cada nave, de forma a facilitar as operações de descarga. O que se poderá propiciar, dado que as naves C1, C3 e C4 estão num processo de *revamping*, com alteração do *layout* das unidades, o que as vai tornar mais espaçosas.

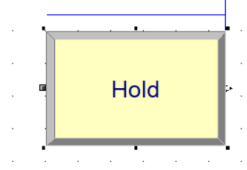
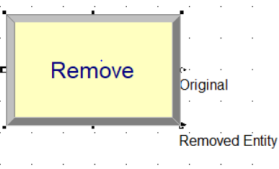
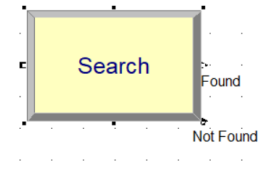
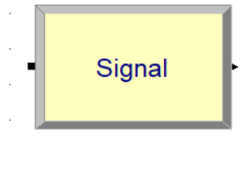
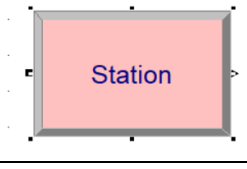
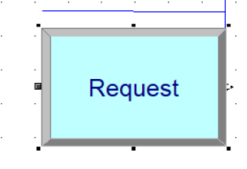
Referências Bibliográficas

- Ahmed, K. (1999). Modeling drivers' acceleration and lane changing behavior. *MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY*.
- Anderson, D. (2010). *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business*. Blue Hole Press.
- Bagdasaryan, A. (2011). Discrete dynamic simulation models and technique for complex control systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(4):1061–1087.
- Bruch, J. and Bellgran, M. (2013). Characteristics affecting management of design information in the production system design process. *International Journal of Production Research*, 51(11).
- Carson, J. (2004). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 37th conference on Winter simulation*.
- Coimbra, E. (2009). *Total Flow Management: Achieving Excellence with Kaizen and Lean Supply Chains*. Kaizen Institute.
- Coimbra, E. (2013). *Kaizen in Logistics and Supply Chains*. McGraw-Hill Education.
- Guneri, A. and Seker, S. (2008). The use of arena simulation programming for decision making in a workshop study. *Computer Applications in Engineering Education*, 16(1):1–11.
- Imai, M. (2012). *Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy*. McGraw-Hill Education.
- Jacobs, F., C. R. and Aquilano N. (2009). *Operations and Supply Chain Management*. McGraw-Hill Education.
- Knez, M. and Gajšek, B. (2015). Implementation of in-plant milkrun system for material supply in lean automotive parts manufacturing. *The International Conference on Logistics Sustainable Transport*.
- Law, A. and Kelton, W. (2000). *Simulation Modelling and Analysis*. McGraw-Hill Education.
- Liker, J. and Morgan, J. (2006). The toyota way in services: The case of lean product development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2):5–20.
- Monden, Y. (1983). *Toyota Production System*. Industrial Engineering and Management Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC Press.
- Pinto, J. (2014). *Pensamento Lean: A filosofia das organizações vencedoras*. Lidel.
- Rabelo, J. (2009). Manual da arena 9.0. *Universidade Federal de Santa Catarina*.
- Rother, M. and Shook, J. (1999). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*. Lean Enterprise Institute.
- Sugimori, Y., K. K., C. F. and Uchikawa, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6):553–564.
- Womack, J. and Jones, D. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*. New York: Simon & Schuster.
- Womack, J., J. D. and Ross, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. Free Press.
- Zaenglein, R. (2000). External Kanban Systems in Automotive Assembly. *MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY*.

ANEXO A: Blocos utilizados na simulação

Tabela A.1 – Blocos utilizados na simulação

	É a partir deste bloco que as entidades surgem no sistema sendo introduzidas neste bloco o tipo de entidade e o intervalo de tempo correspondente à chegada das mesmas.
	Indica o fim do processo, sendo por este bloco que as entidades desaparecem do sistema.
	É utilizado quando uma entidade passa por alguma ação envolvendo um intervalo de tempo e/ou recursos.
	Permite a modelação de processos com tomadas de decisão no sistema.
	Agrupar entidades que posteriormente podem ser separadas ou não através do bloco <i>Separate</i> .
	Este bloco desfaz o efeito do bloco <i>Batch</i> , tendo como principais funções separar as entidades de forma a serem processadas individualmente ou duplicar uma entidade. Esta última função é utilizada em situações em que a mesma entidade pode sofrer processamentos diferentes.
	Permite alterar o valor referente a algum parâmetro ou variável do modelo.
	Este bloco pode ter diversas funções: ser utilizado para tirar tempos entre as chegadas das entidades, como contador, ou para determinar a hora em que foi atribuído um tempo qualquer a uma entidade através do bloco <i>Assign</i> .
	Atrasa uma entidade numa quantidade de tempo específica.

	Ao entrar neste bloco, a entidade é colocada numa fila onde ocorrem diversas situações, entre as a quais, aguarda um sinal, espera que uma determinada condição se torne verdadeira ou fica parada indefinidamente.
	Retira uma única entidade específica numa fila e envia-a para um bloco indicado.
	Procura em filas, conjuntos ou expressões o posto de uma entidade ou o valor da variável que satisfaça a condição de pesquisa especificada.
	Envia um sinal para todos os blocos do tipo <i>Hold</i> existentes no modelo que estejam configurados em “<i>Wait for Signal</i>”, libertando o maior número de entidades indicado.
	Define uma estação que corresponde a um local físico ou lógico onde ocorre o processamento.
	Liberta o transportador que foi utilizado pela última vez pela entidade.
	Designa um transportador a uma entidade e move para a estação onde ele está.
	Transporta a entidade controlada com o transportador em questão entre duas estações.

ANEXO B: Diagrama de operações realizadas na fábrica

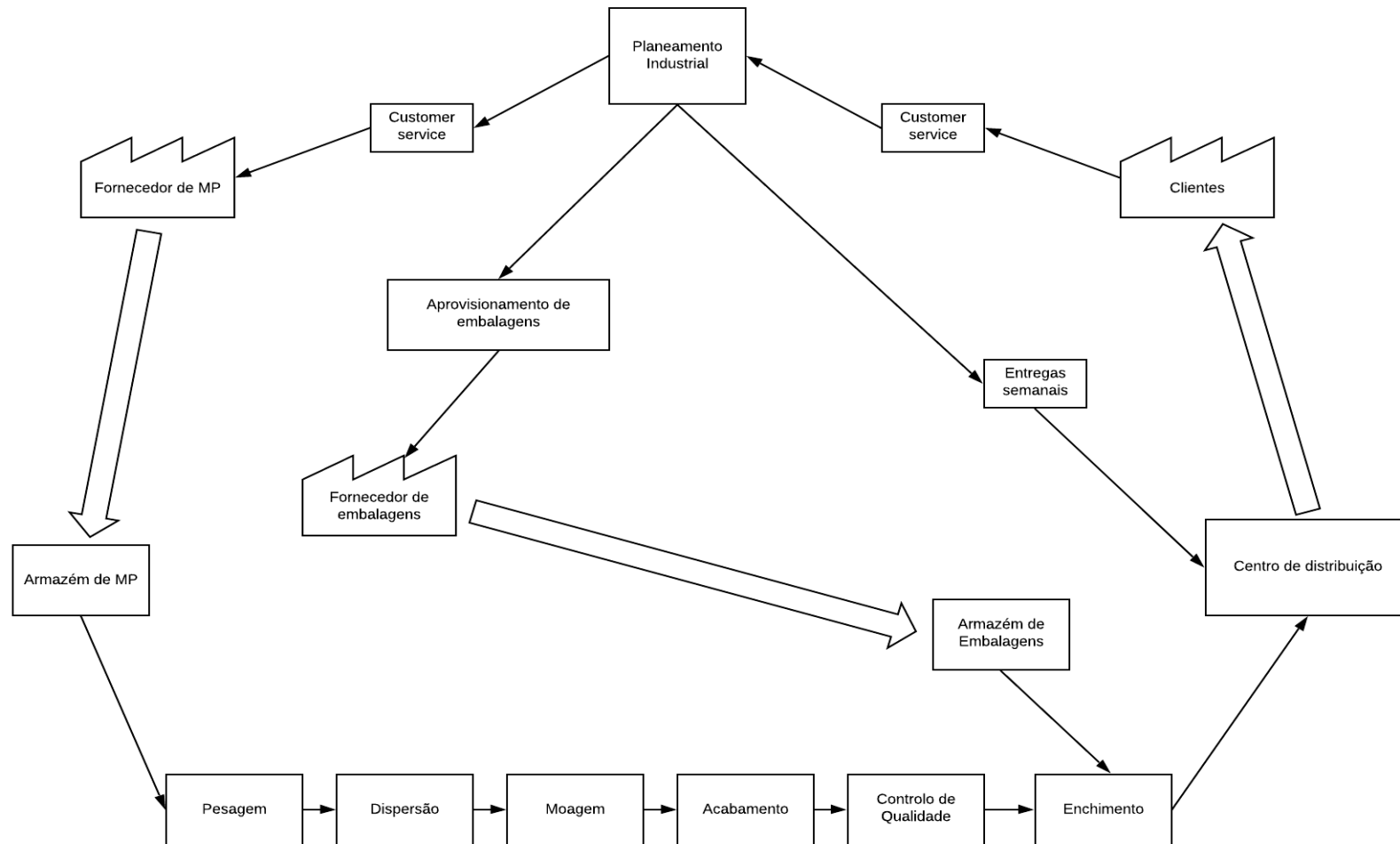


Figura B.1 – Fluxo de operações na fábrica

ANEXO C: Modelo completo de simulação

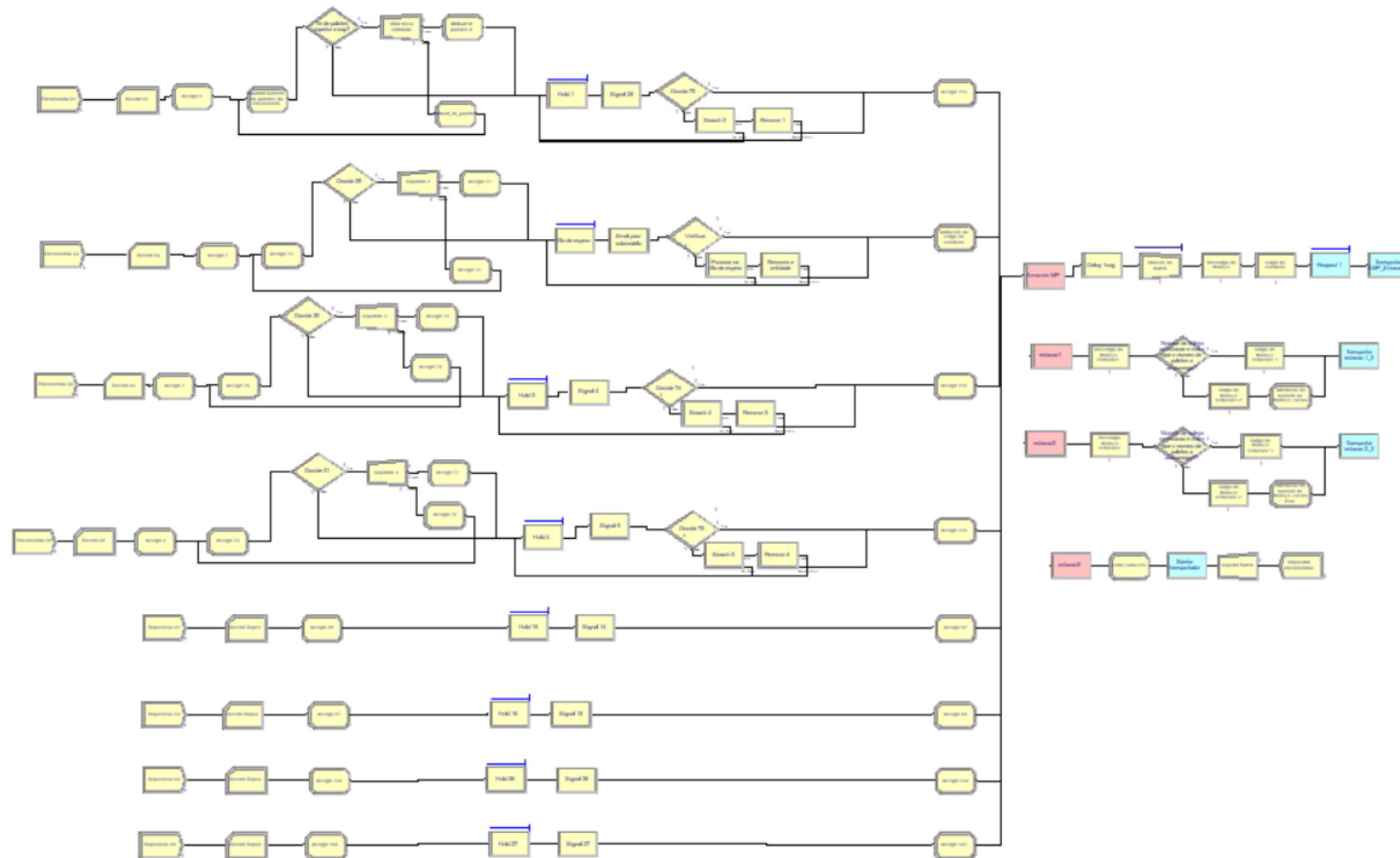


Figura C.1 – Modelo de simulação principal

ANEXO D: Submodelo de apoio à decisão

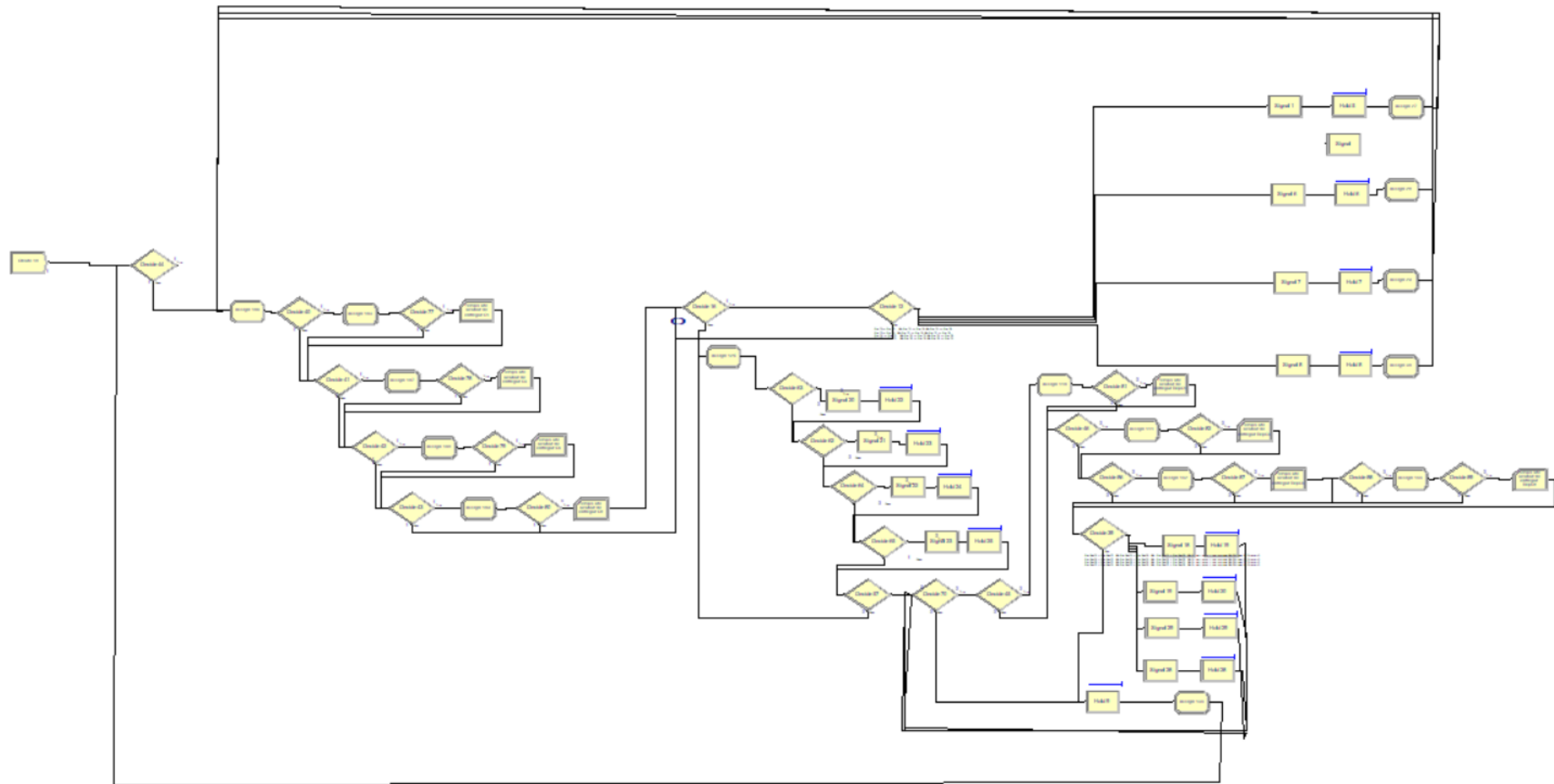


Figura D.1 – Submodelo de apoio à decisão

ANEXO E: Tempo de voltas de teste

Tabela E.1 – Tempo de voltas de teste

Armazém de matérias-primas				Transporte					Estação 1			Estação 2				
Dia	voltas	Tempo Carga dos trolleys	Por trolley a carregar	viagem AMP - 1	viagem 1- AMP	viagem 1 - 2	viagem AMP - 2	VIAGEM 2 - AMP	Tempo Descarga de trolleys	Por trolley	Empilhadora	Tempo Descarga de trolleys	Por trolley	Empilhadora	tempo total viagem Estação 1	tempo total viagem Estação 2
02/06/2020	1	17min	2min 50seg	1min 20seg	4min 30seg	-	-	-	8min 55seg	1min 19seg	Não	-	-	-	30min 45seg	-
04/06/2020	1	17min 10seeg	2min 51seg	1min 25seg	4min 37seg	-	-	-	4min 50seg	48seg	Sim	-	-	-	28min 02seg	-
05/06/2020	3	7min 23seg	1min 17seg	1min 28seg	4min 16seg	-	-	-	11min	1min 50seg	Não	-	-	-	26min 15seg	-
08/06/2020	2	5min 55seg	59seg	1min 27seg	4min 40seg	-	-	-	9min 18seg	1min 33seg	Não	-	-	-	23min 20seg	-
09/06/2020	3	7min 39seg	1min 15seg	1min 30seg	4min 25seg	-	-	-	8min 30seg	1min 25seg	Não	-	-	-	23min 55seg	-
15 - 16/06/2020	-	6min 28seg	1min 5seg	-	-	-	-	-	4min 20seg	43seg	Sim	-	-	-	-	-
18/06/2020	3	8min 27seg	1min 25seg	1min 27seg	4min 40seg	-	-	-	12min 01seg	2min	Não	-	-	-	26min 35seg	-
23/06/2020	4	7min 20seg	1min 23seg	1min 28seg	5min 20seg	-	2min 40seg	3min 15seg	8min 18seg	1min 23seg	não	9min 35seg	2min 01seg	não	22min 26seg	22min 50seg
25/06/2020	7	7min 33seg	1min 15seg	1min 25seg	5min 11seg	1min 20seg	2min 30seg	2min 50seg	7min 13seg	1min 30seg	não	5min 21seg	71seg	não	21min 22seg	18min 14seg
26/06/2020	11	7min 25seg	1min 17seg	1min 56seg	4min 30seg	1min 14seg	2min 31seg	3min 05seg	7min 34seg	1min 20seg	não	4min 57seg	1min 42seg	não	21min 25seg	17min 58seg
30/06/2020	6	7min 17seg	1min 23seg	1min 39seg	4min 56seg	1min 30seg	2min 45seg	3min 33seg	6min 10seg	1min 12seg	sim	10min 30seg	2min 32seg	sim	20min 02seg	24min 05seg
02/07/2020	8	7min 52seg	1min 20seg	1min 34seg	4min 39seg	1min 59seg	2min 50seg	3min 13seg	5min 14seg	1min 02seg	sim	10min 33seg	2min 06seg	sim	11min 29seg	24min 28seg
03/07/2020	8	8min 45seg	1min 28seg	2min 13seg	5min 12seg	-	3min 20seg	3min 50seg	6min 42seg	1min 07seg	sim	12min	2min	sim	22min 52seg	27min 55seg
06/07/2020	7	6min 19seg	1min 17seg	1min 30seg	5min 07seg	1min 20seg	2min 58seg	3min 40seg	5min 17seg	1min 02seg	sim	7min 25seg	2min 31seg	sim	18min 13seg	20min 22seg
07/07/2020	3	7min 15seg	1min 13seg	1min 25seg	5min 10seg	-	3min	3min 45seg	5min 34seg	56seg	sim	9min	1min 30seg	sim	19min 24seg	23min

ANEXO F: Normas de funcionamento do comboio logístico

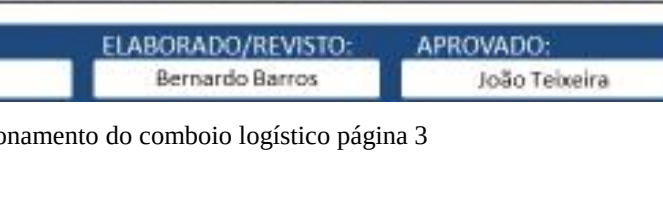
CIN		FUNCIONAMENTO DO COMBOIO LOGÍSTICO		
Responsável:	Conductor do Comboio Logístico	Sector:	C0	NT 39/19
		Máquina:	Comboio Logístico	
Ligar				
Nº	Atividade	Fotografia		
0	Abrir a porta.			
1	Ajustar os espelhos.			
2	Inserir a chave e rodar para a direita.			
3	Colocar a alavanca de comando à direita da coluna da direção para cima (para seguir marcha) ou para baixo (para marcha-atrás). Nota: A marcha-atrás só deverá ser feita se a máquina estiver separada do reboque.			
4	Premir no botão vermelho e na seta com sentido de baixo para cima para subir as carruagens, até surgir a luz verde.	 		
5	Premir o botão vermelho com o "P" inscrito (botão de travão de estacionamento) abaixo da alavanca para destravar.			
Página 1/5		DATA: 25-10-2019	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira

Figura F.1 – Norma Funcionamento do comboio logístico página 1

CIN		FUNCIONAMENTO DO COMBOIO LOGÍSTICO		
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico	Setor:	C0	NT 39/19
		Máquina:	Comboio Logístico	
Desligar				
Nº	Atividade	Fotografia		
0	Parar o comboio.			
1	Premir o botão vermelho com o "P" inscrito (botão de travão de estacionamento) abaixo da alavanca. Acende-se o alarme do travão de estacionamento.			
2	Premir no botão vermelho e na seta com sentido de cima para baixo.			
3	Rodar chave para a esquerda e retirá-la.			
Separar máquina do reboque				
Nº	Atividade	Fotografia		
0	Verificar se a máquina está travada (botão "P" acionado).			
1	Premir o botão vermelho e na seta com sentido de cima para baixo para descer as carruagens.			
2	Acionar botão "R".			
3	Desligar cabo elétrico.			
4	Desligar cabo hidráulico (empurrar engate rápido para a frente e retirar cabo) e colocar no encaixe da trave.			
5	Separar máquina do reboque através dos botões.			

Página 2/5	DATA: 25-10-2019	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira
------------	---------------------	---------------------------------------	----------------------------

Figura F.2 – Norma Funcionamento do comboio logístico página 2

CIN		FUNCIONAMENTO DO COMBOIO LOGÍSTICO		
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico	Setor:	C0	NT 39/19
		Máquina:	Comboio Logístico	
Colocar à carga				
Nº	Atividade	Fotografia		
0	Desligar a máquina.			
1	Fechar a porta.			
2	Pressionar alavanca.			
3	Levantar plataforma.			
4	Desligar cabo da máquina e ligar ao cabo do carregador.			
5	Quando o carregamento tiver terminado, voltar a ligar o cabo à máquina.			
6	Baixar plataforma.			

Página 3/5	DATA: 25-10-2019	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira
------------	---------------------	---------------------------------------	----------------------------

Figura F.3 – Norma Funcionamento do comboio logístico página 3

CIN		FUNCIONAMENTO DO COMBOIO LOGÍSTICO		
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico	Sector:	C0	NT 39/19
		Máquina:	Comboio Logístico	
Agregar máquina ao reboque				
Nº	Atividade	Fotografia		
0	Verificar se a máquina está travada (botão "P" acionado).			
1	Premir o botão vermelho e na seta com sentido de cima para baixo para descer as carruagens.			
2	Acionar botão "R".			
3	Ligar cabo elétrico.			
4	Ligar cabo hidráulico.			
5	Ajustar posição da máquina para engatar reboque através dos botões.			

Página 4/5	DATA: 25-10-2019	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira
------------	---------------------	---------------------------------------	----------------------------

Figura F.4 – Norma Funcionamento do comboio logístico página 4

CIN		FUNCIONAMENTO DO POWER PUSHER	
Responsável:	Condutor do comboio Logístico	Sector:	C0
		Máquina:	Power Pusher
Desligar - Ligar			
Nº	Atividade	Fotografia	
1	Ligar – Rodar chave na direção "ON".	 	
2	Desligar - Rodar chave no direção "OFF".		
Movimentação			
Nº	Atividade	Fotografia	
1	Avançar - rodar o manipulador vermelho para cima.	 	
2	Marcha-atrás – rodar o manipulador vermelho para baixo.		
3	Usar o travão de emergência – pressionar o botão vermelho.		
Página 1/3		DATA: 03-06-2020	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros
			APROVADO: João Teixeira

Figura F.5 – Norma Funcionamento do *power-pusher* página 1

CIN		FUNCIONAMENTO DO POWER PUSHER	
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico	Sector:	C0
		Máquina:	Power Pusher
Carregar trolley			
Nº	Atividade	Fotografia	
0	Verificar que patilha preta se encontra encaixada.	 	
1	Avançar com o power pusher até encaixar no furo do trolley.	 	
2	Desencaixar patilha preta.	 	
Descarregar trolley			
Nº	Atividade	Fotografia	
0	Verificar que trolley se encontra bem carregado no comboio.	 	
1	Encaixar patilha preta.	 	
2	Puxar alavanca preta e retroceder com o power pusher.		
3	Larga alavanca preta.		
Página 2/3		DATA: 03-06-2020	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros APROVADO: João Teixeira

Figura F.6 – Norma Funcionamento do power-pusher página 2

CIN		FUNCIONAMENTO DO POWER PUSHER		
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico	Setor:	C0	
		Máquina:	Power Pusher	
Colocar à carga				
Nº	Atividade	Fotografia		
0	Verificar que o power pusher se encontra estacionado no ponto de carga.			
1	Desenrolar cabo de carga.			
2	Ligar cabo à tomada.			
3	Quando o carregamento estiver terminado, voltar a enrolar cabo de carga no power pusher.			

Página 3/3	DATA: 03-06-2020	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira
------------	---------------------	---------------------------------------	----------------------------

Figura F.7 – Norma Funcionamento do *power-pusher* página 3

CIN		Norma Geral de Entregas do Comboio Logístico		
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico/ Aproveisionador	Sector:	CO	NT xx/xx
		Máquina:	Comboio Logístico	
Carga O processo de carga do comboio logístico demora em média 7 minutos a ser executado. Inicia-se com a chegada e posicionamento do transportador na zona de expedição e termina com a partida do comboio para as estações de receção. Para a execução deste processo é necessário a intervenção de duas pessoas, o condutor e o aprovisionador de matérias-primas.				
Nº	Atividade	Responsável	Fotografia	
1	Posicionar o comboio logístico no local mais adequado da zona de entrega;	Condutor	 	
2	Verificar que as carruagens se encontram em baixo;	Condutor		
3	Abrir cortina de cada carruagem;	Aproveisionador	 	
4	Retirar trolleys vazios das carruagens;	Aproveisionador		
5	Carregar o comboio com matérias-primas;	Condutor	 	
6	Fechar cortina de cada carruagem	Aproveisionador		
7	Estacionar o Power-Pusher	Condutor	 	
8	Levantar carruagens	Condutor		

Página 1/1	DATA: 29-07-2020	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira
------------	---------------------	---------------------------------------	----------------------------

Figura F.8 – Norma Funcionamento de operações de carga e descarga página 1

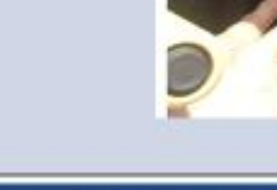
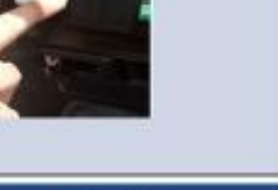
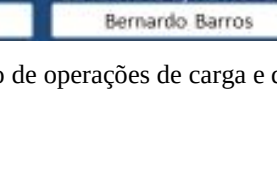
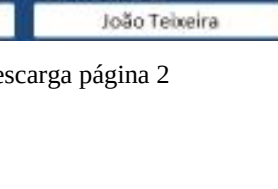
CIN		Norma Geral de Entregas do Comboio Logístico		
Responsável:	Condutor do Comboio Logístico/ Aprovevisionador	Sector:	C0	NT xx/xx
		Máquina:	Comboio Logístico	
Descarga				
A operação de descarga inicia-se com chegada do comboio logístico à estação de receção à qual a carga corresponde. Este processo necessita do apoio de um operador da nave que, com recurso a uma empilhadora, retira as paletes dos trolleys e arruma-as.				
Nº	Atividade	Responsável	Fotografia	
1	Posicionar o comboio logístico no local mais adequado da zona de receção	Condutor	 	
2	Baixar as carruagens	Condutor	 	
3	Emitir sinal sonoro com a buzina na entrada da nave	Operador da secção	 	
4	Audição por parte do operador da nave do sinal sonoro e deslocação até à zona de receção	Operador da secção	 	
5	Abrir cortina de cada carruagem	Condutor	 	
6	Retirar trolley das carruagens e remover paletes com empilhadora	Condutor / Operador da secção	 	
7	Fechar cortina de cada carruagem	Condutor	 	
8	Estacionar o Power-Pusher	Condutor		
9	Levantar carruagens	Condutor		
Página 1/1		DATA: 29-07-2020	ELABORADO/REVISTO: Bernardo Barros	APROVADO: João Teixeira

Figura F.9 – Norma Funcionamento de operações de carga e descarga página 2

ANEXO G: Etiquetas de identificação das paletes



Figura G.1 - Etiquetas de identificação de paletes

ANEXO H: Gráficos de tempos de voltas padrão do comboio logístico

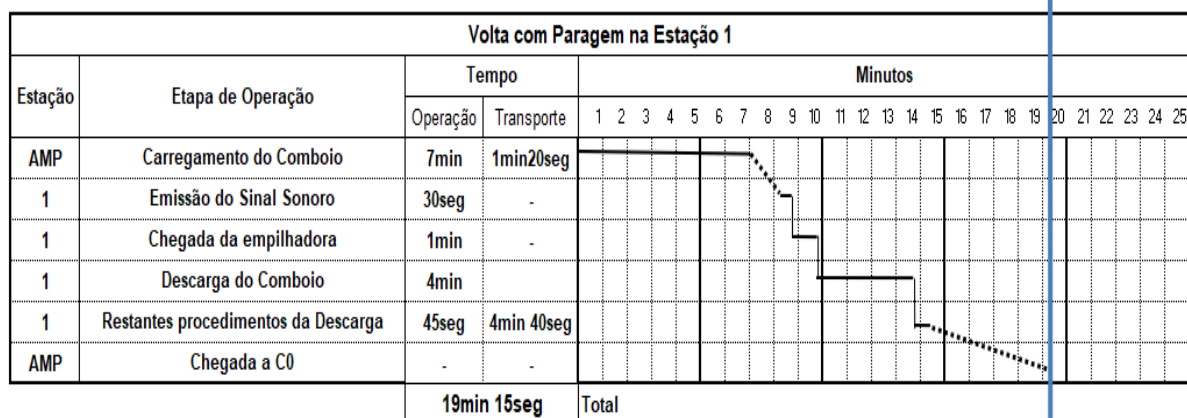


Figura H.1 - Gráfico de trabalho padrão de volta do comboio logístico com paragem na estação 1

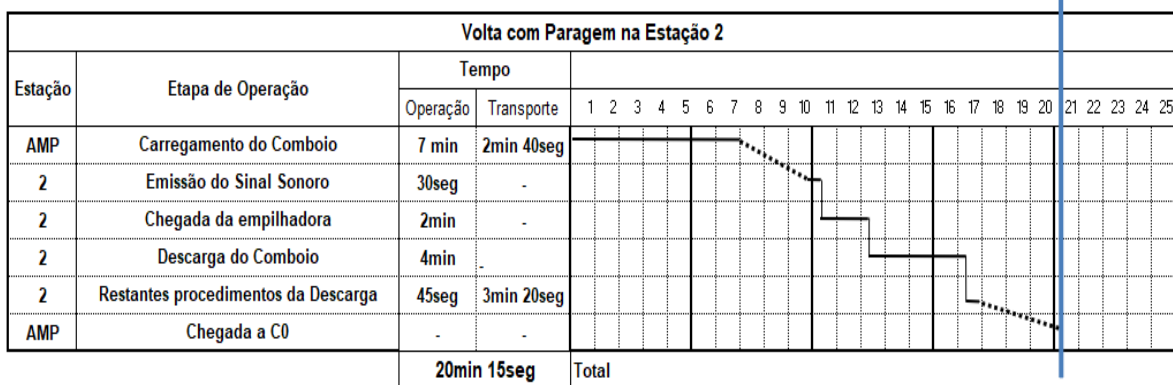


Figura H.2 - Gráfico de trabalho padrão de volta do comboio logístico com paragem na estação 2