



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Carolina Maria Fernandes de Faria

**Proposta para aplicação do Smart Manufacturing  
System GenSYS na indústria automóvel**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação do(s)

Professor Doutor Paulo Jorge de Figueiredo Martins

Janeiro de 2020



## DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**  
**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu sincero agradecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação.

Primeiramente, ao Professor Doutor Paulo Martins pela orientação prestada e pela oportunidade de desenvolver a dissertação no âmbito empresarial.

A todos os elementos da equipa GenSYS, pelo excelente ambiente profissional que me proporcionaram. Em particular ao João Gomes e ao Pedro Melo, pela ajuda e partilha de conhecimento ao longo da realização desta dissertação.

Às minhas colegas estagiárias pelo apoio mútuo ao longo desta jornada.

À minha família – pai, mãe, Juliana, tia Nela, João Paulo e Ricardo – por estar sempre presente.

Ao Carlos por todo o apoio, compreensão e amor.

E aos meus amigos, pelos momentos de descontração e alegria.

A todos o meu muito obrigada.



## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.



## RESUMO

A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0, potencia diversas mudanças no sistema produtivo atual. Através da aplicação dos seus conceitos e ferramentas, facilita às organizações a recolha e análise, em tempo real, de dados da produção e uma eficiente sincronização e troca de informação entre fornecedores, produtores e clientes. Além disso, capacita as organizações para lidarem com o aumento da procura de produtos personalizados.

Com a utilização de *Smart Manufacturing Systems* – sistemas de planeamento, controlo e programação da produção integrados, flexíveis e capazes de responder, em tempo real, às mudanças do mercado, do processo produtivo e da cadeia de abastecimento – as organizações serão capazes de realizar uma gestão da produção mais eficiente.

Neste projeto de dissertação é apresentado o Sistema GenSYS como um *Smart Manufacturing System* e alguns dos seus principais conceitos são aplicados à indústria automóvel, mais concretamente à empresa ZF Friedrichshafen AG, de modo a demonstrar as vantagens da sua utilização em contexto real.

Com a divisão da população de artigos em famílias de produtos e a criação de referências genéricas, o Sistema GenSYS permite uma redução do número de códigos de identificação necessários para representar a diversidade de produtos existentes na empresa em análise, comparativamente com os que seriam necessários nos modelos tradicionais de referenciação direta. Além disso, a aplicação do conceito de produção puxada e *kanbans* eletrónicos melhora a eficiência da programação da produção da empresa, uma vez que o Sistema GenSYS garante um fluxo eficaz no chão de fábrica, só alocando trabalhos aos postos quando todas as condições necessárias se encontrarem reunidas. Garante, ainda, que os componentes certos chegam ao posto correto e no momento em que são necessários, o que se reflete numa vantagem em termos de logística interna para a empresa. Com as projeções, a curto prazo, do estado do sistema produtivo, permite que a empresa possa agir, de forma proativa, sobre possíveis estrangimentos ou desvios em relação ao planeado. Na área da logística externa, permite um maior controlo e rastreabilidade dos produtos, em movimentos entre fornecedores e a empresa ou entre esta e o cliente.

## PALAVRAS-CHAVE

Indústria 4.0, *Smart Manufacturing System*, Programação da Produção, Logística interna e externa





## ABSTRACT

The fourth industrial revolution, or Industry 4.0, promotes several changes in the current production system. Through the application of its concepts and tools, it facilitates organizations to collect and analyze, in real time, production data and an efficient synchronization and exchange of information between suppliers, producers and customers. In addition, it empowers organizations to deal with the increase in demand for personalized products.

The usage of Smart Manufacturing Systems – integrated production planning, control and scheduling systems, flexible and capable of responding in real time to changes in the market, the production process and the supply chain – organizations will be able to carry out a more efficient production management.

In this dissertation project, the GenSYS System is presented as a Smart Manufacturing System and some of its main concepts are applied to the automotive industry, more specifically to the company ZF Friedrichshafen AG, in order to demonstrate the advantages of its usage in a real context.

By dividing the population of products into product families and using generic structures, the GenSYS System allows a reduction in the number of identification codes needed to represent the diversity of products existing in the company under analysis, compared to required in the traditional models of direct referencing. Moreover, the application of pulled production concept and electronic kanbans improves the efficiency of the company's production schedule, since the GenSYS System guarantees an efficient flow on the shop floor, only allocating jobs to stations when all the necessary conditions are met. Also ensures the right components reach the right station and when they are needed, which is reflected as an advantage in terms of internal logistics for the company. With the short-term projections of the state of the production system, it allows the company to act proactively on possible constraints or deviations from what was planned. In the area of external logistics, it allows greater control and traceability of products, in movements between suppliers and the company or between the company and the customer.

## KEYWORDS

Industry 4.0, Smart Manufacturing System, Production scheduling, Internal and external logistics





## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Estrutura.....	4
2. Revisão bibliográfica.....	5
2.1 Indústria 4.0.....	5
2.2 Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção.....	8
2.3 Programação da produção.....	11
2.3.1 Produção puxada.....	11
2.3.2 <i>Kanban</i> .....	12
2.4 Logística.....	14
2.4.1 Fluxo logístico externo.....	15
2.4.2 Fluxo logístico interno.....	16
3. GenSYS – Generic Smart Manufacturing System.....	21
3.1 GenPDM – Gestão de Informação de Artigos.....	23
3.2 GenPPC – Planeamento e Controlo da Produção.....	29
3.3 GenSFC – Programação e Monitorização da Produção.....	31
3.3.1 Modelo digital da organização.....	31
3.3.2 Modelo de programação.....	36



4.	Exemplo de aplicação do Sistema GenSYS .....	41
4.1	Descrição do processo produtivo .....	41
4.2	Modelação dos artigos em GenPDM .....	42
4.3	Modelação digital da organização .....	47
4.4	Apresentação dos fluxos de materiais .....	49
4.5	Resultados da utilização do modelo .....	51
4.5.1	Planeamento e controlo da produção .....	51
4.5.2	Programação da produção.....	54
5.	Conclusões.....	65
5.1	Principais conclusões .....	65
5.2	Trabalho futuro.....	67
	Referências bibliográficas .....	69
	Apêndice I – Modelo GenPDM do volante.....	73



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Tecnologias relacionadas com a Indústria 4.0 – adaptado de Bahrin et al. (2016).....	5
Figura 2 - Representação das áreas funcionais de um SPCP – adaptado de Lima (2013).....	10
Figura 3 - Exemplificação do fluxo de informação e de materiais num sistema de produção puxada – adaptado de Courtois et al. (2007).....	12
Figura 4 - Fluxos de materiais e de informação ao longo do processo logístico – retirado de Kain & Verma (2018).....	15
Figura 5 - Operações básicas de armazenamento – retirado de Carvalho (2010) .....	18
Figura 6 - Esquema das áreas funcionais do Sistema GenSYS e dos respetivos módulos que as auxiliam .....	22
Figura 7 - Representação gráfica de uma referência genérica com os respetivos parâmetros associados – adaptado de Gomes (2014).....	24
Figura 8 - Representação gráfica de um tipo de parâmetro definido em: a) extensão; b) compreensão – adaptado de Gomes (2014) .....	24
Figura 9 - Representação de uma característica de um tipo de parâmetro – adaptado de Gomes (2014) .....	25
Figura 10 - Representação gráfica de um tipo de operação com os respetivos parâmetros associados – adaptado de Gomes (2014) .....	25
Figura 11 - Representação gráfica de uma BOM genérica – adaptado de Gomes (2014).....	27
Figura 12 - Representação gráfica de uma BOO genérica – adaptado de Gomes (2014) .....	28
Figura 13 - Representação gráfica de: a) ordens de programação; b) lotes das ordens de programação .....	36
Figura 14 - Representação gráfica da fila do sistema e da fila FIFO .....	37
Figura 15 - Processo produtivo de um volante forrado .....	41
Figura 16 - Representação da referência genérica “VOLANTE PA” e da respetiva BOM e BOO genéricas .....	43
Figura 17 - Característica utilizada nas expressões de consumo dos componentes volantes forrado e injetado .....	44
Figura 18 - Exemplo da BOM e GOO específicas de uma variante da referência genérica “VOLANTE PA” .....	45



Figura 19 - Postos existentes na solução modelada .....	47
Figura 20 - Habilidade do posto "FUNDIÇÃO" .....	48
Figura 21 - Fluxos na logística inbound.....	50
Figura 22 - Fluxos logísticos internos.....	50
Figura 23 - Fluxo na logística outbound .....	51
Figura 24 - Lançamento de uma encomenda por variante .....	51
Figura 25 - Sugestões das compras a realizar, resultantes do cálculo MRP .....	52
Figura 26 - Sugestões das ordens de produção a lançar, resultantes do cálculo MRP.....	53
Figura 27 - Resultado do cálculo das necessidades de capacidade resultantes da aplicação da técnica CRP .....	53
Figura 28 - Sugestões de compras na logística inbound a médio prazo .....	54
Figura 29 - Logística inbound a médio prazo, depois de efetivadas as compras.....	54
Figura 30 - Representação do estado das matérias-primas: a) disponíveis para serem carregadas no fornecedor; b) em movimento, do fornecedor para o porto de Leixões; c) disponíveis para serem carregadas no porto de Leixões; d) em movimento, do porto de Leixões para a empresa .....	56
Figura 31 - Atribuição de trabalhos ao milkrun "MR ALEMANHA" .....	56
Figura 32 - Armazém "ARM COMP MONTAGEM": a) Organização; b) arrumação do embelezador na respetiva fila, aquando da entrada no mesmo .....	57
Figura 33 - Projeção .....	58
Figura 34 - Posto "FUNDIÇÃO" com um kanban alocado.....	58
Figura 35 - Movimentação necessária do armazém: a) "ARM MP"; b) "ARM FERRAMENTAS" .....	59
Figura 36 - Janela de validação apresentada quando se inicia um trabalho .....	59
Figura 37 - Nova projeção após a realização do trabalho no posto "FUNDIÇÃO" .....	60
Figura 38 - Demonstração das implicações da divisão em lotes de trabalho.....	61
Figura 39 - Janela de validação das posições em que componentes têm que ser entregues .....	62
Figura 40 - Representação da encomenda em movimento para o "CLIENTE PARIS" .....	63
Figura 41 - Modelação, com base no modelo GenPDM, dos tipos de parâmetro.....	73
Figura 42 - Modelação, com base no modelo GenPDM, dos tipos de operações.....	74
Figura 43 - Modelação, com base no modelo GenPDM, das matérias-primas.....	74
Figura 44 - Modelação, com base no modelo GenPDM, das ferramentas .....	74
Figura 45 - Modelação, com base no modelo GenPDM, dos semiacabados.....	75



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das variantes dos componentes do “VOLANTE PA” e atributos dos mesmos.....	46
Tabela 2 - Comparação número de códigos de identificação necessários na referência direta vs. na referência genérica.....	47
Tabela 3 - Ordens de programação, lotes e kanbans resultantes das compras efetuadas .....	55
Tabela 4 - Ordens de programação, lotes e kanbans resultantes das ordens de produção .....	55





## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

BOM – *Bill-of-Materials* (Lista de materiais)

BOO – *Bill-of-Operations* (Gama operatória)

CM – Customização em Massa

CPS – *cyber-physical systems* (Sistemas ciber-físicos)

CRP – *Capacity Requirement Planning* (Planeamento das necessidades de capacidade)

GenPDM – *Generic Product Data Management*

GenPPC – *Generic Production Planning and Control*

GenSFC – *Generic Shop Floor Control*

IoT – *Internet of Things* (Internet das coisas)

LS – *Lote Size* (Tamanho do lote de planeamento)

LT – *Lead Time*

ML - Múltiplo do Lote

MRP – *Material Requirement Planning* (Planeamento das necessidades de materiais)

PDP – Plano Diretor da Produção

PU – Poliuretano

SPCP – Sistema de Planeamento e Controlo da Produção



## 1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação apresenta-se para a obtenção do grau de mestre no âmbito do Mestrado em Engenharia Industrial do Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

O trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial, na empresa GenSYS – Smart Production System, que detém o Sistema GenSYS – Generic Smart Manufacturing System, um sistema informático para planeamento, controlo e programação da produção.

Neste trabalho pretende-se aplicar, demonstrar e validar algumas das funcionalidades do Sistema GenSYS numa empresa do ramo automóvel – a ZF Friedrichshafen AG. Para além da demonstração das funcionalidades do sistema, pretende-se também avaliar de que forma é que este é capaz de responder aos requisitos reconhecidos dos *Smart Manufacturing Systems* no contexto da Indústria 4.0.

Este capítulo inicia-se com o enquadramento, seguindo-se a apresentação dos objetivos e a descrição da metodologia utilizada, e termina com a estrutura da dissertação.

### 1.1 Enquadramento

Atualmente, a produção industrial testemunha enormes mudanças em relação à sua versão original (Rüßmann et al., 2015).

O rápido progresso tecnológico potenciou o aparecimento da quarta revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0 (Samaranayake, Ramanathan, & Laosirihongthong, 2018). O conceito de Indústria 4.0, com objetivo de transformar as fábricas industriais tradicionais em fábricas inteligentes, une as conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de futuros sistemas de produção inteligentes e automatizados. É da integração do mundo digital com os objetos físicos que surgem as fábricas inteligentes, capazes de utilizar os dados recolhidos de forma eficiente. Numa fábrica inteligente a recolha e processamento de dados sobre processos produtivos e máquinas são feitos de forma automática, onde o papel do ser humano é bastante limitado (Zawadzki & Zywicki, 2016). Uma fábrica totalmente conectada, desde a produção até à logística, contribui para a formação de um ambiente digitalmente desenvolvido e inteligente, bem como possibilita a troca de informação, em tempo real, entre todos os intervenientes do processo produtivo. A sincronização existente entre fornecedores, produtores e clientes permite a troca de informações, em tempo real, e, conseqüentemente, o aperfeiçoamento do plano de produção



(Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016). Estes fatores permitem uma programação da produção mais eficiente, capaz de garantir o normal fluxo da produção (Rüßmann et al., 2015).

A produção industrial evoluiu e tornou-se mais automatizada e informatizada, contudo também mais complexa devido ao aumento da quantidade de informação com a qual as empresas têm que lidar. A capacidade de lidar de forma eficiente com a explosão de informação provocada pela grande diversidade e customização de artigos é um dos requisitos dos novos sistemas de planeamento e controlo da produção, os *Smart Manufacturing Systems*. Para concretizar as empresas devem adotar novos modelos para gestão de informação de artigos que, ao contrário dos modelos de referência direta tradicionais, não impliquem a identificação e caracterização de cada artigo em particular, mas permitam a caracterização de famílias de artigos, os designados modelos de referência genérica. Estes modelos, com base em opções dadas pelos utilizadores, devem ser capazes de representar cada um dos artigos individuais da família (Gomes, Martins, & Lima, 2011).

É neste contexto que surge o GenSYS, um sistema informático baseado nos princípios da referência genérica, no qual os artigos são representados por famílias ou referências genéricas (Gomes, Martins, & Lima, 2009). Desta forma, permite que as organizações ultrapassem os desafios associados à customização em massa e a ambientes de grande diversidade de artigos.

O Sistema GenSYS pretende fornecer, com o mínimo de intervenção humana, toda a informação necessária à realização das restantes funções do planeamento, controlo da produção e programação da produção. Este encontra-se dividido em três áreas funcionais interligadas: a gestão de informação de artigos, responsável por caracterizar toda a informação necessária para produzir um produto; o planeamento e controlo da produção, que integra funções como o planeamento diretor da produção, o planeamento das necessidades de materiais, o planeamento das necessidades de capacidades e os lançamentos de ordens de produção e de compra; por fim, a programação da produção, baseada nos princípios da produção puxada e *kanbans* eletrónicos, é responsável pela alocação e a sequenciação dos trabalhos aos postos.

O presente projeto de dissertação foi desenvolvido com base numa modelação para a empresa ZF, que produz componentes para a indústria automóvel e possui três unidades fabris em Portugal, duas em Ponte de Lima e uma em Vila Nova de Cerveira, sendo utilizada, nesta dissertação, a unidade da ZF de Vila Nova de Cerveira, que se dedica à produção de volantes.

A empresa possui uma grande diversidade de artigos, uma vez que fabrica volantes para várias marcas, e com diversas funcionalidades, o que se traduz em várias combinações possíveis ao dispor dos seus



clientes. Contudo, a diversidade implica um aumento na quantidade de informação com a qual a empresa tem que lidar, o que pode dificultar uma gestão eficiente da produção. Apesar dos esforços realizados nesta área, ainda utiliza folhas Excel, anotações em folhas de papel e outros documentos para proceder à gestão da sua produção. Da utilização destes processos advêm limitações que podem contribuir, por exemplo, para a duplicação de tarefas ou para a ocorrência de erros.

## 1.2 Objetivos

Com a utilização do Sistema GenSYS, e respetivas funcionalidades, pretende-se demonstrar que é possível minimizar a ocorrência de erros, contribuindo para uma produção mais eficiente da empresa ZF. Pretende-se ainda perceber como é que estas funcionalidades são capazes de fazer face aos requisitos inerentes da adoção de um ambiente produtivo inteligente.

Assim, constituem objetivos específicos deste projeto de dissertação:

- Reconhecer os conceitos e modelos implementados nas diferentes áreas funcionais do Sistema GenSYS e identificar a forma como estes podem ser utilizados para representar o sistema produtivo da organização;
- Apresentar e avaliar uma proposta de um modelo, no Sistema GenSYS, para o sistema de produção da organização;
- Avaliar a capacidade de resposta do Sistema GenSYS, enquanto *Smart Manufacturing System*, aos requisitos da Indústria 4.0.

## 1.3 Metodologia

A metodologia de investigação utilizada ao longo da presente dissertação é a investigação-ação. Neste tipo de metodologia são envolvidos no projeto não só o investigador, mas também os colaboradores, o que permite a criação de um ambiente colaborativo entre todos (Saunders, Lewis, & Thornhill, 2009).

Numa fase inicial, após a definição do tema e dos objetivos do projeto de dissertação, realizou-se uma revisão bibliográfica, de modo a obter conhecimento sobre os principais temas relacionados com o mesmo.

Posteriormente, e tendo em conta os objetivos definidos, procedeu-se ao levantamento de informações da empresa em análise, por forma a obter os dados relevantes para introduzir no Sistema GenSYS, nomeadamente os processos logísticos atuais, internos e externos, da empresa, bem como os postos de



trabalho existentes, a forma como os seus armazéns estavam organizados e ainda, quais os meios logísticos utilizados.

Esta informação foi utilizada, numa fase posterior, para modelar uma solução adequada ao contexto da empresa em análise, através da utilização das funcionalidades do Sistema GenSYS.

## 1.4 Estrutura

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

No capítulo seguinte é realizada uma revisão bibliográfica sobre os principais temas que são abordados ao longo da dissertação: Indústria 4.0, sistemas de planeamento e controlo da produção, programação da produção, produção puxada, *kanban*, logística, *milkruns* e armazéns.

No capítulo 3 é apresentado o Sistema GenSYS, enquanto *Smart Manufacturing System*, e a forma como este é capaz de fazer face aos requisitos da Indústria 4.0. Adicionalmente, são identificadas as suas áreas funcionais, bem como os conceitos chave de cada uma delas.

No capítulo 4 é descrita uma solução desenvolvida no Sistema GenSYS para representar o sistema de produção da empresa que serviu de base para a realização da presente dissertação. Neste capítulo é apresentado o processo produtivo da empresa e é feita a modelação, em GenPDM, dos artigos que esta possui. Adicionalmente, é parametrizada a empresa no Sistema GenSYS, de modo a perceber como é que esta informação influencia o planeamento, controlo e programação da produção.

Por último, no capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e identificadas as propostas de trabalho futuro.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente capítulo encontra-se a revisão bibliográfica acerca dos principais temas relacionados com o presente projeto de dissertação. Neste sentido, são abordados temas como a Indústria 4.0 (secção 2.1), bem como os sistemas de planeamento e controlo da produção e as suas áreas funcionais (secção 2.2). Adicionalmente, na secção 2.3, é abordada a temática da programação da produção, onde são abordados os conceitos de produção puxada e *kanbans*, nomeadamente os tipos de *kanban*, o cálculo do número de *kanbans* e os *kanbans* eletrónicos. Por fim, aborda-se a temática da logística, mais concretamente no que respeita a *milkruns* e a armazéns (secção 2.4).

### 2.1 Indústria 4.0

Os avanços tecnológicos vivenciados ao longo dos anos revolucionaram a forma como os produtos são fabricados. A primeira revolução industrial foi marcada pela transição do trabalho manual para máquinas alimentadas a vapor. Com a introdução da eletricidade nos sistemas produtivos, inicia-se a segunda revolução industrial, caracterizada pela produção em massa e pelas linhas de montagem. A terceira revolução é caracterizada pelo uso das tecnologias de informação, com o objetivo de aprimorar a automação na produção. A combinação destas tecnologias, juntamente com a internet, revolucionou, uma vez mais, a indústria originando a quarta revolução industrial, a designada Indústria 4.0 (Bahrin, Othman, Azli, & Talib, 2016; Rüßmann et al., 2015).

Os sistemas ciber-físicos (*cyber-physical systems* - CPS), a Internet das coisas (IoT), o processamento de grandes quantidades de dados (*Big Data*) e a cibersegurança são algumas das tecnologias base da Indústria 4.0 – Figura 1 (Bahrin et al., 2016; Zawadzki & Zywicki, 2016).

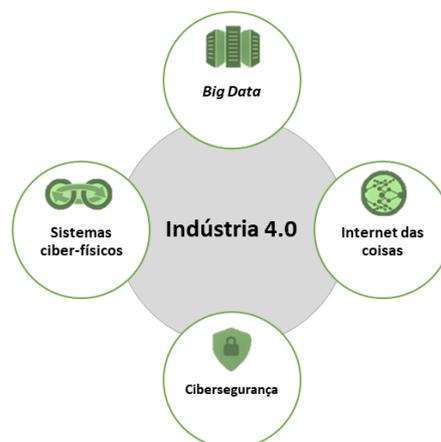


Figura 1 - Tecnologias relacionadas com a Indústria 4.0 – adaptado de Bahrin et al. (2016)



A IoT possibilita a conexão de todas as entidades, através da utilização de dispositivos e de uma rede de internet, permitindo o intercâmbio, em tempo real, de informações e a formação de um ambiente inteligente (Sanders et al., 2016).

Os CPS apoiados pela IoT permitem a troca de informação entre máquinas, sensores, peças e sistemas informáticos ao longo de toda a cadeia de valor de uma empresa, resultando na integração do mundo virtual com o espaço físico. Estes CPS são capazes de analisar dados para prever falhas, de se configurarem e de se adaptarem às mudanças necessárias (Rüßmann et al., 2015). Apesar disso, Samaranayake et al. (2018) consideram que a integração dos sistemas físicos com os sistemas informáticos ainda é um dos principais desafios da Indústria 4.0.

Com a ajuda dos *Big Data* é possível recolher um conjunto abrangente de dados, de diversas fontes, para apoiar a tomada de decisões, otimizar operações, economizar energia e melhorar o desempenho do sistema produtivo (Bahrin et al., 2016).

Bahrin et al. (2016) referem que a quantidade de dados envolvidos na Indústria 4.0 é uma preocupação, pelo que é necessário garantir, através da cibersegurança, a privacidade e a segurança dos dados, para que estes não sejam utilizados indevidamente.

O conceito de Indústria 4.0 representa a transformação das fábricas tradicionais em fábricas inteligentes, *smart factories*, através da combinação das tecnologias referidas anteriormente. A fábrica inteligente permite recolher e utilizar dados em tempo real, o que possibilita a tomada de decisão com base em dados atuais. As empresas ao usarem “os dados certos, na hora certa” conseguem reagir a falhas e a possíveis erros, o que contribui para o aumento da sua produtividade (Rüßmann et al., 2015).

Kusiak (2018) aponta a engenharia preditiva como um dos pilares da produção inteligente. A engenharia preditiva permite que as empresas utilizem os dados fornecidos, em tempo real, para preverem o estado futuro da produção. Tradicionalmente, estes dados eram utilizados para análise e controlo da produção, mas com os avanços tecnológicos as empresas podem usufruir destes dados de modo a tornarem-se proativas em vez de reativas.

Um dos objetivos da transformação das fábricas atuais em fábricas inteligentes passa por abordar e superar os desafios associados à procura crescente por produtos personalizados, a denominada customização em massa (CM) (Weyer, Schmitt, Ohmer, & Gorecky, 2015). A CM está relacionada com a capacidade de fornecer produtos personalizados, em grandes quantidades, com qualidade e a preços consideravelmente baixos (Da Silveira, Borenstein, & Fogliatto, 2001). De modo a satisfazer a CM é necessário que as empresas possuam uma estrutura de produção flexível, que através de uma rápida



reconfiguração consiga responder à procura diversificada de produtos. Contudo, este grau de flexibilidade não pode ser alcançado pela automação tradicional (Weyer et al., 2015). Neste sentido, a utilização de sistemas inteligentes e automatizados, proporcionados pela Indústria 4.0, permitem uma melhor gestão da produção e da diversidade de informação (Zawadzki & Zywicki, 2016).

À medida que as necessidades dos clientes se diversificam, aumenta de igual modo o número de produtos diferentes que é necessário produzir, o que implica inúmeros tempos de preparação das máquinas. A Indústria 4.0 contribui para a redução desses tempos de preparação, uma vez que utiliza sistemas que permitem uma comunicação entre o produto e a máquina. Esta comunicação permite uma configuração automática do equipamento de modo a obter o produto pretendido. Desta forma, a máquina reconhece quais as alterações que são necessárias fazer para iniciar a produção de um determinado produto (Sanders et al., 2016).

Além disso, Hofmann & Rüsç (2017) argumentam que a Indústria 4.0 só se pode tornar numa realidade se a logística for capaz de fornecer aos sistemas produtivos os materiais no momento certo e na quantidade certa. Através da troca de informação entre dispositivos, os fluxos de materiais encontram-se sincronizados com as necessidades da produção. Rübmann et al. (2015) destacam o contributo dos veículos de transporte, capazes de se ajustarem à necessidade de materiais em tempo real, no aumento da eficiência no chão de fábrica.

A Indústria 4.0 pressupõe a preparação de um ambiente de fabricação inteligente capaz de integrar diferentes atividades e possibilitar a comunicação efetiva entre clientes e produtores, bem como entre produtores e fornecedores (Zawadzki & Zywicki, 2016). Para Hofmann & Rüsç (2017) se os fornecedores tiverem conhecimento, em tempo real, que determinado produto foi consumido ou vendido podem ajustar a sua produção de acordo com a procura atual. No caso dos clientes, estes podem participar no projeto dos produtos, o que se traduz numa agregação de valor para estes (Dalenogare, Benitez, Ayala, & Frank, 2018).

Através de uma cadeia de abastecimento integrada, o histórico do produto fica registado e pode ser consultado a qualquer momento, garantindo a sua rastreabilidade constante. Desta forma, o planeamento da produção pode ser feito com mais precisão no âmbito da Indústria 4.0, uma vez que os produtos podem ser rastreados em tempo real, quer estejam em fase de produção ou num dos fluxos de entrada ou saída da empresa (Hofmann & Rüsç, 2017).



Assim, as empresas para operarem de forma vantajosa num ambiente inteligente devem dotar-se de mecanismos capazes de:

- Conectar todas as entidades, para recolha e troca de dados;
- Integrar o mundo virtual com o espaço físico;
- Tomar decisões com base em dados fornecidos em tempo real;
- Prever o estado futuro da produção;
- Atender aos desafios da CM, através de uma produção flexível;
- Sincronizar as necessidades da produção;
- Possibilitar a comunicação entre entidades externas – clientes, distribuidores e fornecedores;
- Rastrear o produto.

## 2.2 Sistemas de Planeamento e Controlo da Produção

A Indústria 4.0 possibilita um planeamento da produção em tempo real, contrastando com o planeamento da produção baseado em previsões (Sanders et al., 2016). Ao beneficiar da informação recolhida em tempo real, um sistema de planeamento e controlo da produção (SPCP) é capaz de responder, de forma mais eficiente, às exigências do mercado.

Segundo Wiendahl, Cieminski, & Wiendahl (2005) um SPCP organiza os recursos disponíveis, como máquinas, pessoas e materiais, de modo a que estes sejam utilizados de forma eficiente.

Para Vollmann, Berry, Whybark, & Jacobs (2005), um SPCP foca-se no planeamento e controlo de todos os aspetos relacionados com a produção, incluindo a gestão de materiais, a programação de pessoas e máquinas e a coordenação de fornecedores e clientes. Os autores defendem ainda que um desenvolvimento efetivo de um SPCP é a chave para o sucesso de qualquer empresa.

Os SPCP não tomam decisões, apenas servem de suporte para que os responsáveis, mediante informação relevante, sejam capazes de tomar as melhores decisões, tendo em conta a estratégia empresarial definida (Gomes, 2014).

Em seguida encontram-se detalhadas as áreas funcionais que compõe um SPCP:

- **Planeamento Agregado da Produção** – Define a estratégia de produção a adotar, para produzir as quantidades planeadas, tendo em conta as informações fornecidas por alguns dos



departamentos que compõem uma empresa, nomeadamente a gestão comercial, a gestão de recursos e a gestão financeira, e a capacidade instalada (Vollmann et al., 2005); No caso da capacidade instalada não ser suficiente para cumprir o plano de produção, define quais as estratégias a adotar para o conseguir satisfazer, por exemplo, subcontratação ou realização de horas extra (Lima, 2013; Vollmann et al., 2005).

- **Planeamento Diretor da Produção** – Desta atividade de planeamento resulta o Plano Diretor da Produção (PDP), que indica quais os produtos acabados a produzir, em que datas e em que quantidades, de modo a garantir a satisfação das necessidades dos clientes (Lima, 2013);
- **Planeamento das Necessidades de Materiais** – Garante “o componente certo no tempo certo”, para cumprir o que foi estabelecido pelo PDP (Vollmann et al., 2005). A utilização da técnica *Material Requirement Planning* (MRP) permite determinar as quantidades e as datas em que é necessário produzir ou adquirir produtos para satisfazer a procura, tendo em conta a lista de materiais, os stocks, as quantidades utilizadas e os prazos de entrega de cada um (Lima, 2013);
- **Planeamento das Necessidades de Capacidades** – Permite estimar a capacidade necessária, de modo a não comprometer a entrega dos produtos determinados no PDP (Vollmann et al., 2005). O autor descreve várias técnicas que podem ser utilizadas para calcular as necessidades de capacidade. Contudo, a técnica *Capacity Requirement Planning* (CRP) como utiliza a informação proveniente do MRP, é capaz de determinar as necessidades de capacidade mais próximas do estado atual do sistema (Lima, 2013);
- **Lançamento de Ordens de Produção** – Com base nas sugestões resultantes do planeamento das necessidades de materiais, são criadas as ordens de produção (Lima, 2013);
- **Lançamento de Ordens de Compra** – Com base nas sugestões resultantes do planeamento das necessidades de materiais, são emitidas as compras necessárias aos fornecedores (Lima, 2013);
- **Programação da Produção** – Responsável pela alocação e sequenciação de trabalhos, em função dos recursos disponíveis (Lima, 2013);
- **Monitorização da Produção** – Permite verificar o cumprimento do plano de produção e acompanhar o estado da produção (Cichos & Aurich, 2016);
- **Gestão de Informação de Artigos** – Esta área funcional é responsável pela gestão de informação sobre os artigos, listas de materiais, do inglês *Bill Of Materials* (BOM) e gamas operatórias, do



inglês *Bill Of Operations* (BOO). Adicionalmente, disponibiliza informação importante para várias áreas funcionais dos SPCP, como o planeamento diretor da produção, o planeamento das necessidades de materiais e o planeamento das necessidades de capacidade (Gomes et al., 2011).

O esquema da Figura 2 pretende resumir as diversas áreas funcionais de um SPCP, nos respetivos horizontes temporais – longo, médio e curto prazo – bem como demonstrar a importância que os clientes e os fornecedores têm para um bom funcionamento de um SPCP.

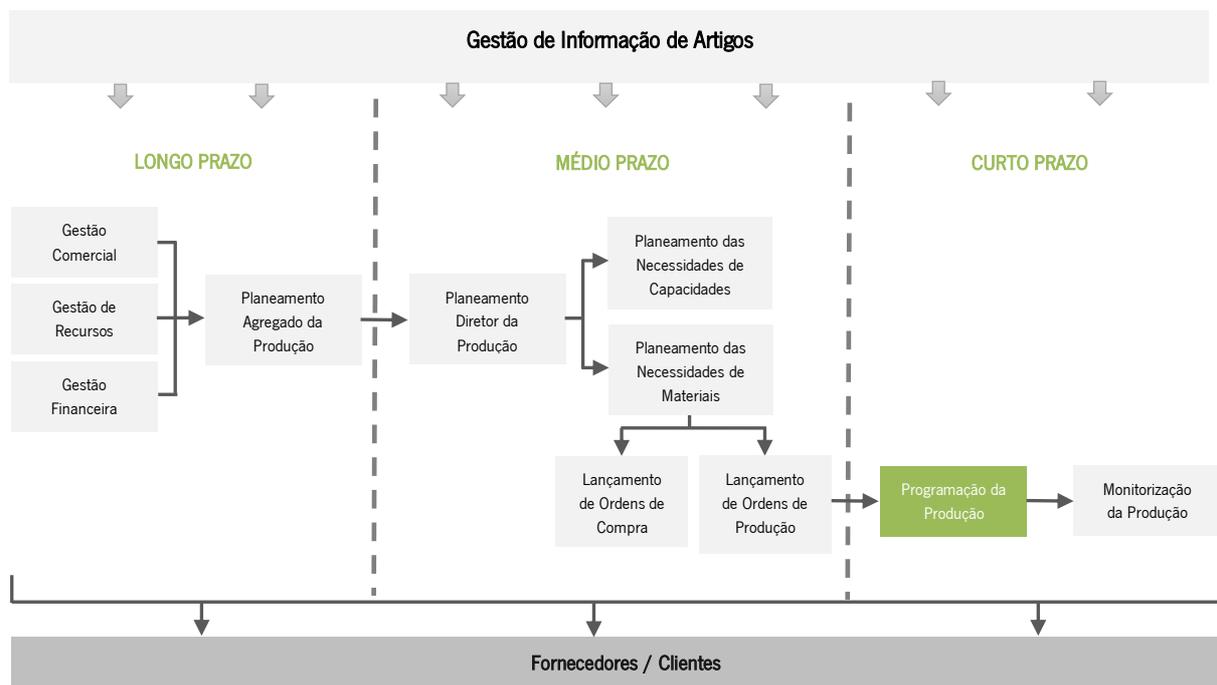


Figura 2 - Representação das áreas funcionais de um SPCP – adaptado de Lima (2013)

No trabalho de Vollmann et al. (2005), é reconhecida a importância da coordenação entre fornecedores e clientes e os SPCP. Um SPCP está envolvido em toda a cadeia logística, desde a criação da encomenda, passando pelo planeamento das necessidades de materiais, até às compras e expedição das encomendas (Lima, 2013). Wiendahl et al. (2005) acrescentam que um SPCP é o mecanismo central de controlo logístico que combina a produção e o desempenho logístico de uma empresa com as procuras do cliente.

Por isso, é fundamental que exista uma coordenação entre os SPCP e as atividades dos fornecedores, bem como o conhecimento das necessidades dos clientes, de forma a que seja possível satisfazer a procura destes.



## 2.3 Programação da produção

A programação da produção é responsável pela alocação de recursos limitados a tarefas ao longo do tempo, tendo como objetivo garantir uma utilização eficaz e eficiente dos recursos disponíveis (Branke, Nguyen, Pickardt, & Zhang, 2016). Esta alocação deve ter em conta um conjunto de regras ou restrições que refletem as relações temporais entre as operações e as limitações de capacidade de um conjunto de recursos compartilhados (Metaxiotis, Askounis, & Psarras, 2002). Na programação da produção, para proceder à sequenciação dos trabalhos, é necessário obter conhecimento sobre as operações a executar e as relações de precedência existentes entre elas, informação representada nas BOO dos produtos (Lima, 2013).

Atualmente, a crescente complexidade da produção industrial e a necessidade de maior eficiência, menor ciclo de vida do produto, maior flexibilidade, melhor qualidade do produto, maior satisfação das expectativas do cliente, menor custo e os avanços tecnológicos são uma realidade que as empresas têm que enfrentar (Metaxiotis et al., 2002).

Segundo Metaxiotis et al. (2002) os mecanismos de planeamento, controlo e programação da produção tradicionais não são suficientes para responder aos desafios que as empresas têm que enfrentar, tornando-se, por isso, necessário a adoção de soluções inteligentes.

Uhlmann, Santos, Silva, & Frazzon (2018) apontam o acompanhamento em tempo real da produção, como fundamental para a programação. Deste modo, através de sistemas integrados, sempre que ocorrer alguma perturbação na produção é possível tomar medidas, de maneira a não comprometer a entrega prevista ao cliente.

### 2.3.1 Produção puxada

O sistema de produção puxada, do inglês *pull system*, caracteriza-se por ser o processo a jusante/cliente a despoletar a necessidade para o processo anterior. Deste modo, o processo anterior só produz quando a estação de trabalho a jusante emitir essa necessidade (Jarupathirun, Ciganek, Chotiwankeawmanee, & Kerdpitak, 2009; Sundar, Balaji, & Satheesh Kumar, 2014).

A estação de trabalho a jusante obtém essa necessidade uma vez que, num sistema de produção puxada, o fluxo de informação ocorre no sentido contrário ao fluxo de materiais (Bonney, Zhang, Head, Tien, & Barson, 1999; Courtois, Pillet, & Martin-Bonnefous, 2007) – como se pode constatar na Figura 3.

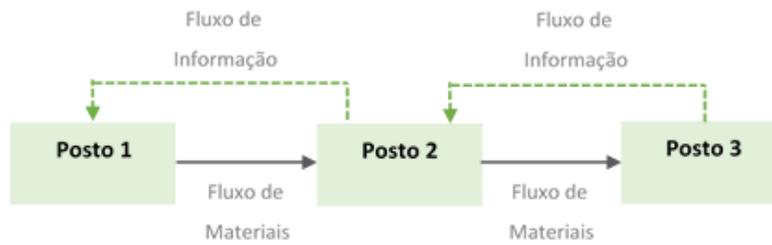


Figura 3 - Exemplificação do fluxo de informação e de materiais num sistema de produção puxada – adaptado de Courtois et al. (2007)

Segundo Sanders et al. (2016) o processo mais a jusante deve ser o cliente, de modo a que a produção seja feita com base nas necessidades deste, e não com base em previsões. Deste modo, são as necessidades do cliente que transmitem a necessidade de produção para o posto que realiza a última operação do processo produtivo, e toda a informação é transmitida a partir deste para o posto imediatamente anterior, e assim sucessivamente.

### 2.3.2 Kanban

O fluxo de informação nas organizações com um sistema de produção puxada realiza-se por intermédio de *kanbans* (Bonney et al., 1999).

O conceito *kanban* originário do Japão, pode ser considerado, segundo Hofmann & Rüsç (2017), como um sistema de programação da produção.

O sistema *kanban* permite uma gestão visual da produção, e a partir da informação contida no *kanban* o processo antecedente sabe o que produzir, em que quantidades e em que momento, em função das necessidades do processo posterior (Sharma & Singla, 2019).

De salientar que um sistema *kanban* pode ser aplicado internamente no chão de fábrica, assim como externamente, para realizar as entregas necessárias da cadeia de abastecimento (Wan, Shukla, & Chen, 2009).

Segundo Sharma & Singla (2019), o sistema *kanban* é projetado para minimizar o stock e entregar as matérias-primas ou os semiacabados ao posto de trabalho seguinte, somente quando solicitado por este. Desta forma, simplifica a gestão no chão de fábrica e contribui para a redução de inventário, para a melhoria do fluxo de materiais e previne o excesso de produção (Wan et al., 2009).

Contudo, a utilização de *kanbans* apresenta algumas limitações. Segundo Wan et al. (2009), os erros mais comuns associados aos sistemas de *kanbans* tradicionais consistem na perda de *kanbans*, na entrega incorreta de *kanbans* e nas informações imprecisas contidas nos mesmos. Os autores



acrescentam que a utilização de *kanbans* apenas é adequada para situações em que a procura é estável e repetitiva. Jarupathirun et al. (2009) acrescentam que uma variedade relativamente grande de produtos, contribui para a complexidade do sistema *kanban*, o que pode levar a uma quebra do mesmo.

### Tipos de *kanban*

De acordo com a função que exercem, os *kanbans* dividem-se em três grupos: os *kanbans* de produção, os *kanbans* de transporte e os *kanbans* de fornecedor (Arbulu, Ballard, & Harper, 2003; Ramnath, Elanchezhian, & Kesavan, 2009):

- *Kanban* de produção – Funciona como uma autorização para produzir, indicando que tipo e que quantidade de produto é necessário produzir;
- *Kanban* de transporte – Especifica o que transportar e a quantidade associada, e indica entre que locais é feito esse transporte;
- *Kanban* de fornecedor – Apresenta semelhanças com o *kanban* de transporte, contudo é utilizado com os fornecedores. Assim, serve para informar o fornecedor quando existe a necessidade de reabastecimento de materiais, e autoriza o envio destes para a empresa.

### Cálculo do número de *kanbans*

No que concerne ao cálculo do número de *kanbans*, existem diversas abordagens relativamente à fórmula utilizada, contudo todas acabam por ser bastante semelhantes.

A seguir apresenta-se a fórmula para o cálculo do número de *kanbans* mencionada por Courtois et al. (2007). De ressaltar que o cálculo é feito para cada produto (Yang, Kuo, Su, & Hou, 2015).

$$N = \frac{DL + G}{C}$$

Em que:

D – É o consumo médio de produtos por unidade de tempo;

L – É o prazo de disponibilização dos produtos;

G – É o fator de gestão que reflete uma quantidade de segurança para cobrir os imprevistos e mudanças de série;

C – É a capacidade da unidade de transporte.



### ***Kanbans eletrónicos***

As limitações apresentadas para o *kanban* tradicional e o contributo dos avanços tecnológicos potenciaram o aparecimento de um novo tipo de *kanban*, o *kanban* eletrónico, também conhecido como *e-kanban*.

Segundo Junior & Filho (2010), o *kanban* eletrónico é uma variação do *kanban*, onde o sinal físico é substituído por sinais eletrónicos. O *kanban* eletrónico herda os benefícios associados ao uso do *kanban* tradicional, ao mesmo tempo que contribui para colmatar as limitações associadas a este (Wan et al., 2009).

A incorporação de sensores nos *kanbans* eletrónicos, permite reconhecer automaticamente a necessidade de reabastecimento (Sanders et al., 2016). O autor acrescenta que desta forma é possível alcançar um controlo de stock em tempo real, bem como garantir a rastreabilidade de cada *kanban*, uma vez que permite saber o estado, o número e a localização de cada um.

Adicionalmente, Wan et al. (2009) apresentam a minimização de erros humanos como outra das vantagens associadas à utilização de *kanbans* eletrónicos.

O sistema *kanban* convencional carece de capacidade de monitorização e acompanhamento, que são vitais para uma cadeia de abastecimento (Wan et al., 2009). A utilização de *kanbans* eletrónicos ao permitir rastrear, monitorizar e controlar todas as atividades da cadeia de abastecimento em tempo real, possibilita uma rápida adaptação às flutuações na procura. Sharma & Singla (2019) acrescentam que a versão eletrónica do sistema *kanban* melhora a velocidade da informação compartilhada com os fornecedores, o que contribui para uma gestão mais eficiente da cadeia de abastecimento.

## **2.4 Logística**

A logística desempenha um papel fundamental na programação da produção.

Para Christopher (2011), a logística é o processo de gerir a compra, movimentação e armazenamento de materiais, bem como os fluxos de informação relacionados com estas atividades. A logística abrange, portanto, todo o fluxo de materiais, desde a compra de matérias-primas até à entrega do produto acabado ao cliente (Kain & Verma, 2018).

De modo a obter “a quantidade certa de materiais, no lugar e no momento certo”, é necessário que exista uma integração dos fluxos de materiais e de informações – Figura 4, pois só desta forma é possível atender aos requisitos dos clientes (Farahani, Rezapour, & Kardar, 2011; Kain & Verma, 2018).

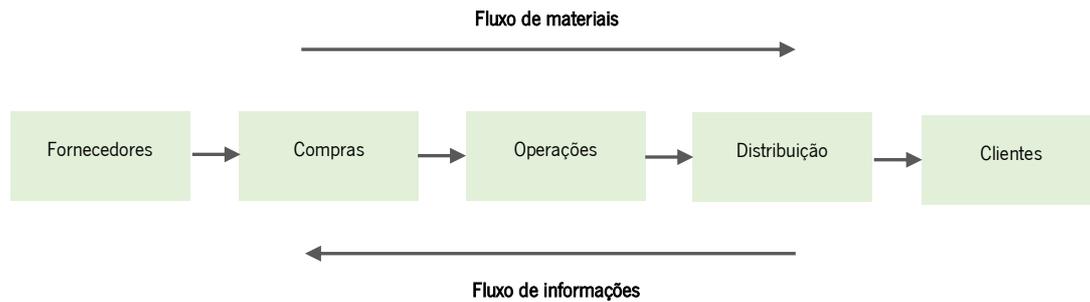


Figura 4 - Fluxos de materiais e de informação ao longo do processo logístico – retirado de Kain & Verma (2018)

A logística é um tema abordado por diversos autores, não existindo consenso na literatura sobre o que é a logística e como é que esta se caracteriza.

Para Scheer (1994) a logística engloba todas as atividades que acompanham o fluxo de materiais de uma empresa, e divide-se em: *inbound*, *outbound* e *production logistics*. A logística *inbound* e a *outbound* engloba as atividades de planeamento e programação que acompanham o fluxo de mercadorias entre uma empresa e entidades externas, por sua vez, a *production logistics* acompanha o fluxo de ordens de compras e de produção, desde o PDP até à conclusão da ordem de produção. Segundo Farahani et al. (2011) a logística engloba as movimentações de materiais entre o fornecedor e a empresa, dentro da empresa e aquando do envio para o cliente, podendo ser dividida em três partes: (1) *inbound logistics*, que representa o movimento dos materiais desde os fornecedores até ao armazenamento no produtor; (2) *materials management*, que abrange o armazenamento e os fluxos de materiais dentro de uma empresa; e (3) *outbound logistics*, que descreve o armazenamento e o movimento de produtos, desde o final da produção até ao cliente. Coimbra (2013) faz referência a fluxos logísticos internos, relacionados com os movimentos dentro da organização, assim como a fluxos logísticos externos. Relativamente ao fluxo logístico externo, refere que é possível dividi-lo em duas dimensões: origem e entrega. A dimensão origem engloba todos os processos logísticos que ocorram antes da entrega dos materiais, incluindo as movimentações dos fornecedores para empresa, enquanto que a dimensão entrega engloba todos os processos logísticos que ocorram a partir do armazém de produtos acabados, incluindo o transporte para o cliente.

#### 2.4.1 Fluxo logístico externo

Segundo Coimbra (2013), existem elementos que contribuem para a melhoria do fluxo logístico externo, nomeadamente o *milkrun*. O *milkrun* pode ser aplicado quer à logística externa (*inbound* e *outbound*), quer à logística interna (Meyer, 2015). Nos parágrafos seguintes o foco vai incidir sobre o papel do



*milkrun* na logística externa e na próxima subsecção (2.4.2) é abordado o comportamento deste na logística interna.

### ***Milkrun***

Relativamente ao conceito de sistemas de transporte logístico, existem autores que o particularizam como *mizusumashi* ou *water spider*, outros apenas utilizam o conceito de *milkrun*. Neste trabalho de dissertação é utilizado o termo genérico *milkrun* para representar os sistemas de transporte utilizados nos fluxos logísticos.

Segundo Coimbra (2013), o *milkrun* é um sistema de transporte repetitivo que segue uma rota padrão, capaz de transportar diferentes produtos em simultâneo e de cobrir grandes distâncias de forma eficiente.

Este é responsável por efetuar os movimentos de materiais até a empresa, e posteriormente transportar os produtos até ao cliente. Dependendo da distância entre a empresa e os fornecedores, e entre esta e os clientes, podem existir diferentes tipos de *milkrun*, como por exemplo, camiões, navios ou aviões, e em quantidades também distintas (Farahani et al., 2011; Meyer, 2015).

#### 2.4.2 Fluxo logístico interno

Nos últimos anos, as exigências dos clientes resultaram numa grande variedade de produtos a produzir. A CM teve sérias implicações para a logística interna, uma vez que esta tem que ser capaz de fornecer “as quantidades certas, no lugar certo, na ordem correta, e no tempo certo” para cada um dos diferentes produtos a produzir (Knoll, Waldmann, & Reinhart, 2019).

A logística interna abrange o armazenamento e os fluxos de materiais dentro de uma empresa. Engloba a receção de materiais, o armazenamento, o abastecimento dos postos de trabalho e a recolha de produtos ou excedentes de material (Carvalho, 2010; Knoll et al., 2019).

#### **Abastecimento interno**

De modo a trabalhar de acordo com a procura do cliente com a mais alta qualidade e ao menor custo, é necessário integrar a logística com a produção, no sentido de se obter um processo sincronizado (Coimbra, 2013).

Para cumprir o plano de produção e não comprometer a entrega ao cliente, é necessário garantir que os materiais chegam na quantidade, no tempo e no lugar certo aos postos de trabalho. Para atingir este



objetivo, são necessários mecanismos capazes de garantir um bom funcionamento do abastecimento interno e o sucesso da produção.

Coimbra (2013) refere que a implementação de supermercados, bem como a utilização dos sistemas *milkrun*, contribuem para o aperfeiçoamento do fluxo logístico interno de uma empresa.

### **Supermercado**

Os supermercados são infraestruturas de armazenamento internas que possibilitam um bom funcionamento do fluxo logístico interno, uma vez que contêm uma quantidade de stock pré-determinada e estritamente limitada, calculada para garantir que o stock disponível seja o suficiente, de modo a não comprometer a produção (Coimbra, 2013).

Coimbra (2013) acrescenta que os supermercados devem ser configurados de acordo com algumas regras. Nestas áreas de armazenamento a cada posição deve corresponder uma referência com um limite mínimo e máximo estabelecido. Além disso, o *layout* deve permitir uma gestão visual e o cumprimento do FIFO (*first in first out*), de modo a garantir que os materiais consumidos em primeiro lugar são os que estão armazenados há mais tempo. Por forma a facilitar o manuseamento dos materiais para os postos de trabalho, os supermercados devem estar localizados perto destes (Meyer, 2015).

### ***Milkrun***

O *milkrun*, no fluxo logístico interno, é responsável pelo abastecimento dos postos de trabalho, pela recolha e transporte de produtos acabados ou semiacabados dos postos de trabalho para locais de armazenamento, ou para o próximo posto de processamento. São ainda funções do *milkrun* a recolha e devolução de contentores vazios, bem como dos excedentes de material dos postos de trabalho para o local de armazenamento (Kluska & Pawlewski, 2018).

Para Kluska & Pawlewski (2018), um sistema *milkrun* é um meio para transportar materiais, para os vários pontos da fábrica numa única execução, através de uma rota padronizada e cíclica. Segundo estes autores, o sistema *milkrun* minimiza a distância total de transporte, tornando-o mais eficiente e contribuindo para a redução de custos.

### **Armazéns**

Relativamente ao processo de armazenamento, este envolve várias atividades, desde a entrada dos produtos no armazém até à saída destes, como sintetiza a Figura 5. A chegada de produtos ao armazém desencadeia três atividades: receção, conferência e arrumação. Ao passo que a chegada de uma



encomenda de um cliente desencadeia outras três atividades: *picking*, preparação e expedição (Carvalho, 2010).



Figura 5 - Operações básicas de armazenamento – retirado de Carvalho (2010)

Em seguida, apresenta-se uma pequena descrição sobre cada uma destas atividades (Carvalho, 2010; Farahani et al., 2011):

- A receção consiste na descarga da mercadoria e recebimento desta, por parte dos responsáveis de armazém;
- A conferência engloba a inspeção da mercadoria rececionada e a introdução desta no sistema informático, onde é definida a localização que irá ocupar, de acordo com a política de armazenamento;
- A arrumação diz respeito à movimentação física dos materiais rececionados para a localização do armazém identificada na atividade anterior;
- O *picking* consiste na recolha de artigos armazenados, que são necessários para satisfazer as encomendas;
- A preparação diz respeito à preparação da entrega da encomenda ao cliente, nomeadamente a embalagem;
- A expedição consiste no carregamento das encomendas prontas a entregar, e envio destas para o cliente.

Farahani et al. (2011), considera que o *picking* é uma das atividades mais importantes nos armazéns, devido aos efeitos deste no nível de serviço prestado ao cliente e nos custos de armazenamento que este acarreta. Tal pode ser comprovado pelo trabalho de Berg & Zijm (1999), que refere o *picking* como representante de mais de 60% dos custos operacionais num armazém.

### Organização de Armazéns

Ainda relacionado com o processo de armazenamento, existem várias políticas que podem ser adotadas (Rouwenhorst et al., 2000):



- Armazenamento dedicado – Pressupõe a existência de um local específico para cada produto a ser armazenado;
- Armazenamento aleatório – A decisão sobre o local onde o produto é armazenado fica a cargo do operador;
- Armazenamento baseado nas classes ABC – Grupos de produtos específicos são alocados a determinadas zonas, com base na taxa de rotatividade que apresentam;
- Armazenamento correlacionado ou agrupamento familiar – O objetivo é armazenar produtos em posições próximas, para o caso de serem necessários conjuntamente.

Tendo em conta as várias políticas de armazenamento existentes, cabe a cada empresa analisar qual destas se adequa melhor às suas necessidades.





### 3. GENSYS – GENERIC SMART MANUFACTURING SYSTEM

O aumento da complexidade e dos requisitos da produção industrial, verificado ao longo dos últimos anos, são uma realidade que as empresas têm que enfrentar. Fatores como a forte concorrência internacional, a procura crescente por produtos altamente individualizados e a redução dos ciclos de vida dos produtos, representam sérios desafios para as empresas (Hofmann & Rüsck, 2017).

Se por um lado, os requisitos da produção industrial aumentaram, o rápido desenvolvimento das tecnologias potenciou, por outro, o aparecimento de processos mais rápidos, mais flexíveis e mais eficientes, fomentados pela Indústria 4.0 (Rübmann et al., 2015).

Com a tecnologia a serviço da indústria, surgiram novos sistemas inteligentes, os *Smart Manufacturing Systems*. Um *Smart Manufacturing System* é um sistema de fabricação totalmente integrado que responde, de forma eficiente e em tempo real, às mudanças que ocorrem na fábrica, na cadeia de abastecimento e nas necessidades dos clientes (Kusiak, 2018).

Neste capítulo apresenta-se o Sistema GenSYS como um *Smart Manufacturing System* capaz de responder aos desafios da Indústria 4.0, e são detalhadas as suas áreas funcionais. Na secção 3.1 são detalhados, de acordo com Gomes et al. (2009), Martins & Sousa (2013) e Gomes (2014), os conceitos chave do modelo GenPDM: referência genérica, parâmetro, variante, tipo de parâmetro, tipo de operação e BOM e BOO genéricas. Na secção 3.2 são abordados conceitos da área funcional GenPPC: planeamento das necessidades de materiais, planeamento das necessidades de capacidades e logística externa – *inbound* e *outbound*. Na secção 3.3 são apresentados alguns dos principais elementos do modelo GenSFC. Na subsecção 3.3.1 é abordado o modelo digital da organização, isto é, a informação que tem que ser fornecida ao Sistema GenSYS para representar o funcionamento da empresa, com enfoque nos postos que representam *milkruns* e armazéns. Por fim, na subsecção 3.3.2 apresentam-se os conceitos utilizados pelo Sistema GenSYS para realizar a gestão de curto prazo: ordem de programação, lote da ordem de programação, fila do sistema, fila FIFO e os critérios necessários para a alocação de trabalhos aos postos.

Através das funções implementadas nas suas áreas funcionais, o Sistema GenSYS, realiza a gestão de informação de artigos, o planeamento, controlo e programação da produção. Cada uma destas áreas é apoiada por diferentes módulos, como demonstrado na Figura 6.

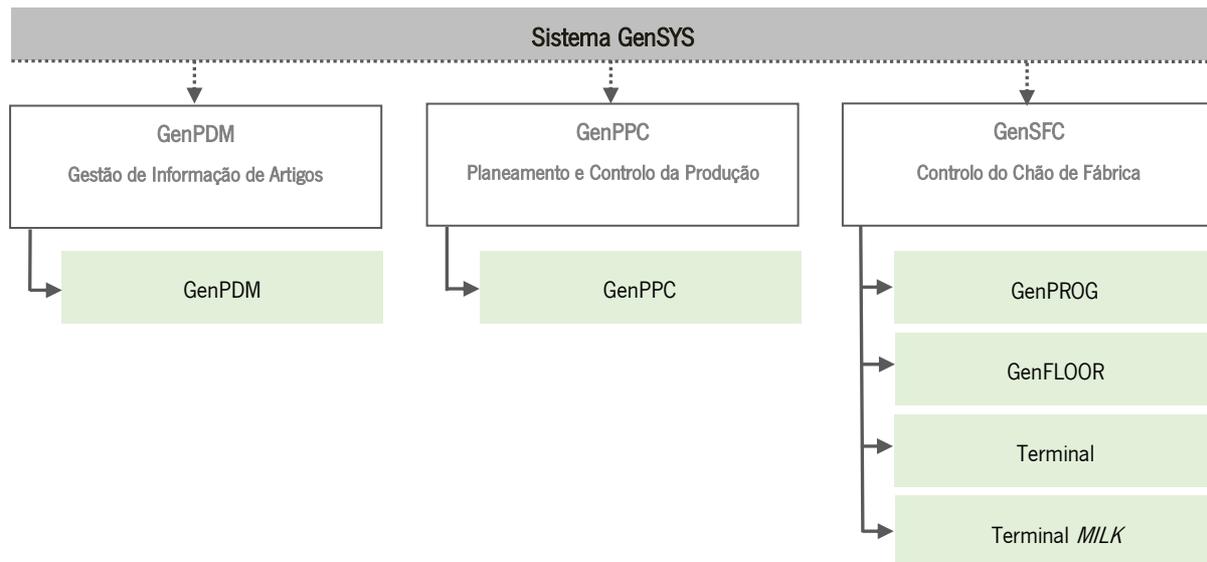


Figura 6 - Esquema das áreas funcionais do Sistema GenSYS e dos respetivos módulos que as auxiliam

A procura crescente por produtos personalizados implica um aumento da quantidade de informação com a qual uma empresa tem que lidar. O Sistema GenSYS tem a flexibilidade necessária para representar toda a informação relativa aos artigos de forma eficiente, eliminando redundâncias. Através da utilização do modelo GenPDM no módulo GenPDM, o Sistema GenSYS permite que a gestão de informação de artigos seja feita com base nos princípios da referência genérica. O princípio da referência genérica e os conceitos subjacentes a esta são detalhados posteriormente, na secção da área funcional GenPDM – *Generic Product Data Management*.

Com o módulo GenPPC, da área funcional GenPPC – *Generic Production Planning and Control*, o Sistema GenSYS consegue uma comunicação efetiva com os fornecedores e os clientes, isto é, através das funcionalidades implementadas é possível rastrear, a cada momento, o estado em que se encontram as encomendas, quer na logística *inbound*, quer na logística *outbound*. Este módulo também possibilita um rastreio do produto, de modo a perceber, nomeadamente, o momento em que foi iniciada e terminada a sua produção, os tempos das operações, quais os componentes que consumiu e se foram realizadas ou não operações não produtivas.

Para a área funcional GenSFC – *Generic Shop Floor Control* estão disponíveis os módulos GenPROG, GenFLOOR, Terminal e Terminal MILK que auxiliam na programação e monitorização do chão de fábrica.

A capacidade preditiva, apontada por Kusiak (2018) é conseguida através da realização de projeções, recorrendo ao módulo GenPROG. As projeções representam a capacidade do Sistema GenSYS em “prever o futuro”, isto é, através da análise que a projeção proporciona, permite uma tomada de decisão inteligente e capaz de prevenir possíveis desvios na produção.



O módulo GenFLOOR permite o acompanhamento visual, em tempo real, do estado da produção, nomeadamente perceber quais as movimentações já efetuadas ou em falta e quais os *kanbans* que se encontram em execução.

O Terminal MILK permite uma coordenação entre os movimentos dos *milkruns* e as necessidades da produção. Sempre que existe a necessidade de realizar movimentos para satisfazer os trabalhos dos postos, o *milkrun* é acionado, através deste módulo, proporcionando uma sincronização entre a disponibilidade dos componentes aos postos e as necessidades de cada um deles.

Por fim, o módulo Terminal é colocado junto dos postos de trabalho, onde os trabalhadores, através de um dispositivo, podem proceder ao registo de início e fim das atividades. Contudo, o Sistema GenSYS também é capaz de se conectar, automaticamente, com as máquinas sendo, neste caso, os registos processados de forma automática.

### 3.1 GenPDM – Gestão de Informação de Artigos

A informação relativa aos produtos pode ser representada através de dois tipos de modelos: referência direta e referência genérica. Nos modelos de referência direta cada artigo é tratado de forma independente, tendo cada um deles um código único, uma BOM e uma BOO específicas. Relativamente aos modelos de referência genérica, os artigos são representados por famílias ou referências genéricas, e a BOM e BOO são criadas não para cada artigo individual, mas para uma família de artigos.

O Sistema GenSYS, através da aplicação do modelo de referência genérica GenPDM, cria referências genéricas, capazes de representar os artigos individuais dentro de uma população, através da associação de parâmetros e valores do tipo de parâmetro. Neste modelo, a BOM e BOO são genéricas e definidas para cada referência genérica.

#### **Referência genérica, parâmetro e variante**

O conceito de referência genérica é utilizado para representar grupos de artigos dentro de uma população, podendo um artigo ser uma matéria-prima, uma ferramenta, um semiacabado ou um produto acabado. A representação gráfica da referência genérica consiste num retângulo, com a identificação da mesma no interior – Figura 7.

O conceito de parâmetro, representado graficamente sob a forma de um losango, permite representar propriedades das referências genéricas. Com a associação de um conjunto de parâmetros à referência genérica, é possível que cada artigo individual seja reconhecido e caracterizado.



Cada referência genérica tem um conjunto de parâmetros associados, contudo através da atribuição de valores a cada um desses parâmetros é possível distinguir os artigos individuais de uma família, isto é, as variantes da referência genérica.

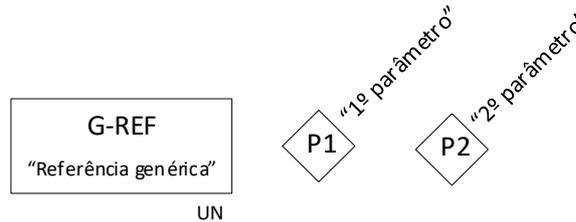


Figura 7 - Representação gráfica de uma referência genérica com os respetivos parâmetros associados – adaptado de Gomes (2014)

### Tipo de parâmetro e característica

O conceito de tipo de parâmetro permite uniformizar os valores associados a cada um dos parâmetros das referências genéricas. Os elementos pertencentes ao seu domínio são designados de valores do tipo de parâmetro. Os tipos de parâmetro são representados graficamente por um duplo losango, e podem ser definidos de duas formas: em extensão e em compreensão. Na definição em extensão, representada na Figura 8 a), é utilizada a letra "L", que significa que o domínio do tipo de parâmetro é definido por uma lista de valores previamente escolhidos pelos utilizadores. Enquanto que na definição em compreensão, representada na Figura 8 b), utiliza-se a letra "V" e é possível, com base no tipo de dados selecionados, por exemplo decimal ou inteiro, obter um conjunto praticamente infinito de valores. De ressaltar que, diferentes referências genéricas podem ter propriedades representadas por parâmetros do mesmo tipo e com domínios de valores semelhantes. Nestes casos basta selecionar dentro do domínio do tipo de parâmetro aqueles que devem fazer parte do parâmetro da referência genérica criada.

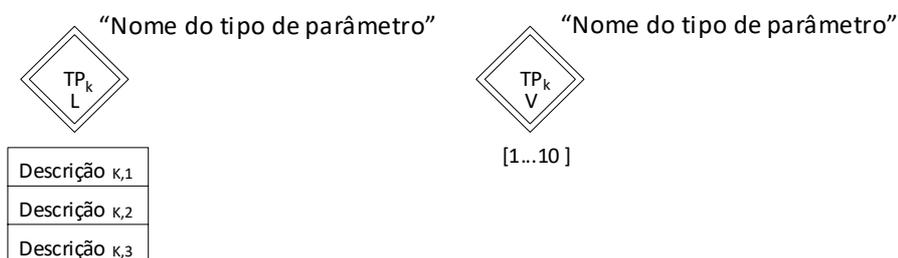


Figura 8 - Representação gráfica de um tipo de parâmetro definido em: a) extensão; b) compreensão – adaptado de Gomes (2014)

Aos tipos de parâmetro definidos em extensão é ainda possível associar características. As características assentam em propriedades que permitem caracterizar o valor dos tipos de parâmetro, e podem ter origem num tipo de parâmetro diferente daquele a que estão a ser associadas. A utilização de



características implica que um valor de um tipo de parâmetro só fique completamente definido quando é atribuído um valor a cada uma das características.

A representação gráfica de uma característica é dada por um quadrado, com a identificação da mesma no interior, conectado com o tipo de parâmetro a que está associada e com o tipo de parâmetro onde teve origem. A Figura 9 representa a característica C1, associada ao tipo de parâmetro  $TP_k$  e com origem no tipo de parâmetro  $TP_x$ .

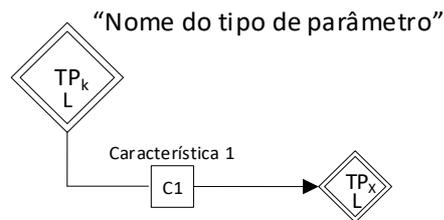


Figura 9 - Representação de uma característica de um tipo de parâmetro – adaptado de Gomes (2014)

As características definidas para os tipos de parâmetro podem ser utilizadas quer nos processos de construção das BOM e BOO genéricas, quer no relacionamento entre parâmetros, quer nas expressões de consumo de componentes e operações genéricos. Nestes casos, utiliza-se a expressão “identificador da característica@identificador do parâmetro” para representar a característica pretendida.

### Tipos de operação

O conceito de tipo de operação permite representar o conjunto de operações realizadas por uma organização. À semelhança do que acontece com as referências genéricas, a cada tipo de operação é possível associar também um conjunto de parâmetros para representar as suas propriedades e, a cada um desses parâmetros é associado um tipo de parâmetro e um domínio de valores válido. A Figura 10, demonstra a representação gráfica de um tipo de operação, um retângulo com os cantos cortados, e os parâmetros que lhe estão associados.

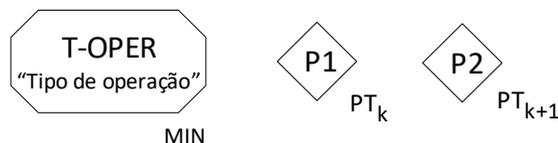


Figura 10 - Representação gráfica de um tipo de operação com os respetivos parâmetros associados – adaptado de Gomes (2014)

As operações realizadas por uma organização podem ser classificadas como produtivas ou não produtivas. Dentro das operações produtivas existem diferentes classificações, no Sistema GenSYS, destacando-se as operações produtivas de execução, de competência e de preparação.



O tipo de operação produtiva de execução permite associar um processo de transformação na BOO de uma referência. A este tipo é possível associar um tipo de operação produtiva de competência. A definição de competências permite agrupar em classes as operações produtivas para que, no médio prazo, seja possível analisar se a capacidade instalada é capaz de satisfazer a capacidade produtiva necessária para cumprir um determinado plano de produção, no período estabelecido.

O tipo de operação produtiva de preparação permite a realização de operações de preparação de recursos. Segundo as necessidades de *setup* dos mesmos, uma equipa de manutenção, realiza as alterações necessárias para que seja possível a execução de determinada operação de transformação.

As operações não produtivas, por sua vez, representam operações que não fazem parte da BOO padrão do artigo e permitem justificar a ocupação do posto. Estas são classificadas em três tipos: paragem, manutenção e preparação. As operações não produtivas de paragem permitem o registo de, nomeadamente, avarias ou falta de componentes no posto, enquanto as de manutenção possibilitam o registo de manutenções preventivas ou corretivas. Por fim, as operações não produtivas de preparação, permitem o registo de um *setup* realizado no posto.

### **Listas de materiais e gamas operatórias genéricas**

Uma BOM genérica é definida para cada referência genérica, e permite a representação da BOM específica de cada uma das variantes da referência genérica. Para a sua criação, devem ser identificados os componentes genéricos consumidos por cada referência genérica e a relação entre os parâmetros da referência genérica e os parâmetros dos seus componentes. Esta relação é estabelecida através da associação de uma expressão a cada parâmetro dos componentes genéricos. A expressão pode representar: 1) um relacionamento direto, em que o parâmetro da referência genérica determina o valor do parâmetro do componente, 2) um valor constante, ou seja, a atribuição de um valor constante ao parâmetro do componente, 3) uma expressão matemática, caso seja necessário representar o relacionamento entre um ou mais parâmetros do componente genérico com os parâmetros da referência genérica, ou 4) por uma característica de um tipo de parâmetro, como referido.

É ainda necessário definir as expressões de consumo de cada um dos componentes genéricos, de modo a determinar a quantidade de cada componente específico, no processo de geração da BOM de uma variante. Este processo é semelhante ao utilizado para estabelecer a relação entre o parâmetro de um componente genérico e os parâmetros das referências.



Na Figura 11 está representada a BOM genérica da referência genérica G-REF<sub>W</sub>, constituída por três componentes genéricos (CG1, CG2 e CG3), com origem em três referências genéricas distintas (G-REF<sub>X</sub>, G-REF<sub>Y</sub> e G-REF<sub>Z</sub>, respetivamente). Os componentes genéricos, quando são associados à BOM genérica mantêm os parâmetros da sua referência genérica de origem – CG1 apresenta um parâmetro (P1), o CG2 dois (P1 e P2) e CG3 três (P1, P2 e P3).

A expressão no parâmetro P1 de CG1 é preenchido por uma característica do parâmetro P1 (C2@P1). Os parâmetros P1 e P3 de CG2 e CG3, respetivamente, são preenchidos por um valor constante, enquanto que os parâmetros P2 de CG2 e os parâmetros P1 e P2 de CG3 resultam de um relacionamento direto entre os parâmetros P2, P1 e P3, respetivamente, da referência genérica G-REF<sub>W</sub>. Relativamente aos consumos, o de CG1 é constante, o de CG2 é determinado por uma soma que relaciona os parâmetros P2 e P3 da G-REF<sub>W</sub> e o de CG3 resulta de uma característica do P1 (C1@P1).

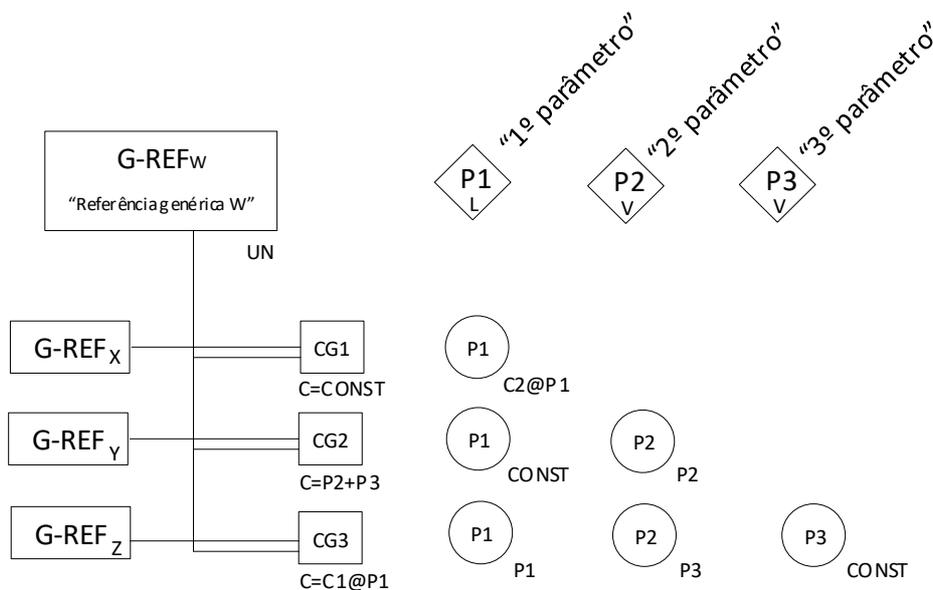


Figura 11 - Representação gráfica de uma BOM genérica – adaptado de Gomes (2014)

À semelhança de uma BOM genérica, uma BOO genérica é definida para a referência genérica e deve representar a BOO específica de cada uma das variantes da referência genérica. Na construção da BOO genérica são associadas à referência genérica as operações genéricas, baseadas em tipos de operação e definidos os consumos de cada uma. Para estabelecer a relação ente o parâmetro da operação e os parâmetros da referência genérica, segue-se o mesmo raciocínio utilizado na construção da BOM genérica. Adicionalmente, são definidos os componentes genéricos consumidos por cada operação genérica, bem como a ordem de realização das operações (precedência das operações).



A Figura 12 representa a BOO genérica da referência genérica G-REF<sub>L</sub>, constituída por duas operações genéricas (OP1 e OP2), com origem em dois tipos de operação distintos (TO<sub>x</sub> e TO<sub>y</sub>). Cada uma das operações genéricas mantém os parâmetros do tipo de operação em que tem origem – OP1 apresenta um parâmetro (P1) e a OP2 dois (P1 e P2).

A relação entre os parâmetros das operações genéricas e da referência genérica é preenchida, no caso do parâmetro P1 da OP1, através de uma característica de P1 (C2@P1), por relacionamento direto no caso do parâmetro P1 da OP2 e com um valor constante para o parâmetro P2 da OP2. Neste exemplo, a expressão de consumo de todas as operações é sempre constante e não depende dos valores dos parâmetros da referência genérica. Devido à relação de precedência existente entre as operações, a OP2 só pode ser realizada depois da OP1.

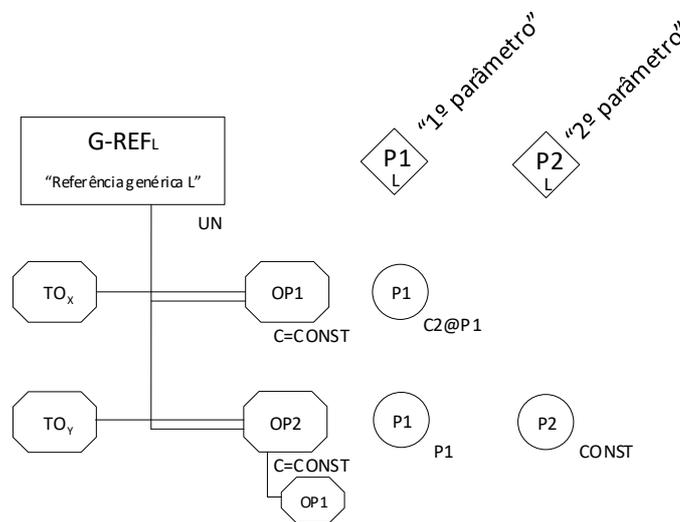


Figura 12 - Representação gráfica de uma BOO genérica – adaptado de Gomes (2014)

Neste exemplo, embora a BOM genérica e a BOO genérica tenham sido apresentadas de forma individual para uma melhor descrição dos conceitos, o modelo GenPDM sugere a sua integração, através da associação dos componentes genéricos às operações genéricas. Deste modo, o utilizador deve definir em que operação genérica são consumidos cada um dos componentes genéricos.

### Atributos

Os atributos representam propriedades que o utilizador pretende associar a qualquer uma das referências genéricas, independentemente dos parâmetros particulares de cada uma delas.

Alguns atributos afetam o comportamento das funções de planeamento e controlo da produção a médio prazo e outros influenciam a programação da produção.



Neste momento importa apresentar, dentro dos vários atributos existentes, aqueles que são necessários para demonstrar as funcionalidades do Sistema GenSYS, no capítulo 4. Relativamente aos atributos que afetam o comportamento das funções de planeamento e controlo da produção a médio prazo destacam-se o *lead time* (LT), o tamanho do lote de planeamento, do inglês *lote size* (LS) e o múltiplo do lote (ML). O LT é definido por artigo e dependendo se este é produzido ou comprado representa o intervalo de tempo entre o início da compra e a chegada do artigo, ou o intervalo de tempo entre o início e o fim da produção. O LS representa a quantidade mínima de produção ou compra e o ML implica uma compra ou produção em múltiplos do LS. Por fim, o tamanho do lote de programação representa a quantidade de cada lote de produção, e influencia a programação da produção.

### 3.2 GenPPC – Planeamento e Controlo da Produção

A área funcional GenPPC inclui todas as funções de planeamento e controlo da produção realizadas num horizonte temporal a médio prazo. Através de um conjunto de funcionalidades permite identificar que artigo deve ser produzido ou comprado, em que quantidades, dentro de que prazos e a quantidade de recursos necessários para a produção deste, de forma a cumprir os prazos estabelecidos e a garantir a satisfação do cliente. Permite ainda que o planeador obtenha informação acerca das movimentações na logística *inbound* e *outbound*.

#### Planeamento das Necessidades de Materiais

Do cálculo das necessidades de materiais, realizado através da técnica MRP, resultam os lançamentos previstos, isto é, as sugestões de ordens de compra ou de produção para o artigo em cada período, tendo em conta as necessidades brutas. As necessidades brutas dizem respeito às quantidades que têm que estar disponíveis de cada artigo, em cada um dos períodos. No cálculo consideram-se as receções programadas, que representam a chegada de encomendas ou a conclusão de ordens de produção em cada período, assim como o stock disponível, e os atributos LT, LS e ML de cada um dos artigos, caso tenham sido definidos.

O Sistema GenSYS, com base nos lançamentos previstos, resultantes do cálculo da necessidade de materiais, propõe as compras que são necessárias fazer aos fornecedores, bem como as ordens de produção a enviar para o chão de fábrica, para satisfazer a encomenda do cliente. Em ambos os casos, as organizações podem aceitar as sugestões feitas pelo Sistema GenSYS, ou proceder às alterações que considerarem necessárias.



Contudo, é importante realizar o planeamento das necessidades de capacidade de modo a garantir que a capacidade instalada é suficiente para cumprir os planos de produção estabelecidos.

### **Planeamento das Necessidades de Capacidade**

O planeamento das necessidades de capacidade, calculado com base nos lançamentos previstos resultantes da execução do planeamento das necessidades de materiais, determina o perfil das necessidades de capacidade para cada um dos centros de trabalho da organização. Cada centro de trabalho agrega o tempo necessário para cada tipo de competência resultante da associação destas às operações produtivas.

O Sistema GenSYS realiza este cálculo através da aplicação da técnica CRP - *Capacity Requirements Planning* e, a partir dos limites de capacidade definidos pelo utilizador, compara as necessidades de capacidade com a capacidade instalada. Os limites de capacidade permitem a visualização gráfica da capacidade necessária em comparação com a capacidade instalada, e apoiam o planeador em processos de tomada de decisão como a necessidade de subcontratar a produção ou a realização de horas extras.

### ***Inbound e outbound***

O Sistema GenSYS integra funções de logística interna e externa. Relativamente à logística externa, permite, através das suas funcionalidades, o acesso a informação relacionada com o que está planeado e o que está a ser executado em relação à logística *inbound* e *outbound*. Relativamente ao planeado, permite a identificação, a médio prazo, de necessidades brutas, lançamentos previstos e receções programadas. No que concerne aquilo que está a ser de facto executado, possibilita um conhecimento, em tempo real, das movimentações relacionadas com o transporte dos artigos.

Deste modo, o Sistema GenSYS reconhece quando as compras efetuadas se encontram prontas no fornecedor, quando saem dos armazéns dos respetivos fornecedores, quando saem da empresa e têm como destinatário o cliente, bem como de cada vez que estas passarem pelas zonas assinaladas como pontos de controlo. Um ponto de controlo é um local, definido pelo utilizador, que permite um rastreio em tempo real do transporte das matérias-primas para a empresa, ou das encomendas para os clientes. Podem ser definidos vários pontos de controlo, como por exemplo, portos marítimos, aeroportos ou centros de distribuição.



### 3.3 GenSFC – Programação e Monitorização da Produção

Esta área funcional inclui a programação da produção, baseada num modelo de produção puxada e na utilização de *kanbans* eletrónicos, e a monitorização da produção.

A programação da produção, num horizonte de planeamento reduzido, tem como função a alocação e sequenciação de trabalhos pelos recursos da organização. Por sua vez, a monitorização da produção permite perceber o estado atual da produção, nomeadamente saber que operações foram realizadas, rastrear quais os componentes que foram utilizados no processo produtivo, bem como identificar tempos não produtivos e respetivas causas.

Nas secções seguintes, são abordados apenas os conceitos relacionados com a programação da produção, no contexto do Sistema GenSYS.

#### 3.3.1 Modelo digital da organização

De modo a caracterizar e parametrizar o sistema produtivo da empresa é necessário reconhecer as propriedades das entidades com as quais a organização tem que lidar. Assim, devem ser parametrizados todos os postos necessários para representar o funcionamento da organização, desde postos normais, que executam operações sobre os artigos, a postos que representam sistemas de transporte, armazéns, clientes, fornecedores, subcontratados e equipas de manutenção.

No Sistema GenSYS, optou-se pela utilização de um conceito – o posto da programação – capaz de representar cada uma das entidades referidas.

#### **Postos da programação**

O posto da programação é um conceito genérico que representa qualquer entidade, interna ou externa, capaz de realizar um trabalho, ou que influencie a realização de um determinado trabalho. Os postos da programação possuem diferentes propriedades. Uma dessas propriedades é a classe do posto, através da qual os utilizadores podem identificar a relação que cada uma das entidades tem com a organização. Em seguida, apresentam-se as classes disponibilizadas pelo Sistema GenSYS:

- Posto interno – Os postos incluídos nesta classe realizam as operações produtivas (de execução) presentes na BOO dos artigos, para os quais se criem ordens de produção. Esta classe inclui postos de trabalho individuais, postos com posições (os componentes são entregues em cada uma das posições), bem como linhas ou células de produção;



- Milkrun – Os postos incluídos nesta classe realizam as movimentações necessárias de artigos/componentes;
- Armazém ou supermercado – Os postos incluídos nesta classe são responsáveis por garantir a disponibilidade de artigos/componentes, cuja entrega torna possível a execução de trabalhos nos postos internos;
- Cliente – Os postos incluídos nesta classe são responsáveis por realizar o pedido da encomenda, e posteriormente a receber;
- Fornecedor – Os postos incluídos nesta classe são responsáveis por satisfazer as compras emitidas;
- Subcontratado – Os postos incluídos nesta classe podem realizar uma ou mais operações da BOO do produto sendo que, os materiais são fornecidos pela empresa que contrata os serviços;
- Manutenção – Os postos incluídos nesta classe, como as equipas de manutenção, permitem a execução de operações produtivas de manutenção e preparação (*setup*). Esta classe define que postos podem realizar uma operação de manutenção preventiva ou corretiva sob os recursos que solicitem a sua intervenção.

Em função da classe definida, o Sistema GenSYS poderá solicitar a definição de propriedades adicionais, de modo a refletir o comportamento real dos postos que se pretende modelar. Destas propriedades destaca-se o tamanho da fila do posto, definido para todas as classes, e as habilidades, definidas para as classes posto interno e manutenção.

O tamanho da fila do posto dita o número máximo de *kanbans* que podem, simultaneamente, existir no posto. De salientar que os *kanbans* cujo trabalho já se encontra em execução são contabilizados no tamanho da fila do posto. A fila do posto consiste na zona de entrada de *kanbans* de cada posto, e a ordem pelo qual os *kanbans* são colocados na fila do posto traduz-se na ordem pela qual estes devem ser executados.

Para que um posto seja capaz de realizar uma operação tem que existir uma correspondência entre as suas habilidades e aquilo que é necessário para a execução da operação. Neste sentido, quer para os postos internos quer para o posto de manutenção, é necessário associar a habilidade ou as habilidades que refletem o que cada um é capaz de realizar. As habilidades são o conjunto dos tipos de operação criados para representar as operações que a empresa pode executar.



## Armazéns

O Sistema GenSYS permite lidar com armazéns internos e intermédios. Os armazéns intermédios são responsáveis por abastecer o armazém interno. Independentemente se o armazém é da propriedade da empresa ou do fornecedor, a empresa tem que obter informações sobre os artigos que se encontram lá armazenados, e em que quantidades.

### Organização dos armazéns

Relativamente à organização dos armazéns, o Sistema GenSYS é capaz de identificar todas as localizações, não sendo necessário espaços pré-definidos para cada artigo. No entanto, é possível definir para cada artigo o local, ou os locais, do armazém destinados a cada um, através da definição de um sistema de codificação de filas (alfanumérico).

Nas filas, é possível indicar qual o número de posições, isto é, quantos “espaços” é que a fila disponibiliza, bem como o número de artigos diferentes que é possível arrumar em cada uma. O Sistema GenSYS permite ainda indicar qual o tipo de organização pretendido, se FIFO (*first in, first out*), LIFO (*last in, first out*) ou livre, isto é, não segue um critério específico. Além disso, permite escolher a cor que ficará associada a cada uma das filas. Desta forma, determinada fila só permite arrumar o artigo ou os artigos, segundo as condições previamente especificadas.

### ***Milkruns***

No Sistema GenSYS os *milkruns* são capazes de reconhecer, a cada momento, quais as movimentações a realizar.

A identificação do conjunto de postos, que estão incluídos nas rotas dos *milkruns*, é definido pelos utilizadores.

O Sistema GenSYS utiliza *kanbans* eletrónicos e considera a existência de dois tipos: *kanbans* de trabalho e *kanbans* de movimentação, podendo o *milkrun* ser responsável por movimentar ambos os tipos.

- *Kanban* de movimentação – Corresponde ao *kanban* de transporte que normalmente se encontra na literatura. Assim, representa uma autorização para a realização de uma tarefa que, neste caso, envolve a movimentação de artigos entre armazéns/supermercados e postos de trabalho. Este tipo de *kanban* identifica o artigo a ser movimentado, a quantidade a movimentar e o destino dessa movimentação.
- *Kanban* de trabalho – No Sistema GenSYS, o conceito de *kanban* de trabalho é generalizado e, dependendo se está associado a um fornecedor ou a um posto de trabalho, assume



comportamentos distintos. No caso de se tratar de um trabalho realizado pelo fornecedor, o *kanban* assume o comportamento referenciado na literatura como *kanban* de fornecedor. Este tipo de *kanban* identifica, junto dos fornecedores, quais os artigos e as respetivas quantidades necessárias e, posteriormente, autoriza o envio destes para a empresa. Por sua vez, se se tratar de uma operação num posto de trabalho, este *kanban* assume o comportamento referido na literatura para o *kanban* de trabalho, consistindo numa autorização para que o posto execute as operações necessárias para produzir a quantidade referida no *kanban*. Descrito o conceito de *kanban* de trabalho, a partir deste momento utilizar-se-á apenas o termo *kanban* para o referenciar.

Com base nos postos que visita, o *milkrun* pode desempenhar diferentes comportamentos, e estes têm que ser devidamente parametrizados no Sistema GenSYS. Em seguida são apresentadas as parametrizações que o Sistema GenSYS disponibiliza aquando da definição da rota dos *milkruns*:

- Ações possíveis para movimentações entre armazéns e postos internos
  - Separar e carregar *kanban* de movimentação – O próprio *milkrun* separa os componentes no armazém e carrega-os no meio de transporte, e transporta-os para o posto interno;
  - Carregar *kanban* de movimentação – O *milkrun* apenas carrega os componentes para o meio de transporte, a responsabilidade de separar os componentes fica a cargo do responsável de armazém;
  - Descarregar *kanban* de movimentação – O *milkrun* descarrega, no posto interno, os artigos provenientes dos armazéns.
- Ações possíveis para movimentações entre postos internos
  - Carregar *kanban* – O *milkrun* carrega os *kanbans* num posto de modo a movimentá-los para o posto indicado para realizar a operação seguinte;
  - Descarregar *kanban* – O *milkrun* descarrega o *kanban* no posto indicado.
- Ações possíveis para movimentações entre postos internos e armazéns
  - Carregar *kanban* – O *milkrun* é responsável por ir recolher os trabalhos aos postos internos;
  - Descarregar e arrumar *kanban* – O *milkrun* é responsável por descarregar e arrumar, no armazém, o trabalho proveniente dos postos internos;



- Descarregar *kanban* – O *milkrun* apenas descarrega o *kanban* no armazém, o responsável de armazém é que irá proceder à arrumação do mesmo;
  - Carregar *kanban* de movimentação – O *milkrun* é responsável carregar no posto o excesso de componentes, e proceder à devolução ao armazém;
  - Descarregar e arrumar *kanban* de movimentação – O *milkrun* descarrega e arruma, nos armazéns, as devoluções de componentes, provenientes dos postos internos;
  - Descarregar *kanban* de movimentação – O *milkrun* apenas descarrega nos armazéns as devoluções de componentes, o responsável de armazém é que irá proceder à arrumação destes.
- Ações possíveis para movimentações na logística *inbound*
    - Carregar *kanban* – O *milkrun* carrega os artigos no fornecedor e pode, também, carregar os artigos num armazém (intermédio ou interno) ou num ponto de controlo;
    - Descarregar *kanban* – O *milkrun* descarrega os artigos no armazém (intermédio ou interno) ou ponto de controlo;
    - Descarregar e arrumar *kanban* – O *milkrun* descarrega e arruma os artigos no armazém (intermédio ou interno) ou ponto de controlo.
- Ações possíveis para movimentações na logística *outbound*
    - Separar e carregar *kanban* de movimentação – O próprio *milkrun* separa os componentes no armazém, carrega-os no meio de transporte e transporta-os para o cliente;
    - Carregar *kanban* de movimentação – O *milkrun* apenas carrega os componentes para o meio de transporte, a responsabilidade de separar os componentes fica a cargo do responsável de armazém;
    - Descarregar *kanban* de movimentação – O *milkrun* descarrega, no posto do cliente, os artigos provenientes dos armazéns da empresa.

De ressaltar que os postos internos podem desempenhar tarefas de transporte, quando parametrizado pelos utilizadores, de modo a resolver situações em que um posto não está incluído em nenhuma das rotas dos *milkruns*.



### 3.3.2 Modelo de programação

Depois de caracterizada a organização, importa perceber o modelo de programação implementado no Sistema GenSYS. Neste sentido, em seguida são apresentados alguns dos principais elementos do modelo GenSFC.

#### Ordens de programação

O Sistema GenSYS é capaz de lidar com os diferentes tipos de documentação utilizados nas organizações, a médio prazo, como encomendas de clientes, compras a fornecedores, ordens de produção e de subcontratação. Com o intuito de normalizar os diferentes tipos de documentos, utiliza o termo ordem de programação, para generalizar todos os tipos de documentos num único conceito. Como se pode verificar pela Figura 13 a), a ordem de programação referencia o artigo, bem como a quantidade de unidades desse artigo. Adicionalmente, possui uma identificação própria, isto é, o Sistema GenSYS atribui um número a cada ordem de programação, o que permite a sua identificação inequívoca.

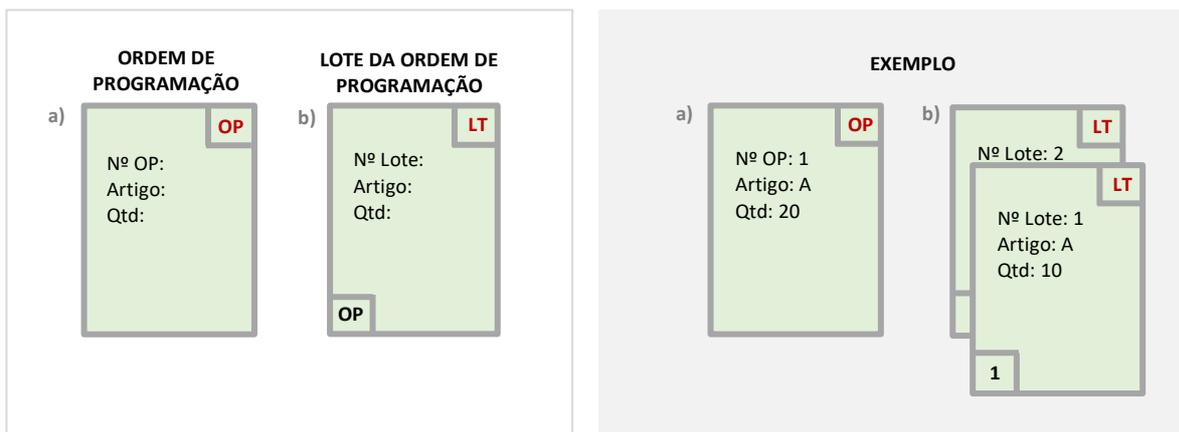


Figura 13 - Representação gráfica de: a) ordens de programação; b) lotes das ordens de programação

#### Lotes das ordens de programação

Associado ao conceito de ordem de programação está o conceito de lote da ordem de programação. A quantidade total do artigo, referenciado pela ordem de programação, pode ser dividida em quantidades mais pequenas constituindo, cada uma delas, um lote da ordem de programação. Cada lote pertencente a uma ordem de programação, possui uma identificação própria dentro dessa ordem de programação e referencia uma quantidade do artigo da ordem de programação, como demonstra a Figura 13 b).

O número de tarefas que têm que ser feitas no contexto de uma ordem de programação é proporcional à quantidade de artigos dessa ordem de programação. Quando uma ordem de programação está dividida em mais do que um lote, um trabalho representa cada uma das operações que têm que ser realizadas



sobre todos os artigos de cada lote. Assim sendo, a quantidade de trabalhos que tem que ser realizada, no contexto de uma ordem de programação, resulta da multiplicação das tarefas definidas na ordem de programação pelo número de lotes que constituem essa ordem.

### Fila do Sistema

A fila do sistema contém todas as ordens de programação e respetivos lotes que existem, num determinado momento, no sistema de programação (Figura 14).

Ao subconjunto da fila do sistema que, a cada momento, se encontra em execução designa-se por ordens ativas ou ordens em execução. Destas ordens, apenas alguns dos seus lotes poderão ser associados a *kanbans*, o que significa que apenas alguns deles terão autorização para serem produzidos ou transformados.

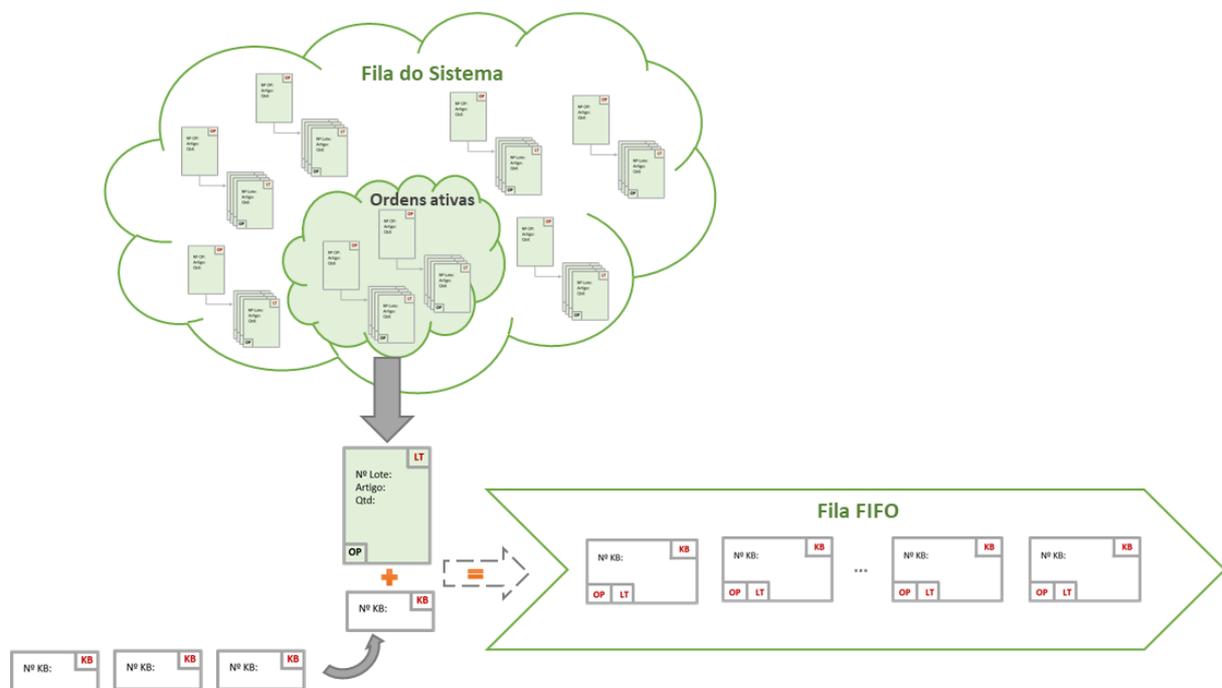


Figura 14 - Representação gráfica da fila do sistema e da fila FIFO

### Fila FIFO

Quando um *kanban* é associado a um lote, conceptualmente entra para a última posição de uma estrutura lógica designada por fila FIFO, Figura 14, que contém a informação sobre todos os *kanbans* de trabalho que circulam no sistema de programação.

Esta fila tem um número de posições pré-definidas, de modo a limitar o número máximo de *kanbans* que podem existir, em cada momento, no sistema de programação.



Sempre que um *kanban* entra na fila FIFO, é analisada a BOO do artigo referenciado pela ordem de programação, são identificadas as operações de precedência existentes, são criados os respetivos trabalhos e identificados os componentes necessários para realizar cada um dos trabalhos.

### Processo de alocação

A alocação dos trabalhos aos postos é feita em função dos *kanbans* que existem na fila FIFO, mas apenas se satisfeitos os seguintes critérios:

- Habilidades do posto – Só é possível alocar um trabalho a um posto se este tiver habilidade para o realizar;
- Estado do posto de trabalho – Os postos de trabalho podem-se encontrar no estado ativo ou inativo. Para que um *kanban* possa ser alocado a um posto de trabalho, este tem que se encontrar no estado ativo;
- Disponibilidade de componentes – Os componentes têm que existir na organização, pois enquanto o Sistema GenSYS não reconhecer a sua existência, o *kanban* nunca será alocado ao posto;
- Operações anteriores realizadas – O Sistema GenSYS apenas irá alocar um *kanban* a um posto depois das operações anteriores estarem realizadas, isto significa que a alocação de um *kanban* a um posto respeita a ordem das precedências, definida previamente na BOO do produto;
- Espaço livre na fila do posto – O tamanho da fila do posto tem um número finito, que deve ser devidamente parametrizado. Assim, se a fila do posto se encontrar completa, só é possível alocar um *kanban* novo ao posto quando outro for terminado.

Considerando a BOM e a BOO de um produto, podem ser necessários componentes para a realização de uma determinada operação. Se o Sistema GenSYS reconhecer a existência dos componentes nos armazéns da empresa, e assumindo que as restantes condições de alocação, referidas anteriormente, já se encontram satisfeitas, procede à alocação do *kanban* e à solicitação dos componentes necessários aos armazéns, sob a forma de *kanbans* de movimentação. Os *kanbans* de movimentação são gerados de modo a solicitar os componentes necessários aos armazéns, e permitem a identificação dos artigos durante a sua movimentação física. No momento em que o componente é incorporado na operação da BOO do artigo, o *kanban* de movimentação é eliminado. De salientar que a ordem pela qual os componentes são movimentados, corresponde à ordem pela qual eles são necessários, em função da data prevista para o início de execução do trabalho a que se destinam.



No caso de a BOO do produto ser composta por mais que uma operação é necessário proceder à movimentação física do *kanban* que se encontra no posto que realizou a operação anterior. Estes movimentos podem ser da responsabilidade dos *milkruns*, ou dos postos de trabalho, como referido anteriormente.

Executada a operação, se todas as operações da BOO já tiverem sido realizadas, o Sistema GenSYS solicita a movimentação do *kanban* para o armazém da referência. Caso contrário é novamente avaliada a BOM e BOO do artigo, de modo a reconhecer qual o posto que vai realizar a próxima operação da BOO e proceder à movimentação dos componentes necessários.





## 4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA GENSYS

O presente capítulo pretende mostrar a solução elaborada para a empresa ZF, desenvolvida no âmbito de uma demonstração do Sistema GenSYS, para apresentação das suas funcionalidades. Contudo, por motivos de confidencialidade, as características específicas, dos artigos da empresa, foram alteradas.

Na secção 4.1 é apresentado o processo produtivo da ZF e na secção 4.2 é descrita a modelação de uma solução para representar os artigos da empresa no Sistema GenSYS, de acordo com o modelo de referência genérica GenPDM. Na secção 4.3 são apresentados os postos criados para representar o modelo digital da organização e na secção 4.4 os fluxos de materiais. Por fim, na secção 4.5 é abordada a forma como a modelação realizada influencia o planeamento e controlo da produção (subsecção 4.5.1), bem como a programação da produção (subsecção 4.5.2).

### 4.1 Descrição do processo produtivo

De um modo resumido, na ZF podem ser produzidos dois tipos de volantes, os volantes que são apenas injetados e os volantes forrados. Os volantes forrados resultam dos volantes injetados que sofrem uma operação adicional na qual são forrados com pele.

A Figura 15 pretende resumir o processo produtivo de um volante, mais concretamente um volante forrado (processo padrão mais completo).

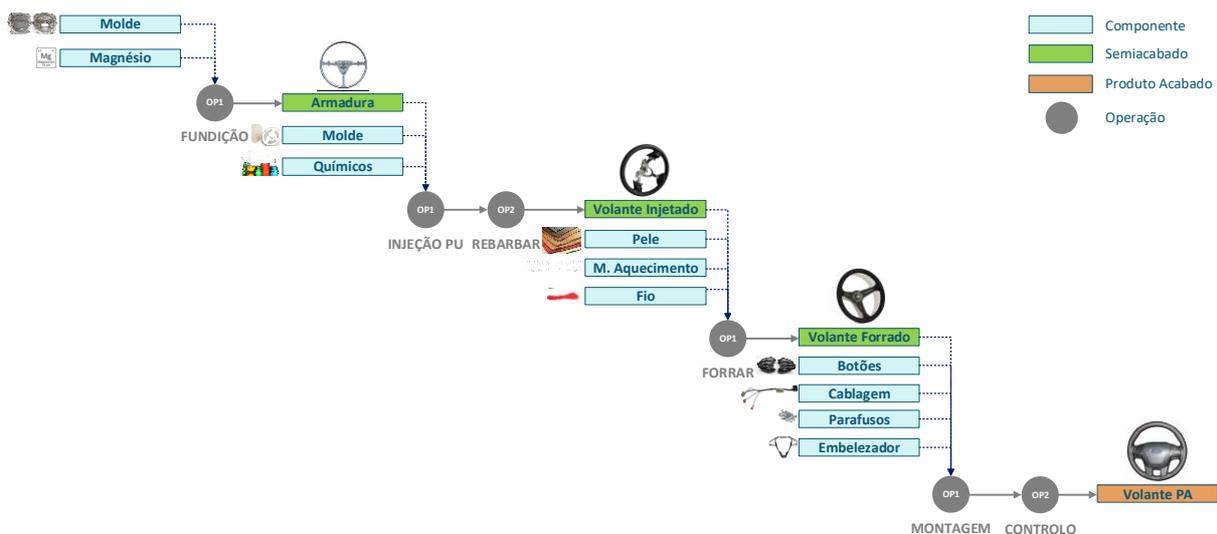


Figura 15 - Processo produtivo de um volante forrado



O processo inicia-se com a operação de fundição, que utiliza os componentes molde (ferramenta) e magnésio, e da qual resulta um semiacabado armadura. A armadura, juntamente com os componentes molde (ferramenta) e químicos, sofre uma operação de injeção PU (Poliuretano), seguida da operação de rebarbar, obtendo-se um semiacabado volante injetado. Este volante pode ser forrado ou ir diretamente para a operação de montagem final, seguida da operação de controlo (estas duas operações são comuns a todos os volantes). No caso deste semiacabado ir diretamente para a operação de montagem final, são introduzidos os componentes botões, cablagem, parafusos e embelezador e, posteriormente, após a realização da operação de controlo, obtém-se um produto acabado – o volante injetado. No caso de se pretender um volante forrado, o semiacabado volante injetado é sujeito a uma operação adicional, na qual é forrado, e onde são utilizados os componentes pele, malha de aquecimento e fio, de modo a dar origem ao semiacabado volante forrado. Posteriormente, o volante forrado deve sofrer as operações de montagem e de controlo, tal como descrito para o volante injetado, originando um outro produto acabado – o volante forrado.

#### 4.2 Modelação dos artigos em GenPDM

Na modelação do exemplo em estudo criaram-se catorze referências genéricas, entre matérias-primas, ferramentas, semiacabados e produto acabado. A título de exemplo é explicado o produto acabado – “VOLANTE PA”, uma vez que esta é a referência genérica com maior relevo para este projeto. As restantes referências genéricas, tipos de parâmetro e tipos de operação criados para esta modelação encontram-se no Apêndice I – Modelo GenPDM do volante.

O “VOLANTE PA”, como representado na Figura 16, é caracterizado pela armadura, pelo tipo de volante, pela cor da pele, pela cor do fio e pelas funções que os botões podem ter – parâmetros da referência genérica. Cada uma destas propriedades pode assumir valores distintos, dependendo do domínio dos tipos de parâmetro a que estão associadas. No caso da pele, o domínio do parâmetro “pele-cor”, associado ao tipo de parâmetro 0006 - cores, deve ser restrito a apenas 3 cores, preto, azul e castanho, uma vez que são as cores admissíveis para o exemplo modelado.

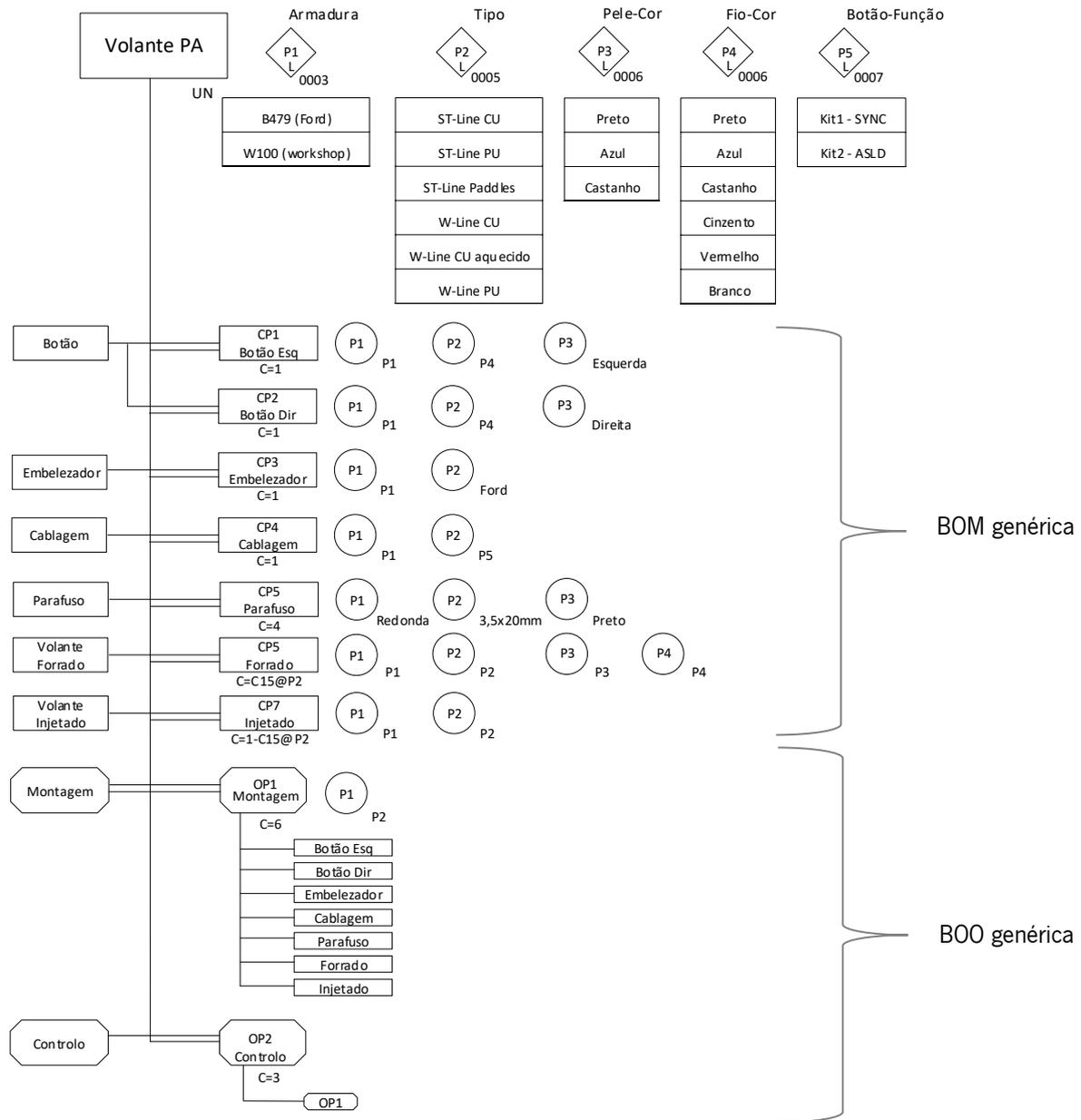


Figura 16 - Representação da referência genérica “VOLANTE PA” e da respetiva BOM e BOO genéricas

Na Figura 16 é possível observar ainda a representação da BOM e a BOO genéricas da referência genérica “VOLANTE PA”.

Neste exemplo, é possível identificar, através da BOM genérica, que o “VOLANTE PA” consome os componentes genéricos botão, embelezador, cablagem, parafuso, podendo consumir o volante forrado ou o volante injetado.

O consumo de botões é constante e igual a 1, os parâmetros armadura e função são obtidos diretamente dos parâmetros da referência genérica, enquanto que o parâmetro que indica o lado em que o botão é colocado é constante, sendo no componente CP1 “esquerdo” e no componente CP2 “direito”. No caso do embelezador, o seu consumo é constante e igual a 1 e o parâmetro armadura é obtido diretamente



do parâmetro da referência genérica, enquanto que a marca é constante e sempre “Ford”. O consumo de cablagem é constante e igual a 1 e os seus parâmetros são preenchidos diretamente através dos parâmetros da referência genérica. No parafuso, o seu consumo é constante e igual a 4, e os seus parâmetros foram definidos como sendo constantes. Relativamente aos componentes volante injetado e forrado, os parâmetros de ambos são preenchidos diretamente através dos parâmetros da referência genérica a que se encontram associados, e a expressão de consumo garante que apenas um dos componentes será consumido, dependendo do produto acabado pretendido. Se se pretender um volante acabado forrado a expressão de consumo é dada pela característica apresentada na Figura 17. Como esta característica encontra-se preenchida com o valor “1” para os tipos de volante forrados, e com “0” para os injetados, significa que quando esta assume o valor “1” é consumido um volante forrado. Por sua vez, no volante injetado a expressão de consumo é dada pelo inverso da característica referida. Deste modo garante-se que o volante forrado só será consumido se se pretender um volante forrado como produto acabado, caso contrário é consumido o componente volante injetado.

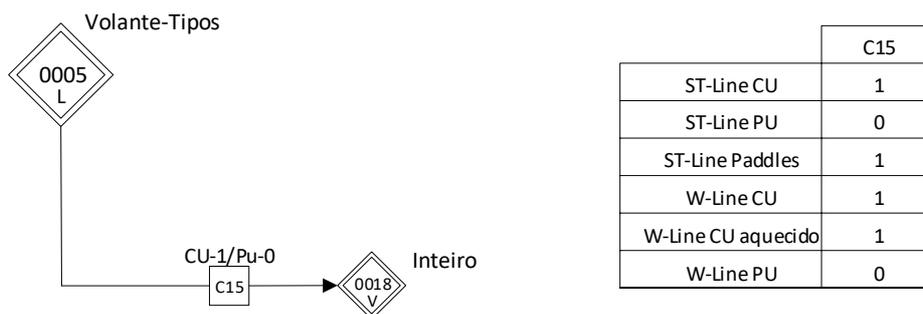


Figura 17 - Característica utilizada nas expressões de consumo dos componentes volantes forrado e injetado

Relativamente à BOO genérica, esta apresenta duas operações: montagem e controlo, associadas a tipos de operações distintos. O consumo de ambas as operações é constante, e a operação de montagem é caracterizada pelo parâmetro “modelo-volante” para disponibilizar ao operador, que executar esta operação, a informação necessária sobre o volante. Este parâmetro é preenchido diretamente pelo parâmetro da referência genérica a que se encontra associado (P2). É ainda possível verificar que todos os componentes são consumidos na operação de montagem, e que a operação de controlo só pode ser realizada após a operação de montagem.

Apesar da utilização de BOM e BOO genéricas, o Sistema GenSYS consegue gerar a BOM e a BOO específicas para cada variante.



Na Figura 18 estão representadas a BOM e a BOO específicas da variante ARMADURA: W100 (Workshop); TIPO: W-Line CU aquecido; COR-PELE: Preto; COR-FIO: Vermelho; BOTÕES-FUNÇÃO: Kit2-SYNC+ASLD da referência genérica “VOLANTE PA”.

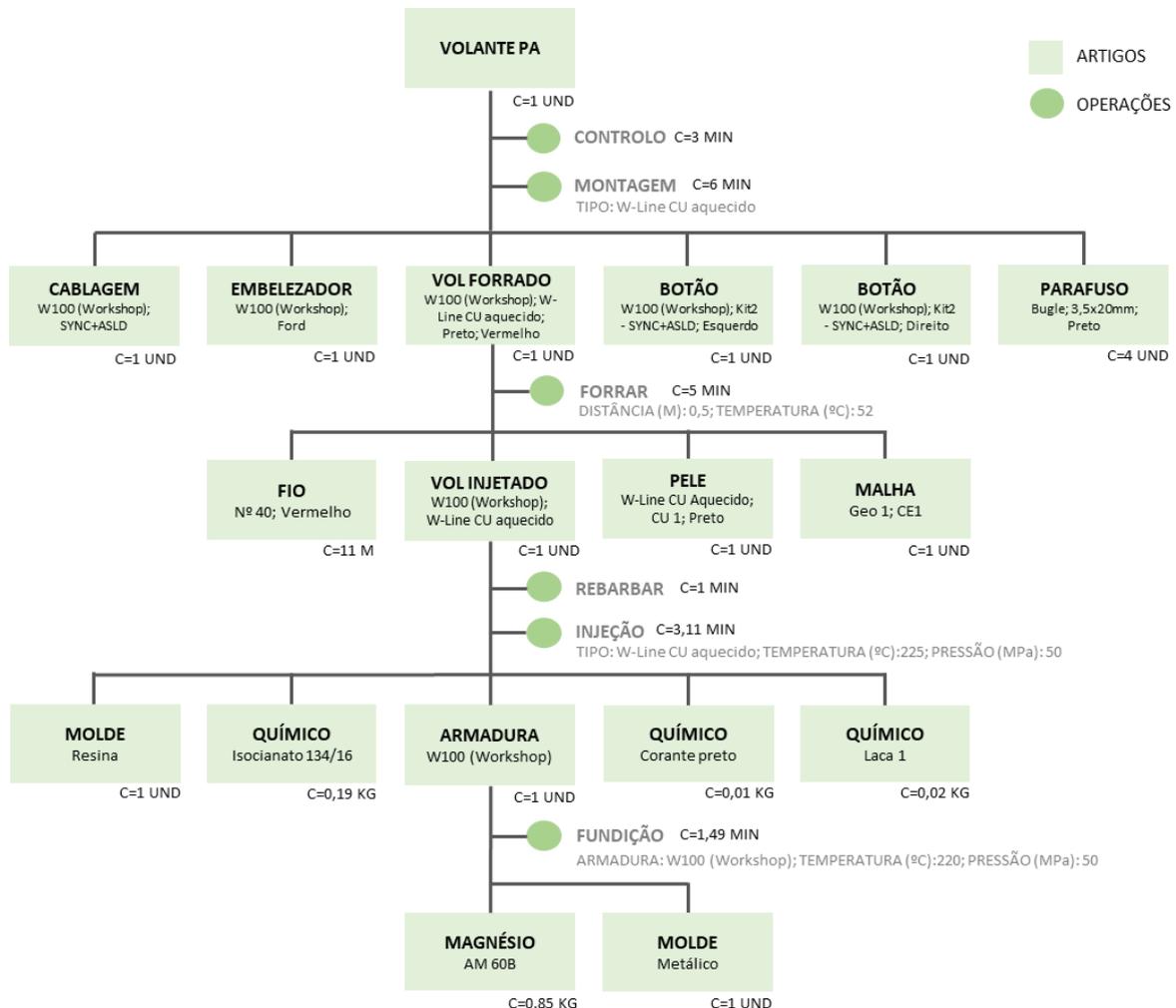


Figura 18 - Exemplo da BOM e GOO específicas de uma variante da referência genérica “VOLANTE PA”

A título de exemplo, para se obter uma unidade da variante mencionada é necessária a produção de uma unidade de armadura da variante MODELO: W100 (Workshop). Por sua vez, para se obter uma unidade desta armadura é necessário 0,85 Kg de magnésio da variante TIPO: AM 60B, bem como uma unidade da ferramenta molde da variante TIPO: Metálico e proceder à realização da operação de fundição, da variante ARMADURA: W100 (Workshop); TEMPERATURA (°C): 220; PRESSÃO (MPa): 50, que tem a duração de 1,49 minutos. A descrição de cada uma das variantes dos componentes utilizados para obter a variante pretendida encontra-se resumida na Tabela 1.

Adicionalmente, na Tabela 1, é disponibilizada informação sobre os atributos definidos no contexto deste projeto: o LT, o LS, ML e o tamanho do lote de programação de cada um dos artigos.



Tabela 1 - Descrição das variantes dos componentes do “VOLANTE PA” e atributos dos mesmos

Variante da Referência	Descrição da Variante	Atributos			
		Médio Prazo		Curto Prazo	
		LT	LS	ML	Tam Lote Prog
VOLANTE PA	ARMADURA: W100 (Workshop); TIPO: W-Line CU aquecido; COR-PELE: Preto; COR-FIO: Vermelho; BOTÕES-FUNÇÃO: Kit2-SYNC+ASLD	3	0	N	50
VOLANTE FORRADO	ARMADURA: W100 (Workshop); TIPO: W-Line CU aquecido; COR-PELE: Preto; COR-FIO: Vermelho	3	0	N	100
VOLANTE INJETADO	ARMADURA: W100 (Workshop); TIPO: W-Line CU aquecido	3	0	N	100
ARMADURA	MODELO: W100 (Workshop)	3	0	N	100
PARAFUSO	CABEÇA: Bugle; TAMANHO: 3,5x20mm; ACABAMENTO: Preto	5	1000	S	0
EMBELEZADOR	ARMADURA: W100 (Workshop); MARCA: Ford	5	0	N	0
CABLAGEM	ARMADURA: W100 (Workshop); TIPO-BOTÃO: SYNC+ASLD	5	0	N	0
BOTÃO	ARMADURA: W100 (Workshop); FUNÇÃO: Kit2 - SYNC+ASLD; BOTÃO D/E: Esquerdo	5	0	N	0
BOTÃO	ARMADURA: W100 (Workshop); FUNÇÃO: Kit2 - SYNC+ASLD; BOTÃO D/E: Direito	5	0	N	0
PELE	VOLANTE-TIPO: W-Line CU Aquecido; TIPO-PELE: CU 1; COR: Preto	5	0	N	0
FIO	TIPO: Nº 40; COR: Vermelho	5	500	S	0
QUÍMICO	TIPO: Isocianato 134/16	5	5	S	0
QUÍMICO	TIPO: Corante preto	5	5	S	0
QUÍMICO	TIPO: Laca 1	5	5	S	0
MOLDE	TIPO: Metálico	5	0	N	0
MOLDE	TIPO: Resina	5	0	N	0
MALHA DE AQUECIMENTO	GEOMETRIA: Geo 1; CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS: CE1	10	0	N	0
MAGNÉSIO	TIPO: AM 60B	5	50	S	0

Com a representação dos artigos através da referência genérica, proporcionada pelo Sistema GenSYS, a empresa beneficia de uma redução drástica no número de artigos que é necessário criar para representar toda a diversidade que caracteriza o seu processo produtivo. Através da observação da Tabela 2 é possível verificar a discrepância entre os códigos de identificação necessários, para representar cada um dos artigos da empresa, com base na referência direta em comparação com a referência genérica.



Tabela 2 - Comparação número de códigos de identificação necessários na referência direta vs. na referência genérica

Referência direta	Referência genérica
432 códigos de identificação *	1 referência genérica com 5 parâmetros

\*2 armaduras x 6 tipos de volantes x 3 cores de pele x 6 cores de linha x 2 botões-funções = 432 volantes diferentes

Apesar de no presente trabalho só existir uma comparação acerca do número de códigos de identificação necessários, note-se que a cada um dos códigos de identificação está associada uma BOM e uma BOO. Se estas associações fossem contabilizadas iriam provocar um incremento acentuado no número de registos necessários para representar todos os artigos da empresa.

### 4.3 Modelação digital da organização

Ao Sistema GenSYS tem que ser fornecida toda a informação necessária para o normal funcionamento da organização, nomeadamente no que concerne às entidades (postos da programação) que a compõe. Apenas na posse desta informação é que é possível caracterizar e parametrizar, no Sistema GenSYS, a realidade da organização.

Para o efeito, criaram-se diversos postos da programação, de diferentes classes – posto interno, *milkrun*, armazém, cliente, fornecedor e manutenção – Figura 19.

Posto interno	<i>Milkrun</i>	Armazém	Cliente	Fornecedor	Manutenção
<ul style="list-style-type: none"><li>• FUNDIÇÃO</li><li>• INJEÇÃO PU</li><li>• REBARBAR</li><li>• FORRAR</li><li>• LINHA DE MONTAGEM</li><li>• CONTROLO</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• MR CHINA</li><li>• MR ALEMANHA</li><li>• MR ESP/PT</li><li>• MR CERVEIRA</li><li>• MR FUNDIÇÃO</li><li>• MR INJEÇÃO</li><li>• MR FORRADO</li><li>• MR MONTAGEM</li><li>• MR PA</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ARM FERRAMENTAS</li><li>• ARM MP</li><li>• ARM ARMADURAS</li><li>• ARM INJETADOS</li><li>• ARM CERVEIRA</li><li>• ARM PELE</li><li>• ARM FORRADOS</li><li>• ARM COMP MONTAGEM</li><li>• ARM PA</li><li>• PORTO DE LEIXÕES</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CLIENTE PARIS</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• F-CHINA</li><li>• F-ALEMANHA</li><li>• F-ESPANHA</li><li>• F-PORTUGAL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• EQUIPA DE MANUTENÇÃO</li></ul>

Figura 19 - Postos existentes na solução modelada



Dos diversos postos criados importa detalhar os das classes posto interno, armazém, fornecedor e manutenção, uma vez que as rotas dos *milkruns* são apresentadas na secção seguinte (secção 4.4) e o posto cliente não necessita de qualquer explicação adicional.

Recorde-se que o Sistema GenSYS só procede à alocação de um determinado *kanban* a um posto da classe posto interno ou manutenção, se este tiver habilidade para o fazer. Relativamente aos postos internos, o posto “FUNDIÇÃO” tem a habilidade necessária para realizar a operação de fundição, Figura 20, da qual resulta o semiacabado armadura.

Posto	Descrição-Posto	Posto Selecionado: FUNDIÇÃO
7	FUNDIÇÃO	
8	INJEÇÃO PU	
9	REBARBAR	
10	FORRAR	
16	LINHA DE MONTAGEM	
17	CONTROLO	

Tipo de Operação	Rendim.(%)	Qtd.Min(LOTE)	Qtd.Max(LOTE)	Qtd.Min(ORDEH)	Qtd.Max(ORDEH)	L.Web	L.Prep
CONTROLO	0	0	0	0	0		
FORRAR	0	0	0	0	0		
<input checked="" type="checkbox"/> FUNDIÇÃO	100	0	0	0	0		
INJEÇÃO PU	0	0	0	0	0		
MANUTENÇÃO CORRETIVA	0	0	0	0	0		
MONTAGEM	0	0	0	0	0		
REBARBAR	0	0	0	0	0		
SETUP MONTAGEM PRODUTIVA	0	0	0	0	0		

Figura 20 - Habilidade do posto "FUNDIÇÃO"

Definidas as habilidades necessárias para os restantes postos internos, dos postos “INJEÇÃO” e “REBARBAR” resulta o semiacabado volante injetado, enquanto que do posto “FORRAR” resulta o semiacabado volante forrado. O posto “LINHA DE MONTAGEM” é responsável por colocar os componentes necessários nos volantes injetados e forrados, enquanto semiacabados, de modo a dar origem aos volantes como produto acabado. De ressaltar que este é um posto especial, uma vez que foram definidas três posições dentro do posto. Esta é uma outra parametrização que o Sistema GenSYS permite, e que possibilita a entrega de componentes distintos em cada uma das posições. Na posição 1 é colocada a cablagem no volante, na posição 2 são colocados o embelezador e os parafusos e na posição 3 são colocados os botões. Por fim, foi criado o posto “CONTROLO” que tem habilidade para fazer uma inspeção, a 100%, da qualidade, aos volantes produzidos pela empresa.

Para os postos internos, foi definido que o tamanho da fila do posto era 10, o que significa que no máximo podem existir 10 *kanbans*, em simultâneo, em cada um dos postos internos. Na maior parte dos casos recomenda-se que o tamanho da fila seja o menor possível para que o sistema possa responder, em tempo real e de forma eficiente, a possíveis imprevistos.



No que concerne ao posto “EQUIPA DE MANUTENÇÃO”, este tem habilidade para realizar o *setup* necessário para que a operação de montagem do volante possa ser executada, bem como a operação não produtiva de avaria quando solicitada.

Relativamente aos armazéns, cada um deles é responsável por armazenar artigos distintos. No armazém de ferramentas (“ARM FERRAMENTAS”) encontram-se armazenados os moldes, quer o molde utilizado para produzir a armadura, quer o utilizado para o volante injetado. No armazém de matérias-primas (“ARM MP”) encontram-se armazenados a malha de aquecimento, o fio, os químicos e o magnésio. O armazém de Cerveira (“ARM CERVEIRA”) guarda a pele e é responsável por abastecer o armazém de pele (“ARM PELE”). No armazém de volantes injetados (“ARM INJETADOS”) encontram-se armazenados os volantes injetados, enquanto semiacabados. No armazém de volantes forrados (“ARM FORRADOS”) os volantes forrados, enquanto semiacabados. No armazém de armaduras (“ARM ARMADURAS”) as armaduras. No armazém de componentes para a montagem (“ARM COMP MONTAGEM”) os botões, os parafusos, a cablagem e o embelezador. E, por fim, no armazém de produto acabado (“ARM PA”) os volantes injetados e forrados, enquanto produto acabado.

No caso dos fornecedores, foram criados quatro, sendo cada um deles responsável por fornecer diferentes matérias-primas. O fornecedor da China (F-CHINA), fornece a malha de aquecimento, o fornecedor da Alemanha (F-ALEMANHA), fornece o embelezador, o fornecedor de Portugal (F-PORTUGAL) fornece a pele e o fornecedor de Espanha (F-ESPANHA) é responsável por fornecer as restantes matérias-primas: moldes, magnésio, químicos, fio, botões, cablagens e parafusos.

#### 4.4 Apresentação dos fluxos de materiais

Para o normal funcionamento da ZF são necessárias matérias-primas provenientes de fornecedores de diferentes destinos, como referido definiram-se fornecedores em quatro países distintos: China, Alemanha, Espanha e Portugal.

Assim como são necessárias matérias-primas provenientes de diferentes origens, também são necessários diferentes meios, para fazer o transporte destas para a empresa, como demonstra a Figura 21. Exemplificando, as matérias-primas provenientes da China são transportadas através de um navio, *milkrun* China (“MR CHINA”), para o porto de Leixões sendo, posteriormente, transportadas por um camião, *milkrun* “MR ESP/PT”, a partir deste para os armazéns internos da empresa.

Relativamente à matéria-prima proveniente do fornecedor português, importa referir que esta é armazenada num armazém intermédio – o armazém “ARM CERVEIRA”, que está sob o domínio da



empresa. Este armazém é responsável por abastecer, quando solicitado, um dos armazéns internos da empresa.

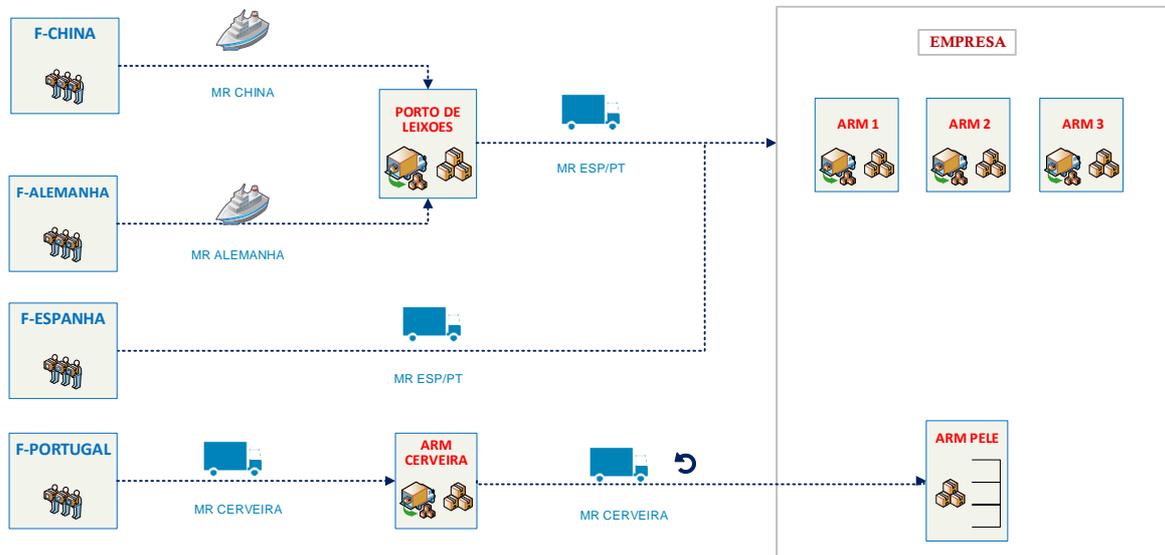


Figura 21 - Fluxos na logística *inbound*

A Figura 22 representa todos os movimentos internos necessários para obter o produto acabado volante.

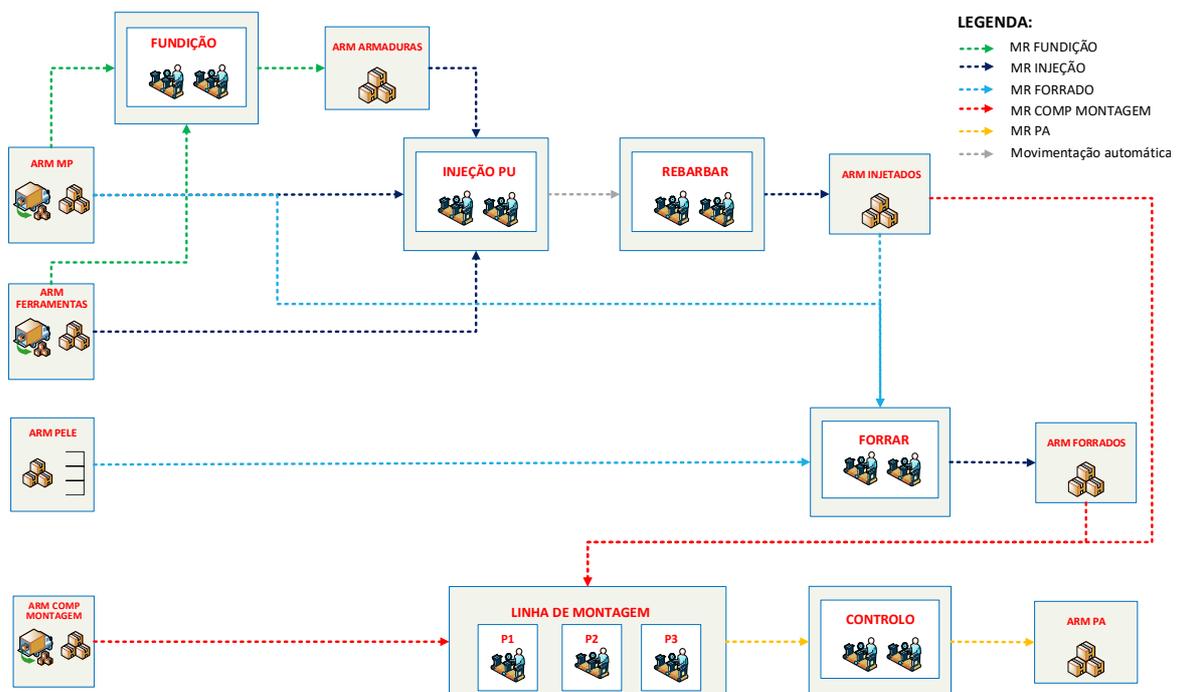


Figura 22 - Fluxos logísticos internos



Considerando que as matérias-primas já se encontram nos armazéns internos da empresa, estas são movimentadas para os postos de trabalho, de acordo com as necessidades destes. Quando o trabalho já tiver sido realizado no posto, este pode implicar um movimento para outro posto, ou para o armazém da referência. A título de exemplo, para realizar o trabalho no posto “FUNDIÇÃO” são necessários componentes provenientes do armazém “ARM MP” e do armazém “ARM FERRAMENTAS”, sendo ambas transportadas pelo *milkrun* “MR FUNDIÇÃO”. Posteriormente, o mesmo *milkrun*, depois de realizado o trabalho no posto, realiza a movimentação deste para o armazém “ARM ARMADURAS”. Destaque ainda para o movimento entre o posto “INJEÇÃO” e o “REBARBAR”, que não é da responsabilidade de nenhum dos *milkruns* devido à proximidade entre os postos.

Depois de produzida a encomenda esta é expedida para o cliente, de acordo com a rota apresentada na Figura 23.



Figura 23 - Fluxo na logística *outbound*

## 4.5 Resultados da utilização do modelo

Nesta secção são descritos os processos de planeamento e controlo da produção (secção 4.5.1) e programação da produção (secção 4.5.2), de acordo com os modelos GenPDM e digital da organização, e os fluxos de materiais, apresentados nas secções anteriores.

### 4.5.1 Planeamento e controlo da produção

Através do módulo GenPPC, é possível criar uma encomenda para uma variante específica da referência genérica. A Figura 24 representa o processo de criação de uma encomenda de 100 unidades da variante do volante especificada anteriormente.

Descrição	Valor
ARMATURA:	W100 (Workshop)
TIPO:	W - Line CU calefactado
PELE-COR:	Preto
FIO-COR:	Vermelho
BOTÃO-FUNÇÃO:	Kit2 - SYNC + ASLD
Qtd [UN]	100
Preço:	0

Figura 24 - Lançamento de uma encomenda por variante



Com base na necessidade de garantir a existência destas 100 unidades de volante, tendo em conta a BOM e os atributos dos artigos e considerando que não existe *stock* de nenhum dos artigos, o Sistema GenSYS efetua o cálculo das necessidades de materiais. Da aplicação da técnica MRP resultam os lançamentos previstos, isto é, as compras a emitir (Figura 25) e as ordens de produção a iniciar (Figura 26) para satisfazer a encomenda.

D.Início	D.Fim	Descrição-Refer.	Var Ref.	Descrição-Variante	Quant.	Saldo	UQT	T.Doc.
23/01/2020	28/01/2020	PARAFUSO	00001	HEAD: Bugle;SIZE: 3,5x20mm;FINISHING: Black;	1000	1000	UN	AQS
23/01/2020	28/01/2020	EMBELEZADOR	00001	ARMATURE: W100 (Workshop);BRAND: Ford;	100	100	UN	AQS
23/01/2020	28/01/2020	CABLAGEM	00001	ARMATURE: W100 (Workshop);SWITCH - TYPE: SYNC + ASLD;	100	100	UN	AQS
23/01/2020	28/01/2020	BOTÃO	00001	ARMATURE: W100 (Workshop);FUNCTIONS: Kit2 - SYNC + ASLD;SWITCH L/R: Left;	100	100	UN	AQS
23/01/2020	28/01/2020	BOTÃO	00002	ARMATURE: W100 (Workshop);FUNCTIONS: Kit2 - SYNC + ASLD;SWITCH L/R: Right;	100	100	UN	AQS
20/01/2020	25/01/2020	PELE	00001	STEERING WHEEL - TYPE: W - Line CU calefactado;LEATHER - TYPE: CU 1;COLOUR: Black;	100	100	UN	AQS
20/01/2020	25/01/2020	FIO	00001	TYPE: Nº 40;COLOUR: Red;	1500	1500	M	AQS
17/01/2020	22/01/2020	QUÍMICOS	00001	TYPE: Isocyanate 134/16;	20	20	KG	AQS
17/01/2020	22/01/2020	QUÍMICOS	00002	TYPE: Colorante Negro;	5	5	KG	AQS
17/01/2020	22/01/2020	QUÍMICOS	00003	TYPE: Laca 1;	5	5	KG	AQS
17/01/2020	22/01/2020	MOLDE	00002	TYPE: Resin;	1	1	UN	AQS
15/01/2020	25/01/2020	MALHA AQUECIDA	00001	GEOMETRIE: Geo 1;ELECTRICAL CHARACTERISTIC: EC 1;	100	100	UN	AQS
14/01/2020	19/01/2020	MAGNÉSIO	00001	TYPE: AM 60B;	100	100	KG	AQS
14/01/2020	19/01/2020	MOLDE	00001	TYPE: Metálic;	1	1	UN	AQS

Figura 25 - Sugestões das compras a realizar, resultantes do cálculo MRP

Supondo-se que o cliente pretende que a sua encomenda seja entregue no dia 31 de janeiro, com base na observação da Figura 25, percebe-se que será necessário que a empresa realize a compra de, por exemplo, molde e magnésio no dia 14, para que no dia 19 estes estejam disponíveis e a produção de armaduras possa ser iniciada, e assim sucessivamente. O que significa que a empresa deve efetuar as compras das restantes matérias-primas, dentro dos prazos estabelecidos, para garantir a disponibilidade destas no momento em que são necessárias.

De ressaltar que existem quantidades mínimas de compras pré-determinadas para alguns componentes, como é o caso dos parafusos, do fio e do magnésio. A título de exemplo, no caso dos parafusos, se se observar a BOM da variante escolhida, Figura 18, percebe-se que, por cada unidade produzida, apenas são consumidos 4 parafusos, o que implica que para produzir 100 unidades de volantes sejam necessários apenas 400 parafusos. Contudo, o Sistema GenSYS sugere a compra de 1000 parafusos, pois, com base no atributo LS (Tabela 1), esta é a compra mínima a realizar para este componente. Do mesmo modo, existem componentes que têm que ser adquiridos em múltiplos do seu tamanho de lote, como é o caso dos químicos, do fio e do magnésio, em que o valor do atributo ML assume o valor sim (S) – Tabela 1. No caso do fio, por exemplo, apesar do LS ser 500, o Sistema GenSYS sugere uma compra de 1500 metros (500+500+500), uma vez que a necessidade de fio para produzir os 100 volantes é de 1110 metros.



Relativamente às ordens de produção, partindo da observação da Figura 26, verifica-se que para satisfazer a encomenda do cliente, é necessário que a empresa inicie a produção do semiacabado armadura no dia 19, por forma a garantir que no dia 22 possa ser iniciada a produção de volante injetado, e assim sucessivamente.

D.Inicio	D.Fim	Descrição-Refer.	Var Ref.	Descrição-Variante	Quant.	Saldo	UQT	T.Doc.
28/01/2020	31/01/2020	VOLANTE PA	00001	ARMATURE: W100 (Workshop);TYPE: W - Line CU calefactado;COLOUR-LEATHER: Black;COLOUR-THREAD: Red;SWITCH - FUNCTION: KIT2 - SYNC - ASLD;	100	100	UN	ORD
25/01/2020	28/01/2020	VOLANTE FORRADO	00001	ARMATURE: W100 (Workshop);TYPE: W - Line CU calefactado;COLOUR-LEATHER: Black;COLOUR-THREAD: Red;	100	100	UN	ORD
22/01/2020	25/01/2020	VOLANTE INJETADO	00001	ARMATURE: W100 (Workshop);TYPE: W - Line CU calefactado;	100	100	UN	ORD
19/01/2020	22/01/2020	ARMADURA	00001	MODEL: W100 (Workshop);	100	100	UN	ORD

Figura 26 - Sugestões das ordens de produção a lançar, resultantes do cálculo MRP

Adicionalmente, o Sistema GenSYS procede ao cálculo das necessidades de capacidade, tendo em conta as competências associadas aos tipos de operação. Para cada uma das competências definiram-se três limites de capacidade e associaram-se cores distintas: 1) inferior a 50%, a verde, 2) entre 50 e 100%, a amarelo, e 3) mais de 100%, a vermelho. No terceiro limite a capacidade instalada não é suficiente para fazer face à capacidade produtiva necessária.

A Figura 27 representa o resultado do cálculo das necessidades de capacidade, com base na aplicação da técnica CRP e tendo em conta os limites de capacidades definidos. Considerando que o resultado apresentado na figura se encontra dentro do primeiro limite de capacidade definido, conclui-se que a empresa tem capacidade suficiente para cumprir o plano de produção nas datas sugeridas pelo MRP.

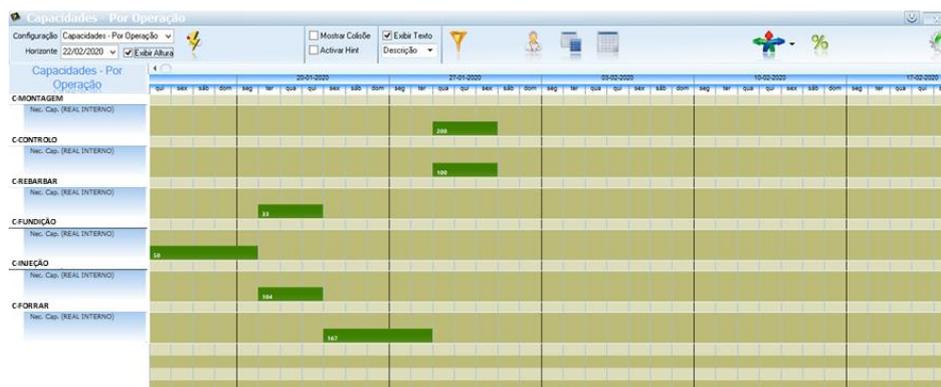


Figura 27 - Resultado do cálculo das necessidades de capacidade resultantes da aplicação da técnica CRP

O Sistema GenSYS, com base nas sugestões do MRP sinaliza, de imediato, na logística *inbound*, todas as compras planeadas, bem como a necessidade do cliente – Figura 28 a). Consoante a legenda de cores definida é possível, a partir da observação do mapa, obter diferentes informações. Na Figura 28 b) encontram-se representadas graficamente as compras enquanto lançamentos previstos, a laranja, e a



necessidade bruta do cliente, a vermelho, destacada na Figura 28 c). De salientar que possíveis atrasos também são devidamente sinalizados, através de uma curva, como é o caso do exemplo representado na Figura 28 d), onde é possível observar um lançamento previsto atrasado.

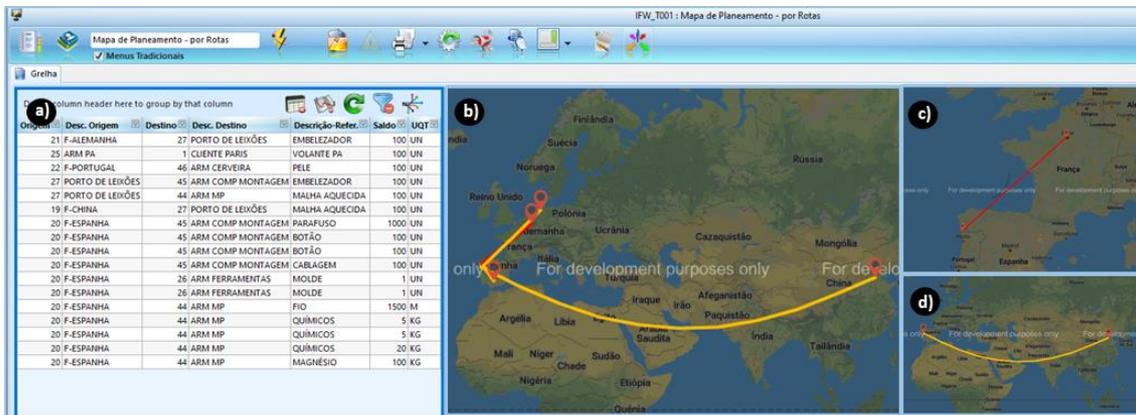


Figura 28 - Sugestões de compras na logística *inbound* a médio prazo

Da ativação das ordens de compra resulta uma alteração da informação apresentada no gráfico da logística *inbound*. Como se pode observar pela Figura 29 as compras, enquanto receções programadas, assumem a cor verde, mantendo-se a necessidade bruta, uma vez que esta ainda não foi satisfeita.

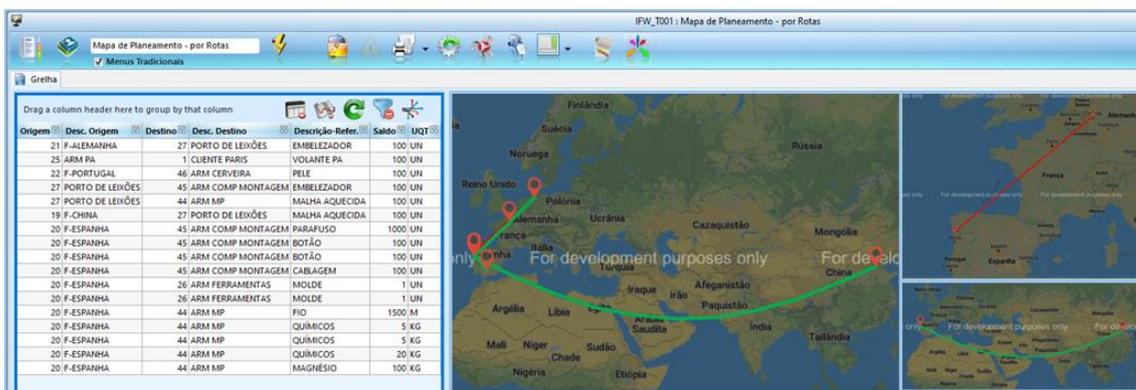


Figura 29 - Logística *inbound* a médio prazo, depois de efetivadas as compras

#### 4.5.2 Programação da produção

Depois de realizadas as compras aos fornecedores, o Sistema GenSYS atribui automaticamente *kanbans*, associados a lotes das ordens de programação, aos fornecedores. A operação a realizar consiste na solicitação da entrega dos artigos comprados, e os lotes da ordem de programação têm um único trabalho associado, “fornecimento” dos artigos. Recorde-se que estas ordens de programação referenciam uma dada quantidade de um artigo, e podem ser divididas em lotes, como é o caso da pele, representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Ordens de programação, lotes e *kanbans* resultantes das compras efetuadas

ORDENS DE COMPRA				
Referência	Ordem de Programação	Lote	<i>Kanban</i>	Quantidade
EMBELEZADOR	2	1	5	100
PARAFUSO	3	1	6	1000
BOTÃO	4	1	10	100
BOTÃO	5	1	11	100
CABLAGEM	6	1	17	100
MALHA AQUECIDA	7	1	16	100
PELE	8	1	8	50
PELE	8	2	9	50
FIO	9	1	7	1500
QUÍMICO	10	1	12	5
QUÍMICO	11	1	14	5
QUÍMICO	12	1	15	20
MAGNÉSIO	13	1	13	100
MOLDE	14	1	3	1
MOLDE	15	1	4	1

No caso das ordens de produção, depois de ativas, o Sistema GenSYS, através da associação de *kanbans* aos lotes das ordens de programação, autoriza a produção sobre cada um dos lotes das ordens de programação, atribuindo *kanbans* aos postos internos – Tabela 4.

Tabela 4 - Ordens de programação, lotes e *kanbans* resultantes das ordens de produção

ORDENS DE PRODUÇÃO					
Referência	Ordem de Programação	Lote	<i>Kanban</i>	Quantidade	Posto Interno
VOLANTE	16	1	18	50	CONTROLO
VOLANTE	16	2	19	50	CONTROLO
VOLANTE	16	1	18	50	MONTAGEM
VOLANTE	16	2	19	50	MONTAGEM
FORRADO	17	1	21	100	FORRAR
INJETADO	18	1	20	100	REBARBAR
INJETADO	18	1	20	100	INJEÇÃO
ARMADURA	19	1	22	100	FUNDIÇÃO



Por forma a garantir a chegada das matérias-primas aos armazéns da empresa, o Sistema GenSYS tem integrado um sistema de transporte capaz de realizar todas as movimentações necessárias. Adicionalmente, como referido, o sistema permite um acompanhamento, em tempo real, dos movimentos realizados.

A título de exemplo, vai ser analisada a rota apresentada na Figura 21 para o fornecedor da Alemanha. Na Figura 30 a) é possível verificar o momento em que o fornecedor “F-ALEMANHA” indica que as matérias-primas se encontram disponíveis para serem carregadas pelo *milkrun* responsável pelo trajeto, o “MR ALEMANHA”.

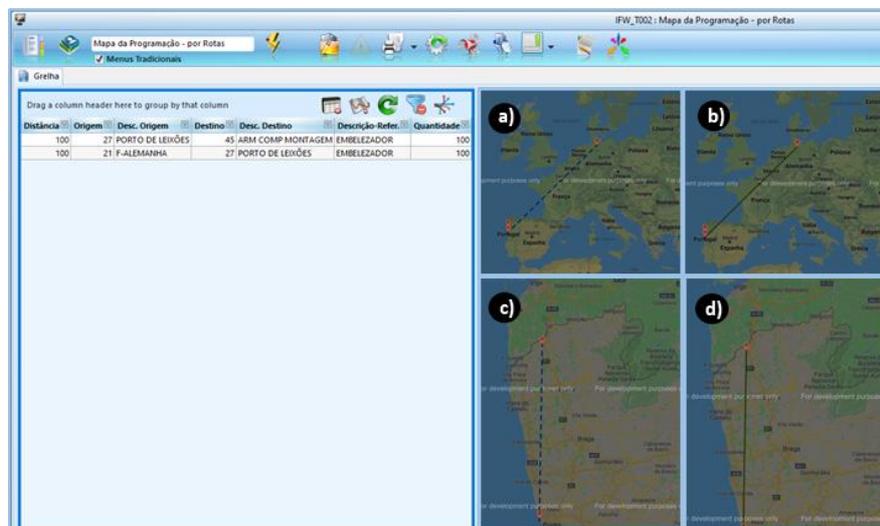


Figura 30 - Representação do estado das matérias-primas: a) disponíveis para serem carregadas no fornecedor; b) em movimento, do fornecedor para o porto de Leixões; c) disponíveis para serem carregadas no porto de Leixões; d) em movimento, do porto de Leixões para a empresa

Neste momento são atribuídos trabalhos ao *milkrun*, Figura 31, de modo a sinalizar a necessidade de realizar o transporte das matérias-primas que se encontram no fornecedor.



Figura 31 - Atribuição de trabalhos ao *milkrun* "MR ALEMANHA"



As matérias-primas vão estar em movimento, no *milkrun* (Figura 30 b)), até serem descarregadas no porto de Leixões, um ponto de controlo parametrizado para o exemplo. Chegadas ao porto de Leixões, quando as matérias-primas estiverem prontas a ser carregadas (Figura 30 c)), são atribuídos trabalhos ao *milkrun* responsável pelo trajeto, “MR ESP/PT”, de modo a proceder à movimentação destas para a empresa (Figura 30 d)).

No caso da rota em análise, as matérias-primas provenientes do fornecedor “F-ALEMANHA” têm como destino o armazém “ARM COMP MONTAGEM”. Este armazém encontra-se parametrizado de acordo com o apresentado na Figura 32 a), apresentando diferentes filas para diferentes artigos, nomeadamente, quatro filas (da B1 à B4) para o armazenamento de embelezador. Cada uma destas filas apenas permite uma posição e um tipo de artigo diferente por fila (o próprio embelezador) e a organização escolhida foi o FIFO.

As matérias-primas, na solução modelada, quando chegam aos armazéns das empresas são devidamente arrumadas nos armazéns, nas respetivas filas. No exemplo o embelezador quando dá entrada no armazém é arrumado, nas filas referidas, e encontra-se parametrizado que é o *milkrun* responsável pelo trajeto, o “MR ESP/PT”, que procede à arrumação desta matéria-prima – Figura 32 b)).

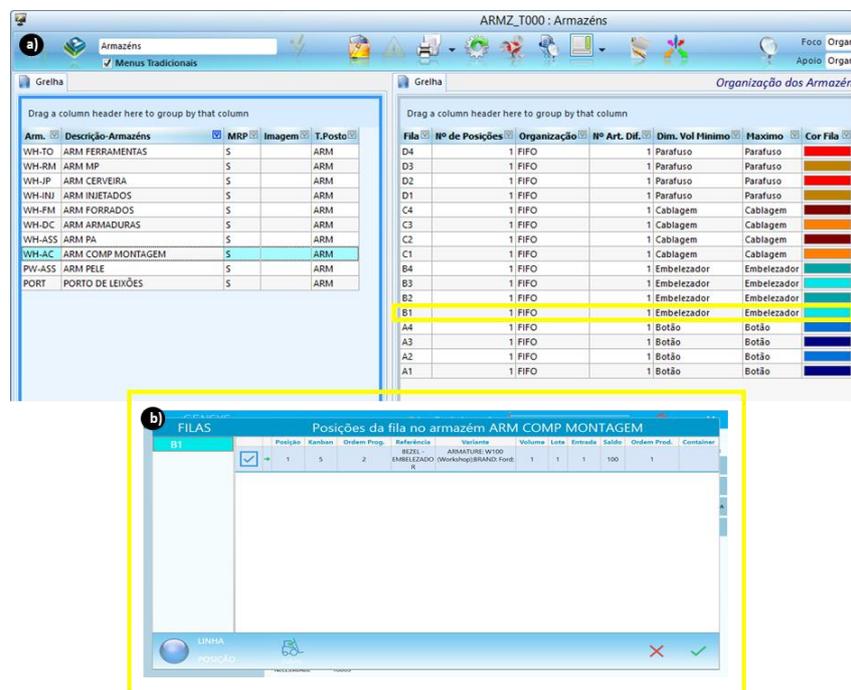


Figura 32 - Armazém "ARM COMP MONTAGEM": a) Organização; b) arrumação do embelezador na respetiva fila, aquando da entrada no mesmo



Do mesmo modo, os *milkruns* “MR CHINA”, “MR ESP/PT” e “MR CERVEIRA” realizam o transporte das restantes matérias-primas necessárias para iniciar o processo produtivo do volante, bem como a arrumação das mesmas quando estas dão entrada nos respetivos armazéns.

Após a receção das matérias-primas necessárias, o Sistema GenSYS permite a realização de uma projecção, de modo a prever e a prevenir possíveis constrangimentos. Através da análise da projecção, a amarelo, Figura 33, é possível verificar quais os tempos previstos para cada operação, os *setups* que são necessários realizar, bem como as precedências existentes entre as operações.

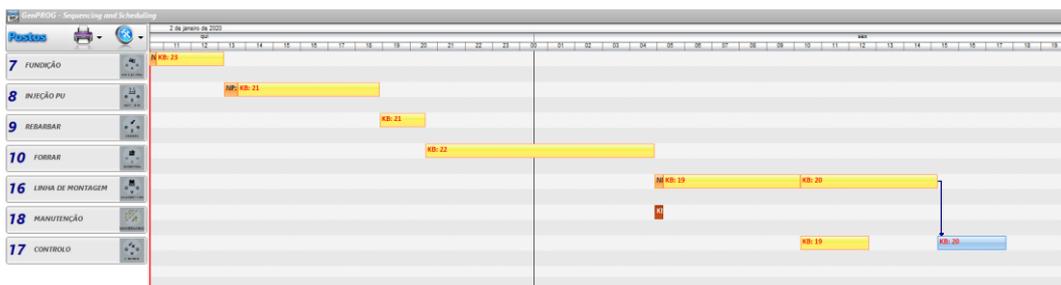


Figura 33 - Projecção

Com a entrada de todas as matérias-primas nos armazéns da empresa, partindo do pressuposto de que o posto se encontra ativo e considerando que a fundição é a primeira operação da BOO do volante, encontram-se reunidas todas as condições necessárias, referidas na secção 3.3.2, para o Sistema GenSYS proceder à alocação automática de trabalhos ao posto “FUNDIÇÃO”.

Na Figura 34 é possível observar que o posto “FUNDIÇÃO” possui o *kanban* 22 alocado ao seu posto, contudo não é possível iniciá-lo uma vez que os componentes ainda não se encontram disponíveis no posto.



Figura 34 - Posto "FUNDIÇÃO" com um *kanban* alocado



Durante a alocação de um *kanban* a um posto para a execução de uma operação, o Sistema GenSYS usa a informação existente na BOM do artigo representado no *kanban* para identificar os componentes necessários e criar, no armazém responsável por cada um desses componentes, os respetivos *kanbans* de movimentação.

A alocação do *kanban* 22 ao posto “FUNDIÇÃO” motivou a criação de dois *kanbans* de movimentação, um para transportar o magnésio e outro para transportar o molde. De modo a concretizar a movimentação destes *kanbans* de movimentação para o posto, são atribuídos trabalhos ao *milkrun* responsável pelo trajeto, o “MR FUNDIÇÃO” (Figura 22). Neste caso o *milkrun* é responsável por separar e movimentar os componentes dos armazéns “ARM MP” e “ARM FERRAMENTAS” para o posto (Figura 35 a) e b)).

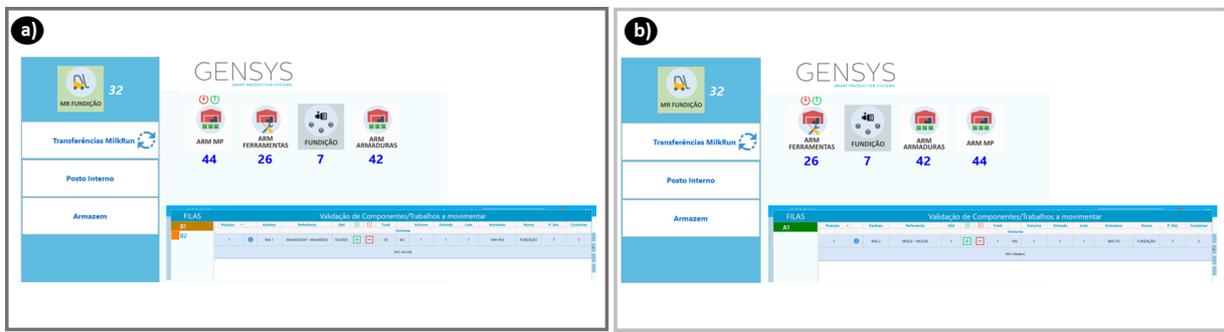


Figura 35 - Movimentação necessária do armazém: a) “ARM MP”; b) “ARM FERRAMENTAS”

Após a movimentação, é possível iniciar o *kanban* 22. No momento em que um *kanban* é iniciado, o Sistema GenSYS mostra uma janela de validação, de modo a informar o colaborador acerca do trabalho que vai iniciar. No caso do exemplo, a janela de validação, representada na Figura 36, informa sobre a temperatura e a pressão a que o trabalho deve ser realizado, bem como sobre a necessidade de realização de um *setup*, neste caso, feito em função do modelo de armadura a produzir.



Figura 36 - Janela de validação apresentada quando se inicia um trabalho



Este *setup* é feito pelo operador do posto, não sendo necessário a presença de uma equipa de manutenção, nem a utilização de componentes adicionais.

Realizado o trabalho, o *kanban* é movimentado e arrumado, pelo mesmo *milkrun*, no armazém da referência, “ARM ARMADURAS”.

Após a realização do trabalho no posto “FUNDIÇÃO” se se realizar uma nova projeção, é possível verificar se a produção ocorreu dentro do tempo definido para a operação. Através da observação da Figura 37, verifica-se que o tempo gasto para a realização do trabalho, representado a azul, foi o esperado, coincidindo, por isso, com o que foi inicialmente projetado, a amarelo.

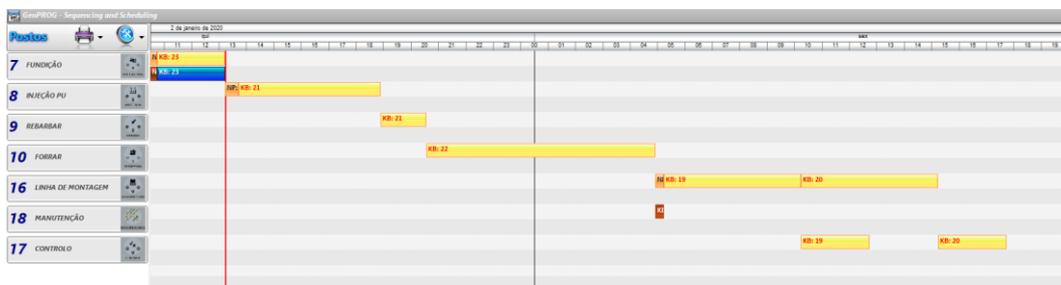


Figura 37 - Nova projeção após a realização do trabalho no posto “FUNDIÇÃO”

Posteriormente, é necessário realizar a operação de injeção. O *kanban* 20 é alocado ao posto e são gerados os *kanbans* de movimentação para movimentar os componentes necessários, os químicos, o molde e a armadura, dos respetivos armazéns. A separação dos componentes dos armazéns e o transporte destes para o posto é da responsabilidade do *milkrun* “MR INJETADO” (Figura 22).

No momento em que o *kanban* é iniciado, a janela de validação, semelhante à apresentada na Figura 36, informa que é necessário realizar um *setup*, feito em função do tipo de volante pretendido. Assim como no caso anterior, este *setup* é feito pelo operador do posto.

Se um operador reconhecer que há algo irregular numa das máquinas, pode recorrer a uma operação não produtiva de avaria, sendo atribuídos trabalhos ao posto com habilidade para o fazer – “EQUIPA DE MANUTENÇÃO”. Caso o operador o faça no posto “INJEÇÃO”, apenas quando a equipa de manutenção terminar o trabalho, é que o posto “INJEÇÃO” volta a estar disponível e o operador pode dar continuidade aos trabalhos.

Partindo da análise da BOO do semiacabado volante injetado, percebe-se que após a realização da operação de injeção é necessário realizar a operação de rebarbar (recorde-se que a movimentação do *kanban*, de um posto para o outro, não é da responsabilidade de nenhum dos *milkruns* – Figura 22). No Sistema GenSYS, um *kanban* mantém-se associado ao lote até que todos os trabalhos, da BOO, estejam



realizados. Percebe-se então o facto de na ordem de programação nº 18 – ver Tabela 4 – o *kanban* 20 manter-se associado ao lote 1 até que sejam realizados os dois trabalhos, especificados na BOO: injeção e rebarbar. Produzidos os volantes injetados, estes são transportados e arrumados, pelo mesmo *milkrun*, “MR INJETADO”, no armazém “ARM INJETADOS”.

Em seguida, como se pretende um volante forrado, o *kanban* 21 é alocado ao posto “FORRAR” e são gerados os *kanbans* de movimentação necessários para movimentar os componentes pele, malha de aquecimento e fio. A separação e movimentação destes componentes é da responsabilidade do *milkrun* “MR FORRADO” (Figura 22). Com a chegada dos componentes ao posto, o *kanban* pode ser iniciado. Realizada a operação, o *kanban* é movimentado e arrumado no armazém “ARM FORRADO” pelo mesmo *milkrun* do trajeto anterior.

Recorde-se que a pele é abastecida por um armazém externo à empresa. No armazém “ARM PELE” existe uma quantidade limitada de pele. No momento em que esta é requisitada para a produção do volante forrado, é necessário proceder à reposição no armazém “ARM PELE”. Para que esta reposição seja efetuada, são atribuídos trabalhos ao *milkrun* “MR CERVEIRA” (Figura 21), nos quais é pedido que este se dirija ao armazém “ARM CERVEIRA” de modo a realizar a reposição do armazém “ARM PELE”.

Posteriormente é necessário realizar a operação de montagem. Considerando que o tamanho do lote de programação definido para o volante é de 50 (Tabela 1) e tendo em conta que a encomenda do cliente é de 100 volantes, significa que, neste caso, irão existir dois lotes, da referência “VOLANTE PA”, no posto “LINHA DE MONTAGEM” (Tabela 4).

Como referido, quando uma ordem de programação está dividida em lotes, um trabalho representa cada uma das operações que tem que ser realizada sobre todos os artigos de cada lote. Através da observação da Figura 38 é possível verificar que, sobre cada um dos lotes, é necessário realizar dois trabalhos, um por cada uma das operações que compõe a BOO do artigo: montagem e controlo.

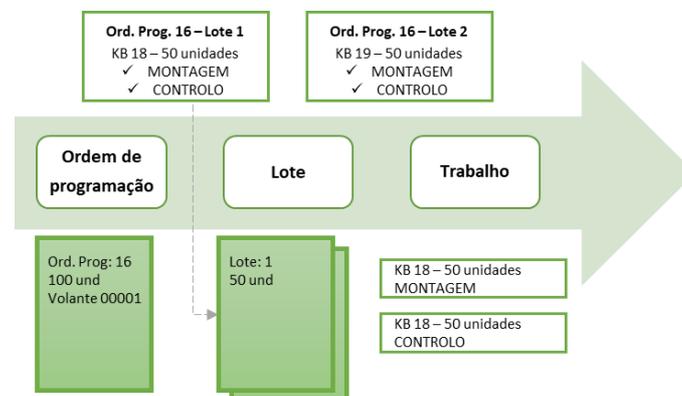


Figura 38 - Demonstração das implicações da divisão em lotes de trabalho



Adicionalmente, como a BOO do “VOLANTE PA” pressupõe ainda a operação de controlo, o *kanban* n° 18 mantém-se associado ao lote até que esta operação seja realizada, como acontece com o “VOLANTE INJETADO”.

A movimentação dos componentes necessários para o posto é da responsabilidade do *milkrun* “MR COMP MONTAGEM” (Figura 22), contudo, neste caso, parametrizou-se que este não seria responsável por realizar a separação dos componentes nos armazéns. O responsável de armazém separa cada um dos componentes e o *milkrun* carrega-os e movimenta-os para o posto.

Recorde-se que o posto “LINHA DE MONTAGEM” é um posto especial com três posições. Através desta parametrização o *milkrun* vai entregar os componentes necessários em cada uma das posições definidas (Figura 39). Deste modo, o trabalho do operador é facilitado, pois em vez de ter todos os componentes disponíveis para todas as posições tem, em cada posição, apenas os componentes que vai utilizar.

Picking By Light												
LinhaMilk	PosiçãoMilk	KANBAN	Armazém	Ordem	Volume	Entrada	Lote	Quantidade	Referência	Descrição da Referência	LocalPosto	
		KM : 17		0	0	0	1	0	WIRE-HARNESS	CABLAGEM	P1	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);SWITCH - TYPE: SYNC + ASLD;			
		KM : 19		0	0	0	1	0	LWSW	VOLANTE FORRADO	P1	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);TYPE: W - Line CU calefactado;COLOUR-LEATHER: Black;COLOUR-THREAD: Red;			
		KM : 23		0	0	0	2	0	WIRE-HARNESS	CABLAGEM	P1	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);SWITCH - TYPE: SYNC + ASLD;			
		KM : 24		0	0	0	2	0	LWSW	VOLANTE FORRADO	P1	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);TYPE: W - Line CU calefactado;COLOUR-LEATHER: Black;COLOUR-THREAD: Red;			
		KM : 16		0	0	0	1	0	BEZEL	EMBELEZADOR	P2	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);BRAND: Ford;			
		KM : 18		0	0	0	1	0	SCREWS	PARAFUSO	P2	<input type="checkbox"/>
									HEAD: Bugle;SIZE: 3.5x20mm;FINISHING: Black;			
		KM : 22		0	0	0	2	0	BEZEL	EMBELEZADOR	P2	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);BRAND: Ford;			
		KM : 14		0	0	0	1	0	SWITCHES	BOTÃO	P3	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);FUNCTIONS: Kit2 - SYNC + ASLD;SWITCH L/R: Left;			
		KM : 15		0	0	0	1	0	SWITCHES	BOTÃO	P3	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);FUNCTIONS: Kit2 - SYNC + ASLD;SWITCH L/R: Right;			
		KM : 20		0	0	0	2	0	SWITCHES	BOTÃO	P3	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);FUNCTIONS: Kit2 - SYNC + ASLD;SWITCH L/R: Left;			
		KM : 21		0	0	0	2	0	SWITCHES	BOTÃO	P3	<input type="checkbox"/>
									ARMATURE: W100 (Workshop);FUNCTIONS: Kit2 - SYNC + ASLD;SWITCH L/R: Right;			

Alterar Local

P1

Figura 39 - Janela de validação das posições em que componentes têm que ser entregues

No momento em que o *kanban* é iniciado, a janela de validação, semelhante à apresentada na Figura 36, informa que é necessário realizar um *setup*, feito em função do tipo de volante pretendido. Ao contrário do que acontece nos casos anteriores, se for necessário realizar o *setup*, este é feito por uma equipa, o que significa que só após a realização deste pela equipa responsável é que o operador



consegue iniciar o *kanban*. Assim, neste momento são atribuídos trabalhos ao posto “EQUIPA DE MANUTENÇÃO” para a realização do *setup*. Feito o *setup*, o operador do posto “LINHA DE MONTAGEM” pode iniciar o *kanban*.

Posteriormente, estes lotes são movimentados, como demonstrado na Figura 22, pelo *milkrun* “MR PA” para o posto “CONTROLO”. Realizada a operação de controlo, o mesmo *milkrun* movimenta os volantes e arruma-os no armazém “ARM PA”.

Depois de produzidos os volantes, estes são entregues, ao cliente, através do *milkrun* “MR EXPEDIÇÃO” (Figura 23).

Assim como permite uma rastreabilidade das matérias-primas que saem dos fornecedores e são transportadas para a empresa, o Sistema GenSYS também permite rastrear, do mesmo modo, os produtos que saem da empresa e têm como destinatário o cliente. A rota também poderia incluir pontos de controlo, contudo, no exemplo não se considerou a existência de nenhum.

Numa fase inicial, o Sistema GenSYS representa este movimento numa reta vermelha (Figura 28 c)), recorde-se que a cor vermelha representa uma necessidade bruta. Posteriormente, depois de produzida a encomenda, quando esta já estiver a ser transportada, pelo *milkrun*, para o cliente, o Sistema GenSYS sinaliza-a da forma representada na Figura 40.

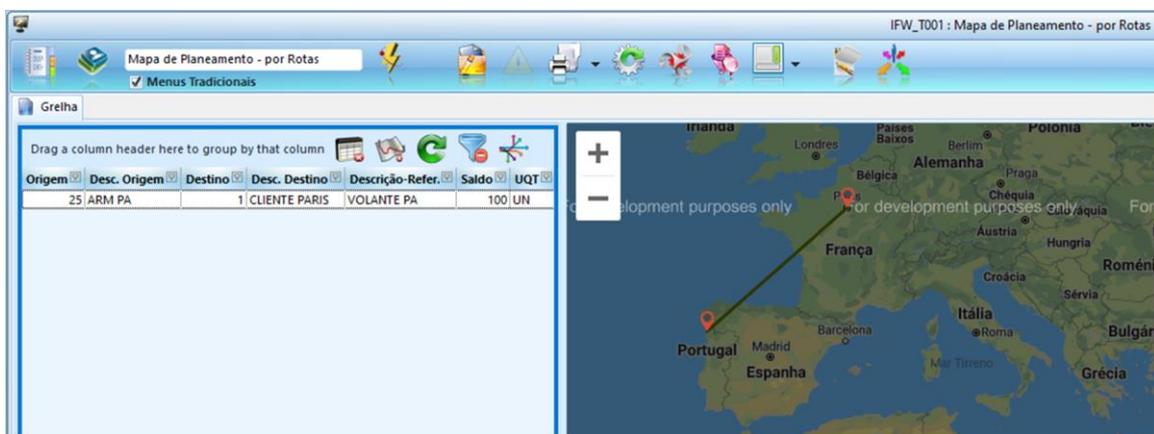


Figura 40 - Representação da encomenda em movimento para o “CLIENTE PARIS”





## 5. CONCLUSÕES

Neste capítulo, na secção 5.1, recuperam-se os objetivos específicos do projeto de dissertação e identificam-se as principais conclusões e resultados obtidos em cada um deles. Adicionalmente, na secção 5.2, são apresentadas as propostas de trabalho futuro.

### 5.1 Principais conclusões

O primeiro objetivo específico consistia em reconhecer os conceitos e modelos implementados nas diferentes áreas funcionais do Sistema GenSYS e identificar a forma como estes podem ser utilizados para representar o sistema produtivo da organização.

O modelo de referência genérica implementado no Sistema GenSYS, modelo GenPDM, ao contrário dos modelos tradicionais de referência direta, permite diferentes formas de modelação dos artigos. Durante a aprendizagem dos conceitos do modelo GenPDM foi possível identificar diferentes alternativas para a modelação dos artigos, BOM e BOO e, depois de várias iterações, foi representada no sistema a solução mais eficiente das várias analisadas. Apesar do tempo necessário para apreender os novos conceitos e para avaliar as implicações das várias alternativas possíveis, o esforço para representar a solução genérica no Sistema GenSYS é muito reduzido, em comparação com o que acontece com a utilização de modelos tradicionais de referência direta.

Os conceitos e funcionalidades explorados sobre parametrizações de postos de trabalho – tamanho da fila e habilidades dos postos – permitiram representar os diferentes comportamentos necessários para refletir de forma fiel o sistema produtivo da organização, e mostrar a aplicação do modelo de programação da produção com base em *kanbans* eletrónicos.

Com o segundo objetivo específico pretendia-se apresentar e avaliar uma proposta de um modelo no Sistema GenSYS para o sistema de produção da organização.

Com base no conhecimento adquirido nas reuniões com a ZF foi possível reconhecer os produtos e operações desta, de modo a modelar uma solução, em GenPDM, para os artigos da empresa. Através desta modelação, obteve-se uma redução considerável dos códigos de identificação necessários para representar os artigos da empresa. Se com a utilização dos modelos tradicionais para a caracterização de artigos seriam necessários 432 registos para representar a diversidade de volantes produzidos pela



empresa, com a utilização do Sistema GenSYS, uma referência genérica com 5 parâmetros revelou-se suficiente para representar a mesma quantidade de artigos.

Com o conhecimento adquirido, foi, igualmente, possível reconhecer as características dos postos da empresa, de modo a representá-los no Sistema GenSYS e a integrar todas as entidades envolvidas no processo produtivo da ZF. Neste sentido, deixam de ser apenas os postos internos o alvo de interesse do sistema de programação e passam a estar incluídos os fornecedores, clientes, armazéns, sistemas de transporte, subcontratados e equipas de manutenção, para uma melhor coordenação e eficiência do processo produtivo.

Uma das condições referidas para a alocação de trabalhos aos postos está relacionada com a disponibilidade dos componentes necessários. Ao fazer a validação deste critério, o Sistema GenSYS garantiu, por exemplo, que a alocação de trabalhos ao posto “FUNDIÇÃO” só se concretizou quando os componentes necessários – molde e isocianato – existiam na organização. Deste modo, a utilização eficiente dos recursos, por parte da ZF, não fica comprometida pela falta de componentes.

A parametrização de posições no posto “LINHA DE MONTAGEM”, descrita no trabalho, é bastante útil principalmente em ambientes com grande diversidade de artigos, como é o caso da ZF. Nestes casos, como o *milkrun* só disponibiliza, ao operador, os componentes necessários para a realização de uma tarefa em específico, a probabilidade de ocorrência de erros na execução das tarefas, por parte deste, diminui.

O terceiro objetivo específico consistia na avaliação da capacidade de resposta do Sistema GenSYS, enquanto *Smart Manufacturing System*, aos requisitos da Indústria 4.0.

Um dos requisitos estava relacionado com a procura crescente por produtos personalizados por parte dos clientes, que tem implicações diretas no aumento da quantidade de informação relativa aos produtos. Foi possível perceber que o Sistema GenSYS, por ser baseado em referência genérica, é capaz de gerir eficazmente esta informação, garantindo que a empresa tem flexibilidade necessária para enfrentar os desafios associados a uma procura individualizada.

Verificou-se ainda que o Sistema GenSYS garante a rastreabilidade das encomendas ao nível da logística *inbound* e *outbound*, permitindo assim uma perceção mais acertada das datas de chegada e entrega dos produtos, de modo a garantir a entrega ao cliente dentro dos prazos estabelecidos. Adicionalmente, comprovou-se a capacidade preditiva do Sistema GenSYS, através da capacidade de realização de uma projeção. Com esta funcionalidade consegue-se “prever o futuro” da produção, o que confere à



organização a capacidade de prever possíveis constrangimentos e agir proactivamente, em vez de reagir apenas quando as intempéries acontecem.

Por fim, foi possível compreender que o Sistema GenSYS, através da integração de um sistema de transporte com as suas funcionalidades, garante uma sincronização entre os componentes disponibilizados e aqueles que são necessários na produção. Assim, os *milkruns* têm trabalhos atribuídos aos seus postos quando existe a necessidade de movimentar componentes dos e para armazéns e/ou postos de trabalho.

## 5.2 Trabalho futuro

O trabalho desenvolvido, permitiu a apresentação e validação de algumas das funcionalidades do Sistema GenSYS. Contudo, ao longo da realização da presente dissertação foram desenvolvidas novas funcionalidades no Sistema GenSYS que necessitam de ser reconhecidas e validadas.

Uma das novas funcionalidades, desenvolvidas recentemente pelo Sistema GenSYS foi a realidade misturada, que deve ser considerada no alcance de vantagem competitiva no âmbito da Indústria 4.0. A realidade misturada permite a interação do mundo físico com o mundo digital, isto é, através da vertente virtual o utilizador consegue obter informações acerca de um determinado objeto físico. Com esta funcionalidade é possível através de, por exemplo, uns óculos específicos revelar os indicadores de um posto interno. Assim, é facilitado o acesso à informação, em tempo real, de forma a que não seja necessário recorrer ao objeto físico para obter a informação pretendida.

A rastreabilidade, funcionalidade oferecida pelo Sistema GenSYS, pressupõe o controlo sobre os movimentos efetuados entre fornecedores e a empresa, e entre a empresa e os clientes. Contudo, apenas é facultada a informação sobre o estado do movimento que está a ser efetuado. Assim sendo, a segunda sugestão de trabalho futuro passa pela criação de um indicador que, tendo em conta a distância que tem que ser percorrida e o tempo médio de transporte, indique o local provável onde as encomendas se encontram. Desta forma, a empresa para além de conseguir reconhecer quando as encomendas estão em trânsito, ou quando se encontram nos fornecedores, clientes ou pontos de controlo, consegue também obter a localização provável, a cada instante, da encomenda.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arbulu, R., Ballard, G., & Harper, N. (2003). Kanban in construction. *International Group for Lean Construction*, (September), 1–12. Retrieved from [http://leanconstruction.dk/media/17574/Kanban in Construction.pdf](http://leanconstruction.dk/media/17574/Kanban%20in%20Construction.pdf)
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143.
- Berg, J. P. van den, & Zijm, W. H. M. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59, 519–528.
- Bonney, M. ., Zhang, Z., Head, M. ., Tien, C. C., & Barson, R. J. (1999). Are push and pull systems really so different? *International Journal of Production Economics*, 59, 53–64.
- Branke, J., Nguyen, S., Pickardt, C. W., & Zhang, M. (2016). Automated Design of Production Scheduling Heuristics: A Review. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20(1), 110–124.
- Carvalho, J. C. de. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (1ª Edição; M. Robalo, Ed.). Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Christopher, M. (2011). *Logistics and Supply Chain management* (Fourth Ed.). Edinburgh: Pearson Education.
- Cichos, D., & Aurich, J. C. (2016). Support of engineering changes in manufacturing systems by production planning and control methods. *Procedia CIRP*, 41, 165–170.
- Coimbra, E. A. (2013). *Kaizen in logistics and supply chains*. McGraw-Hill Educational.
- Courtois, A., Pillet, M., & Martin-Bonnefous, C. (2007). *Gestão da Produção* (5ª Edição; Lidel, Ed.). Lisboa.
- Da Silveira, G., Borenstein, D., & Fogliatto, F. S. (2001). Mass customization: Literature review and research directions. *International Journal of Production Economics*, 1–13.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204(July), 383–394.
- Farahani, R. Z., Rezapour, S., & Kardar, L. (2011). *Logistics Operations and Management - Concepts and Models* (First edit). Elsevier.
- Gomes, J. P. (2014). *Metodologia para apoio à implementação de um modelo de referência genérica de artigos*.
- Gomes, Martins, & Lima. (2009). Analysis of Generic Product Information Representation Models. In *Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*.
- Gomes, Martins, & Lima. (2011). Referência Genérica: Metodologia de Caracterização de Artigos. *Paper Presented at the ENEGI*.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34.
- Jarupathirun, S., Ciganek, A. P., Chotiwankeawmanee, T., & Kerdpitak, C. (2009). Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban: A Case Study. *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 19(1), 40–44.
- Junior, M. L., & Filho, M. G. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 13–21.
- Kain, R., & Verma, A. (2018). Logistics Management in Supply Chain - An Overview. *Materials Today: Proceedings*, 5, 3811–3816.



- Kluska, K., & Pawlewski, P. (2018). The use of simulation in the design of Milk-Run intralogistics systems. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1428–1433.
- Knoll, D., Waldmann, J., & Reinhart, G. (2019). Developing an internal logistics ontology for process mining. *Procedia CIRP*, 79, 427–432.
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- Lima, R. M. (2013). *GIP - Gestão Integrada da Produção, Texto de Apoio*. Universidade do Minho. Departamento de Produção e Sistemas.
- Martins, P. J., & Sousa, R. M. (2013). AN OVERVIEW OF THE GENERIC PRODUCT DATA MODEL GENPDM. *22nd International Conference on Production Research*.
- Metaxiotis, K. S., Askounis, D., & Psarras, J. (2002). Expert systems in production planning and scheduling: a state-of-the-art survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, 253.
- Meyer, A. (2015). *Milk Run Design : Definitions , Concepts and Solution Approaches*. Karlsruhe Institute of Technology (KIT).
- Ramnath, B. V., Elanchezian, C., & Kesavan, R. (2009). Inventory Optimization Using Kanban System : A Case Study. *University Journal of Business*, 1(2), 56–69.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122, 515–533.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. *Boston Consulting*, 62(4), 40–41.
- Samaranayake, P., Ramanathan, K., & Laosirihongthong, T. (2018). Implementing industry 4.0 - A technological readiness perspective. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2017-Decem*, 529–533.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students* (fifth edit). Financial Times Prentice-Hall.
- Scheer, A.-W. (1994). *Business process engineering: reference models for industrial enterprises* (2nd ed.; Springer-Verlag, Ed.). Berlin.
- Sharma, S. K., & Singla, V. (2019). *The effects of Implementation of Kanban System on Productivity: A Case Study of Auto Parts Company*. 18(1), 56–69.
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Satheesh Kumar, R. M. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875–1885. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.341>
- Uhlmann, I. R., Santos, P. P. P., Silva, C. A. de S., & Frazzon, E. M. (2018). Production Rescheduling for Contract Manufacturing Industry based on Delivery Risks. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1059–1064.
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Jacobs, F. R. (2005). *Manufacturing planning and control for supply chain management* (Fifth Edit). Boston: The McGraw-Hill Companies.
- Wan, H., Shukla, S. K., & Chen, F. F. (2009). Pulling the Value Streams of a Virtual Enterprise with a Web-based Kanban System. *Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing*, 317–340.



- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579–584.
- Wiendahl, H.-H., Cieminski, G. Von, & Wiendahl, H.-P. (2005). Stumbling blocks of PPC: Towards the holistic configuration of PPC systems. *Production Planning & Control*, 16(7), 634–651.
- Yang, T., Kuo, Y., Su, C.-T., & Hou, C.-L. (2015). Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 34(1), 66–73.
- Zawadzki, P., & Zywicki, K. (2016). Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept. *Management and Production Engineering Review*, 7(3), 105–112.





## APÊNDICE I – MODELO GENPDM DO VOLANTE

### Tipos de parâmetro

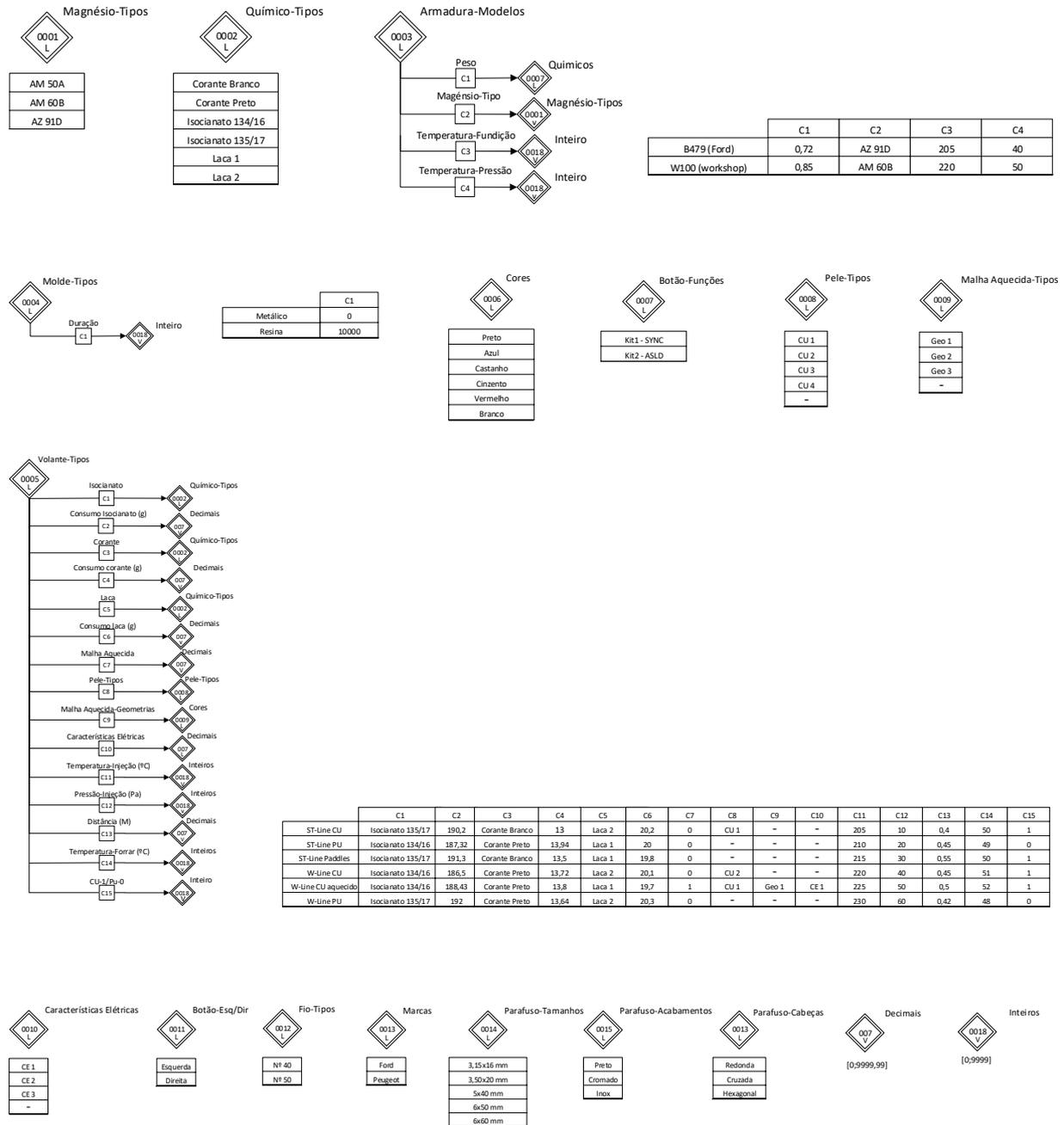


Figura 41 - Modelação, com base no modelo GenPDM, dos tipos de parâmetro



## Tipo de operações

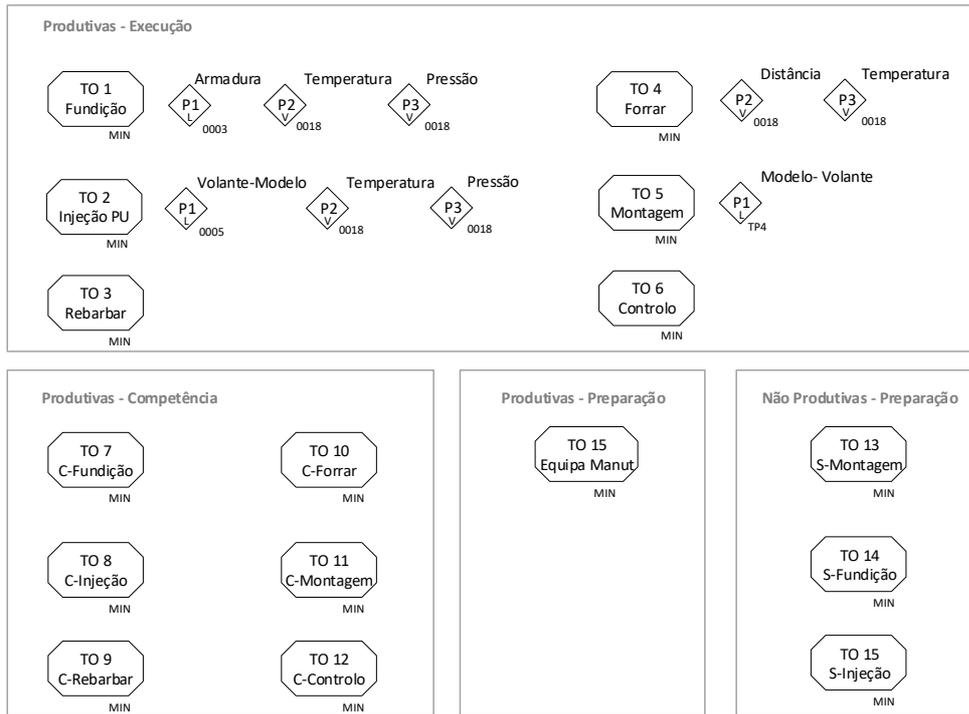


Figura 42 - Modelação, com base no modelo GenPDM, dos tipos de operações

## Matérias-primas

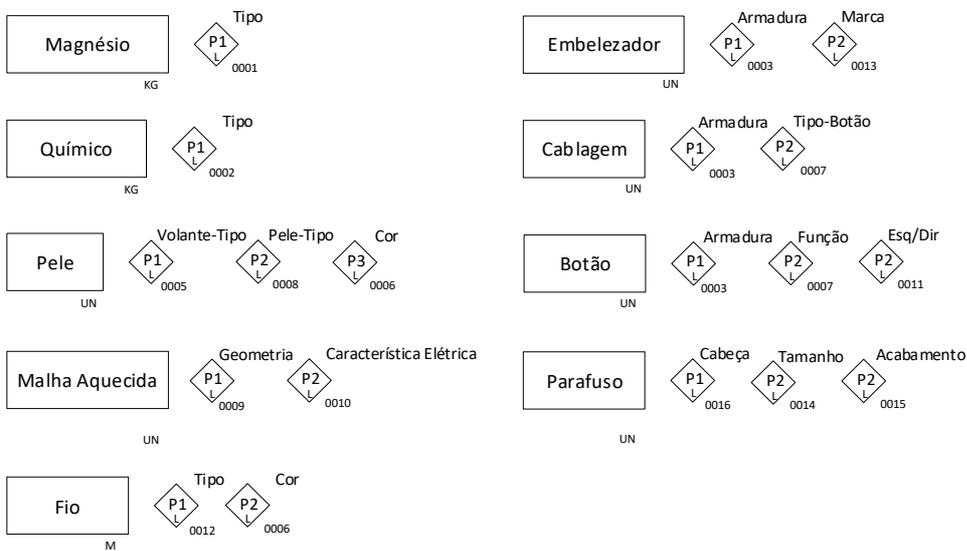


Figura 43 - Modelação, com base no modelo GenPDM, das matérias-primas

## Ferramentas

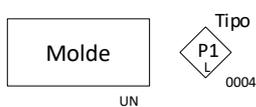


Figura 44 - Modelação, com base no modelo GenPDM, das ferramentas



## Semi-acabados

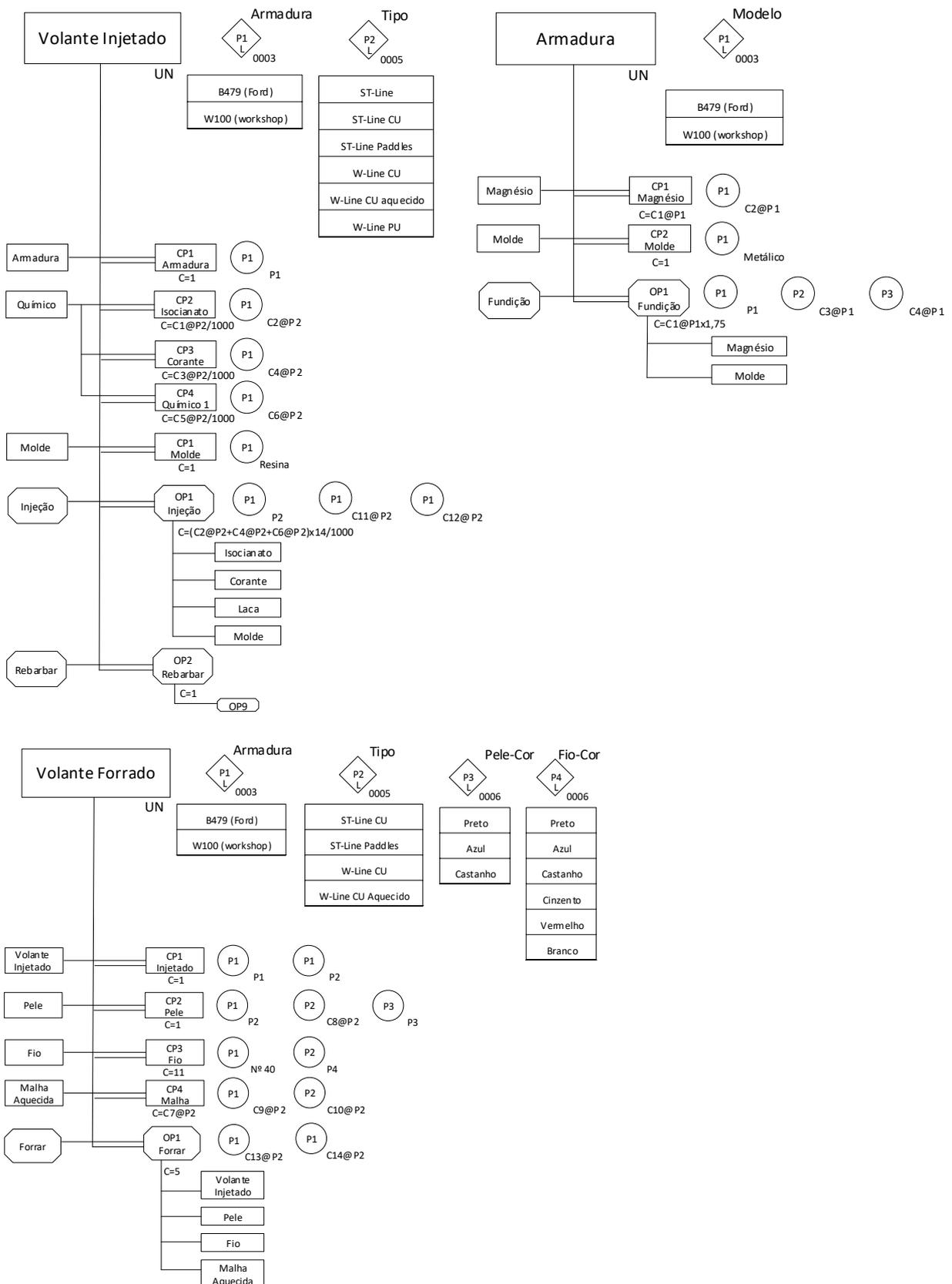


Figura 45 - Modelação, com base no modelo GenPDM, dos semi-acabados