

# **Otimização da Preparação de Encomendas no Centro de Distribuição da Worten**

**João Miguel Ferreira Montalvão dos Santos e Silva**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial**

Orientador:

Prof. Susana Isabel Carvalho Relvas

**Júri**

Presidente: Prof. Mónica Duarte Correia de Oliveira

Orientador: Prof. Susana Isabel Carvalho Relvas

Vogal: Doutor Duarte Nuno Caldeira Cordeiro Dinis

**Janeiro de 2021**

## **Declaração**

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

## **Declaration**

I declare that this document is an original work of my own authorship and that it fulfills all the requirements of the Code of Conduct and Good Practices of the Universidade de Lisboa.

# Resumo

A emergência do comércio *online* veio alterar as expectativas dos consumidores em relação à disponibilidade e apresentação dos produtos, impulsionando a evolução de cadeias de abastecimento tipicamente lineares para cadeias em rede, integrando múltiplos canais de comércio e comunicação (omnicanal) e tornando as operações mais responsivas às necessidades dos clientes.

No maior centro logístico da Worten, o entreposto da Azambuja, rececionam-se, armazenam-se e preparam-se milhares de produtos que variam em dimensão, especificações de manuseamento e tipologia de armazenamento. Conjugando isto com a combinação da preparação de encomendas grandes (para lojas) e encomendas pequenas (para clientes do canal *online*) no mesmo espaço, surgem desafios no sentido de melhorar estes processos. De entre estes desafios, a otimização do processo de preparação de encomendas tem o maior impacto sobre o ciclo de encomendas que se reflete na disponibilidade dos artigos e tempos de espera para os clientes – fatores cuja importância tem vindo a crescer. A operação de *Picking* para encomendas atrai a maior parte dos recursos neste processo, sendo mais propícia a melhorias. A atribuição de localizações de armazenamento é uma decisão estratégica que condiciona a eficiência do *Picking* e, no armazém da Worten, esta decisão não é suportada pelos métodos mais eficazes comprovados cientificamente.

Analisando o problema verificado neste caso de estudo e revendo casos similares na literatura científica, desenvolveu-se uma metodologia que classificará e aloca os artigos no armazém. Como resultado, apresenta-se uma solução integrada que será avaliada quanto à sua robustez e viabilidade de aplicação à operação da Worten.

**Keywords:** Retail Logistics, Warehouse Design, Storage Location Assignment, Storage Policies, Order Picking.

## Abstract

The emergence of online commerce has changed consumer expectations regarding product availability and presentation, driving the evolution from typically linear to networked supply chains, integrating multiple trade and communication channels (omnichannel) and making operations more responsive to customer needs.

At Worten's largest logistics center, the Azambuja warehouse, thousands of products – that vary greatly in size, handling specifications and storage typology – are received, stored and prepared. The combination of large orders (for stores) and small orders (for customers of the online channel) in the same space gives rise to challenges in order to improve these processes. Among these challenges, optimizing the order preparation process has the greatest impact on the order cycle, which is reflected in the availability of items and waiting times for customers – factors whose importance has been growing. The Picking operation for orders attracts most of the resources in this process, making it prone to improvements. Assigning storage locations is a strategic decision that conditions the efficiency of Picking and, at Worten, this decision is not supported by the most effective and scientifically proven methods.

By analysing the problem verified in Worten's case study and reviewing similar cases in the scientific literature, a methodology is developed to classify and allocate products in the warehouse. Thus, an all-in-one solution is presented and evaluated for its robustness and fitness in Worten's operation.

**Keywords:** Retail Logistics, Warehouse Design, Storage Location Assignment, Storage Policies, Order Picking.

# Índice Remissivo

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1. Conceitos e Contextualização.....	1
1.2. Objetivos da Dissertação.....	3
1.3. Estrutura do Documento.....	3
<b>2. Caso de Estudo.....</b>	<b>5</b>
2.1. A Empresa.....	5
2.1.1. Sonae.....	5
2.1.2. Worten.....	6
2.1.3. Cadeia de Abastecimento da Worten.....	6
2.1.4. O Armazém da Worten.....	9
2.1.5. Fluxos no Armazém.....	11
2.1.5.1. Fluxo PBL.....	14
2.1.5.2. Fluxo PBS.....	15
2.1.5.3. Fluxo Online.....	16
2.1.5.4. Zona de PTS ( <i>Put to Store</i> ).....	17
2.2. Definição do Problema.....	18
<b>3. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>20</b>
3.1. A Evolução da Logística de Retalho.....	20
3.2. Armazéns.....	21
3.2.1. Desenho de um Armazém Tradicional.....	22
3.2.2. Operações em Armazéns Tradicionais.....	22
3.2.3. Cross-Docking (ou X-Docking).....	23
3.3. Planeamento de Operações em Armazéns.....	24
3.3.1. Classificação de produtos e atribuição de localizações de armazenamento.....	25
3.3.2. Picking para Encomendas.....	28
<b>4. Proposta Metodológica.....</b>	<b>32</b>
4.1. Métodos para alocação de artigos ( <i>Slotting</i> ).....	32
4.2. Aplicação do método COI adaptado.....	37
4.2.1. Criação de Zonas.....	37
4.2.2. Cálculo das distâncias entre as Zonas e os pontos de <i>Input/Output</i> .....	39
4.2.3. Definição dos pesos relativos de <i>Input/Output</i> – Cálculo das distâncias ponderadas.....	40
4.3. Fluxo e Tratamento de Dados.....	42
4.4. Definição do método para alocação de artigos ( <i>Slotting</i> ).....	50
<b>5. Resultados.....</b>	<b>54</b>
5.1. Resultados do Tratamento de Dados.....	54
5.2. Resultados do Cálculo do COI Adaptado.....	58
5.3. Resultados do Modelo de <i>Slotting</i> .....	67
<b>6. Conclusões.....</b>	<b>74</b>
<b>Referências.....</b>	<b>76</b>

# Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Cadeia de Abastecimento Linear (Worten, 2019). .....	7
<b>Figura 2</b> – Cadeia de Abastecimento em Rede (Worten, 2019).....	7
<b>Figura 3</b> – Esquema de fluxos de encomendas feitas nas lojas Worten online. ....	8
<b>Figura 4</b> – Configuração do Armazém. ....	10
<b>Figura 5</b> – Esquema dos diferentes fluxos no entreposto da Worten. ....	12
<b>Figura 6</b> – Esquema dos vários processos de Put-Away no fluxo PBS e sub-fluxo PBLs. ....	13
<b>Figura 7</b> – Proposta Metodológica. ....	34
<b>Figura 8</b> – Metodologia para categorização de artigos: adaptação do método COI para implementação na operação da Worten. ....	35
<b>Figura 9</b> – Metodologia para categorização de localizações de armazenamento.....	36
<b>Figura 10</b> – Zonas de Slotting do WH708 Racks e seus Slot Types. ....	38
<b>Figura 11</b> – Caminhos percorridos desde cada zona até ao ponto de PTS de acordo com os sentidos de circulação dos corredores. ....	39
<b>Figura 12</b> – Estrutura da Base de Dados e conteúdo das tabelas consultadas.....	42
<b>Figura 13</b> – Excerto da SQL Query referente à estrutura mercadológica dos artigos. ....	43
<b>Figura 14</b> – Excerto da SQL Query referente às localizações de armazenamento ativas. ....	46
<b>Figura 15</b> – Estruturação do Script em R. ....	48
<b>Figura 16</b> – Layout do WH708 Racks – Zonas de armazenamento referentes aos fluxos PBL e PBS. .....	56
<b>Figura 17</b> – Classificação das zonas de armazenamento quanto às suas distâncias ponderadas. ....	57
<b>Figura 18</b> – Distribuição dos Artigos do WH708 Racks por classes de COI.....	59
<b>Figura 19</b> – Distribuição dos artigos pertencentes à Classe 1, quanto aos seus valores de índice COI. .....	61
<b>Figura 20</b> – Distribuição de artigos, de cada divisão, quanto ao seu Volume.....	62
<b>Figura 21</b> – Distribuição de artigos, de cada divisão, quanto ao seu Número de Encomendas de Saída.....	63
<b>Figura 22</b> – Distribuição de artigos, de cada divisão, quanto ao seu Número de Encomendas Satisfeitas por Localização de Armazenamento. ....	64
<b>Figura 23</b> – Relatório ou Dashboard de Slotting para o Cenário 1 ( Power BI).....	68

## Lista de Acrónimos

**ASN** – Advanced Shipping Notice

**B&M** – Brick-and-Mortar

**CSCMP** – Council of Supply Chain Management Professionals

**DIN** – Drive-In

**ERP** – Enterprise Resource Planning

**FIFO** – First-In, First-Out

**ID** – Identificação

**JIT** – Just-In-Time

**LAV** – Logística de Alto Valor

**LI** – Logística Inversa

**LIFO** – Last-In, First-Out

**PBL** – Pick By Line

**PBS** – Pick By Store

**PTL** – Put To Light

**PTS** – Put To Store

**PTW** – Put To Wall

**PTZ** – Put To Zone

**RF** – Radio Frequency (ou Frequências de Rádio)

**SGPS** – Sociedade Gestora de Participações Sociais

**SKU** – Stock Keeping Unit

**SLAP** – Storage Location Assignment Problem

**SPV** – Serviços Pós-Venda

**Ti-Hi** – Tier and Height, ou Units per Layer and Number of Layers High

**UTRAD** – Unidade de Tratamento e Recuperação de Artigos Danificados

**WMS** – Warehouse Management System

# 1. Introdução

Neste capítulo introdutório será delineada a estrutura geral do documento, começando por uma descrição da evolução e estado atual do contexto onde o problema se insere, seguindo-se da apresentação da empresa que detém o projeto, da identificação do problema em vista e do destaque dos objetivos definidos para este estudo.

## 1.1. Conceitos e Contextualização

Uma cadeia de abastecimento é um conjunto de entidades (independentes ou não) que se envolvem tanto em atividades que produzem valor na forma de produtos ou serviços como na colocação dos mesmos à disposição de um consumidor final. As entidades envolvidas nesta rede podem ser produtoras de matérias-primas, componentes e produtos, distribuidores, retalhistas e transportadoras. Pode então dizer-se que uma cadeia de abastecimento é constituída por todas as entidades a montante (por exemplo fornecedores), a jusante (por exemplo distribuidores) e o consumidor final.

De entre as atividades e processos presentes numa cadeia de abastecimento, destaca-se o processo de planeamento, implementação e controlo de procedimentos para um transporte e armazenamento eficientes e eficazes de bens, serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, com o intuito de satisfazer os requisitos dos consumidores – conceito conhecido como logística, segundo o glossário da CSCMP (2013).

Entre os anos 1960 e 1980, as cadeias de abastecimento eram controladas pelos fornecedores que faziam a distribuição para os retalhistas (Ferne et al., 2010). Nesta época, os retalhistas tinham pouco controlo sobre o processo de distribuição, sendo que as entregas feitas nas suas lojas seguiam agendamentos pouco regulares. O resultado era a separação das funções de gestão de materiais e de gestão da distribuição de bens físicos.

Com o aparecimento dos computadores pessoais, nos anos 1980, houve grandes melhorias nas operações de logística. Com este avanço na tecnologia, os retalhistas passaram a centralizar as funções compreendidas nas cadeias de abastecimento, construindo centros de armazenamento e distribuição regionais e controlando assim o encaminhamento de bens desde os seus fornecedores até estes centros que, por sua vez, consolidavam produtos de vários fornecedores visando a sua entrega em lojas próprias. Esta centralização permitiu aos retalhistas reduzir os custos de transporte, reduzir os tempos de espera e ainda providenciar uma maior disponibilidade de produtos nas suas lojas.

Com novos desenvolvimentos tecnológicos nos anos 1990, os retalhistas passaram a implementar sistemas internos de gestão e planeamento (como por exemplo sistemas ERP ou “*Enterprise Resource Planning*”) com o objetivo de otimizar os seus processos e reduzir ainda mais os seus custos (Ferne et al., 2010). Também por esta altura se começaram a empregar sistemas de gestão de armazém (“*Warehouse Management Systems*” ou WMS) que vieram facilitar o controlo de inventário e do fluxo de produtos. Estas iniciativas abriram caminho para o aparecimento de algumas das estratégias utilizadas hoje pelos líderes deste setor, tais como: *Cross-docking*, Inventário gerido pelo fornecedor



(VMI ou “*Vendor Managed Inventory*”), Estratégias *Lean* aplicadas à gestão de cadeias de abastecimento e colaboração das entidades envolvidas nestas cadeias. A sinergia que atualmente se verifica entre as diferentes funções numa cadeia de abastecimento deve muito a estes desenvolvimentos e potencia um maior controlo por parte dos retalhistas sobre a totalidade da cadeia – controlo este que se estende até à distribuição feita pelos fornecedores primários para os armazéns regionais e que permite uma maior frequência de entregas em menores quantidades.

O comércio *online*, que tem vindo a emergir desde o início dos anos 2000, rapidamente penetrou o mercado a nível global devido, sobretudo, à elevada conveniência que providencia aos consumidores. Este canal de vendas apresenta um crescimento constante em termos de volume de vendas que tem servido como forte argumento para fazer com que os retalhistas foquem, ano após ano, mais recursos nas suas operações de comércio *online*. Posto isto, os retalhistas passaram a poder satisfazer as necessidades dos consumidores através de múltiplos canais de comércio – com lojas físicas e virtuais, podendo as últimas ter vários formatos para diferentes plataformas (como por exemplo um computador pessoal e um dispositivo móvel). A integração destes múltiplos canais (ao nível da distribuição, promoção e comunicação) permitiu aos retalhistas satisfazer encomendas feitas através do canal *online* desde lojas físicas (com serviços “*click-and-collect*”) ao invés de fazerem a distribuição diretamente dos seus armazéns para o consumidor final. Esta estratégia de integração é denominada de omnicanal (ou “*omni-channel*” na literatura internacional), segundo Brynjolfsson et al. (2013).

A Worten, empresa especializada no retalho de eletrónica de consumo, opera uma rede de distribuição complexa, tanto em Portugal como em Espanha, que incorpora múltiplos canais de vendas a partir dos quais os clientes podem ver e escolher, encomendar e receber, ou levantar produtos de entre a grande variedade que é disponibilizada. A complexidade e exigência desta rede refletem-se nas operações desempenhadas no armazém e centro de distribuição principal da Worten – o entreposto da Azambuja – onde todos os seus fornecedores fazem chegar camiões com os milhares de produtos que serão aí armazenados e/ou processados, e posteriormente expedidos para todas as lojas da rede Worten, assim como para a casa de clientes. A preparação de encomendas é a operação mais determinante na definição do nível de serviço da Worten para com os seus clientes – a eficiência dos processos de *Put-Away*, reaprovisionamento e *Picking* influencia a cadência do processo de expedição, o que por fim irá determinar o *lead time* da Worten, tanto em reposição de *stock* nas lojas como nas entregas ao domicílio. Como todas as empresas líderes nos seus segmentos, a Worten integra uma filosofia de melhoria contínua – daí vem a importância dada ao processo de *Put-Away*, o qual define as localizações de armazenamento dos artigos e ao processo de *Picking*, cuja eficiência depende das decisões tomadas no processo anterior. O estado atual destes processos leva a excessivas ruturas (situação em que não existem unidades de um artigo disponíveis em localizações de *rack* ao nível do solo), longas distâncias percorridas no processo de *Picking* (artigos usualmente encomendados em conjunto estão muitas vezes armazenados em localizações distantes entre si) e excessivos movimentos de reaprovisionamento (reposição dos artigos em falta nas localizações devidas) que causam congestionamento nos corredores do armazém.

## 1.2. Objetivos da Dissertação

Nos últimos anos a gama de artigos que a Worten disponibiliza aos clientes aumentou exponencialmente. Paralelamente existe uma pressão do mercado em reduzir o valor detido em inventário. O resultado é um grande número de SKUs (*Stock Keeping Units*, ou artigos) recebidos em menor quantidade, ou seja, muitos artigos diferentes com pouca quantidade de cada tipo de artigo. A atribuição de localizações e armazenamento deste número crescente de artigos e as posteriores operações de *Picking* no armazém representam a maioria dos custos operacionais da Worten. A eficiência da operação de *Picking* depende em grande parte da forma como os artigos estão armazenados, como é possível concluir na revisão de literatura. Por sua vez, o tempo necessário para preparar encomendas está relacionado com a eficiência dos processos mencionados.

Assim sendo, o objetivo da dissertação de Mestrado é propor soluções que possam reduzir o tempo de preparação de encomendas na zona de armazenamento de pequenos domésticos, contribuindo para a redução do tempo de ciclo de encomenda – esta zona é denominada internamente como “armazém 708”, pois consiste numa zona de armazenamento reservada apenas a artigos de tipologia 708, ou pequenos domésticos, dentro de um maior armazém – de forma a aumentar o nível de serviço e, possivelmente, reduzir os custos operacionais no armazém da Azambuja. Utilizando métodos desenvolvidos no seio da investigação científica (em Engenharia e Gestão Industrial), pretende-se alterar a lógica utilizada alocação de artigos a localizações de armazenamento, de forma a reduzir as distâncias percorridas nos processos de *Put-Away* e *Picking*.

## 1.3. Estrutura do Documento

Tendo em vista os objetivos propostos no subcapítulo anterior (1.2.), a dissertação será composta por quatro capítulos – excluindo o 1º capítulo de Introdução – distintos no seu propósito:

- **Capítulo 2 – Caso de Estudo:** aqui será feita uma descrição detalhada da operação logística da Worten (em 2.1.), descrevendo todos os elementos relevantes e suas interações na rede de abastecimento, tanto a um nível macro – com a caracterização da rede de distribuição em Portugal e Espanha – como a nível alveolar – caracterizando as operações nos entrepostos logísticos da Worten, nomeadamente no entreposto da Azambuja. A descrição deste sistema é importante para compreender o contexto em que se insere o problema – que será descrito neste capítulo (em 2.2.) – e analisar, na prática, como conceitos – que serão desenvolvidos no capítulo 3. – interagem numa operação logística real e de grande escala. A descrição do problema verificado na operação da Worten – que deu origem à necessidade deste trabalho – será feita utilizando a informação proveniente do subcapítulo anterior, de forma a compreender, em detalhe, os elementos afetados, a sua importância e implicações na eficiência da rede de abastecimento da Worten.
- **Capítulo 3 – Revisão Bibliográfica:** neste capítulo será feita uma análise aprofundada aos conceitos mencionados no capítulo anterior, de forma a compreender a evolução de problemas e

soluções com relevância para o caso em estudo. Fazendo uma revisão da literatura científica será possível entender o estado-da-arte dos conceitos que configuram os maiores desafios das redes de abastecimento atuais e, por consequência, recolher ideias para desenvolvimento de uma metodologia (capítulo 4.) que possa trazer soluções para o problema da Worten.

- **Capítulo 4 – Metodologia:** utilizando a informação recolhida nos dois capítulos anteriores (2. e 3.), será proposta uma metodologia que visará conduzir o trabalho desenvolvido na dissertação até aos objetivos aqui propostos. Neste capítulo será descrita a lógica e racional, com recurso a esquemas e mapeamento de processos, que regerá os estudos e consequentes conclusões desta Dissertação de Mestrado.
- **Capítulo 5 – Resultados:** tendo desenvolvido trabalho segundo a metodologia proposta no capítulo anterior (4.), resumem-se, neste capítulo, os principais resultados obtidos nas diferentes fases do trabalho.
- **Capítulo 6 – Conclusões:** mediante os resultados obtidos no capítulo anterior (5.) e verificando, de uma forma crítica, o trabalho desenvolvido, desenvolvem-se conclusões relativamente ao impacto das soluções propostas na operação da Worten. Analisando as limitações da solução proposta e recorrendo às boas práticas enunciadas no capítulo 3., propõem-se então melhorias a desenvolver num trabalho futuro.

## 2. Caso de Estudo

O capítulo do caso de estudo fará primeiro a caracterização da Worten (2.1.) e depois a definição e caracterização do problema (2.2.) verificado pela empresa e que será desenvolvido e analisado nesta dissertação de Mestrado.

O aluno está atualmente a desenvolver um estágio curricular na Worten. Assim, toda a informação apresentada neste capítulo foi adquirida através de uma cooperação próxima entre o aluno e as equipas que trabalham no entreposto da Azambuja, tanto em funções de operação como em funções de gestão. Através do acompanhamento das equipas de receção, reaprovisionamento, preparação de encomendas para lojas (equipas de PBS, ou *Pick By Store* e PBL, ou *Pick By Line*) e encomendas *online*, logística inversa, transportes, expedição, gestão de projetos e *business intelligence*. O estágio é enquadrado na equipa de engenharia de fluxos, com quem se tem desenvolvido contacto permanente e com quem foi possível compreender, ao detalhe, a extensão da cadeia de abastecimento e das operações da Worten, assim como as interações entre os diferentes elementos que constituem esta mesma cadeia.

### 2.1. A Empresa

Este subcapítulo pretende descrever o contexto da operação da Worten, passando por uma breve história das origens da empresa (2.1.1.), explicando a dimensão atual da empresa (2.1.2.), a evolução da sua cadeia de abastecimento (2.1.3.) e, focando por fim, o seu maior centro de logística (2.1.4.) e os fluxos de preparação de encomendas neste centro logístico (2.1.5.).

#### 2.1.1. Sonae

A Sonae é um grupo empresarial multinacional fundado no ano 1959 pelo banqueiro e empresário português Afonso Pinto de Magalhães. Tendo começado como uma pequena empresa que operava na área das madeiras processadas, nos anos 1980 a Sonae expandiu as suas áreas de negócio adquirindo e criando investimentos.

Na mesma época a empresa cria a Sonae Investimentos SGPS (Sociedade Gestora de Participações Sociais), abre o primeiro hipermercado em Portugal (Continente) e lança as primeiras ofertas públicas de aquisição que lhe permitem desenvolver as diversas áreas de negócios que apresenta hoje. No seguimento deste crescimento, a Sonae entra na área de retalho especializado com o lançamento da Worten.

## 2.1.2. Worten

A Worten é uma empresa portuguesa, líder nacional no comércio de retalho de eletrónica de consumo e de entretenimento, que pertence ao grupo Sonae.

Atualmente existem mais de 180 lojas Worten em Portugal (continente e arquipélagos dos Açores e Madeira) e cerca de 40 lojas em Espanha, fazendo desta uma empresa ibérica.

Estas lojas disponibilizam uma gama diversificada de artigos e marcas, tanto de fornecedor como exclusivas – destacando-se entre estas: Goodis, Becken, Kunft e Mitsai. Para além do comércio de retalho de eletrónica, a Worten apresenta uma marca especializada em serviços técnicos pós-venda – Worten Resolve – e uma marca especializada em dispositivos móveis – Worten Mobile.

A sede da Worten situa-se em Carnaxide, mas o seu centro de armazenamento e distribuição (denominado também de entreposto) encontra-se localizado na Azambuja. Aqui são armazenados mais de 60.000 artigos que irão abastecer todas as lojas em Portugal e Espanha, satisfazendo ainda encomendas feitas nas plataformas *online* com entregas ao domicílio.

## 2.1.3. Cadeia de Abastecimento da Worten

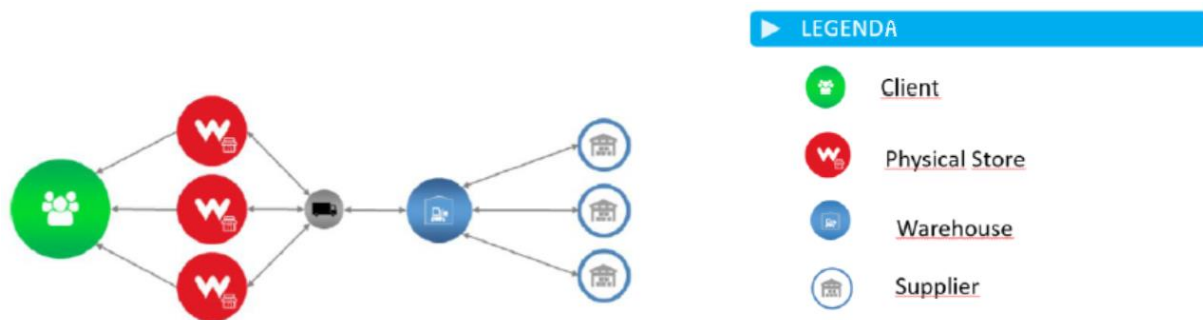
Tal como a necessidade e procura de um bem ou serviço pode originar um mercado capaz de satisfazer tais necessidades, as expectativas dos consumidores em relação à comodidade ou qualidade de um serviço também ditam o padrão pelo qual os prestadores destes serviços se devem reger.

As expectativas dos consumidores mudaram drasticamente com a passagem do século XX para o século XXI. A experiência dos consumidores – que estava confinada ao ambiente físico de uma loja onde estes procuravam os produtos tendo pouco ou nenhum conhecimento das características destes produtos *à priori* – foi levada para o ambiente virtual, onde os consumidores passam a ter um acesso privilegiado a toda a informação relativa aos produtos através do acesso à internet e a canais de venda *online*. No paradigma atual, os consumidores têm uma perceção bem informada do valor dos diferentes produtos e a sua localização geográfica já pouco condiciona o acesso a estes produtos.

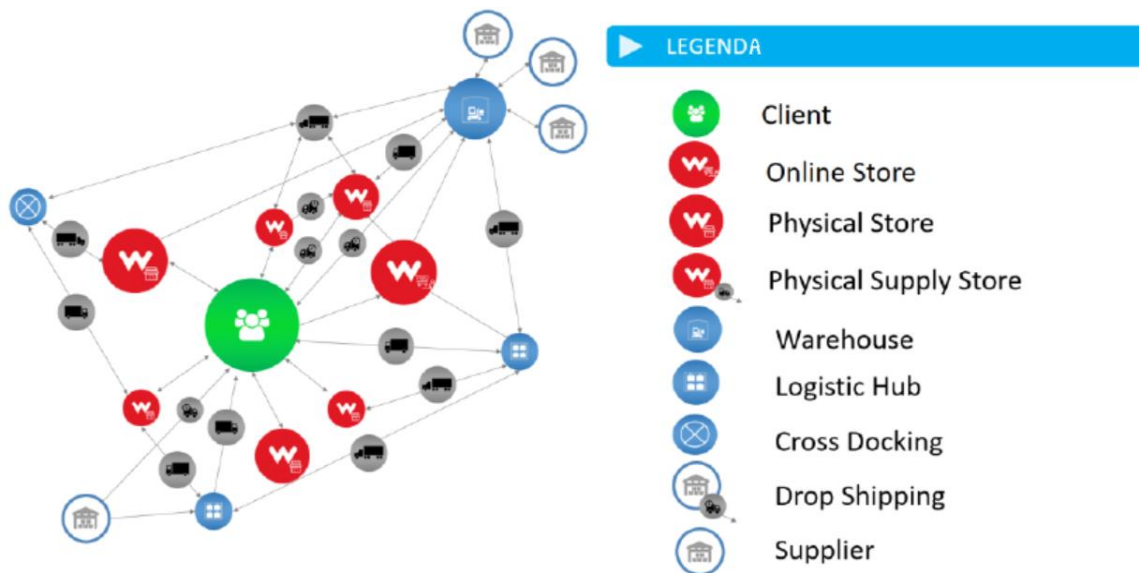
Inicialmente, a cadeia de abastecimento da Worten seguia uma configuração linear, ou seja, os fornecedores abasteciam um armazém central que armazenava os produtos e os preparava para serem entregues em todas as lojas Worten, disponibilizando assim os produtos para os consumidores finais – ver *Figura 1*.

Com o intuito de ir ao encontro das novas expectativas dos consumidores, a Worten reconfigurou a sua cadeia de abastecimento de forma a viabilizar a gestão de fluxos paralelos referentes aos diferentes canais de comércio existentes. Assim foram criados centros logísticos (para gerir o transporte, separação, organização e distribuição dos produtos mais perto dos consumidores), lojas físicas (que para além de venderem produtos ao público também satisfazem encomendas feitas fora de loja) e uma loja *online*, integrando ainda *cross-docking* (sistema de distribuição no qual a mercadoria recebida num armazém ou centro de distribuição não é armazenada mas sim preparada para ser expedida para lojas

de retalho no mesmo dia). Desta forma, a cadeia de abastecimento evoluiu de uma configuração linear para uma configuração em rede – ver *Figura 2*.



**Figura 1** – Cadeia de Abastecimento Linear (Worten, 2019).



**Figura 2** – Cadeia de Abastecimento em Rede (Worten, 2019).

O aprovisionamento de lojas físicas é feito sempre a partir de entrepostos. Em Portugal todas as lojas são abastecidas pelo entreposto da Azambuja. Os artigos destinados a lojas em Espanha são enviados para um outro entreposto nos arredores de Madrid. Este entreposto é, por sua vez, operado por uma empresa parceira que ali recebe as encomendas vindas da Azambuja e que, fazendo *cross-docking*, aprovisiona as lojas espanholas.

O aprovisionamento de lojas portuguesas segue também muitas vezes um modelo de *cross-docking*, ou seja, as encomendas com produtos vindos de múltiplos fornecedores são reorganizadas (no centro logístico da Azambuja) de modo a serem expedidas no mesmo dia para as lojas Worten.

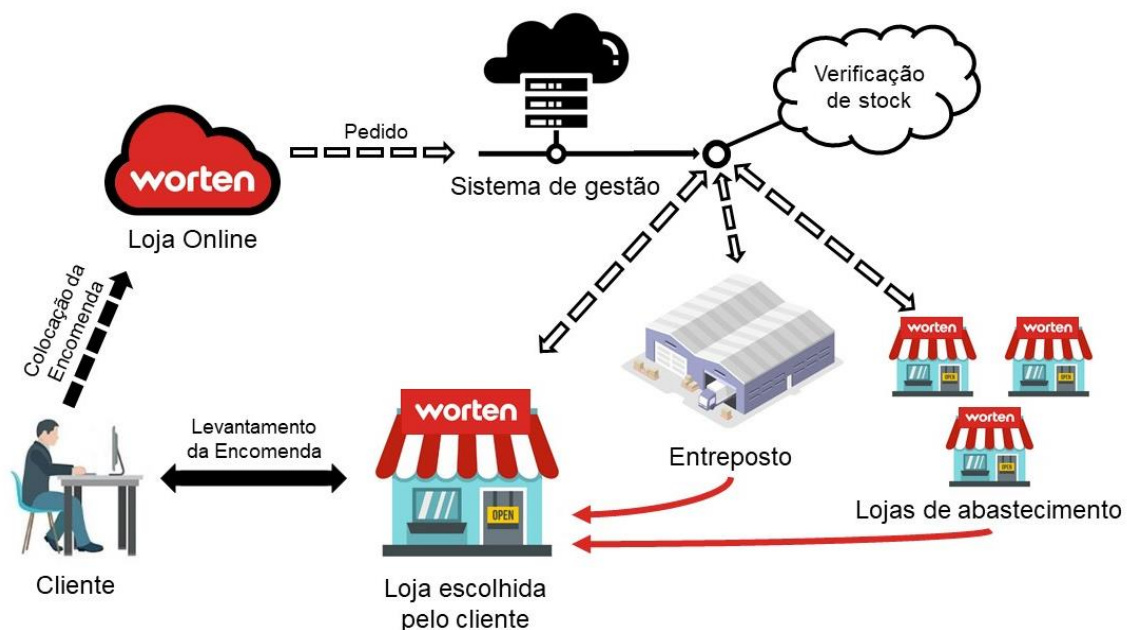
As encomendas feitas através da plataforma *online* podem ser entregues diretamente em casa do cliente ou entregues numa loja à escolha, na qual o próprio cliente fará o levantamento da encomenda, No caso da primeira opção, há um custo acrescido para o cliente.

Quando uma encomenda é colocada na loja *online* da Worten e o cliente opta por fazer o levantamento desta encomenda numa loja específica, o sistema de gestão coloca o pedido dos artigos encomendados segundo a seguinte ordem de prioridades, para satisfazer o pedido:

- 1º - o sistema vê se a loja escolhida pelo cliente tem *stock* para satisfazer o pedido;
- 2º - o sistema vê se existe *stock* no entreposto correspondente (entreposto da Azambuja para Worten.pt e entreposto de Madrid para Worten.es) para satisfazer o pedido;
- 3º - em último caso, o sistema vê se existe *stock* nas lojas de abastecimento para satisfazer o pedido e, de entre as lojas disponíveis, seleciona a mais próxima da loja originalmente escolhida pelo cliente.

Nota: seguindo esta ordem, o sistema coloca o pedido dos artigos que se encontrem disponíveis em *stock* e, só no caso de não existirem nessa localização é que passa para o nível de prioridade seguinte.

Quando algum artigo, que constitui uma encomenda *online* para levantamento em loja, é pedido a um entreposto ou loja de abastecimento, esse artigo é enviado para a loja originalmente escolhida pelo cliente para o levantamento – ver *Figura 3*.



**Figura 3** – Esquema de fluxos de encomendas feitas nas lojas Worten *online*.

As lojas de abastecimento acima referidas – que atualmente são quase todas as lojas físicas na rede Worten – também abastecem outras lojas fora do fluxo *online*. Quando uma loja tem rutura de stock (chamemos-lhe loja A) de um certo artigo e esse artigo se encontra disponível noutra loja (loja B que

não vende tão bem esse artigo), existe um fluxo de transferência de artigos entre lojas. Este fluxo consiste no envio do referido artigo (por parte da loja B) para o entreposto, passando aí pelo centro de Logística Inversa que armazenará o artigo até o enviar para a loja A.

No caso de grandes eletrodomésticos (como frigoríficos, máquinas de lavar, etc.), os clientes podem optar por fazer a compra na loja *online* ou numa loja física – a vantagem da última opção sendo que podem ver e experimentar os artigos antes de os comprarem – mas, em qualquer uma destas opções, a entrega é feita em casa do cliente. Quando o cliente efetua a compra de um destes eletrodomésticos, um pedido de encomenda chega ao entreposto e, a partir daí, o artigo é expedido por uma transportadora especializada que o entrega e efetua a sua entrega e instalação em casa do cliente.

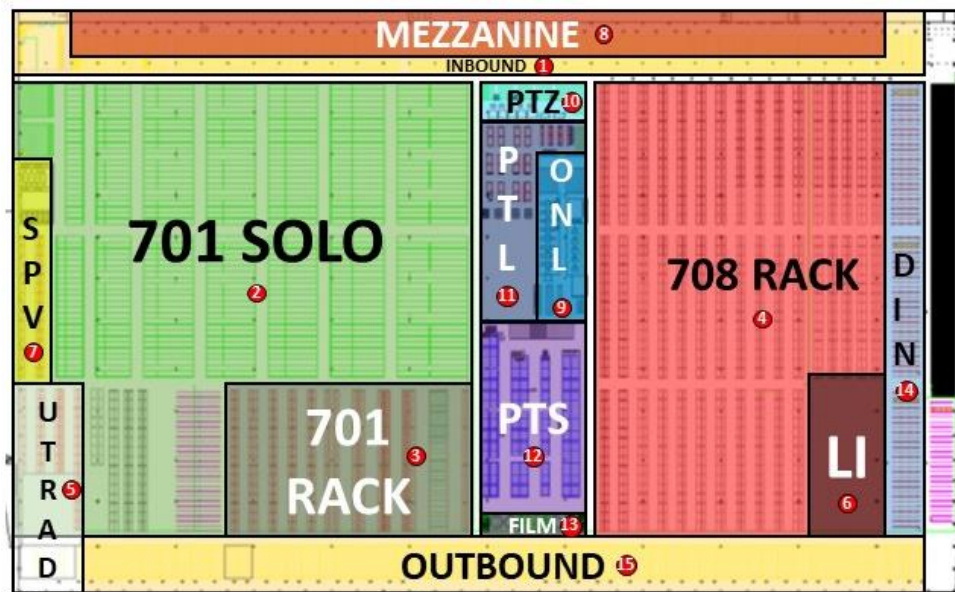
#### **2.1.4. O Armazém da Worten**

Situado nos arredores da Grande Lisboa, na Azambuja, o armazém e centro de distribuição abastece todas as lojas Worten, tanto em território nacional como em Espanha – o entreposto de Madrid é abastecido pelo entreposto da Azambuja. É também daqui que são expedidas todas as encomendas colocadas através do canal de comércio *online*.

Para além da complexidade inerente à operação de distribuição nesta alargada rede de abastecimento, há-que ressaltar também a complexidade das operações de armazenamento da grande variedade de produtos que a Worten disponibiliza nas suas lojas. Estes produtos apresentam uma enorme diversidade quanto às suas dimensões, peso, valor e também em relação à especificidade dos seus requisitos de armazenamento e manuseamento. Se compararmos as características de um frigorífico com as de um cartão de memória, é fácil perceber como esta diversidade aumenta a complexidade da operação de armazenamento e subsequentes processos de preparação de encomendas.

Todas estas operações convergem num espaço com aproximadamente 50.000 m<sup>2</sup> de área e 8 metros de altura, o qual apresenta a configuração representada na *Figura 4*.





**Figura 4** – Configuração do Armazém.

Legenda:

1. **INBOUND:** zona de receção onde a mercadoria descarregada por cada veículo (dos fornecedores) é disposta em filas enquanto aguarda o início do processo de conferência;
2. **701 Solo:** zona de armazenamento em solo, onde os eletrodomésticos de grande volume (grandes domésticos, tais como frigoríficos) são colocados no chão e empilhados uns em cima dos outros;
3. **701 Rack:** zona de armazenamento em *racks* de eletrodomésticos paletizados;
4. **708 Rack:** zona de armazenamento em *racks* de produtos eletrónicos e de entretenimento. Aqui existe também uma zona dedicada ao armazenamento em sistema *drive-in* de produtos de baixo volume paletizados (zona DIN) e uma zona de corredores de *racks* estreitos (*narrow isle rack*);
5. **UTRAD:** zona de reparação de produtos não-conformes que serão vendidos em *outlet*;
6. **LI:** zona de logística inversa, onde os produtos devolvidos por lojas são armazenados até serem redirecionados para outra loja ou restaurados na zona de UTRAD ou SPV;
7. **SPV:** zona de serviços pós-venda;
8. **LAV:** zona de armazenamento em estilo *mezzanine*, suspensa por cima dos cais de receção, onde os produtos de alto valor são guardados (de forma a garantir um controlo restrito);
9. **ONLINE:** zona dedicada a todas as operações relacionadas com o canal de comércio *online* da Worten;
10. **PTZ:** *Put to Zone* – zona de seleção de produtos de acordo com o setor PTL correspondente ao seu destino;
11. **PTL:** *Put to Light* – zona de seleção de produtos de acordo com a sua loja destino;
12. **PTS:** *Put to Store* – zona onde todas encomendas (vindas de diferentes setores) convergem, sendo aqui agrupadas em encomendas completas para cada loja específica;

13. **FILM:** zona de preparação final das paletes, onde estas são embaladas com película por robôs automáticos (processo chamado de “filmagem”);
14. **DIN:** zona de armazenamento do tipo *drive-in* onde apenas são armazenadas paletes completas de produtos de marcas próprias da Worten;
15. **OUTBOUND:** zona de preparação para expedição, onde as paletes embaladas são organizadas em filas que correspondem às lojas destino (cada loja tem uma ou mais linhas de expedição) enquanto aguardam carregamento nos veículos de expedição.

### 2.1.5. Fluxos no Armazém

Ao entreposto da Azambuja chegam todos os artigos que serão vendidos na rede Worten.

O fluxo da mercadoria dentro deste armazém inicia, naturalmente, com a receção das encomendas – colocadas pela Worten – provenientes dos fornecedores. Cada fornecedor tem a sua frequência de entregas e janelas próprias de entrega durante o dia. A maioria dos fornecedores são empresas estrangeiras (europeias) representadas em Portugal por consórcios. A mercadoria vinda destes fornecedores chega em contentores rebocados por camiões diariamente ou semanalmente em intervalos regulares. Existe ainda mercadoria – tipicamente das marcas próprias da Worten – que chega diariamente em contentores provenientes da Ásia e África. Esta é transportada por via marítima antes de ser transportada até ao entreposto. A atribuição de cais de descarga aos veículos segue a ordem de chegada dos mesmos. A descarga da mercadoria no entreposto pode ficar ao encargo do motorista do veículo (contratado pela parte do fornecedor) ou ao encargo dos operadores da Worten.

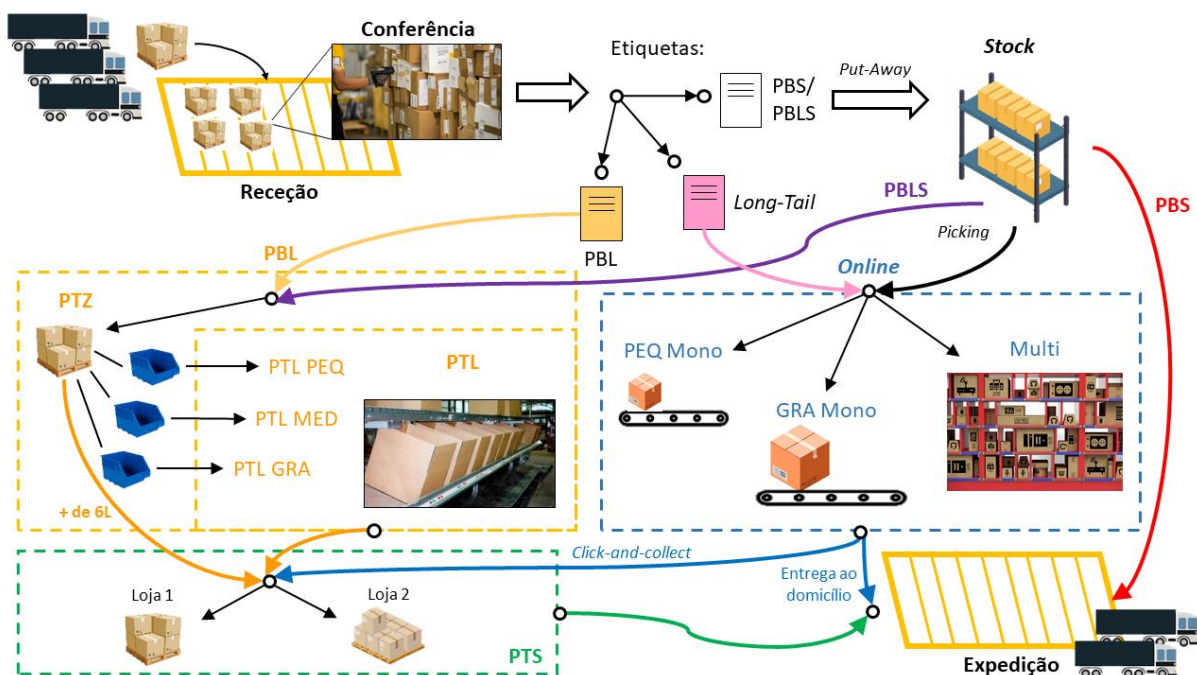
Uma vez feita a descarga, a mercadoria fica disposta em filas ao longo da zona de receção enquanto aguarda o início do processo de conferência. O tipo de mercadoria e o destino dessa mercadoria dentro do armazém (conforme o tipo de fluxo que lhe é atribuído) ditam a prioridade de execução do processo de conferência. Neste processo, a equipa de operadores da Worten a ele alocado verifica o estado das embalagens e contam os artigos recebidos, comparando estas informações com as ordens de compra (documentos que discriminam os artigos pagos pela Worten) referentes a essa encomenda. À medida que o operador faz esta verificação à mercadoria, coloca etiquetas (que possuem códigos de barras) para identificação dos artigos dentro do armazém. Estas etiquetas seguem um sistema de cores que indica qual o destino dos artigos, ou seja, o fluxo que os artigos seguirão no armazém. As cores das etiquetas indicam o seguinte:

- Etiqueta Amarela: indica que a mercadoria será preparada para expedição no próprio dia, num processo de *cross-docking*, para as lojas. Este fluxo é denominado de PBL (ou “produção para loja”). Uma palete que se destine na sua totalidade unicamente a produção para loja diz-se totalmente alocada.
- Etiqueta Rosa: indica que a mercadoria é do tipo *long-tail*, ou seja, são artigos especializados ou com um valor que leva a Worten a optar por não ter inventário dos mesmos. Tipicamente o *lead time* para pedidos destes artigos é mais longo do que o dos restantes artigos. Estes artigos podem

estar destinados ao fluxo PBL – sendo enviados para uma loja, de forma a criar *stock* – ou ao fluxo *Online* – sendo enviados para uma loja, para posterior levantamento por um cliente (*click-and-collect*) ou enviados diretamente para casa do cliente.

- Etiqueta Branca: indica que a mercadoria está destinada apenas a criar *stock* no entreposto, ou seja, será armazenada (*Put-Away*) – este processo pertence ao fluxo PBS e ao sub-fluxo PBLs (nomenclatura interna que não se refere a um acrónimo, é um sub-fluxo que liga o *stock* à produção, ou PBL) – para depois ser recolhida para preparação de encomendas, através do fluxo PBS ou *Online*. O manuseamento de mercadoria com esta etiqueta tem menor prioridade quando comparada à prioridade das restantes etiquetas.

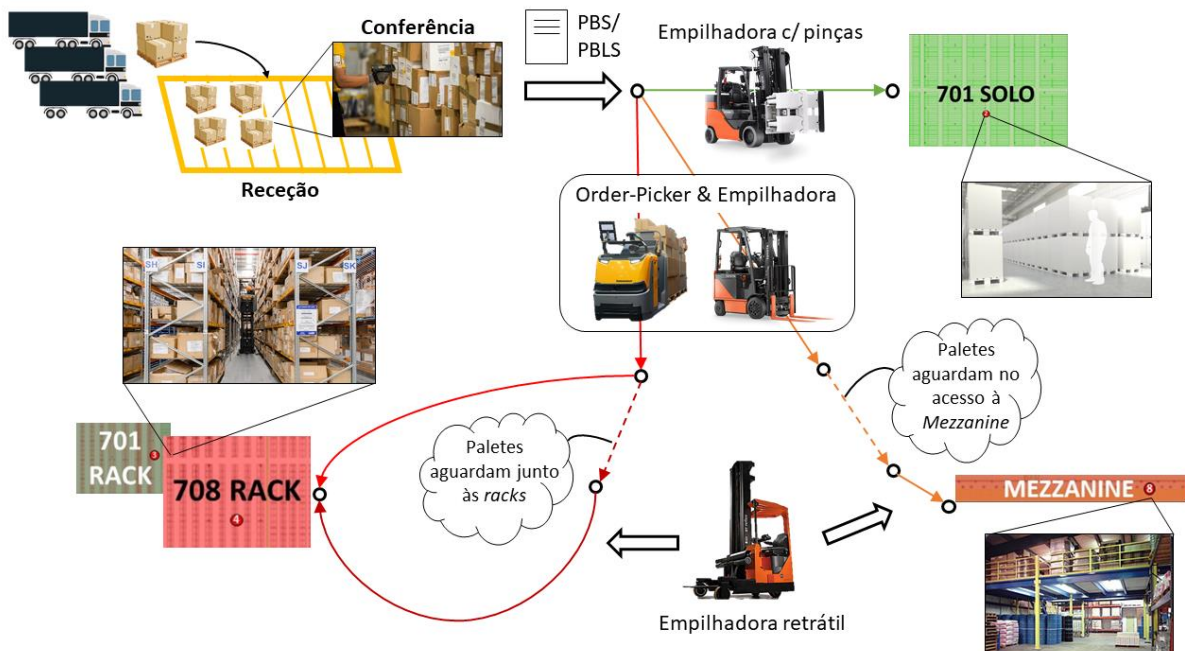
Existe ainda uma exceção no percurso da mercadoria segundo o fluxo PBL (etiqueta amarela): por vezes, a mercadoria com esta etiqueta segue para a zona de preparação seguinte (chamada de PTZ – mais informação adiante) e, ao desconstruir a palete, – termo utilizado para descrever a divisão da unidade logística maior (a palete) em unidades mais pequenas (caixas de cartão, *totes* ou outros meios) – alocam parte dos artigos à produção (nomenclatura interna do fluxo PBL) e colocam a paleta com o resto dos artigos numa área de espera (*buffer*) para posterior armazenamento (*Put-Away*) – a isto chama-se alocação parcial de uma paleta. Para uma melhor compreensão e distinção dos fluxos dentro do armazém, apresenta-se a *Figura 5*.



**Figura 5** – Esquema dos diferentes fluxos no entreposto da Worten.

O processo de *Put-Away* (tanto do fluxo PBS como do sub-fluxo PBLs) começa com o transporte dos artigos para a respetiva zona: 701 (grandes domésticos), 708 (pequenos domésticos) ou LAV (artigos de alto valor). Os artigos que se destinam à zona de armazenamento em solo 701 são tipicamente

transportados com recurso a empilhadoras especiais. Estas empilhadoras têm pinças montadas que lhes permitem “apertar” a mercadoria pelos lados, facilitando o seu manuseamento, transporte e empilhamento na zona de armazenamento em solo. Os restantes artigos que serão armazenados em *racks* da zona 701, são transportados por empilhadoras comuns com capacidade para uma paleta ou por *order-pickers* horizontais com capacidade para duas paletes, semelhante aos artigos que se destinam às zonas de armazenamento 708 e LAV. No caso de artigos do tipo LAV, a equipa de receção transporta-os até a uma zona de acesso à *mezzanine* e deixa-os ali, passando a responsabilidade do manuseamento da mercadoria para a equipa de aprovisionamento que, com recurso a empilhadoras verticais de grande alcance – comumente denominadas de empilhadoras retráteis, ou *reach trucks* – elevam esta mercadoria até ao piso superior, a *mezzanine*. Uma vez na *mezzanine*, uma equipa dedicada fará o transporte e armazenamento dos artigos na zona LAV. Artigos destinados a *racks* da zona 701 e 708 são transportados pela equipa de receção até ao corredor de racks onde serão armazenados. Caso a localização de armazenamento seja ao nível do chão – a estas localizações chama-se também localizações de *pick* ou localizações ativas – a equipa de receção coloca as paletes com os artigos logo na sua localização. Caso contrário, a equipa de receção deixa as paletes no corredor, junto à *rack* que contém a localização de armazenamento, para que a equipa de aprovisionamento as eleve e coloque na respetiva localização. A *Figura 6* apresenta os processos de *Put-Away* de uma forma esquematizada.



**Figura 6** – Esquema dos vários processos de *Put-Away* no fluxo PBS e sub-fluxo PBLs.

Todos os fluxos convergem, numa fase final, na zona de expedição. Imediatamente antes da zona de expedição existe uma zona de “filmagem”, onde as paletes já preparadas são embaladas com películas

à base de plástico por robôs que desempenham este processo automaticamente. Na zona de expedição, as paletes embaladas são organizadas em linhas no chão. Estas linhas correspondem a rotas de expedição (e conseqüentemente a um único veículo), seja uma rota que agrega várias lojas Worten ou uma rota que passa por várias moradas de clientes. Isto quer dizer que as paletes destinadas a uma certa loja que pertence a uma dada rota são colocadas na linha correspondente a essa rota enquanto que paletes com encomendas destinadas às casas de diferentes clientes (do fluxo *Online*) são colocadas em linhas que correspondem às transportadoras que farão o transporte e distribuição dessas encomendas. O processo de expedição só começa a partir das 17 horas. As descrições mais detalhadas de cada um dos fluxos são apresentadas nos seguintes subcapítulos (desde **2.1.5.1.** até **2.1.5.4.**).

### **2.1.5.1. Fluxo PBL**

Como já foi referido, este fluxo leva a mercadoria até às lojas da Worten. A preparação de encomendas para lojas é também chamada de “produção” e é um misto de *cross-docking* com armazenamento tradicional – sendo que muitos dos artigos aqui preparados chegam no mesmo dia e outros vêm das localizações de armazenamento.

A primeira zona de processamento deste fluxo é a PTZ (ou *Put to Zone*) que consiste numa área de preparação onde a mercadoria – vinda da receção (etiqueta amarela) e de *stock* (fluxo PBS) – é dividida em unidades mais pequenas, caso se aplique, e os artigos separados de acordo com a sua tipologia em *totes* que vão para a zona de preparação seguinte, a PTL (ou *Put to Light*). Os códigos de barras presentes nas etiquetas que foram colocadas nos artigos (no processo de receção e conferência) são lidas (com a ajuda de dispositivos) e atribuídas à etiqueta da *tote* onde os artigos são colocados – assim o WMS sabe que os artigos agora estão dentro da *tote*.

A zona de PTL está dividida em 3 subzonas: PTL PEQ, PTL MED e PTL GRA. A separação dos artigos (ainda no PTZ) de acordo com a sua tipologia e atribuição a subzonas do PTL segue a seguinte lógica:

- Artigos pequenos do tipo videogames, CDs e DVDs vão para a subzona PTL PEQ;
- Artigos de alto valor e seus acessórios (por exemplo um *smartphone* e uma capa) vão para a subzona PTL MED;
- Outros artigos não incluídos nos tipos anteriores e com volume inferior a 6 litros vão para a subzona PTL GRA;
- Restantes artigos que não pertençam às categorias anteriores e que possuam volume superior a 6 litros seguem diretamente para a zona de preparação final deste fluxo, a zona PTS (ou *Put to Store*).

Todas as subzonas da zona de PTL operam da mesma forma: as *totes* chegam do PTZ, o operador tira os artigos das *totes* e coloca nas caixas de cartão que se encontram dispostas à sua frente, em *flow racks* – cada caixa de cartão corresponde a uma loja Worten e está devidamente identificada – e, repete este processo até ter retirado todos os artigos da *tote*. Nesse momento passa à próxima *tote*.

Quando uma caixa de cartão está completa, ou seja, tem todos os artigos necessários (referentes à encomenda da loja) no seu interior, o operador fecha a caixa e empurra-a através da *flow rack*, fazendo com que a caixa passe para a parte de trás da subzona onde o operador está a trabalhar. Aí, as caixas completas aguardam que outro operador as recolha e transporte para a zona seguinte, a zona PTS (ou *Put to Store*).

### 2.1.5.2. Fluxo PBS

Este fluxo consiste numa operação de *Picking* de artigos em *stock* como parte da preparação de encomendas para lojas, sendo que PBS é um acrónimo para *Picking by Store*.

A partir das encomendas colocadas pelas lojas – que podem ser feitas manualmente por um agente na loja (neste caso contam como encomendas *online*) ou automaticamente pelo sistema, de acordo com as vendas e de forma a manter níveis predefinidos de stock nas lojas – são divididas pela tipologia de armazenamento dos artigos, isto é, separam-se as encomendas em circuitos de *Picking* para grandes domésticos (zonas de solo e *racks* com artigos de tipologia 701), artigos de alto valor (zona da *mezzanine* com artigos de tipologia LAV) e produtos eletrónicos e de entretenimento de menor volume (zona de *racks* com artigos de tipologia 708). O *Picking* de televisões de grandes dimensões também tem um circuito próprio devido aos seus requisitos de manuseamento.

Antes de serem lançados os circuitos de *Picking* para encomendas, uma equipa de reaprovisionamento certifica-se de que todos os artigos (que configuram encomendas para o dia) estão disponíveis para *Picking* ao nível do solo (localizações ativas ou *picks*) fazendo o *let-down* de artigos em níveis imediatamente acima das *picks* e realocando artigos em localizações de reserva para localizações de *pick*. O lançamento dos circuitos de *Picking* é feito em ondas – numa forma de *wave Picking* – de forma a possibilitar o reaprovisionamento de stock (vindo da receção ou de localizações de reserva) e a “suavizar” o fluxo das operações no armazém.

Estes circuitos podem ser feitos num método de *cluster Picking* ou *batch Picking*. A decisão do método a utilizar para cada encomenda é feita pelo WMS tendo em conta a volumetria das encomendas das lojas, a correlação entre artigos pedidos em diferentes encomendas (ou seja, o WMS tenta juntar num circuito encomendas com artigos em comum) e ainda a quantidade de cada artigo que é encomendada entre todas as encomendas do dia. A limitação em termos de capacidade que um operador consegue transportar num *order-picker* (veículo utilizado para *Picking*) em cada circuito é de 2 paletes. Utilizando esta informação, o WMS tenta juntar num circuito de *cluster Picking*, 2, 4, 6, 8 ou 16 encomendas que tenham artigos em comum (tendo cada encomenda o seu compartimento próprio no processo de *Picking*). A decisão do número de encomendas num circuito depende do volume total das encomendas – o WMS tenta juntar o máximo de encomendas num circuito. No fim destes circuitos existem dois cenários possíveis: cada encomenda (de uma loja) gera uma paleta completa (ou quase completa) ou então cada encomenda gera poucas caixas (pouco volume). No primeiro cenário, o operador deixa as paletes na zona de expedição – sendo que já estão completas e não deverão consolidar mais artigos.

No segundo cenário, o operador deixa as caixas na zona de PTS para serem consolidadas em paletes mestras das lojas a que dizem respeito. Há que ter em conta que, nos circuitos de cluster *Picking*, o *Picking* apenas é feito a partir de localizações ativas. Quando o WMS recebe encomendas de artigos que não se encontram disponíveis em localizações ativas, gera ordens de reaprovisionamento.

Os circuitos de *batch Picking* são criados para o sub-fluxo PBLs, de forma a “alimentar” a zona de PTL e também, dentro do fluxo PBS, levar artigos para consolidação na zona de PTS. Nestes circuitos, o WMS junta todas as encomendas feitas para um certo artigo e cria uma ordem de *Picking*, sendo que o *Picking* do artigo é feito apenas para um compartimento e a separação das quantidades de acordo com as encomendas é feita posteriormente (na zona de PTL ou PTS, dependendo do destino definido pelo sistema). Quando um artigo encomendado não existe em localizações ativas, o WMS cria uma ordem de *Picking* a partir de localizações de reserva (ou seja, localizações que não estão ao nível do solo) – ao contrário dos circuitos de *cluster Picking*, os circuitos de *batch Picking* não fazem *Picking* apenas em localizações ativas. Neste caso, o *Picking* é feito com recurso a empilhadoras retráteis (*reach trucks*) e existem, mais uma vez, dois cenários: no primeiro, a paleta recolhida da localização de reserva destina-se na totalidade a satisfazer encomendas de lojas e é levada para a zona de consolidação do PTS; no segundo cenário, a paleta recolhida não se destina totalmente a satisfazer encomendas nesse dia (seja meia paleta, por exemplo) e é então colocada numa localização ativa para *Picking*.

Nos corredores estreitos (*narrow aisles*) da zona de armazenamento 708, todo o *Picking* é feito em circuitos de *batch Picking* e com recurso a um veículo especial, chamado de veículo articulado trilateral – que permite manobrar em espaços estreitos e levantar paletes de qualquer um dos lados do veículo.

### 2.1.5.3. Fluxo Online

Neste fluxo são processadas todas as encomendas colocadas por clientes através da plataforma *online* da Worten.

A mercadoria entra de duas formas neste fluxo: artigos do tipo *long-tail*, aos quais são colocadas etiquetas rosa no processo de receção – no caso em que o cliente encomenda um artigo que a Worten não possui em *stock* – e que são preparados para expedição no próprio dia em que chegam ao entreposto; artigos que a Worten possui em *stock*, que são recolhidos das suas localizações de armazenamento em ondas (*wave Picking*) por operadores deste fluxo.

As encomendas que chegam são separadas, de acordo com a quantidade de artigos pedidos e o tipo de artigo, nas seguintes categorias com as suas próprias áreas de preparação:

- Encomendas de um único artigo (intituladas de “mono”) de pequeno volume (até 6 litros) são preparadas na área PEQ Mono;
- Encomendas de um único artigo de grande volume (superior a 6 litros) são preparadas na área GRA Mono;

- Encomendas de múltiplos artigos (intituladas de “multi”) de qualquer volume são preparadas na área Multi.

Nas duas áreas de preparação de encomendas “mono” (áreas PEQ Mono e GRA Mono), os artigos chegam – das formas referidas anteriormente – em *totes* e são colocados em tapetes rolantes. Os operadores recolhem os artigos destes tapetes e embalam-nos, colocando uma etiqueta com a identificação do cliente e destino da encomenda, e colocam-nos noutra *tote*.

Na área de preparação de encomendas “multi” (área Multi), os artigos chegam em paletes e *totes* e são organizados numa estante de metal, acessível dos dois lados, que possui alvéolos de tamanhos diferentes. Um operador coloca os artigos nos alvéolos correspondentes às encomendas a que se destinam – este processo é chamado de *Put to Wall*, ou PTW. Do outro lado da estante, operadores recolhem os artigos de cada alvéolo e embalam-nos juntos numa caixa de cartão que levará uma etiqueta com a identificação do cliente e destino da encomenda.

As encomendas que se destinam a casas de clientes, levam na etiqueta a morada do cliente e são colocadas numa palete mestra – nome dado às paletes finais, ou seja, paletes que serão embaladas e expedidas. Estas paletes juntam as encomendas deste tipo e, uma vez embaladas, são colocadas diretamente na zona de expedição, nas linhas que correspondem às transportadoras que fazem a distribuição das entregas ao domicílio.

As encomendas que serão levantadas em loja, levam na etiqueta a morada da loja a que se destinam. Estas encomendas seguem para a área de consolidação, na zona de PTS (*Put to Store*), para serem distribuídas pelas paletes mestras das lojas.

Todas as encomendas *online* – de artigos em *stock*, ou seja, excluindo *long-tails* – feitas até às 19h são processadas e expedidas no mesmo dia útil e entregues no seu destino no dia útil seguinte. Encomendas *online* feitas depois das 19h só são preparadas e expedidas no dia útil seguinte.

#### **2.1.5.4. Zona de PTS (*Put to Store*)**

A zona de PTS divide-se em 2 funções: consolidação e distribuição, tendo cada uma destas funções a sua área de *buffering* onde a mercadoria, vinda dos diferentes fluxos a montante, aguarda o início do seu manuseamento.

À zona de *buffering* da consolidação chegam caixas preparadas vindas da zona de PTL, do fluxo *Online* e da *mezzanine* (artigos de alto valor, ou LAV) que são colocadas em paletes. Estas paletes são organizadas por séries de lojas marcadas em linhas no chão, ou seja, uma certa linha referente, por exemplo, à série de lojas desde a loja 1 até à loja 20, contém paletes com caixas de encomendas para essa série de lojas. Note-se que uma palete pode conter caixas destinadas a múltiplas lojas.

Na zona de *buffering* da distribuição encontram-se paletes com todos os artigos de volume superior a 6 litros que vieram diretos da zona de PTZ, não tendo passado pela zona de PTL.



Nesta zona de PTS, existem marcações no chão com linhas que correspondem às lojas destino. Cada loja pode ter uma ou mais linhas e, nessas linhas, será construída uma ou mais paletes mestras com todos os artigos referentes às encomendas feitas pela loja nesse dia.

De forma a construir estas paletes mestras é necessário recolher os artigos das zonas de buffering e distribuí-los pelas lojas correspondentes – daí o nome desta zona: *Put to Store*. Primeiro faz-se o *Picking* dos artigos na zona da distribuição, para que os artigos de maior volume fiquem nas primeiras camadas das paletes mestras, e só depois é que se faz o *Picking* dos artigos na zona de consolidação. O *Picking* de artigos na zona de distribuição é feito por voz (*voice Picking*) e, na zona de consolidação, o *Picking* é feito com recurso a dispositivos de leitura de códigos de barras.

Como as encomendas vindas do fluxo *Online* são preparadas até às 19 horas para expedição no próprio dia, só após essa hora é que se finaliza a preparação das paletes mestras. Vale ressaltar que cada loja tem janelas de entrega definidas durante a semana – de acordo com as suas necessidades de encomendas – e que o *lead time*, desde que a loja coloca uma encomenda até que esta é entregue à sua porta, varia conforme a sua janela de entregas. Para lojas com janelas de entrega diárias (ou seja, todos os dias da semana), o *lead time* habitual é de pouco mais de 24 horas, ou seja, se a loja coloca uma encomenda ao fim do dia, no dia seguinte a encomenda é preparada e expedida e, na manhã do segundo dia, a encomenda é entregue na loja.

## 2.2. Definição do Problema

O presente trabalho será focado no entreposto da Worten na Azambuja, onde todos os dias milhares de produtos são entregues, armazenados e preparados para expedição. Naturalmente, a celeridade dos fluxos dos produtos dentro deste armazém depende do planeamento e coordenação de todas as operações ali desempenhadas – pode-se dizer que estas formam uma cadeia que leva os produtos desde a descarga no armazém até à expedição para fora do mesmo.

Kembro et al. (2018) realçam que, em operações omnicanal, existe um desafio acrescido quando se combina a preparação de pequenas encomendas online para clientes com grandes encomendas para aprovisionar lojas. O armazenamento, manuseamento e preparação destas encomendas, que eram antes feitos em canais separados, são agora feitos no mesmo espaço – no caso da Worten, estas operações têm lugar no entreposto da Azambuja. A preparação de encomendas é um processo crucial em todos os armazéns e a sua eficiência depende de decisões tomadas para processos que o antecedem, tais como as políticas de armazenamento, a configuração dos corredores com *racks* (decisão de *layout*), assim como decisões relativas a métodos de *Picking* utilizados e a alocação de recursos para a operação.

Atualmente, 80% do tempo investido em operações de *Picking* está confinado às zonas de armazenamento de pequenos domésticos. Esta zona consiste numa sequência de 15 corredores com *racks* dos dois lados que são atravessados por 2 corredores transversais equidistantes. Assim sendo,

o departamento de Engenharia de Fluxos da Worten concluiu que a otimização do processo de preparação de encomendas na zona de armazenamento 708 levará ao maior benefício – comparando esta zona de armazenamento às restantes – contribuindo para a redução global do tempo de ciclo de encomenda no entreposto.

A atribuição de localizações de armazenamento a artigos que chegam ao armazém não tem em conta a popularidade (número de vezes que um tipo de artigo, um SKU, é encomendado), a disponibilidade (ou seja, frequência e quantidade entregue pelos fornecedores) ou a afinidade entre artigos (frequência com que diferentes artigos são encomendados em conjunto). Isto leva a que, no processo de *Picking*, uma encomenda configure artigos que muitas vezes não estão disponíveis em localizações ativas ou que se encontram em localizações distantes entre si, o que torna o roteamento dos operadores ineficiente – este efeito negativo é ampliado devido ao facto de existirem muitos circuitos de *Picking* todos os dias.

Adicionalmente, a criação de circuitos de *cluster Picking* resulta em muitas deslocações à mesma localização – o mesmo artigo pode ser encomendado por muitas lojas – e cria um grande trânsito nos corredores, fazendo com que os operadores fiquem à espera uns dos outros, o que resulta em problemas de ineficiência (tempos parados em circuitos de *Picking*) e ainda preocupações com a segurança dos operadores no desenrolar deste tráfego.

As decisões referentes ao layout do armazém criam também restrições para a otimização dos processos de *Put-Away* e *Picking*, no sentido em que, neste momento, o layout dos corredores (de *racks*) configura um sentido de circulação definido para cada corredor, sendo que os sentidos dos corredores ao longo da zona de armazenamento 708 segue uma configuração em forma de S – o que condiciona o roteamento dos circuitos de *Picking*. Esta definição dos sentidos de circulação poderá ser alterada caso resulte em melhorias em qualquer processo. Outra restrição que condiciona o roteamento destes circuitos prende-se com uma regra de circulação, no armazém, que define que apenas empilhadoras retráteis (usadas no reaprovisionamento) podem atravessar os corredores transversais – pois são mais lentos do que os outros veículos e a operação de reaprovisionamento tem prioridade sobre as restantes operações ali desenvolvidas – sendo que outros veículos apenas podem passar brevemente pelos corredores transversais quando pretendem contornar um corredor.

### 3. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo será feita a revisão de literatura de todos os conceitos que possam ter importância para o entendimento do ambiente que engloba a rede de operações da Worten, ou seja, o ambiente em que o caso de estudo se insere. Pretende-se caracterizar a dimensão de cada conceito enunciado ao longo do estudo através da revisão de artigos científicos com relevância na área correspondente – utilizando palavras-chave como: *Retail Logistics*, *Storage Policies* e *Storage Location Assignment* em motores de busca de bases de dados científicas como *Web of Knowledge*, *Google Scholar* e o *b-on*. Para tal, este capítulo estará organizado em três subcapítulos, sendo o primeiro sobre a Logística de Retalho, o segundo sobre Operações de Armazém e o terceiro sobre Planeamento de Operações em Armazém.

#### 3.1. A Evolução da Logística de Retalho

Um negócio de retalho com múltiplos canais de comércio passa por várias fases quanto ao nível de interligação e integração de processos entre os seus diferentes canais. Os retalhistas tendem a expandir o seu negócio, partindo de um único canal primário (*single-channel*) para uma configuração que contempla múltiplos canais de comércio (Brynjolfsson et al., 2013; Verhoef et al., 2015). Esta abordagem logística é referida na literatura como *multi-channel* (ou multi-canal).

No paradigma atual, existe um enviesamento entre o retalho tradicional (lojas físicas, cujo canal é referido na literatura como *brick-and-mortar* ou *B&M*) e o retalho *online* (canal referido como *e-commerce*, ou seja, lojas virtuais), principalmente devido à maioria dos retalhistas estarem a expandir as suas operações para o canal de comércio *online* (Hübner et al., 2016).

A transformação na logística de retalho verificada na última década pode ser, em parte, explicada pela emergência de um novo e forte canal de comércio: as vendas, a nível global, feitas através de canais *online* duplicaram entre 2008 e 2013 e as previsões feitas nesta altura indicavam um crescimento ainda mais rápido daí em diante (PwC, 2013).

A integração dos *B&M* e *e-commerce* é um fenómeno recente e cuja gestão requer investimentos significativos em infraestruturas, assim como em processos e capacidade de armazenamento e distribuição. O desafio que os retalhistas enfrentam é então o de implementar esta integração da forma mais eficiente possível, sendo que a decisão de não integrar estes canais de comércio representa a perda de uma vantagem competitiva (Bell et al., 2014; Gallino e Moreno, 2014).

Parte deste desafio consiste em coordenar o abastecimento de lojas físicas e satisfazer, em simultâneo, encomendas que serão expedidas diretamente para os clientes. Surge então a necessidade, por parte dos retalhistas, de redesenhar os processos de forma a criar uma experiência de comércio intuitiva e sem qualquer obstáculo – integrando assim os processos de múltiplos canais, tais como as operações de distribuição direta para clientes ou abastecimento de lojas, que antes operavam independentemente e em paralelo (Hübner et al., 2016) – passa a existir apenas uma interface logística comum para os clientes, tornando indistinguíveis os canais (Brynjolfsson et al., 2013; Bell et al., 2014; Verhoef et al., 2015). Esta é a abordagem logística avançada designada por *omni-channel* (ou omni-canal). Adicionalmente e para que esta abordagem possa ser implementada em pleno, é necessário

desenvolver conceitos para entregas em loja, entregas em casa dos clientes, levantamento dos produtos em loja (conceito referido na literatura como *store pick-up* ou *pick-and-collect*) e ainda canais de devolução de produtos (logística inversa). Muitos retalhistas expandiram a capacidade dos seus armazéns ou centros logísticos de uma forma dinâmica, nos últimos anos, face à volatilidade da procura, fazendo variar os produtos disponíveis de acordo com a sua sazonalidade. Segundo Laudon e Traver (2016), hoje em dia os retalhistas precisam de ter armazéns com capacidade redimensionável e capaz de se ajustar à variabilidade da procura nos múltiplos canais que dispõem.

### 3.2. Armazéns

Armazéns são entidades essenciais em qualquer cadeia de abastecimento e desempenham um papel vital no sucesso, ou fracasso, dos negócios hoje em dia (Frazelle, 2017).

As funções principais (e as vantagens) de um armazém incluem: armazenamento intermediário de material ao longo da cadeia de abastecimento como forma de acomodar variabilidade causada por fatores tais como sazonalidade e/ou produção e transporte em lotes (“*batching*” na literatura); consolidação de produtos com várias origens diferentes (fornecedores variados) para uma distribuição combinada para os clientes; e operações de valor acrescentado tais como customização, rotulagem, embalagem e *kitting* - montagem de componentes ou junção de produtos, formando uma nova unidade/conjunto (CSCMP, 2013).

Embora muitas empresas tenham examinado a possibilidade de operar uma cadeia de abastecimento sem recurso a armazéns, ou seja, fazendo a distribuição direta e sincronizada desde os fornecedores até aos clientes, ainda existem inúmeras circunstâncias nas quais esta não é uma escolha apropriada. Isto poderá ser explicado devido à impossibilidade de reduzir os tempos de processamento, por parte dos fornecedores, de uma forma eficiente (em termos de custo) para os tempos requeridos pelos clientes. Assim, estes clientes têm de ser servidos por bens em inventário e não por encomenda (Harrison e Hoek, 2005).

Mercados considerados competitivos requerem melhoria contínua no desenho, operação e controlo de redes de produção e distribuição, o que, por sua vez, requer um melhor desempenho dos armazéns. As filosofias de gestão mais recentes tais como *Just-In-Time* (JIT) ou *Lean* trazem novos desafios aos sistemas dos armazéns – controlo restrito de inventário, redução nos tempos de resposta e aumento da variedade de produtos são alguns desses desafios. Por outro lado, a implementação generalizada de novos sistemas de informação e tecnologia – como códigos de barras, comunicação por frequências de rádio (RFID) e sistemas de gestão de armazéns (WMS) – apresenta novas oportunidades de melhoria nas operações desempenhadas em armazéns (Gu et al., 2007).

### 3.2.1. Desenho de um Armazém Tradicional

Gu et al. (2007) afirmam que existem muitas questões envolvidas no desenho e operação de um armazém para que se possam satisfazer os requisitos mencionados. Acrescentam ainda que os recursos como espaço, força de trabalho e equipamento devem ser alocados entre as diferentes funções confinadas ao armazém e que cada uma destas funções deve ser cuidadosamente implementada, operada e coordenada de forma a atingir os requisitos do sistema em termos de capacidade de armazenamento, rendimento (capacidade de distribuição) e nível de serviço com um custo de recursos mínimo.

Em 2009, os mesmo autores publicam um novo artigo de revisão, no qual referem que o desenho de um armazém envolve cinco decisões maioritárias, sendo estas:

- Estrutura geral: desenho conceptual do armazém onde se determinam o número de departamentos (zonas) de armazenamento, tecnologias a empregar e modo de compilação de encomendas;
- Dimensionamento: determinação da capacidade e espaço de armazenamento;
- Configuração dos departamentos (zonas): definição de padrões de armazenamento (padrões de empilhamento, por exemplo), comprimentos e larguras dos corredores, altura máxima de empilhamento e níveis de armazenamento em *racks* e ainda folgas entre unidades de armazenamento;
- Seleção de equipamento: determinação do nível de automação e do tipo de sistemas de armazenamento e manuseamento de materiais a empregar no armazém;
- Estratégia de operação: seleção de estratégias a implementar na operação do armazém, como estratégias de armazenamento (por exemplo: armazenamento aleatório ou dedicado) e estratégias de Picking (por exemplo: Picking por zonas).

### 3.2.2. Operações em Armazéns Tradicionais

Segundo Rouwenhorst et al. (2000), a eficiência e a efetividade em qualquer rede de distribuição são determinadas, em grande parte, pelas operações logísticas nos nós dessa rede, ou seja, nos armazéns. Em acréscimo, estas operações desempenham um papel fundamental na determinação da competitividade de uma empresa, sendo que os custos logísticos constituem uma parte importante nos custos totais da rede.

Existem 2 tipos principais de fluxos em armazéns: Fluxo Tradicional (o qual será descrito neste subcapítulo) e Cross-Docking (que será descrito no próximo subcapítulo **3.2.3.**)

Os requisitos básicos nas operações desempenhadas em qualquer armazém são:

- Receber produtos (SKUs) vindos dos fornecedores;
- Armazenar esses produtos;
- Receber encomendas de clientes (que podem ser particulares ou lojas, por exemplo);
- Recolher os produtos do seu local de armazenamento (comumente denominado por *Picking*);

- Preparar os produtos para expedição (fazendo operações de valor acrescido nos casos aplicáveis);
- Expedir as encomendas completas (que poderão consistir em vários produtos diferentes) para os clientes.

Num armazém de *cross-docking*, as operações são semelhantes, mas tipicamente não existe *stock*, ou seja, os produtos são rececionados e seguem um fluxo direto para expedição – excluindo assim o armazenamento de produtos da lista de operações desempenhadas nestes armazéns.

### 3.2.3. Cross-Docking (ou X-Docking)

Tal como referido anteriormente, parte das operações desempenhadas na atual cadeia de abastecimento da Worten seguem uma estratégia de *cross-docking*.

Segundo Yu e Egbelu (2008), *cross-docking* é um conceito de manuseamento e distribuição de materiais no qual os produtos se movem diretamente desde o cais de receção para o cais de expedição sem serem armazenados. Em alguns casos, os produtos poderão ser armazenados durante o dia de operação, enquanto aguardam a chegada de outros produtos para seguirem para o cais de expedição, sendo aí juntos numa encomenda – Nestes casos, a capacidade de armazenamento é muito inferior àquela de um armazém tradicional.

Os mesmos autores afirmam que esta estratégia funciona melhor para empresas que distribuem grandes volumes de mercadoria e/ou abastecem muitas lojas, possibilitando assim o despacho de grandes volumes de produtos em curtos espaços de tempo. A situação descrita vai de encontro àquela verificada no armazém da Worten: existe a necessidade de despachar grandes volumes de mercadoria para todas as lojas situadas em Portugal e Espanha, assim como a necessidade de responder rapidamente aos pedidos colocados por clientes na plataforma de comércio *online*.

Algumas das vantagens referidas por Yu e Egbelu (2008) incluem: uma alta rotatividade de inventário (e conseqüentemente redução de número de produtos em inventário), um aumento na capacidade de resposta aos clientes e um melhor controlo da operação de distribuição.

Um dos primeiros artigos relacionados com *cross-docking* foi desenvolvido por Rohrer (1995). Nesse artigo, o autor discute métodos e problemas na modelação de sistemas de *cross-docking* mas não desenvolve em questões relacionadas com a sua implementação.

De forma a determinar quais as melhores configurações para cais em sistemas de *cross-docking*, de acordo com certas condições, Apte e Viswanathan (2000) conduziram experiências computacionais utilizando várias formas de cais. Após avaliação dos resultados, Bartholdi e Gue (2004) descobriram que a melhor configuração para cais em sistemas de *cross-docking* depende da dimensão da infraestrutura e dos padrões de fluxo de mercadoria no seu interior.

Mais recentemente, em 2012, Van Belle et al. publicaram um artigo que tratava o *cross-docking* moderno (“*state-of-the-art*”) e no qual se aborda uma grande variedade de problemas encontrados nestes sistemas. Devido à importância dos problemas abordados neste artigo, três outros artigos surgiram com o objetivo de completar o trabalho de Van Belle et al.: Shuib e Fatthi (2012) reviram os

modelos matemáticos utilizados para atribuir portas de cais a camiões em operações *cross-docking*, Walha et al. (2014) reviram modelos de *cross-docking* que lidam com incertezas, enquanto Buijs et al. (2014) reviram e classificaram problemas de sincronização em redes de *cross-docking*. Ladier e Alpan (2016) afirmam que a literatura relativa à otimização em *cross-docking* parece desconectada das atuais implementações em *cross-docking*. Estes autores vão mais além, constatando ainda que, devido à complexidade computacional dos problemas de otimização, os modelos propostos são simplificados e não correspondem aos requisitos da indústria.

### 3.3. Planeamento de Operações em Armazéns

Para além das decisões tomadas a nível estratégico – como as decisões de desenho do armazém, que irão definir e limitar as operações que ali terão lugar, assim como o tipo de produtos que serão armazenados e manuseados – é necessário escolher e implementar métodos e/ou políticas – ao nível tático – que servirão de base para as operações a desempenhar no armazém.

Um grande desafio para os armazéns, atualmente, prende-se com a redução do tempo de ciclo de encomenda – aspeto que tem vindo a ganhar importância em operações omni-canal. A expectativa de tempos de entrega curtos, por parte dos clientes, cria uma pressão para reduzir o tempo desde o momento em que a encomenda é colocada, recolhida (*Picking*), consolidada, embalada e expedida (Hübner et al., 2016). De forma a superar este desafio, as operações em armazéns omni-canal – como o armazém da Worten – configuram mais fluxos de *cross-docking*, cortando os processos de armazenamento (*Put-Away*) e *Picking* e levando os artigos desde a sua receção diretamente para a preparação da encomenda e expedição. Ainda assim, o aprovisionamento de lojas físicas e realização de encomendas *online* é muitas vezes feito com recurso a artigos que se encontram em stock, sendo necessário coordenar as operações de *Put-Away* e *Picking* destes. É aqui que entra em plano a importância das decisões táticas que permitirão realizar estas operações eficientemente.

Davarzani e Norrman (2015) realçam as seguintes decisões táticas cruciais para o funcionamento de um armazém: onde se devem armazenar os SKUs; quanto espaço é necessário para cada artigo; que política de armazenamento se deve seguir; como devem ser classificados os artigos; e como se deve planear a sequência de operações. Estas decisões devem ter em conta as atividades de *Picking* pois tudo o que é feito na fase de armazenamento (*Put-Away*) influencia diretamente a eficiência destas atividades.

Neste subcapítulo far-se-á a revisão de literatura relevante para os temas de atribuição de localizações de armazenamento a artigos (3.3.1.) e definição de estratégias de *Picking* para preparação de encomendas (3.3.2.). Estes temas configuram as principais decisões táticas a realizar na dissertação, no âmbito da colaboração no projeto da Worten para a zona de armazenamento 708 do entreposto da Azambuja.

### **3.3.1. Classificação de produtos e atribuição de localizações de armazenamento**

Após a receção de um produto num armazém (ou centro logístico), o sistema de gestão do armazém terá de atribuir uma tipologia a este produto, de forma a decidir o destino do produto e a possibilitar as subsequentes operações (nomeadamente a operação de armazenamento) – esta tarefa poderá ser levada a cabo por uma pessoa ou por um sistema informático (WMS).

Segundo Brynzér e Johansson (1996), tipicamente os produtos possuem várias características que poderão ser utilizadas para os classificar e atribuir uma localização de armazenamento, tais como frequência (de chegada e/ou expedição), volume (ou dimensão segundo um plano específico), peso, número de série (ou número relativo, no caso de ser uma parte constituinte de um dispositivo), fornecedor, entre outras características.

De acordo com estas características, Hausman et al. (1976) propuseram três políticas de atribuição de localização de armazenamento. São estas: armazenamento dedicado (ou fixo), aleatório (ou variável) e baseado em classes.

A política de armazenamento dedicado atribui uma localização particular para o armazenamento de cada produto, de tal forma que nenhum outro produto poderá ser armazenado nessa localização, mesmo que esta se encontre vazia (disponível) – entenda-se como produto um SKU, ou seja, diferentes produtos, diferentes SKUs. Rouwenhorst et al. (2000) acrescentam que, nesta política, cada área de armazenamento (que engloba várias localizações de armazenamento) apenas poderá ser utilizada para um SKU específico. Artigos referentes a esse SKU serão armazenados em localizações disponíveis (dentro da área de armazenamento destinada ao efeito).

Fontana e Cavalcante (2014) afirmam que numa política de armazenamento aleatório, os artigos são armazenados em qualquer localização na área de armazenamento, ou seja, qualquer artigo referente a qualquer SKU poderá ser armazenado em qualquer localização de armazenamento dentro do armazém (ou dentro duma zona pertencente ao armazém).

Muppani e Adil (2008) referem-se às políticas de armazenamento aleatório e dedicado como casos extremos de políticas de armazenamento baseado em classes. Admitem então que no armazenamento aleatório se considera apenas uma classe e que, no armazenamento dedicado, considera-se uma classe para cada SKU.

Numa política de armazenamento baseada em classes, Yin e Rau (2006 e 2007) alegam que produtos com taxas de rotatividade – segundo o glossário da CSCMP (2013), é a taxa que mede o número de vezes que o inventário de um produto foi vendido durante um período de tempo – semelhantes serão armazenados na mesma classe. Adicionalmente, cada estante (ou “*rack*”) estará dividida em várias classes de dimensões diferentes.



Em 1999, Liu constata que a redução de custos, espaço utilizado e distâncias percorridas deverão ser tomados em consideração na operação de qualquer armazém considerado eficiente. Assim sendo, o objetivo de encontrar soluções para o problema de atribuição de localizações ao *stock* é o de reduzir os requisitos de espaço, assim como minimizar a distância total percorrida dentro do armazém – estes são os principais custos de operação de um armazém. Há que notar que, para muitos produtos, estes objetivos podem entrar em conflito. Diferentes políticas para atribuição de localizações de armazenamento poderão reduzir diferentes custos de operação no armazém.

Se se considerar a redução do custo de *Picking* (ou seja, o custo relacionado com as deslocações no armazém) como uma prioridade sobre outros custos, a política de armazenamento dedicado deverá providenciar o menor custo, segundo Muppani e Adil (2008). Se a prioridade estiver no lado da redução do custo de armazenamento (relacionado com os requisitos de espaço no armazém), a política de armazenamento completamente aleatório deverá acarretar os menores custos. Num caso mais realista, onde se consideram ambos os tipos de custos, a melhor política poderá não ser uma destas.

De forma a suportar a decisão relativa à atribuição de localizações de armazenamento a artigos num armazém, a literatura científica sugere a adaptação do problema de atribuição de localizações de armazenamento – *storage location assignment problem* (ou SLAP) – utilizando políticas que se adequem aos perfis dos SKUs (características dimensionais e requisitos de manuseamento) a armazenar em cada zona/departamento e à tecnologia aí disponível.

Este problema (SLAP) atribui localizações de armazenamento, aos artigos que são rececionados, em zonas/departamentos do armazém visando a redução do custo de manuseamento e melhorando a utilização do espaço de armazenamento disponível. Gu et al. (2007) definem formalmente o SLAP como um problema de otimização que tem em conta:

- A configuração da área de armazenamento (*layout*) e das localizações de armazenamento;
- A disponibilidade, dimensões e posição (no armazém) das localizações de armazenamento;
- As dimensões, procura, quantidade e horários de receção dos artigos a armazenar.

Adicionalmente, este problema de otimização poderá ter em conta a relação entre artigos (compatibilidade de armazenamento e/ou afinidade em encomendas, ou seja, se os artigos podem ou não ser armazenados na mesma zona em segurança e se os artigos costumam ser encomendados em conjunto), assim como as suas políticas de recolha, tais como FIFO (*first-in, first-out*), LIFO (*last-in, first-out*), entre outras.

Segundo os autores, os problemas SLAP dividem-se em três categorias, dependendo da informação sobre chegada/receção e expedição de artigos que é conhecida em antemão: (1) informação sobre o item, (2) informação sobre o produto, ou (3) sem informação. Na primeira categoria (1), conhece-se toda a informação sobre janelas de entrega, por parte de fornecedores, e expedição assim como quantidades exatas, à unidade, rececionadas e expedidas. Na segunda categoria (2), apenas se conhecem as dimensões, tipologia e inventário médio (e utilização de espaço) de cada artigo. Na

terceira categoria (3), não se conhecem quaisquer características sobre os artigos rececionados. Para cada categoria de problema existem políticas operacionais diferentes que ditam a implementação e eficiência geral desta otimização. Numa nota adicional, os autores referem que a maioria da investigação científica (relativa à aplicação de problemas SLAP) se foca em armazéns com armazenamento feito unicamente à unidade, ou seja, apenas uma tipologia de armazenamento é utilizada em todo o armazém. A conclusão a que chegam é que, embora se possam aplicar políticas SLAP a armazéns com mais do que uma tipologia de armazenamento – por exemplo, armazenamento às paletes, caixas de cartão com várias unidades e armazenamento à unidade – será muito mais difícil chegar a resultados analíticos devido à complexidade de computação associada aos tempos e custos de manuseamento envolvidos em armazéns com estas tipologias de armazenamento.

Tipicamente, problemas de otimização – como o SLAP – produzem os melhores resultados, mas tendo em conta as suas limitações, outros métodos de atribuição de localizações surgiram de forma a responder às necessidades específicas de operações de armazenamento que não se enquadram com aquelas estudadas pelo SLAP (e mencionadas acima).

Citando Hsieh e Tsai (2006), um dos critérios/métodos utilizados para atribuição de localizações de armazenamento a classes de produtos que é capaz de capturar a popularidade – refere-se à frequência com que um produto é armazenado ou requisitado para preparação de encomenda – e requisitos de espaço de um produto, é o COI (ou “*Cube-Per-Order Index*”). Muppani e Adil (2008) definem COI como o rácio entre o espaço de armazenamento ocupado por um produto (usualmente o seu volume) e a sua popularidade. Esta política de armazenamento foi criada por Heskett em 1963, mais tarde desenvolvida por Kallina e Lynn (1976) e dita que os produtos deverão ser ordenados por ordem crescente do seu COI e, pela mesma ordem, colocados em localizações de armazenamento o mais perto dos cais de descarga e carga possível.

O princípio da regra COI para atribuição de localizações de armazenamento baseia-se na redução das distâncias percorridas numa zona de armazenamento onde se fazem movimentos de *Put-Away* e *Picking*. Num contexto onde existe uma grande variabilidade na volumetria dos SKUs, a implementação do método COI resulta em distâncias percorridas inferiores àquelas verificadas pela implementação do método ABC tradicional – isto deve-se ao facto de, entre SKUs com a mesma popularidade, mas com requisitos de espaço diferentes, é possível colocar mais artigos com menores dimensões perto dos cais de carga/descarga. Assim, a maioria das deslocações serão feitas nas zonas mais perto dos locais onde se iniciam e finalizam as operações de *Put-Away* e *Picking*.

Muppani e Adil continuariam a estudar soluções para a atribuição de classes e localizações de armazenamento a produtos e em 2008 publicam um artigo no qual propõem um algoritmo baseado numa meta-heurística de recozimento simulado (*simulated annealing algorithm*, ou SAA). Este algoritmo considera o custo de armazenamento, o custo de Picking para encomendas e um agrupamento de produtos sem restrições de ordenação segundo o COI. No desenvolvimento do artigo, os autores demonstram que a formação de classes de produtos com base numa ordenação segundo o COI pode não levar a uma solução ótima. Conclui-se ainda que soluções de armazenamento baseadas

em classes providenciam um benefício superior àquele de soluções de armazenamento dedicado quando a variabilidade de inventário de produtos é alta.

Em 2016, Li et al. desenvolvem um mecanismo de otimização para o problema de atribuição de localizações de armazenamento que se baseia na classificação ABC de produtos – uma política que classifica produtos tendo em conta apenas a sua popularidade – e na afinidade entre diferentes produtos, ou seja, características que produtos diferentes possam ter em comum. Uma heurística baseada em *data mining* (processamento de dados históricos) foi desenvolvida de forma a calcular relações de paridade entre produtos. Estes autores constataram ainda – mediante comparação dos resultados referentes a este novo mecanismo face aos da classificação ABC tradicional, ambos testados num centro de distribuição de uma empresa produtora de produtos de higiene e cuidado – que o tempo médio de *Picking* para encomendas reduziu entre 7.14 e 104.48%.

### 3.3.2. Picking para Encomendas

*Picking* em armazém é referido na literatura, por Hall (1993) e Caron et al. (2000), como o processo de recolha de produtos armazenados em várias localizações para preparação da encomenda de um cliente – estratégia intitulada de *individual order Picking* ou *pick to order*– ou para preparação de um conjunto de encomendas de uma vez – este caso ramifica para algumas estratégias diferentes entre si. Coyle et al. (1996) alegam que o processo de *Picking* é uma ligação importante nas cadeias de abastecimento e que constitui por volta de 65% dos custos totais de operação de um armazém.

Battini et al. (2015) mencionam que um sistema de *Picking* pode ser classificado segundo diferentes critérios, tais como: o nível de automação (sistemas manuais ou automatizados) ou a forma como a recolha dos produtos é processada (*picker-to-parts* ou *parts-to-picker*, ou seja, o operador desloca-se até aos produtos ou os produtos deslocam-se até ao operador. A hipótese de implementação de automação em armazéns é frequentemente examinada como um meio de reduzir os custos de operação, mas muitas empresas continuam a usar sistemas de *Picking* manuais devido à variabilidade do tamanho e forma dos SKUs, variabilidade da procura, sazonalidade dos produtos e elevado investimento necessário para automatizar um sistema de *Picking*, segundo Petersen e Aase (2004).

Koster et al. (2007) referem que, tradicionalmente, o desenho de um sistema de *Picking* pretende determinar a configuração geral do armazém que assegure valores mínimos para as distâncias percorridas e, conseqüentemente, tempos de processamento. Os autores acrescentam ainda que existe uma relação crucial entre o *Picking* para encomendas e o nível de serviço de um armazém, pois quanto mais rápido os produtos de uma encomenda forem recolhidos, mais cedo estarão disponíveis para expedição para o cliente.

Petersen e Aase (2004) inferem que as três decisões ao nível de processos – consideradas mais recorrentemente na literatura existente – são referentes a: como armazenar produtos (estratégias/políticas de armazenamento), como recolher produtos (estratégias e métodos de *Picking*) e como fazer rotas de *Picking* para os operadores no armazém.

Segundo Le-Duc e Koster (2007), a escolha de uma estratégia (ou política) de armazenamento (de entre aquelas referidas em 3.3.1.) terá um grande impacto sobre a eficiência do processo de *Picking* para encomendas. Gu et al. (2007) debruçam-se sobre esta matéria e acrescentam dizendo que a implementação de uma estratégia de armazenamento é um assunto do nível tático. Em contraste, afirmam que a seleção de um método de *Picking* é uma decisão ao nível estratégico, sendo que esta tem, pelas palavras dos autores, “um impacto alargado sobre muitas outras decisões no desenho e operação de um armazém”. Tendo em conta que as atividades num armazém são frequentes e numerosas, Chen et al. (2005) afirmam que mesmo pequenas melhorias podem resultar em poupanças significativas nos custos operacionais de um armazém. Conclui-se então que a operação de *Picking* para encomendas pode ser considerada a operação mais crítica num armazém.

Relativamente a estratégias de *Picking* e para além daquela anteriormente referida (*individual order Picking*), existem outras variantes que advêm dos mesmos conceitos de recolha de produtos para uma ou múltiplas encomendas. *Cluster Picking*, por exemplo, é uma estratégia muito semelhante a *batch Picking*. Richards (2014) distingue as duas estratégias dizendo que na primeira, os produtos recolhidos são separados em diferentes compartimentos (caixas, contentores ou paletes), cada um correspondendo a uma encomenda e, na segunda, os produtos referentes a múltiplas encomendas são recolhidos para o mesmo compartimento e só no fim do processo de *Picking* são separados pelas encomendas a que dizem respeito.

Este autor refere ainda outras duas estratégias de *Picking*: *Picking* por zonas (*zone Picking*) e *Picking* por ondas (*wave Picking*). Em *Picking* por zonas, os operadores (comumente intitulados de *pickers*) são alocados a áreas específicas do armazém e recolhem produtos que estão armazenados unicamente nessa zona – as encomendas chegam a uma certa zona e apenas avançam para a próxima quando a zona anterior conclui o processo de *Picking* para essa encomenda. *Wave Picking*, ou *Picking* por ondas, é uma estratégia na qual as encomendas são combinadas e as suas ordens de preparação são lançadas em janelas de tempo específicas durante o dia – estas janelas tendem a corresponder aos horários de partida de veículos, ciclos de reaprovisionamento, trocas de turnos e, por vezes, até associam o lançamento destas ordens com os requisitos e prioridades de serviços de valor acrescentado existentes no armazém.

Para além de estratégias, existem também métodos de *Picking* para encomendas. Segundo Richards (2014), esta é a área na qual a tecnologia tem vindo a ter maior impacto, melhorando a precisão e produtividade da operação de *Picking* consideravelmente. O autor prossegue dizendo que os seguintes métodos de *Picking* são os mais comumente utilizados nos armazéns de hoje em dia:

- *Paper pick lists* – Lista em papel que contém detalhes relativos ao número de encomenda, localizações, descrições, quantidades e códigos dos produtos a recolher. A ordem em que aparecem os produtos será a sequência segundo a qual o operador fará o *Picking*;
- *Pick by label* – Neste sistema, um papel contém várias etiquetas (*labels*) que correspondem à *pick list*. O operador coloca uma etiqueta em cada produto recolhido e retorna as etiquetas não

utilizadas ao seu supervisor, possibilitando assim a identificação imediata de discrepâncias no inventário;

- *Pick by voice* – Os operadores utilizam auscultadores e microfone em conjunto com um pequeno terminal que poderá ser acoplado à roupa ou utilizado no pulso. O WMS envia mensagens via frequências rádio, através de transmissores instalados pelo armazém, para o terminal do operador. Ali as mensagens são convertidas em comandos de voz e o operador, por sua vez, utiliza também comandos de voz para comunicar com o sistema;
- *Barcode scanning* – Este método utiliza códigos de barras unidimensionais ou bidimensionais (conforme a necessidade de armazenamento de informação) para identificar os produtos no armazém, bem como as localizações de armazenamento. Pressupõe-se o uso de um dispositivo com leitor ótico de códigos de barras por parte dos operadores. Este dispositivo comunica diretamente com o WMS, mostrando ao operador as informações dos produtos a recolher e devolvendo a devida confirmação da recolha dos produtos (por parte do operador) ao WMS. Os dispositivos utilizados pelos operadores apenas conseguem ler os identificadores a curtas distâncias e um identificador de cada vez;
- RFID – Semelhante ao método anterior, este método identifica cada produto com ondas rádio em vez de códigos de barras. A informação também é trocada entre identificadores e dispositivos de leitura, mas por vezes pode não ser necessária a proximidade entre os dois. Ao contrário do sistema de código de barras, este sistema permite a leitura de múltiplos identificadores em simultâneo;
- *Pick by light/pick to light* – Este sistema tende a ser empregado em conjunto com a estratégia de *Picking* por zonas. O operador começa por ler o código de barras de um meio de armazenamento (caixa de cartão ou *tote*, por exemplo) correspondente à próxima encomenda para a qual será feito *Picking*. De seguida, o WMS sabe que o operador está pronto para iniciar o *Picking* e envia uma mensagem para a zona desse operador, fazendo com que os indicadores de luz (módulos LED ou LCD) montados nas estantes (ou outro tipo de localização de armazenamento), correspondentes aos produtos que deverão ser recolhidos nesta encomenda, acendam todos de uma vez. Um mostrador digital montado em cada uma dessas localizações indica ao operador a quantidade de cada produto que deverá ser recolhida. Uma vez recolhida a quantidade certa de um produto, o operador desliga a luz, confirmando assim a recolha deste produto. Este processo será repetido até todos os produtos, na zona do operador, referentes à encomenda serem recolhidos e colocados no devido meio de armazenamento;
- *Put to light* – Método similar ao *pick to light* mas utilizado no reaprovisionamento de localizações de armazenamento ou lojas de retalho. Por vezes utiliza-se este sistema para reaprovisionar as localizações onde será feito o *pick to light*.

Por fim, a definição de rotas para os *pickers* num armazém constitui, como foi mencionado anteriormente, uma decisão com grande impacto sobre a eficiência do processo de *Picking* para encomendas. Pelas palavras de Petersen e Aase (2004), uma política de roteamento determina a sequência segundo a qual será feito o *Picking* de produtos numa *pick list*. Por meio de procedimentos

ótimos ou heurísticas, as políticas de roteamento pretendem minimizar as distâncias percorridas pelos *pickers* num armazém.

Em 1983, Ratliff e Rosenthal mostraram que, em armazéns retangulares (os mais comuns), procedimentos ótimos levam às melhores soluções para este problema de roteamento mas podem resultar em rotas confusas. Por outro lado, as heurísticas são fáceis de utilizar e, muitas vezes, permitem alcançar soluções com valores perto do ótimo, afirmam Petersen e Schmenner em 1999.

Koster e Roodbergen (2007) admitem que uma das heurísticas mais simples para roteamento de *pickers* é a *S-shape* (também chamada de *traversal* ou travessia). Nesta heurística, qualquer corredor que tenha uma localização para *Picking*, é atravessada totalmente pelo *picker* e corredores sem localizações destinadas a *Picking* não são visitados. Depois de visitar o último corredor, o *picker* regressa ao cais de carga/descarga. Segundo Petersen e Aase (2004), esta heurística produz bons resultados quando a densidade a recolher por corredor é grande. Outra heurística simples de roteamento de *pickers* é o método de retorno (*return method*) onde, similarmente à heurística de travessia, apenas corredores com localizações de *Picking* são visitados e no qual os *pickers* entram e saem de cada corredor pelo mesmo lado.

Koster e Roodbergen (2010) concluem ainda que a combinação das heurísticas de travessia e retorno (heurística combinada) permite reduzir ainda mais as distâncias percorridas pelos *pickers* e produz soluções que se aproximam da solução ótima. Os mesmos autores descrevem ainda, noutra artigo de revisão publicado em 2007, dois outros métodos utilizados para roteamento de *pickers*: o método do ponto-médio (*midpoint method*) e a estratégia da maior distância (*largest gap strategy*).

No *midpoint method*, o armazém é dividido, segundo uma linha transversal aos corredores e equidistante em relação às pontas desses corredores, em duas áreas. O *picker* entra por uma certa ponta num corredor quando a localização de *Picking* se encontra dentro da área que confina essa ponta do corredor e depois volta pela mesma ponta onde havia entrado. Hall (1993) afirma que este método suplanta o método da travessia (*S-shape*) quando o número de *picks* por corredor é reduzido – por exemplo uma *pick*, em média, por corredor. A *largest gap strategy* segue a lógica seguinte: quando, num corredor, a maior distância é verificada entre uma localização de *Picking* e o corredor transversal (*cross-aisle* numa das pontas do corredor), o *picker* entra nesse corredor pela ponta contrária e, uma vez concluído o *Picking* nesse corredor, sai pela mesma ponta onde entrou. No caso da maior distância se verificar entre duas localizações de *Picking* consecutivas, o *picker* faz uma rota de retorno pelas duas pontas do corredor – similarmente ao *midpoint method*.

Petersen comparou, em 1997, todos estes métodos de roteamento numa situação de armazenamento aleatório e concluiu que a melhor solução obtida (distância obtida com qualquer um destes métodos) se encontrava, em média, 5% acima da solução ótima. Vale ressaltar que todos estes métodos foram inicialmente desenvolvidos para armazéns com apenas um bloco inteiro de armazenamento, ou seja, armazéns sem corredores transversais no meio dos corredores destinados a armazenamento. Não obstante, Roodbergen e Koster (2010) sugerem algumas modificações a estes métodos que os tornam viáveis para aplicação em armazéns com múltiplos blocos de armazenamento.

## 4. Proposta Metodológica

Visando os objetivos mencionados anteriormente (em 1.2.), apresenta-se no presente capítulo uma proposta metodológica que é delineada para apoiar o desenvolvimento de uma ferramenta de planeamento operacional que apoiará a decisão de atribuição de categorias de rotação – classificação dos artigos armazenados de acordo com a sua popularidade – e localização de armazenamento aos artigos que chegam ao entreposto. Esta ferramenta fará também o controlo dos dados de todos os artigos na zona 708, propondo possíveis alterações às suas localizações ativas, ou seja, de *Picking*, mediante critérios definidos.

A operação da Worten configura artigos com tipologias de armazenamento variadas, desde paletes, a caixas de cartão e até embalagens com um ou mais produtos, assim como as localizações de armazenamento também variam em termos de dimensões. Para além disto, os artigos que a Worten comercializa apresentam requisitos de manuseamento variados e específicos – note-se a diferença no manuseamento de um aquecedor, de uma televisão larga e fina e, por exemplo, de um computador portátil. É sabido também que o ciclo de vida de muitos artigos eletrónicos – vendidos pela Worten – é curto e varia repentinamente de um ano para o outro, assim como a informação vinda dos fornecedores – relativa a janelas de entrega e disponibilidade – também varia muito entre os vários fornecedores da Worten. Tendo tudo isto em conta, os métodos SLAP revistos no subcapítulo 3.3.1., mostram-se pouco indicados no caso do problema da Worten, devido à dificuldade de implementação e pouca informação relativa à sua efetividade (discutida na literatura científica) em sistemas com a complexidade da operação da Worten.

### 4.1. Métodos para alocação de artigos (*Slotting*)

É possível encontrar alguns exemplos de algoritmos de *slotting* na literatura científica: Li et al. (2015) propõem um algoritmo genético baseado na afinidade entre artigos que minimiza as distâncias percorridas quando se pretende fazer *Picking* de artigos por encomenda e para artigos que tendem a ser encomendados em conjunto; Jahani (2016) desenha um algoritmo que otimiza a alocação de artigos com base nas suas dimensões e custo de manuseio e reaprovisionamento; Petersen et. al (2005) enumeram alguns métodos de *slotting* (ver *Tabela 1*) que utilizam diferentes medidas como fatores para decisão das localizações de artigos num armazém e concluem que o método COI – que faz um rácio entre o volume de um artigo e a sua rotatividade (*turnover*) – compreende as medidas mais importantes para os restantes métodos mantendo uma simplicidade de implementação que o torna adaptável para as mais variadas operações de armazenamento.

**Tabela 1** – Representação de vários métodos utilizados para alocação de artigos.

<b>Fator / Método</b>	<b>Especificações</b>
Popularidade	Classificação qualitativa de artigos (tipo ABC utilizando, por exemplo, a Lei de Pareto).
<i>Turnover</i>	Quantidade de cada artigo expedida por unidade de tempo. Relacionado com a Popularidade.
<i>Cube-Movement</i> (Volume)	Procura de um artigo multiplicada pelo seu volume.
<i>Pick Density</i>	Rácio (índice) entre a Popularidade de um artigo e o seu volume. Identifica artigos com a maior atividade de <i>Picking</i> por espaço definido.
COI	Rácio (índice) entre o volume do artigo e o seu <i>Turnover</i> . Classifica artigos por ordem crescente do índice e localizações de armazenamento pela sua acessibilidade.

Tendo em conta o tempo disponível para colaboração com a Worten – os seis meses de estágio – e o trabalho associado à condução dos dados desde a operação (base de dados do WMS) até ao ambiente onde estes foram processados (conjugação de linguagem SQL com o ambiente de desenvolvimento R), foi necessário encontrar um balanço entre a complexidade do algoritmo de *slotting* – a quantidade de dados que serviriam de *input* e uma otimização multiobjectivos – e a viabilidade de implementação deste na operação da Worten.

Assim sendo, o método COI surge como uma alternativa aos métodos de otimização, sendo a sua implementação substancialmente menos complexa e adaptável à operação da Worten. Este método considera a popularidade dos produtos e as suas dimensões – sendo que ao ter estes fatores sob consideração na decisão da alocação de artigos, é possível garantir que os artigos mais populares (e, portanto, mais visitados durante a operação do armazém) ficam em localizações mais acessíveis em termos de distância percorrida e rapidez de recolha, esperando-se assim contribuir para a redução da distância percorrida dentro das zonas de armazenamento. Adaptando a regra deste método (COI) – tendo em conta as diferentes tipologias de armazenamento dos artigos e dimensões das localizações de armazenamento no armazém da Worten – e utilizando informação relativa ao número de unidades de cada artigo que tendem a configurar cada encomenda, torna-se possível calcular (e maximizar) o número de encomendas satisfeitas por uma dada localização ativa (de um artigo), reduzindo assim o número de movimentos de reaprovisionamento. Em termos de implementação, os dados existentes nas bases de dados da Worten e a sua estrutura (desenvolvida no subcapítulo 4.3.) viabilizam o processamento necessário para definição do COI de todos os artigos candidatos a *slotting*. Esta nova medida e a resultante adaptação do método COI serão detalhadamente explicados nas seguintes secções deste capítulo – a *Figura 7* proporciona um mapeamento para a metodologia a seguir no âmbito da atribuição de localizações de armazenamento a artigos do WH708 *Racks*.



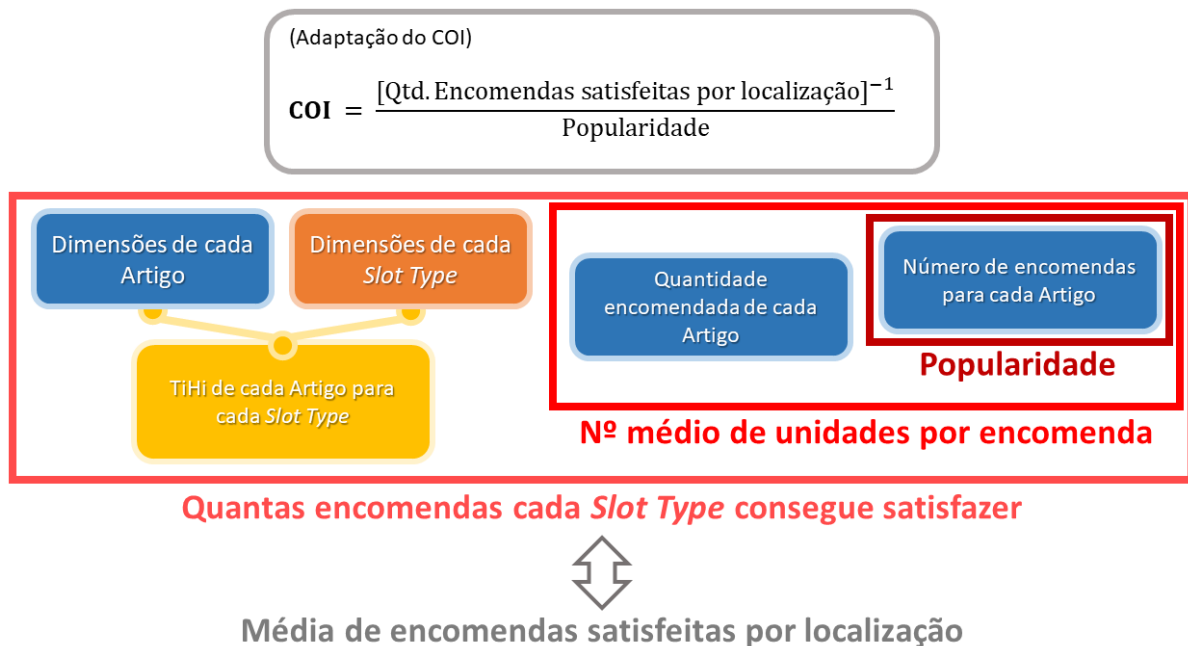


**Figura 7** – Proposta Metodológica.

A lógica empregada no *slotting* (ou atribuição de localizações de armazenamento) atribui as melhores localizações de armazenamento (em termos de acessibilidade) aos artigos com melhor COI.

O **cálculo do COI dos artigos** será feito segundo uma adaptação da fórmula de cálculo original – que colocava as dimensões do artigo no numerador e a popularidade no denominador – de forma a dar incidência a fatores específicos da operação da Worten. Esta nova fórmula, adaptada no desenvolvimento desta dissertação, substitui as dimensões do artigo, no numerador, por uma quantidade correspondente ao inverso do número de encomendas que uma localização, preenchida com unidades desse artigo, consegue satisfazer até ser necessário fazer o seu reaprovisionamento (ver *Figura 8*). A ideia desta adaptação é atribuir prioridade (em termos de atribuição das melhores localizações) a artigos cujas dimensões e características referentes a tendências das suas encomendas tornem possível reduzir a frequência de *stock-outs*, o que levará a um aumento geral na eficiência da operação de *Picking* e *Put-Away*. Adicionalmente, esta adaptação toma sob consideração as diferentes tipologias de armazenamento utilizadas na Worten para os diferentes tipos de localização de armazenamento (ou *slot types*): Paleta Alta, Paleta Média, Paleta Baixa, Prateleira Grande, Alvéolo Grande e Alvéolo Pequeno. Cada um destes tipos de localização tem dimensões diferentes, o que leva a que um mesmo artigo possa necessitar de ser configurado em “Ti-Hi”<sup>1</sup> diferentes quando armazenado num ou outro tipo de localização.

<sup>1</sup> “Ti-Hi” é uma medida de capacidade utilizada em logística, em que: “Ti” representa a quantidade de unidades de um artigo que cabem num nível (*Tier* ou *Layer*) da paleta ou tipologia de armazenamento semelhante; e “Hi” representa o número de níveis que essa tipologia suporta.



**Figura 8** – Metodologia para categorização de artigos: adaptação do método COI para implementação na operação da Worten.

Em relação às **localizações de armazenamento**, será feita uma divisão do espaço de armazenamento em zonas – sendo que cada zona terá apenas um *slot type* e que a acessibilidade de qualquer localização de armazenamento numa zona será sensivelmente a mesma. De forma a definir um *ranking* que categorize as zonas de armazenamento de acordo com a sua acessibilidade, serão calculadas as distâncias desde cada zona até cada um dos destinos dos movimentos no armazém, sendo que os movimentos estão divididos entre: *Input*, ou *Put-Away*, que leva artigos desde a zona de receção até à sua zona de armazenamento; e *Output*, ou *Picking*, que leva artigos desde a sua zona de armazenamento até um dos dois destinos – zona de PTS ou PTZ. Uma vez calculadas estas distâncias, far-se-á uma distância ponderada, utilizando os pesos relativos de cada um dos movimentos referidos (ver *Figura 9*). Organizando as zonas de acordo com as suas distâncias ponderadas de forma decrescente, obtém-se um *ranking* das zonas, em termos de acessibilidade – uma análise de sensibilidade, fazendo variar os pesos relativos dos movimentos, será feita para testar a robustez do *ranking* obtido e de forma a definir um *ranking* representativo da realidade.



**Figura 9** – Metodologia para categorização de localizações de armazenamento.

Traduzindo esta lógica de atribuição de localizações de armazenamento para uma ferramenta e ligando esta ferramenta ao WMS da Worten, será possível fazer deste um problema dinâmico, atualizando diariamente os dados dos artigos – utilizando informação recolhida da operação (encomendas de entrada e saída) e ciclos de vida dos artigos, tanto para artigos já armazenados como para novos artigos que entram no armazém - e localizações – utilizando informação relativa à ocupação das localizações, mudanças dos *slot types* das mesmas e ainda variações nos pesos dos movimentos no armazém. Os ciclos de vida dos artigos serão utilizados, principalmente, para tentar prever a popularidade de novos artigos que chegam – para os quais ainda não existem dados de encomendas de saída – de forma a poder categorizá-los face a outros artigos no armazém. Utilizando algoritmos de otimização, a ferramenta fará a **atribuição das localizações de armazenamento (*slotting*)**. De forma a **avaliar o desempenho da solução proposta** (ferramenta), será feito um **modelo de simulação** que permitirá quantificar as (possíveis) melhorias face à situação atual que se verifica no armazém da Worten.

## 4.2. Aplicação do método COI adaptado

Para aplicar o método COI de uma forma que se adeque à realidade da operação da Worten e tendo em vista a alocação dos artigos no armazém (*Slotting*), é necessário primeiro definir o conjunto de dados com os quais se irá desenvolver este modelo de *slotting*.

Reverendo a metodologia descrita por Kallina e Lynn (1976) e de acordo com a *Figura 7*, definem-se dois conjuntos de dados distintos: **artigos** e **localizações**. O primeiro conjunto de dados será composto por todos os **artigos** dos fluxos PBL e PBS que são armazenados nas *racks* da zona 708 – para tal, consideram-se apenas os artigos que passaram por esta zona de armazenamento durante o ano de 2019. Quanto ao segundo conjunto de dados, este é constituído por todas as localizações ativas (de *Picking*) nos corredores de *racks* da zona 708.

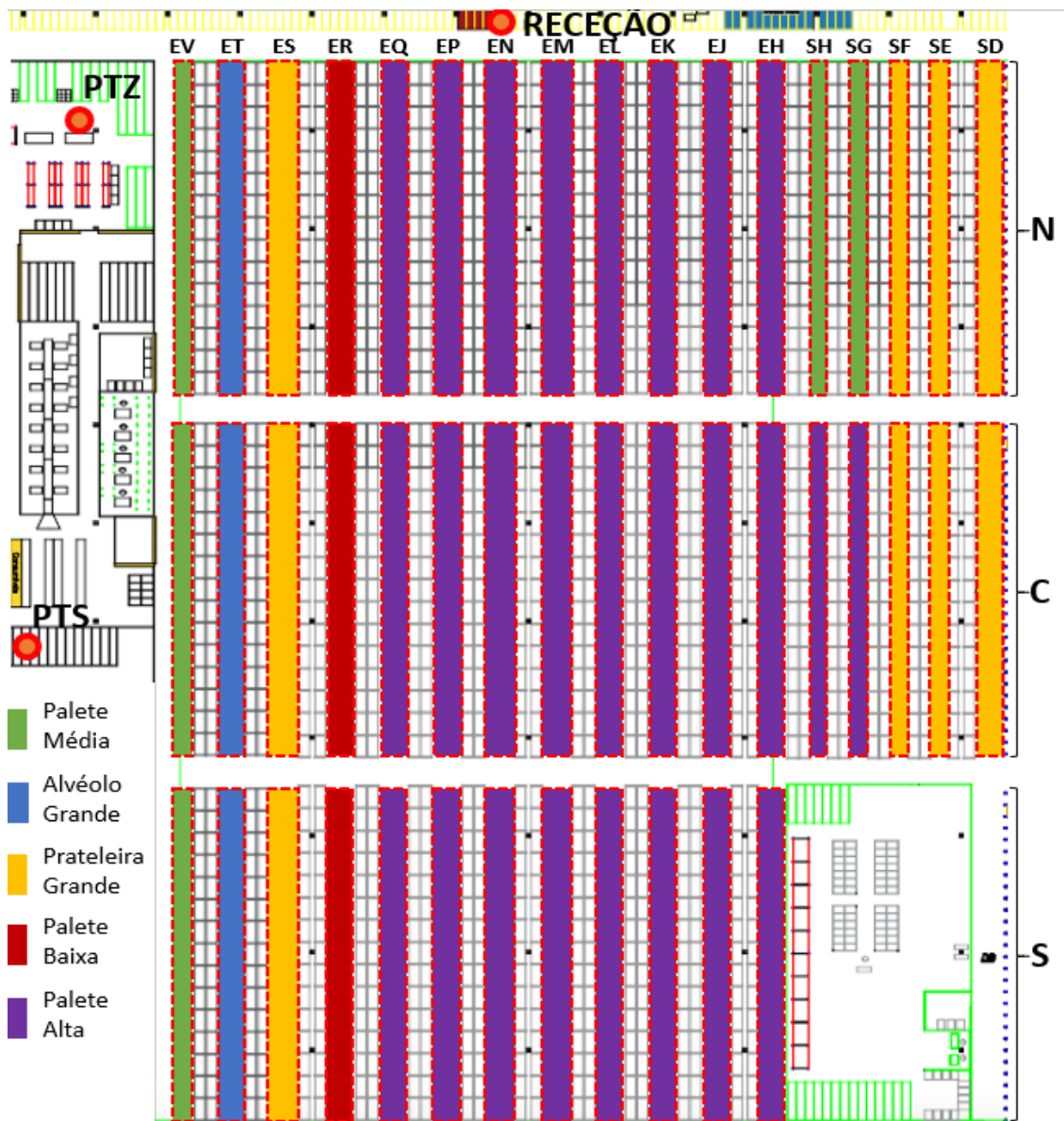
O conjunto de artigos considerado configura cerca de 13.000 SKUs que variam não só em dimensão, mas também em peso e especificações de manuseamento. Estes artigos chegam ao Entrepósito da Azambuja, provenientes de milhares de fornecedores (nacionais e internacionais), pelo que a forma como são entregues também varia – todos os artigos chegam em paletes, mas o seu Ti-Hi varia entre os vários fornecedores. Tendo em conta que atividades de reorganização dos artigos que chegam em paletes (por exemplo partir paletes de forma a separar unidades do mesmo artigo que chegam juntas) consomem tempo e provocam congestionamento na zona de receção, atrasando todas as operações que se seguem (*bottleneck*), pretende-se que os artigos sejam alocados a uma localização e armazenados na forma como chegaram ao armazém – levanta-se uma questão de compatibilidade entre o artigo, o seu Ti-Hi (do fornecedor) e as dimensões da localização de armazenamento candidata à alocação.

De acordo com o referido no início do capítulo 4, as **localizações** ativas de armazenamento que configuram a zona 708 *racks* dividem-se em 6 *slot types* com dimensões diferentes entre si: Pallet Alta, Pallet Média, Pallet Baixa, Prateleira Grande, Alvéolo Grande e Alvéolo Pequeno (este último deixará de existir na zona 708 *racks* quando este modelo for implementado, pelo que não é considerado neste trabalho).

### 4.2.1. Criação de Zonas

A zona de armazenamento em *racks* do 708 é constituída por corredores com localizações de armazenamento dos dois lados e cada corredor atravessa a zona 708 de um lado ao outro. Visando a criação de zonas de armazenamento e sabendo que cada corredor está dividido em 3 partes (Norte, Centro e Sul) e que cada uma destas partes dos corredores tem apenas 1 *slot type* para todas as suas localizações de armazenamento ativas, decidiu-se que cada uma destas partes de cada corredor passaria a ser uma zona de armazenamento na ótica do modelo de *slotting* – resultam desta decisão 46 zonas de armazenamento, desde o corredor EV até ao SD, partes Norte (N), Centro (C) e Sul (S) – como é possível verificar na *Figura 10*, sendo cada retângulo colorido (verde, azul, amarelo, vermelho

ou roxo) referente a uma zona de armazenamento. Para além dos *slot types*, as zonas distinguem-se também (e principalmente) pela sua acessibilidade, isto é, considera-se que todas as localizações de armazenamento dentro de uma zona têm sensivelmente a mesma acessibilidade e que a acessibilidade varia entre zonas diferentes. No contexto deste modelo e do *layout* do armazém, considera-se como acessibilidade a distância a que cada zona está do ponto de origem (em movimentos de *Put-Away*), sendo este ponto a Receção, e dos pontos de destino (em movimentos de *Picking*) que são um ponto na zona de PTS e outro na zona de PTZ (ver *Figura 10*).



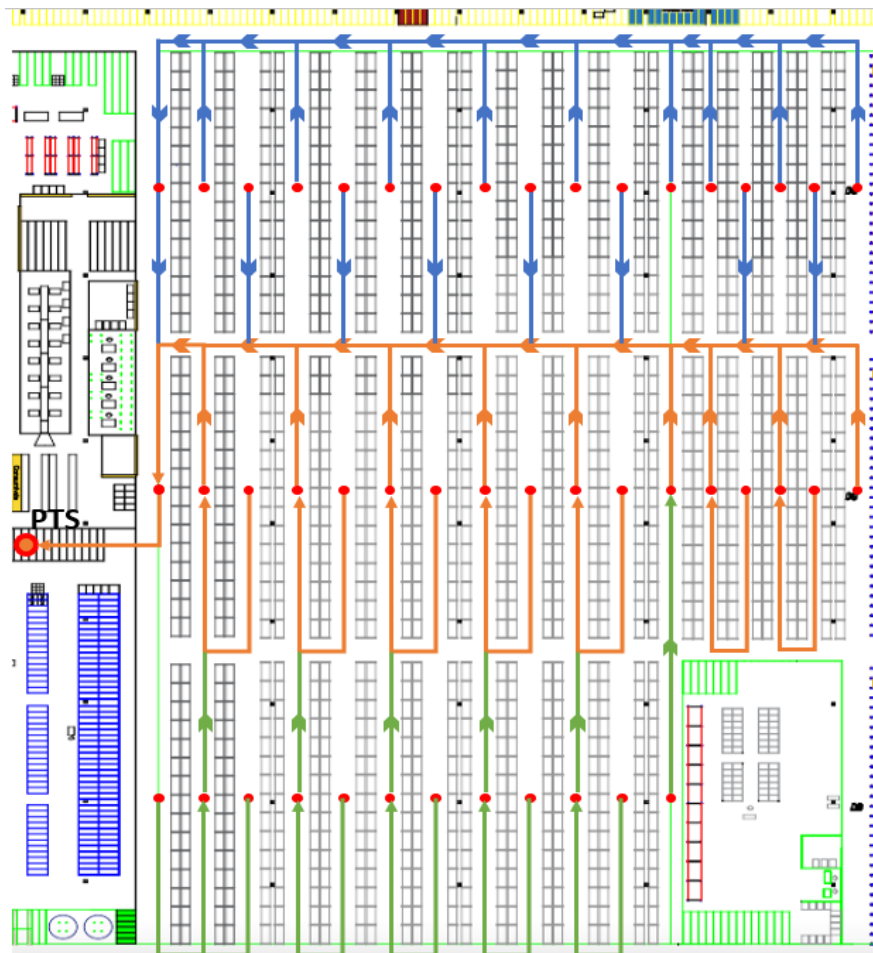
**Figura 10** – Zonas de Slotting do WH708 Racks e seus *Slot Types*.

No momento em que este trabalho é desenvolvido, os corredores SF, SE e SD encontram-se bloqueados – não podendo ter qualquer artigo alocado, devido a razões de reorganização do espaço de armazenamento –, sendo que, a alocação de artigos somente poderá ser feita às zonas Norte (N),

Centro (C) e Sul (S) dos corredores EV, ET, ES, ER, EQ, EP, EN, EM, EL, EK, EJ, EH, SH e SG, estando então excluídas as zonas Norte e Centro dos corredores SF, SE e SD (não existe zona Sul destes corredores) – 40 zonas de armazenamento disponíveis e 6 zonas de armazenamento excluídas.

#### 4.2.2. Cálculo das distâncias entre as Zonas e os pontos de *Input/Output*

Tendo definido os pontos de input e output, a acessibilidade pode descrever-se através das distâncias de cada zona (ponto médio) a estes pontos, tomando em conta os sentidos de circulação nos corredores previamente definidos no layout do armazém, de forma a aproximar o modelo da realidade – um exemplo de como estas distâncias são calculadas tendo em conta os sentidos de circulação é apresentado na *Figura 11*.



**Figura 11** – Caminhos percorridos desde cada zona até ao ponto de PTS de acordo com os sentidos de circulação dos corredores.

Assim sendo, cada zona tem então 3 distâncias calculadas (uma para cada ponto: Recepção, PTS e PTZ). De forma a obter uma medida única para a acessibilidade, pretende-se calcular uma distância ponderada. Para tal e visando tornar este modelo mais dinâmico – face às alterações na distribuição de movimentos de Put-Away (desde a Recepção) e Picking (para os dois destinos referidos) que ocorrem todos os dias – cada distância é multiplicada pelo peso relativo dos seus movimentos em relação ao número total de movimentos dentro do WH708 *Racks*.

### 4.2.3. Definição dos pesos relativos de *Input/Output* – Cálculo das distâncias ponderadas

Admitindo que os movimentos no armazém se dividem entre movimentos de *Put-Away* e movimentos de *Picking* e definindo um período de observação destes dados de 1 ano (ou seja, todos os movimentos efetuados desde há um ano até à presente data), o peso relativo dos movimentos desde a Recepção e para PTS e PTZ corresponde ao número de viagens executadas desde e para cada um destes pontos.

A título de exemplo: no ano de 2019, o peso relativo dos movimentos de *Put-Away* era de 9.04%, enquanto o peso de *Picking* tomava os restantes 90.96%, sendo que, de entre os movimentos de *Picking*, o peso relativo dos movimentos com destino à zona de PTS era de 1.84%, tomando o PTZ os restantes 98.16% dos movimentos – no caso do *Put-Away*, a Recepção tem 100% dos movimentos. Um exemplo do cálculo da distância ponderada – que junta as 3 distâncias calculadas – para uma zona fictícia A é demonstrado na *Equação (1)*.

$$\begin{aligned}
 &\textbf{Distância Ponderada (Zona A) =} \\
 &\quad [ \textbf{Distância (PTZ - A) * Peso Output * Peso PTZ} ] \\
 &\quad + [ \textbf{Distância (PTS - A) * Peso Output * Peso PTS} ] \\
 &\quad + [ \textbf{Distância (Recepção - A) * Peso Input * Peso Recepção} ] \qquad (1)
 \end{aligned}$$

No momento em que se pretende fazer uma realocação dos artigos mediante este modelo de *slotting*, os pesos relativos utilizados para o cálculo das distâncias ponderadas são aqueles referentes aos movimentos que aconteceram no armazém num período que vai desde esse momento (presente) até há um ano antes desse momento – de forma a capturar a sazonalidade dos artigos ao longo de um ano.

Calculando estas distâncias ponderadas para cada uma das zonas de armazenamento definidas e organizando essas distâncias por ordem crescente, ficamos com as zonas classificadas quanto à sua acessibilidade (assumindo a distância como medida de acessibilidade, que para o efeito será bastante razoável, dado que o armazenamento é feito em *racks* de profundidade simples e todo ao nível do chão), que é o ponto-chave para este conjunto de dados, de acordo com o método COI. Assim, as

zonas com menor distância serão as zonas mais acessíveis às quais deverão ser alocadas os produtos prioritários.

O conjunto de dados referente aos artigos (constituído por todos os artigos do WH708) pode ser organizado de uma forma similar quanto ao valor do COI dos artigos. De acordo com o método do COI original e também com o método do COI adaptado (desenvolvido neste trabalho e presente na *Figura 8*), os artigos com prioridade de alocação às melhores localizações (ou melhores zonas, no caso do método desenvolvido neste trabalho) são aqueles com um menor valor calculado pela expressão do COI.

Para calcular esse valor do COI para todos os artigos do WH708 *Racks*, estabelece-se um período de observação de dados de 1 ano e recolhem-se dados logísticos referentes aos artigos, tais como: número de encomendas de entrada (encomendas distintas do mesmo artigo feitas ao longo do ano pelo Entrepasto para reaprovisionar o seu *stock*), número de encomendas de saída (encomendas distintas, nas quais um artigo configura, que podem ser feitas por lojas Worten ou por clientes *online*), número de unidades de entrada (número total de unidades de um artigo que entraram no Entrepasto), número de unidades de saída (número total de unidades de um artigo que saíram do Entrepasto), dimensões do artigo (comprimento, largura e altura), tipo de fluxo do artigo (se se destina a ir para PTS ou PTZ).

Tendo recolhido estes dados, faz-se uma comparação entre as dimensões dos artigos e as dimensões dos *slot types* das localizações (nas diferentes zonas que foram anteriormente criadas), de forma a chegar a um valor para o Ti-Hi que cada localização consegue levar de cada artigo – ou seja, verifica-se quantas unidades do artigo cabem numa *layer/tier* da palete que ficará a ocupar a localização e de seguida verifica-se também quantas *layers/tiers* se conseguem empilhar nessa mesma localização. Verificando os diferentes valores de Ti-Hi (para as várias zonas, tendo cada uma delas um *slot type* único) para um mesmo artigo e fazendo uma média com esses valores, resulta um Ti-Hi médio do artigo que indica, em média, quantas unidades do artigo é possível armazenar nas localizações compatíveis. Dividindo o número total de unidades de um artigo que saíram ao longo do ano pelo número de encomendas de saída desse mesmo artigo e no mesmo período, chega-se a um número médio de unidades que configuram em cada encomenda desse artigo. Utilizando este número médio de unidades por encomenda e o Ti-Hi médio calculados, é possível fazer uma estimativa para o número de encomendas de um artigo que uma localização consegue satisfazer – este é o numerador na expressão de cálculo do COI (*Figura 8*). A popularidade, que aparece no denominador dessa expressão, assume-se como o número de encomendas de saída de um artigo, sendo este número representativo do número de vezes que a localização ativa com o artigo será visitada.



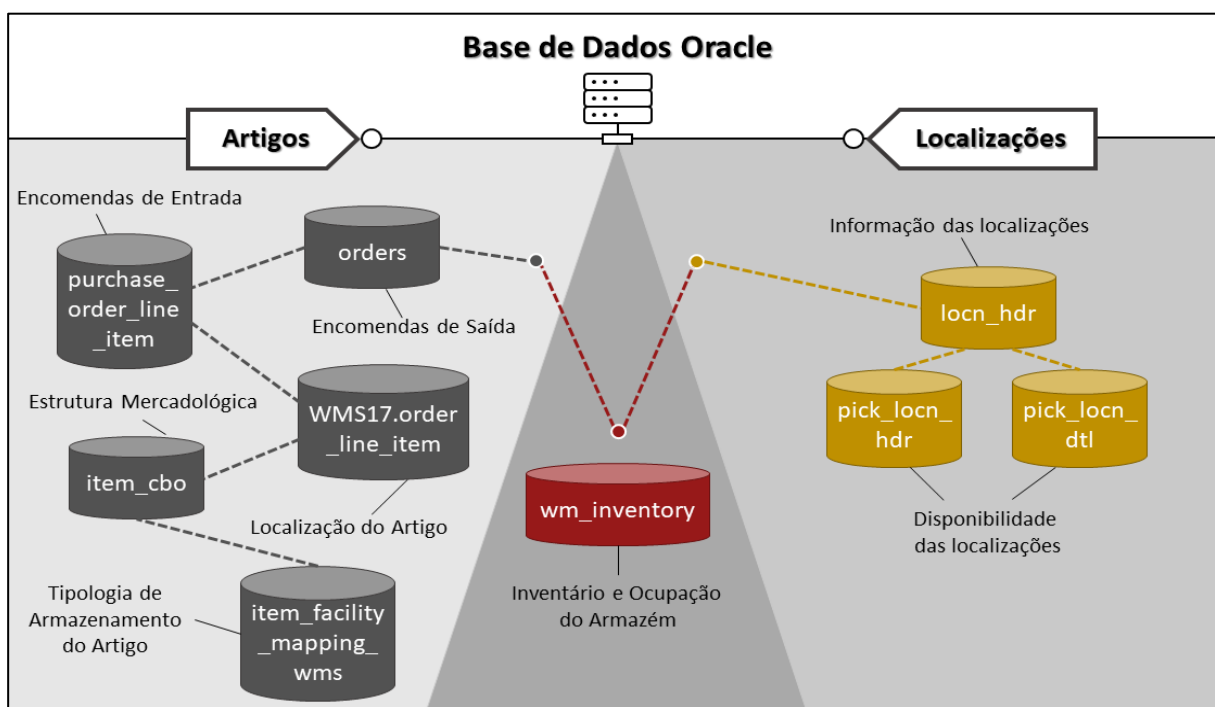
### 4.3. Fluxo e Tratamento de Dados

Tendo adaptado o método de cálculo do COI dos artigos e de classificação de localizações de armazenamento, torna-se necessário delinear uma estrutura e fluxo de dados para que seja possível recolher os dados dos artigos atualizados e em tempo real, assim como os dados das localizações de armazenamento e sua disponibilidade (também em tempo real). Uma vez recolhidos, estes dados (ainda em “bruto”, vindos diretamente da operação) serão processados de forma a obter os dados necessários para proceder ao *slotting* de acordo com o método COI – este processamento de dados segue a lógica descrita no subcapítulo 4.2..

Os dados “em bruto”, tais como: dimensões do artigo, tipo de fluxo do artigo, número de encomendas de entrada, número de encomendas de saída, número de unidades de entrada, número de unidades de saída – referidos no subcapítulo 4.2. – estão armazenados em diferentes tabelas numa base de dados Oracle, na rede interna da Worten.

Sendo que esta base de dados armazena informação com base em álgebra relacional, a extração e junção destes dados pode ser feita utilizando uma linguagem de consulta estruturada (SQL, ou *Structured Query Language*). O ambiente de desenvolvimento escolhido para fazer esta consulta foi o Oracle SQL Developer, software gratuito disponibilizado pela Oracle (os mesmos fornecedores da base de dados que a Worten utiliza).

Assim sendo, as *queries* (argumentos em linguagem SQL para consulta de dados) foram desenvolvidas de forma a extrair dados sobre os artigos e localizações de armazenamento de diferentes tabelas na base de dados – a *Figura 12* demonstra as tabelas utilizadas, o seu conteúdo e suas inter-relações.



**Figura 12** – Estrutura da Base de Dados e conteúdo das tabelas consultadas.

A título de exemplo, a tabela, na base de dados da Worten, que contém dados referentes à estrutura mercadológica dos artigos – tais como: dimensões, descrição, classificação logística (categoria, classe e subclasse), tipo de fluxo e grupo mercadológico do artigo no Entrepasto, invocados pelo argumento “*select distinct*” no ponto 1 da *Figura 13* – é a tabela **item\_cbo** (referida na *query* pelo prefixo “ic.”) que é consultada no ponto 2 da *Figura 13*.

```
select distinct  ic.item_name as "Item_name"
                , ic.unit_width as "Width"
                , ic.unit_height as "Height"
                , ic.unit_length as "Length"
                , ic.long_description as "Description" 1
                , ic.ref_num2 as "Categoria"
                , ic.ref_num3 as "Class"
                , ic.ref_num4 as "Subclass"
                , ic.ref_field5 as "FLOW_TYPE"
                , ic.ref_field6 as "MERCH_GRP"

from wm_inventory wmi
inner join ITEM FACILITY MAPPING WMS ifmw on ifmw.item_id = wmi.item_id
inner join item_cbo ic on ic.item_id = wmi.item_id 2
```

**Figura 13** – Excerto da SQL *Query* referente à estrutura mercadológica dos artigos.

Note-se que a informação consultada nesta fase será posteriormente utilizada pelo algoritmo de alocação de artigos (*slotting*) no âmbito de dois cenários diferentes: **Cenário de Slotting 1**, que consiste numa realocação de todos os artigos a armazenar no WH708 *Racks* e para o qual se consideram todas as localizações ativas desta zona do armazém – este cenário será executado trimestralmente, em momentos-chave que exigem uma reorganização do espaço de armazenamento (numa mudança de época, por exemplo no fim do Verão, quando se deixam de vender tantas ventoinhas e se começam a vender mais aquecedores) –; e **Cenário de Slotting 2**, que consiste na alocação de artigos (destinados ao WH708 *Racks*) que são rececionados no armazém diariamente e para o qual se consideram apenas as localizações ativas que estão disponíveis (livres), ou seja, localizações de armazenamento sem qualquer artigo alocado.

Visando a criação de uma única *query* para artigos – que capture as encomendas de entrada e saída do entreposto, assim como informação mercadológica dos artigos – e outra para localizações de armazenamento – que capture todas as localizações de armazenamento distribuídas pelos corredores da zona de armazenamento 708 e consulte o inventário de cada localização de forma a averiguar a sua disponibilidade – consultam-se diversas tabelas, juntando os seus dados da forma enunciada nos pseudo-códigos seguintes (**Query 1**, **Query 2**, **Query 3** e **Query Final**):

### **Query 1: Informações técnicas dos Artigos do WH708 Racks**

---

1. Consultar tabela **wm\_inventory** para obter todos os artigos do entreposto;
2. Juntar dados da tabela **item\_facility\_mapping\_wms** (que contém tipologia de armazenamento dos artigos) aos dados consultados na **wm\_inventory**, utilizando os números identificadores dos artigos (*item\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (inner join);
3. Juntar dados da tabela **item\_cbo** (que contém estrutura mercadológica dos artigos) aos dados consultados na **wm\_inventory**, utilizando os números identificadores dos artigos (*item\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (inner join);
4. Filtrar dados, ficando apenas com entradas de artigos pertencentes ao WH708 – através do campo *product\_status*;
5. Filtrar dados, ficando apenas com entradas de artigos armazenados em *Racks* – através do campo *pick\_locn\_assign\_type*.

### **Query 2: Encomendas de Saída dos Artigos do WH708 Racks**

---

1. Consultar tabela **orders** para obter dados sobre encomendas de saída dos artigos;
2. Juntar dados da tabela **WMS17.order\_line\_item** (que contém localização dos artigos e informação sobre quantidade expedida por cada encomenda de saída) aos dados consultados na **orders**, utilizando os números identificadores das encomendas (*order\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (inner join);
3. Juntar dados da tabela **item\_cbo** (que contém estrutura mercadológica dos artigos) aos dados consultados na **orders**, utilizando os números identificadores dos artigos (*item\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (argumento inner join);
4. Juntar dados da tabela **item\_facility\_mapping\_wms** (que contém tipologia de armazenamento dos artigos), utilizando os números identificadores dos artigos (*item\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem na tabela **item\_cbo** (left join);
5. Filtrar dados, ficando apenas com entradas de artigos pertencentes ao WH708 – através do campo *prod\_stat*;
6. Filtrar dados, ficando apenas com encomendas de saída únicas (não repetidas) e que configurem pelo menos uma unidade do artigo – através do campo *is\_original\_order* e *shipped\_qty*, respetivamente;
7. Filtrar dados, ficando apenas com encomendas de saída referentes ao ano de 2019 – através do campo *delivery\_start\_dttm*.

### **Query 3: Encomendas de Entrada dos Artigos do WH708 Racks**

---

1. Consultar a tabela **purchase\_orders\_line\_item** para obter dados sobre encomendas de entrada dos artigos;
2. Juntar dados da tabela **item\_cbo** (que contém estrutura mercadológica dos artigos) aos dados consultados na **purchase\_orders\_line\_item**, utilizando os números identificadores dos artigos (*item\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (inner join);
3. Juntar dados da tabela **item\_facility\_mapping\_wms** (que contém tipologia de armazenamento dos artigos) aos dados consultados na **purchase\_orders\_line\_item**, utilizando os números identificadores dos artigos (*item\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (inner join);
4. Juntar dados da tabela **purchase\_orders** (que contém mais dados sobre encomendas de entrada de artigos) aos dados consultados na **purchase\_orders\_line\_item**, utilizando os números identificadores de encomendas (*purchase\_orders\_id*) para fazer a junção – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem nas duas tabelas (inner join);
5. Filtrar dados, ficando apenas com entradas de artigos pertencentes ao WH708 – através do campo *prod\_stat*;
6. Filtrar dados, ficando apenas com encomendas de entrada que configurem pelo menos uma unidade do artigo – através do campo *received\_qty*;
7. Filtrar dados, ficando apenas com encomendas de entrada referentes ao ano de 2019 (no caso do **Cenário de Slotting 1**) ou referentes ao próprio dia em que se corre a *query* (no caso do **Cenário de Slotting 2**) – através do campo *delivery\_start\_dttm*.

### **Query Final: Junção de toda a informação relativa aos Artigos do WH708 Racks**

---

1. Selecionar os dados – relativos aos artigos – a consultar (argumento select): identificação, dimensões, categoria, classe, subclasse, fluxo, grupo mercadológico, número de encomendas de entrada, número de encomendas de saída, número de unidades em encomendas de saída e número de unidades em encomendas de entrada;
2. Definir a **Query 1** (Informações técnicas dos Artigos do WH708 Racks) como fonte de consulta (argumento from);
3. Juntar resultados da **Query 2** (Encomendas de Saída dos Artigos do WH708 Racks) aos resultados da **Query 3** (Encomendas de Entrada dos Artigos do WH708 Racks), combinando os dados das duas *queries* para artigos em comum (que aparecem nas tabelas resultantes de cada *query*) e acrescentando todos os dados de cada *query* (no caso de artigos que só aparecem numas destas *queries*) – junção através do argumento full outer join. Seja a tabela resultante desta junção intitulada de **Tabela de Entradas e Saídas**;
4. Acoplar dados da **Tabela de Entradas e Saídas** aos artigos existentes na tabela resultante da **Query 1** – junção através do argumento left join.

Em relação às localizações de armazenamento, uma *query* será desenvolvida para averiguar o número de localizações ativas – no caso do **Cenário 1 de Slotting** – e outra averiguará o número de localizações ativas e livres (sem artigo alocado) – no caso do **Cenário 2 de Slotting** – no *WH708 Racks*.

A título de exemplo, a tabela **locn\_hdr** (consultada no ponto 2 da *Figura 14* e referida na *query* pelo prefixo “lh.”) contém a identificação de todas as localizações de armazenamento no Entreposto (**lh.LOCN\_ID** no ponto 1 da *Figura 14*), bem como o número da *rack* (**lh.bay** no ponto 1 da mesma figura) e a identificação do corredor (**lh.TRAVEL\_AISLE** também no ponto 1 dessa figura) onde se encontra a localização de armazenamento.

Os argumentos no ponto 3 da *Figura 14* filtram apenas as localizações ativas (de *Picking*, assinaladas com “A” no campo *LOCN\_CLASS* da tabela com o prefixo “lh.”), enquanto que os argumentos no ponto 4 (da mesma figura) filtram as localizações que se encontram nos corredores do *WH708 Racks* (corredores com código iniciado em “E” e “S”, no campo **locn\_brcd** da mesma tabela). No ponto 5 da *Figura 14*, filtram-se as localizações que não estejam bloqueadas (assinaladas com valor “null” no campo *LOCN\_PUTAWAY\_LOCK* da tabela **pick\_locn\_hdr** com prefixo “plh.”) e que tenham um corredor registado (assinaladas com um valor não nulo, ou “not null”, no campo *TRAVEL\_AISLE* da tabela com prefixo “lh.”).

```
select lh.bay, lh.TRAVEL_AISLE
, COUNT(lh.LOCN_ID) as "LOCS_ATIVAS" 1

from locn_hdr lh
left join pick_locn_hdr plh on plh.locn_id = lh.locn_id 2

-- Filtro: localizações ativas e do WH708
where lh.LOCN_CLASS in ('A') 3
and (lh.locn_brcd like 'E%' or lh.locn_brcd like 'S%') 4
and plh.LOCN_PUTAWAY_LOCK is null
and lh.TRAVEL_AISLE is not null 5
```

**Figura 14** – Excerto da SQL *Query* referente às localizações de armazenamento ativas.

Mais informação sobre a construção das *queries* relativas às localizações de armazenamento é providenciada nos seguintes pseudo-códigos (**Query 4** e **Query 5**):

#### Query 4: Localizações Ativas do WH708 Racks

---

1. Selecionar os dados – relativos aos às localizações de armazenamento – a consultar (argumento select): número da *rack*, identificação do corredor e identificação do *slot* (localização);
2. Definir a tabela **locn\_hdr** (que contém todas as informações relativas à identificação das zonas de armazenamento) como fonte de consulta (argumento from);
3. Juntar dados da tabela **pick\_locn\_hdr** (que contém informação sobre a disponibilidade das localizações de armazenamento) aos dados consultados na **locn\_hdr** – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que aparecem na tabela **locn\_hdr** (left join);
4. Filtrar dados, ficando apenas com localizações ativas (de *Picking*) – através do campo *LOCN\_CLASS*;
5. Filtrar dados, ficando apenas com localizações situadas nos corredores do WH708 Racks – através do campo *locn\_brcd*;
6. Filtrar dados, ficando apenas com localizações desbloqueadas e disponíveis para armazenamento – através do campo *LOCN\_PUTAWAY\_LOCK*;
7. Filtrar dados, excluindo entradas que não possuam informação relativa ao corredor da localização – através do campo *TRAVEL\_AISLE*.

#### Query 5: Localizações Ativas e Livres do WH708 Racks

---

1. Selecionar os dados – relativos aos às localizações de armazenamento – a consultar (argumento select): número da *rack*, identificação do corredor e identificação do *slot* (localização);
2. Definir a **Query 4** (Localizações Ativas do WH708 Racks) como fonte de consulta (argumento from);
3. Juntar dados da tabela **pick\_locn\_dtl** (que contém mais informação relativa à disponibilidade das localizações de armazenamento) e da tabela **wm\_inventory** aos dados consultados na **Query 4** – ficando com os dados das duas tabelas juntos apenas para artigos que apareçam na tabela resultante da **Query 4** (left join);
4. Adicionar mais um filtro, de forma a somar apenas as localizações que não estão ocupadas (sem artigo alocado) – através do campo *ON\_HAND\_QTY*.

Após execução das consultas SQL, obtêm-se tabelas de dados em bruto que terão de ser posteriormente tratados para utilização no âmbito do método COI para alocação. Na fase de tratamento dos dados pretende-se colmatar problemas encontrados nas tabelas extraídas da base de dados – como por exemplo valores nulos ou entradas repetidas – e calcular tanto valores auxiliares – como por exemplo os Ti-Hi dos artigos para os diferentes tipos de localização, ou *slot types* – como o índice COI de cada artigo.

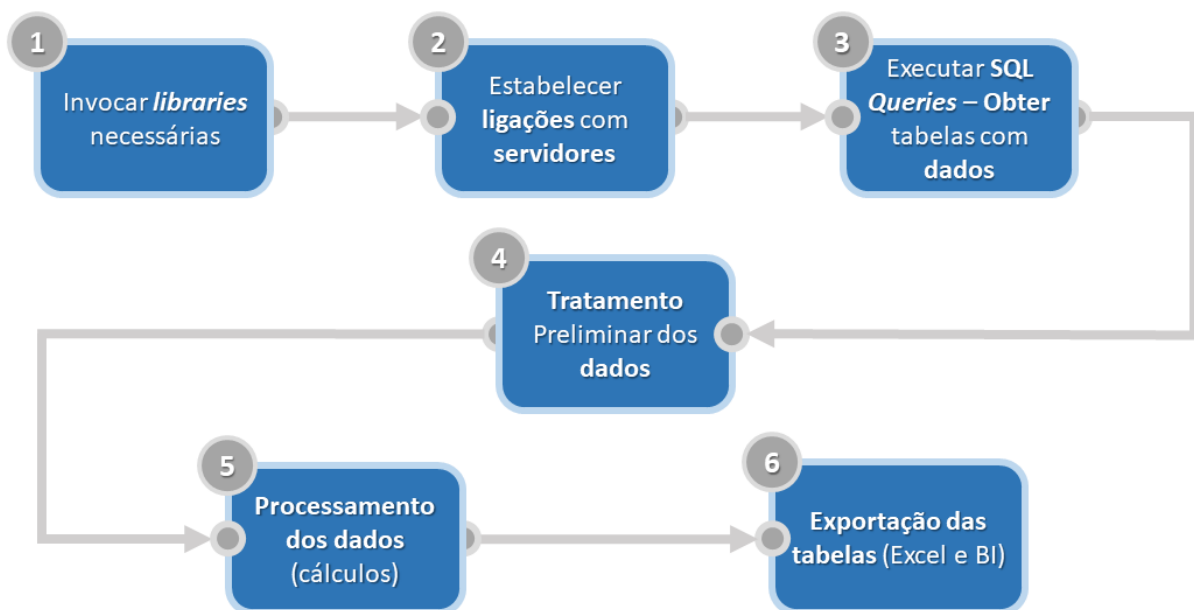
Tendo encerrado a construção das SQL *queries* que farão a consulta de dados, inicia-se então a fase de construção de um script em linguagem de programação estatística R que será capaz de integrar as funcionalidades de consulta SQL – as *queries* desenvolvidas anteriormente poderão ser executadas

diretamente no R – e que, para além disso, fará o processamento dos dados obtidos e sua exportação num formato que servirá o algoritmo de *slotting*.

De acordo com a estrutura proposta na *Figura 15*, o desenvolvimento do *script* em R começa com a seleção das bibliotecas (*libraries* – ponto 1 da mesma figura) que serão necessárias para executar operações ao longo do *script*.

De seguida, no ponto 2 da *Figura 15*, estabelecem-se ligações a servidores da Worten. A ligação ao servidor do WMS permite correr *queries* SQL (integradas no *script*) que irão extrair informação diretamente da base de dados Oracle da Worten. Por sua vez, a ligação ao servidor BI torna possível guardar e editar tabelas no servidor BI da Worten que posteriormente poderão ser utilizadas para desenvolver relatórios em Power BI (ferramenta utilizada pela Worten para criar *dashboards* dinâmicos e atualizados diariamente).

Uma vez ligado aos servidores da Worten e tendo as bibliotecas carregadas no ambiente de desenvolvimento do R, segue-se a importação dos dados relativos aos artigos e localizações de armazenamento através das *queries* SQL previamente construídas (**Query Final, Query 4 e Query 5**) – esta operação de obtenção de dados corresponde ao ponto 3 da *Figura 15*.



**Figura 15** – Estruturação do *Script* em R.

De forma a colmatar os problemas verificados nas tabelas que advêm da base de dados da Worten, há-que dedicar uma parte do *script* ao tratamento de dados – esta fase corresponde ao ponto 4 da *Figura 18* – para que estes não provoquem erros ou resultados inesperados na seguinte fase de processamento de dados (cálculo do COI e outros parâmetros que irão servir o modelo de *slotting*).

A fase de processamento dos dados (ponto 5 da *Figura 18*) começa com o cálculo do número de unidades (médio) por encomenda de cada artigo. Para tal, divide-se o número total de unidades de cada artigo que saíram do Entrepasto pelo número total de encomendas de saída de cada artigo.

De seguida, calculam-se os pesos relativos dos movimentos de *Put-Away* (vindos da Receção) e *Picking* (com destino à zona de PTZ ou PTS) fazendo o cálculo do número de movimentos de cada tipo. O número de movimentos de *Put-Away* pode ser facilmente calculado somando o número de encomendas de entrada de todos os artigos. Quanto ao número de movimentos de *Picking*, estes podem estar destinados à zona de PTS ou PTZ. Um dado artigo está destinado apenas a uma destas zonas, pelo que é possível averiguar o seu destino através do seu grupo mercadológico e fluxo a que pertence.

Fazendo esta distinção entre artigos que vão para a zona de PTS e para a zona de PTZ e assumindo que cada encomenda de saída de um artigo corresponde a um movimento de *Picking*, podem calcular-se os pesos relativos dos movimentos fazendo a divisão do número de movimentos de um tipo pelo número total de movimentos.

Devido a erros nos dados referentes aos TiHi dos artigos da Worten – estes dados são introduzidos manualmente por operadores quando o artigo chega ao entreposto pela primeira vez – que os tornam inválidos para uso nesta fase de processamento, pretende-se criar uma tabela que contenha todos os artigos e o valor do Ti-Hi para cada zona de armazenamento, fazendo a correspondência entre as dimensões dos artigos e as dimensões dos *slot types* de cada zona.

De forma a preencher a tabela que relaciona artigos com zonas de armazenamento com os devidos valores de Ti-Hi, constrói-se um algoritmo que irá, para cada artigo, percorrer todas as zonas de armazenamento dividindo o valor da área disponível para armazenamento na zona pelo valor da área ocupada por cada unidade do artigo – o resultado desta divisão arredondado por defeito corresponde ao Ti, ou seja, o número de unidades do artigo que poderão ser armazenadas por *Tier* ou nível da palete que ficará armazenada na zona – e multiplicando este valor (Ti) pelo resultado da divisão do valor da altura disponível para armazenamento na zona pelo valor da altura de cada unidade do artigo – o resultado desta divisão arredondado por defeito corresponde ao Hi ou, por outras palavras, o número de *Tiers* ou níveis do artigo que poderão ser armazenados na palete que ficará na zona.

Tendo como objetivo calcular o COI de forma adaptada (representada na *Figura 8*) e seguindo a metodologia descrita ao longo do subcapítulo 4.2. (mais especificamente no último parágrafo deste subcapítulo), pretende-se calcular para cada artigo: (1) Ti-Hi médio; (2) número médio de encomendas satisfeitas por uma localização preenchida com o artigo; por fim (3) o COI de cada artigo.

Começando pelo (1) Ti-Hi médio de cada artigo, este é calculado somando os Ti-Hi de cada artigo para todas as zonas e dividindo esse valor pelo número de zonas com *slot type* compatível (ou seja, onde o Ti-Hi não é nulo).

Prosseguindo para o (2) número médio de encomendas satisfeitas por uma localização preenchida com cada um dos artigos, este é calculado da seguinte forma: utiliza-se o valor do Ti-Hi médio calculado



anteriormente – que corresponde ao número médio de unidades do artigo que estarão armazenadas numa localização – e divide-se este valor pelo número médio de unidades do artigo que configuram em cada encomenda deste artigo (calculado no início da fase de processamento de dados).

O cálculo do (3) COI de cada artigo é feito da forma representada na *Equação (2)* – relembrando a expressão do COI adaptado (ilustrada na *Figura 8*).

$$\text{COI} = \frac{(\text{N}^{\circ} \text{ de Encomendas satisfeitas por localização})^{-1}}{\text{Popularidade}} \quad (2)$$

Note-se que, para efeitos do *slotting* subsequente, artigos cujo número de encomendas de saída (medida de popularidade) ou número de encomendas satisfeitas por localização seja nulo – ou seja, artigos que não saem ao longo de um ano ou artigos que não cabem em nenhum dos *slot types* disponíveis, respetivamente – têm o seu valor de COI igual a 999999.

Com o cálculo do COI feito, encerra-se a fase de processamento de dados e inicia-se a preparação das tabelas que serão posteriormente exportadas para Excel – ponto 6 da *Figura 15* – e que irão servir de *input* para o algoritmo de *slotting*.

Note-se que o fluxo de PBL e PBS no WH708 *Racks* engloba dois grupos distintos de artigos e localizações, isto é, um artigo que pertença ao fluxo de PBL nunca irá entrar no fluxo de PBS e vice-versa e, para além disto, um corredor destinado a artigos do fluxo PBL nunca terá artigos do fluxo PBS alocados às suas localizações de armazenamento. Posto isto, surge a necessidade de dividir os conjuntos de dados para cada um destes fluxos: um conjunto de artigos e zonas de armazenamento para o fluxo PBL e outro para o fluxo PBS, de modo a facilitar a fase seguinte de alocação dos artigos pelo algoritmo de *slotting*.

Assim sendo, o fluxo de PBL tem mais de 8800 artigos que poderão ser armazenados nos corredores ER (Norte, Centro e Sul), ES (Norte, Centro e Sul), ET (Norte, Centro e Sul) e EV (Norte). Por sua vez, o fluxo de PBS tem mais de 5100 artigos que poderão ser armazenados nos restantes corredores do WH708 *Racks*.

#### **4.4. Definição do método para alocação de artigos (*Slotting*)**

Visando uma alocação eficaz dos artigos às zonas de armazenamento, ou seja, que permita conduzir o processo de preparação de encomendas (*Put-Away* e *Picking*) em direção aos objetivos propostos – redução nas distâncias percorridas e redução do número de movimentos de reaprovisionamento no WH708 *Racks* – há-que definir o método que, levando em conta e utilizando os dados disponíveis e relevantes para a operação e para o método escolhido (aqueles recolhidos e processados no subcapítulo 4.2.), atribua as localizações mais acessíveis aos artigos com menor COI – tal como o

método COI dita –, de uma forma automática e que garanta a alocação dos cerca de 13.000 artigos que configuram a zona 708.

Assim sendo, surgem várias possibilidades no que toca ao tipo de algoritmo a utilizar para implementação do método COI adaptado na alocação de artigos: pode criar-se uma heurística construtiva que aloca os artigos às localizações (de acordo com a lógica COI) e cuja solução pode ser aprimorada através de outra heurística de melhoramento – não havendo garantias de soluções possíveis em tempos de computação viáveis – ou pode criar-se um modelo de otimização – que permite atingir soluções ótimas em tempos de computação curtos. Optou-se por criar um modelo de programação linear (otimização), pelo facto de este se enquadrar melhor com a experiência prévia do autor. A formulação matemática deste modelo utiliza a seguinte lista de índices, conjuntos, parâmetros e variáveis.

### 1. Lista de Índices e Conjuntos:

- sk*: Índice dos SKUs (ou Artigos) a alocar às zonas de armazenamento,  $sk \in SK$ .
- SK*: Conjunto dos SKUs organizados por ordem crescente do seu COI (com base no parâmetro  $COI_{sk}$ , obtido através da metodologia descrita na secção 4.3..
- z*: Índice que representa as zonas de armazenamento, constituídas por localizações de armazenamento,  $z \in Z$ .
- Z*: Conjunto das zonas de armazenamento.

### 2. Parâmetros:

- $COI_{sk}$ : COI calculado para cada SKU *sk*.
- $Dist_z$ : Distância ponderada de cada Zona *z* (medida de acessibilidade).
- $DistPTS_z$ : Distância de cada Zona *z* até ao ponto de descarga na zona de PTS.
- $DistPTZ_z$ : Distância de cada Zona *z* até ao ponto de descarga na zona de PTZ.
- $DistRec_z$ : Distância de cada Zona *z* até ao ponto médio da zona de Receção.
- PesoInput*: Peso relativo dos movimentos de *input* (*Put-Away*) vindos da Receção.
- PesoOutput*: Peso relativo dos movimentos de *output* (*Picking*) com destino às zonas de PTS e PTZ.
- PesoPTS*: Peso relativo dos movimentos de *Picking* com destino à zona de PTS.
- PesoPTZ*: Peso relativo dos movimentos de *Picking* com destino à zona de PTZ.
- $QtdLocs_z$ : Quantidade de localizações de armazenamento disponíveis por cada Zona *z*.
- $TiHi_{sk,z}$ : Quantidade de unidades de cada SKU *sk* que cabe no *slot type* de cada Zona *z*.

Nota: o parâmetro  $Dist_z$  é calculado utilizando outros parâmetros, tal como ilustrado na Equação (2).

$$Dist_z = [PesoInput * DistRec_z] + PesoOutput * [(PesoPTS * DistPTS_z) + (PesoPTZ * DistPTZ_z)] \quad (2)$$

### 3. Variáveis:

$X_{sk,z}$ : Variável binária que faz a alocação dos artigos às zonas de armazenamento. A variável toma valor 1 se o SKU for alocado a essa zona ou toma valor 0 caso contrário.

O modelo de otimização que permite fazer a alocação dos SKUs às zonas de armazenamento segundo o COI calculado descreve-se em seguida.

A função objetivo que se pretende otimizar é descrita pela *Expressão (3)*, que minimiza as distâncias percorridas nas operações de *Put-Away* e *Picking* ao alocar os artigos com menor COI às localizações mais acessíveis (com menores distâncias ponderadas).

$$\sum_{sk \in SK} \sum_{z \in Z} X_{sk,z} Dist_z \quad (3)$$

As restrições do modelo de otimização são descritas em seguida:

*Restrição (4)*: Restringe o número de artigos alocados a cada Zona  $z$  (dado pela soma da variável binária  $X$ ) de acordo com a quantidade de localizações de armazenamento disponíveis (referente ao parâmetro  $QtdLocs$ ).

$$\sum_{sk \in SK} X_{sk,z} \leq QtdLocs_z \quad \forall z \in Z \quad (4)$$

*Restrição (5)*: Garante que cada SKU  $sk$  é alocado a uma Zona  $z$ . Se o SKU tiver COI inferior a  $M$  (valor arbitrado como máximo admissível) então pode ser alocado a qualquer zona de armazenamento. Caso contrário será alocado obrigatoriamente à zona de reserva.

$$\begin{cases} X_{sk,z} = 1 \quad \forall z \in Z / Reserva & \text{Se } COI_{sk} < M \\ X_{sk,z} = 1, z = Reserva & \text{Se } COI_{sk} \geq M \end{cases} \quad (5)$$

*Restrição (6)*: Assegura que um SKU  $sk$  é alocado a uma zona apenas se as suas dimensões forem compatíveis com as dimensões do *slot type* dessa zona de armazenamento. Caso um artigo não seja compatível com uma zona, o seu  $TiHi$  para esse *slot type* será 0, logo a condição não se verifica e impossibilita o SKU de ser alocado à zona. Apenas para conjuntos de artigo e zona com  $TiHi$  maior ou igual a 1 é que se poderá satisfazer esta condição.

$$\sum_{z \in Z} TiHi_{sk,z} X_{sk,z} \geq 1 \quad \forall sk \in SK \quad (6)$$

*Restrição (7):* Garante que os artigos são alocados por ordem crescente do seu valor do índice COI (dado pelo parâmetro  $COI_{sk}$ ) às zonas de armazenamento ordenadas por ordem decrescente de acessibilidade (dada pela distância ponderada  $Dist_z$ ). Um dado SKU  $sk$  é alocado a uma Zona  $z$  apenas se o SKU anterior (com menor COI) tiver sido alocado – isto permite garantir que o SKU anterior foi alocado à melhor zona de armazenamento possível, tendo em conta a compatibilidade entre artigo e zona.

$$\sum_{z \in Z} X_{sk-1,z} \geq \sum_{z \in Z} X_{sk,z} \quad \forall sk \in SK \quad (7)$$

Fazendo uso do conhecimento de linguagens de modelação matemática voltadas à otimização, utilizou-se o Ambiente de Desenvolvimento Integrado do GAMS (ou GAMS IDE) para desenvolvimento do modelo de programação linear que visa minimizar as distâncias percorridas nos movimentos de *Put-Away* e *Picking*. Os resultados obtidos com este modelo de otimização são apresentados e discutidos nos capítulos seguintes – capítulos 5. e 6..

## 5. Resultados

Neste capítulo serão apresentados resultados intermédios, ou seja, resultados obtidos em várias fases da metodologia desenvolvida ao longo do trabalho, assim como resultados obtidos após aplicar o método de *slotting*, aqui desenvolvido, no armazém da Worten. A comparação entre o método desenvolvido e aquele atualmente em prática – por parte da Worten – leva também a resultados quantificados que indicarão a viabilidade da solução aqui proposta.

### 5.1. Resultados do Tratamento de Dados

Uma perspetiva global do volume e características dos dados obtidos com as consultas e seu tratamento (na secção 4.3.) pode ser vista na *Tabela 2*. De notar que os dados reportados são referentes ao período analisado de 1 ano e que mesmo ao nível de SKUs e sua estrutura mercadológica (categoria, classe e subclasse) os números podem variar no tempo. A nível de encomendas, estas são dependentes da duração temporal analisada.

Ao nível das localizações, as zonas de armazenamento analisadas são 46 (6 das quais se encontram bloqueadas e indisponíveis para alocação), que na realidade representam mais de 19000 localizações de armazenamento que no período em análise estavam ativas. Relativamente a estas localizações de armazenamento, existem cinco tipos diferentes localizações ou *slot types*, que pelas suas características de dimensões ou outras restrições terão limitações aos SKUs que poderão armazenar.

**Tabela 2** – Resumo das características dos dados processados.

ARTIGOS	Nº de SKUs	13.000+
	Categorias	102
	Classes	24
	Subclasses	32
	Encomendas de Entrada	189.774
	Encomendas de Saída	1.434.456
LOCALIZAÇÕES	Nº de Zonas de Armazenamento	46
	Nº de Localizações Ativas	19.388
	<i>Slot Types</i> Distintos	5

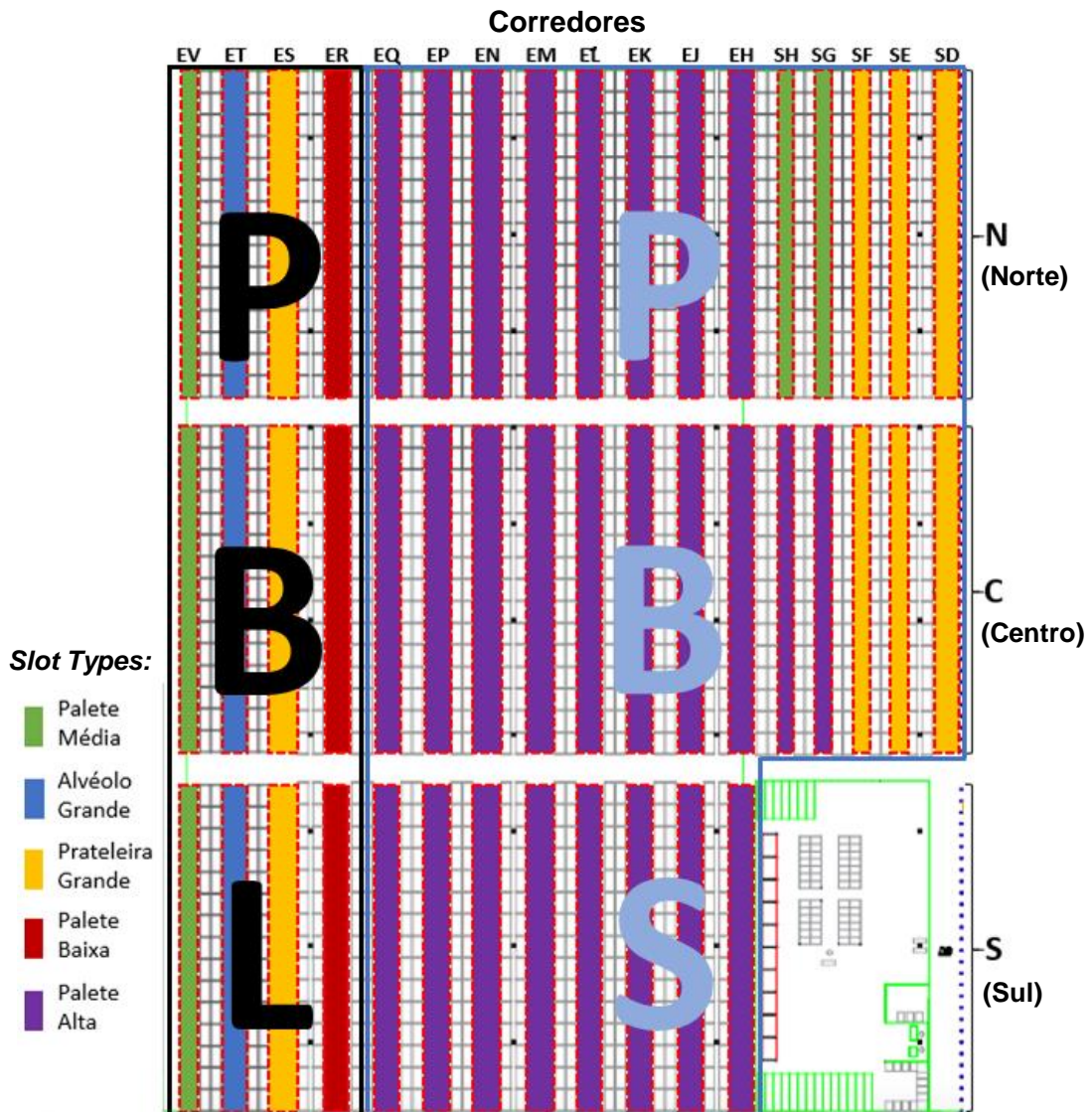
Os cinco tipos de localizações (ou *slot types*) existentes – que são: Palete Alta, Palete Média, Palete Baixa, Prateleira Grande e Alvéolo Grande – variam então em termos de dimensões, tanto na área como na altura disponível para armazenamento de artigos. A área das localizações do tipo Palete Alta, Palete Média e Palete Baixa permite armazenar os artigos em paletes Euro (120 por 80 centímetros) – possibilitando o armazenamento dos artigos conforme chegam ao entreposto, por vezes sem necessidade de desfazer a paleta, poupando assim tempo em operações intermédias que não acrescentam valor. As localizações do tipo Prateleira Grande e Alvéolo Grande apenas têm capacidade para armazenar produtos em tipologias de menores dimensões (armazenamento à unidade ou em caixas com múltiplas unidades do SKU). Em termos gerais, o *slot type* que existe em maior número é Palete Alta, com 11221 localizações – pois é o *slot type* mais versátil, ou seja, que permite armazenar a maior variedade de artigos, devido às suas grandes dimensões. Existem também 2576 localizações do tipo Prateleira Grande, 2440 do tipo Alvéolo Grande, 1850 do tipo Palete Média e, por fim, 1791 do tipo Palete Baixa. As características de cada tipo de localização (*slot type*) aparecem sintetizadas na *Tabela 3*.

**Tabela 3** – Características dos diferentes tipos de localização (*slot types*).

	Palete Alta	Palete Média	Palete Baixa	Prateleira Grande	Alvéolo Grande
Altura (cm)	165	65	30	30	20
Largura (cm)	80	80	80	40	25
Comprimento (cm)	120	120	120	120	50
Volume (cm <sup>3</sup> )	1584000	624000	288000	144000	25000
Área (cm <sup>2</sup> )	9600	9600	9600	4800	1250
Nº de Localizações	11221	1850	1791	2576	2440

Assim sendo, as zonas que armazenam artigos do fluxo PBL contêm mais localizações do tipo Alvéolo Grande e Palete Baixa. Isto porque os artigos PBL tipicamente são de pequenas dimensões, armazenados em tipologias mais pequenas do que paletes e em menores quantidades, devido ao facto de, quando chegam ao entreposto, serem parcialmente alocados para preparação de encomendas no próprio dia (*cross-docking*). As zonas destinadas a artigos do fluxo PBS contêm mais localizações do tipo Palete Alta. Estes artigos são tipicamente de maiores dimensões do que os artigos de PBL e totalmente alocados a armazenamento, ou seja, tendem a ser armazenados na forma em que chegam (em paletes) e em maiores quantidades. Em resumo, as zonas destinadas a artigos do fluxo PBL (artigos mais pequenos) têm mais localizações com pouca capacidade volumétrica e as zonas destinadas a artigos do fluxo PBS (artigos maiores) têm mais localizações com grande capacidade volumétrica.

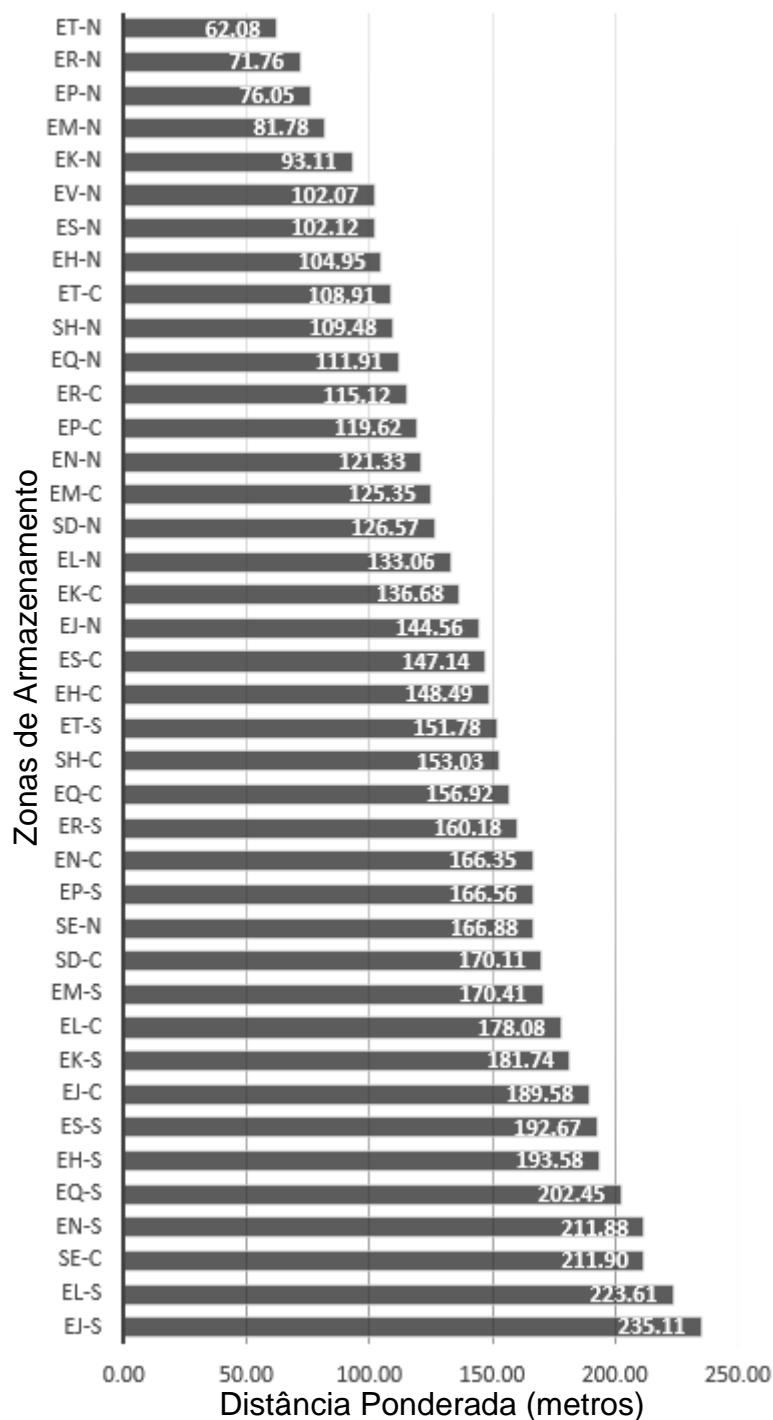
As zonas Norte (N), Centro (C) e Sul (S) dos corredores EV, ET, ES e ER armazenam artigos do fluxo PBL, enquanto que as zonas Norte, Centro e Sul dos corredores EQ, EP, EN, EM, EL, EK, EJ e EH e as zonas Norte e Centro dos corredores SH, SG, SF, SE e SD armazenam artigos do fluxo PBS – como se pode verificar na *Figura 16*.



**Figura 16** – Layout do WH708 Racks – Zonas de armazenamento referentes aos fluxos PBL e PBS.

Tendo delineado as diferentes zonas de armazenamento – de acordo com a metodologia desenvolvida na secção 4.2.1. – e definido o tipo de localização (*slot type*) e tipo de fluxo dos artigos presentes em cada zona, prossegue-se com a averiguação da acessibilidade dentro de cada uma destas zonas de armazenamento. De acordo com a metodologia descrita nas secções 4.2.2. e 4.2.3., definem-se as distâncias entre cada zona de armazenamento e os pontos de *input* e *output* (e os sentidos de circulação entre os mesmos) e, também, os pesos relativos dos movimentos realizados desde e para estes pontos. Utilizando estes dados, o algoritmo de *slotting* – desenvolvido na secção 4.4. – calcula, de uma forma dinâmica (tendo em conta o incremento diário de movimentos de *input* e *output*), as distâncias ponderadas (medida de acessibilidade) referentes a cada zona de armazenamento.

A título de exemplo, os resultados obtidos para as distâncias ponderadas de cada zona – utilizando dados reais da Worten referentes ao ano de 2019 – indicam que a zona ET-N é a mais acessível, com uma distância ponderada de 62.08 metros e, no polo oposto, a zona EJ-S pode ser considerada a menos acessível do WH708 Racks, com uma distância ponderada de 235.11 metros. Uma representação gráfica da classificação das 40 zonas de armazenamento (excluindo as 6 zonas bloqueadas) quanto à acessibilidade, pode ser verificada na *Figura 17*.



**Figura 17** – Classificação das zonas de armazenamento quanto às suas distâncias ponderadas.

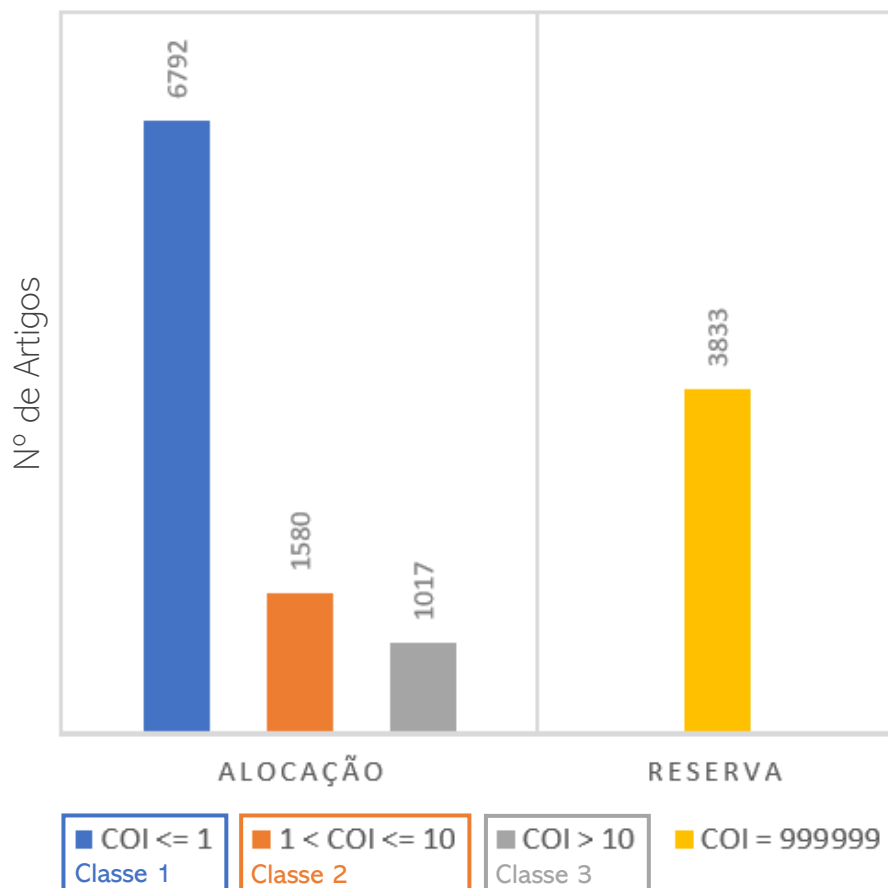


A definição de zonas de armazenamento específicas para artigos do fluxo PBL (tipicamente de dimensões reduzidas e leves) e para artigos do fluxo PBS (tipicamente maiores e mais pesados do que os do fluxo PBL), permite garantir que, nos circuitos de *Picking* para encomendas – onde os operadores vão fazendo *Picking* para encomendas de uma ou mais lojas Worten e colocando os artigos numa palete até que todos os artigos dessa(s) encomenda tenham sido recolhidos –, os operadores comecem nos corredores referentes a zonas de armazenamento de artigos do fluxo PBS (maiores), fazendo *Picking* dos mesmos e construindo a base da palete, acabando o circuito nos corredores com artigos do fluxo PBL (menores) – pois estes corredores situam-se perto dos pontos de descarga (zona de PTS e PTZ) – que deverão ficar por cima dos artigos maiores e mais pesados previamente recolhidos. Assim, as paletes que se destinam às lojas Worten são corretamente carregadas com os artigos ao longo do circuito de *Picking*, fazendo com que não haja necessidade de reorganizar a palete antes de a colocar na zona de expedição.

## 5.2. Resultados do Cálculo do COI Adaptado

Mediante cálculo do COI – na forma adaptada enunciada na secção 4.2. e desenvolvida na secção 4.3. – para os mais de 13.000 artigos que pertencem ao WH708 *Racks*, é possível verificar os resultados e separar os artigos em classes (por ordem do COI) relevantes para analisar quais os fatores que mais influenciam este valor e validar a adaptação do método COI. Tipicamente (e segundo a experiência aqui conseguida), o índice COI toma valores entre 0 e 1, podendo tomar valores superiores a 1 para artigos com grandes dimensões comparativamente às suas tendências de vendas – pelo que se espera que a maioria dos artigos se encontrem numa faixa de índice COI entre 0 e 1 e que, para valores superiores a 1, a distribuição de artigos se torne menos representativa.

Assim sendo, a distribuição dos artigos pelas classes criadas – sendo estas: Classe 1 ( $COI \leq 1$ ); Classe 2 ( $1 < COI \leq 10$ ); Classe 3 ( $COI \geq 10$ ) –, aparece sumarizada na *Figura 16*. Note-se que todos os artigos com COI igual a 999999 serão alocados – pelo algoritmo de *slotting* – à zona de reserva enquanto que os restantes serão alocados às zonas de armazenamento – daí a separação entre artigos para **alocação** (a zonas de armazenamento) e artigos para **reserva**, na base do gráfico da *Figura 18*.



**Figura 18** – Distribuição dos Artigos do WH708 Racks por classes de COI.

A partir da figura 18 verifica-se que a Classe 1 agrega cerca de metade dos artigos, enquanto as Classes 2 e 3 agregam uma quantidade consideravelmente menor. Os artigos cujo COI é muito elevado e cuja alocação deve ser feita à zona de reserva apresentam uma quantidade significativa de cerca de 3800 artigos.

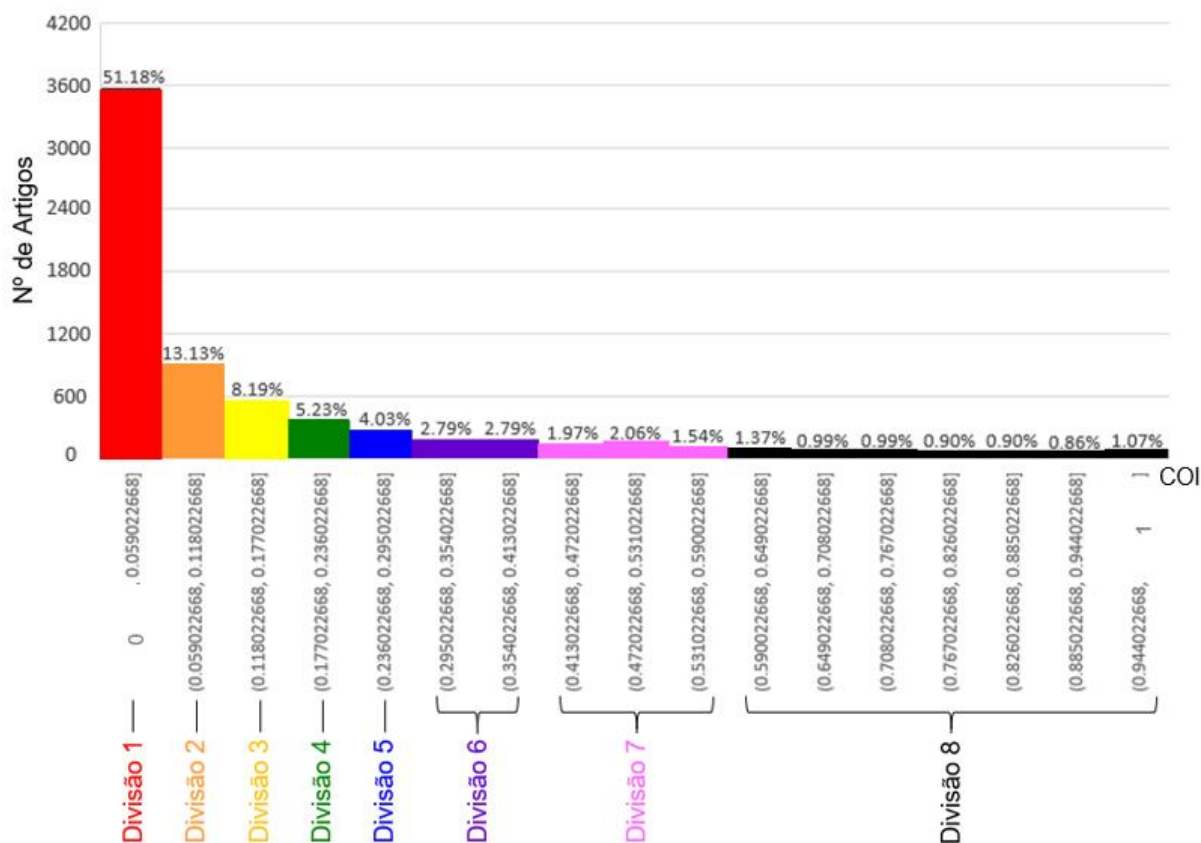
De forma a analisar cada uma das classes (de valor de COI), calculou-se o valor médio de: volume, número de encomendas de saída (ou popularidade) e quantidade de encomendas satisfeitas por localização; dos artigos de cada classe – valores estes que aparecem sumarizados na *Tabela 4*.

**Tabela 4** – Valores médios de fatores utilizados no cálculo do COI por classe.

Classe	Volume (cm <sup>3</sup> )	Nº Encomendas	Qtd. Encomendas/Loc.
1	3.800	423	340
2	17.186	34	103
3	47.042	7	16

A *Tabela 4* sugere que, em média, um artigo com índice COI menor do que 1 (Classe 1) tem um volume de 3800 cm<sup>3</sup>, configura cerca de 423 encomendas por ano e, as suas dimensões em conjunto com as suas tendências de procura (número de encomendas e número médio de unidades que configuram cada encomenda) permitem que, em média, uma localização à qual seja alocado satisfaça 340 encomendas. Da mesma forma, um artigo com um índice COI entre 1 e 10 (Classe 2) tem em média 17186 cm<sup>3</sup> de volume, configura cerca de 34 encomendas por ano e uma localização à qual seja alocado satisfaz por volta de 103 encomendas. Para um artigo com índice COI maior do que 10 (Classe 3), o volume será em média 47042 cm<sup>3</sup>, o número de encomendas por ano será 7 e uma localização satisfará 16 encomendas. Admitindo que o método COI adaptado deverá atribuir menores valores de índice COI aos artigos com: menor volume, maior número de encomendas de saída e maior número de encomendas satisfeitas por localização; os resultados aqui verificados vão de encontro às expectativas criadas para o cálculo deste índice, indicando que, em média, os artigos pertencentes à Classe 1 possuem menor volume, maior número de encomendas de saída e maior número de encomendas satisfeitas por localização do que aqueles que pertencem à Classe 2. O mesmo se pode concluir para os artigos da Classe 2, em comparação com a Classe 3.

Voltando à *Figura 18*, é possível concluir que a Classe 1 é aquela mais representativa, contendo cerca de 51% de todos os artigos do WH708 Racks – ou seja, 51% dos artigos a alocar têm um índice COI menor do que 1. Assim sendo e sabendo que os artigos desta classe deverão ser alocados às melhores localizações (aquelas mais acessíveis no WH708 Racks), torna-se pertinente desenvolver um estudo focado apenas na Classe 1, de forma a criar uma melhor compreensão do funcionamento do método aqui desenvolvido. A *Figura 19* ilustra a distribuição dos artigos, quanto ao seu valor de índice COI, dentro da Classe 1.

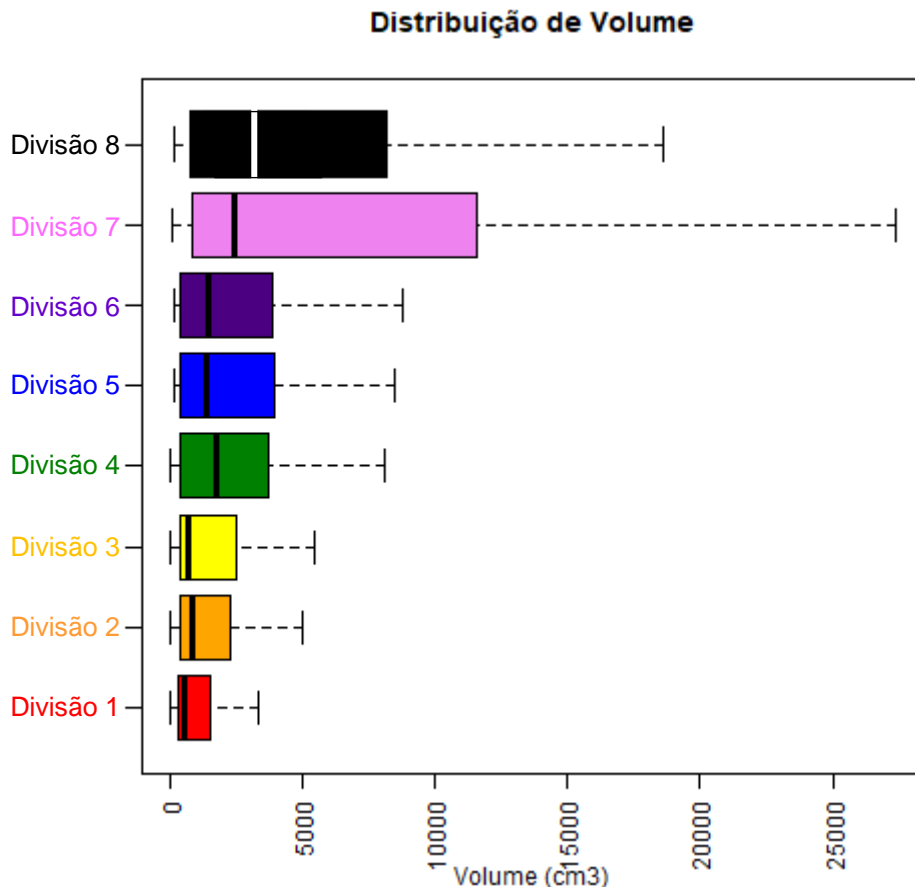


**Figura 19** – Distribuição dos artigos pertencentes à Classe 1, quanto aos seus valores de índice COI.

O histograma da *Figura 19* contempla todos os artigos com índice COI inferior a 1 (pertencentes à Classe 1, criada anteriormente). De forma a analisar em detalhe as diferenças, na Classe 1 e em termos de características, de artigos com diferentes valores de índice COI, segmentaram-se intervalos de valor de COI. Com base nesta segmentação, criaram-se divisões que contêm artigos com os seguintes valores de índice COI: **Divisão 1** contém artigos com índice COI entre 0 e 0.059022668 (inclusive) – artigos estes que representam 51.18% dos artigos pertencentes à Classe 1; **Divisão 2** corresponde a artigos com valor COI superior a 0.059022668 e até (inferior ou igual a) 0.118022668 – os quais representam 13.13% da Classe 1; **Divisão 3** tem artigos com COI superior a 0.118022668 e até 0.177022668 – que representam 8.19% da Classe 1; **Divisão 4** tem artigos com COI superior a 0.177022668 e até 0.236022668 – que representam 5.23% da Classe 1; **Divisão 5** tem artigos com COI superior a 0.236022668 e até 0.295022668 – que representam 4.03% da Classe 1; **Divisão 6** tem artigos com COI superior a 0.295022668 e até 0.413022668 – que representam 5.58% da Classe 1; **Divisão 7** tem artigos com COI superior a 0.413022668 e até 0.590022668 – que representam 5.57% da Classe 1; e por fim, **Divisão 8** que tem artigos com COI superior a 0.590022668 e até 1 – que representam 7.08% da Classe 1. Estas divisões foram criadas tendo em conta os intervalos de valor COI e também a sua representatividade, em termos de artigos, dentro da Classe 1.

Tendo criado estas divisões, procede-se com a análise dos mesmos fatores que foram estudados na *Tabela 4*, sendo estes: volume, número de encomendas de saída e número de encomendas satisfeitas

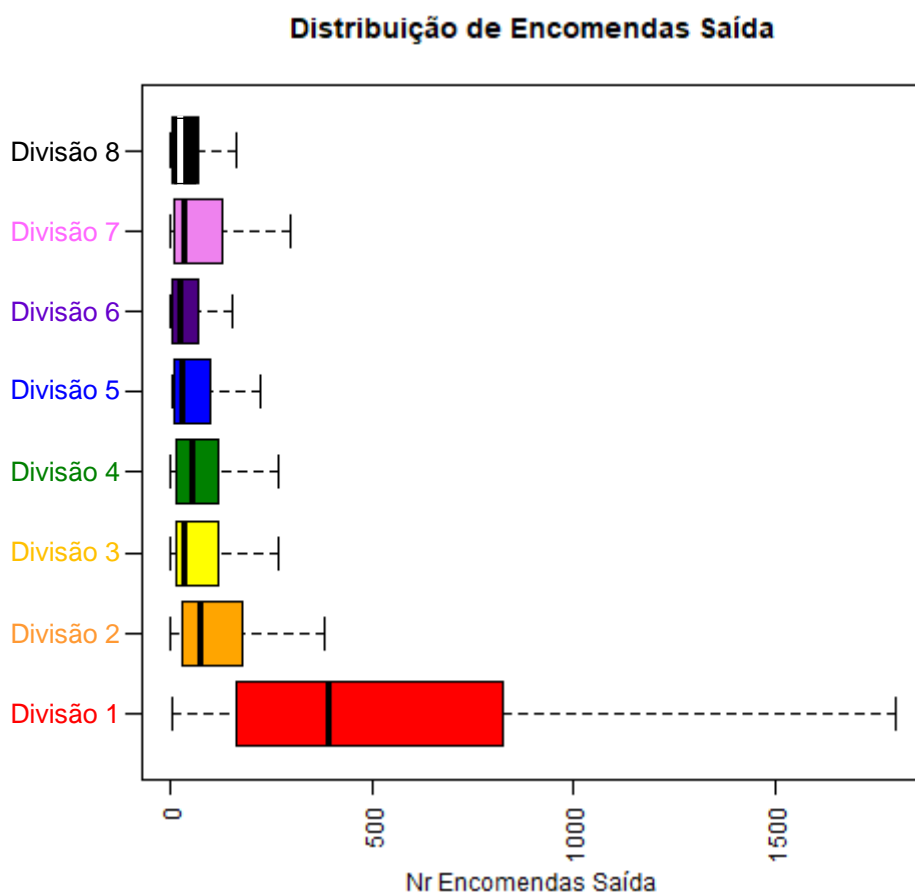
por localização preenchida com os artigos. Para tal, desenvolveu-se uma análise estatística – em R – com o intuito de visualizar a distribuição dos artigos, quanto ao valor verificado para cada um dos fatores, que configuram cada divisão. As Figuras 20, 21 e 22 ilustram então as distribuições dos artigos de cada divisão quanto ao seu volume, número de encomendas de saída e número de encomendas satisfeitas por localização, respetivamente.



**Figura 20** – Distribuição de artigos, de cada divisão, quanto ao seu Volume.

Na Figura 20 pode observar-se que, na Divisão 1, todos os artigos têm entre  $6.02 \text{ cm}^3$  (mínimo) e  $3369.22 \text{ cm}^3$  (máximo), sendo a mediana de  $514.11 \text{ cm}^3$  – estes valores são os mais baixos, em comparação com as restantes divisões, como seria de esperar (relembrando que o método COI premeia artigos em função do menor valor de volume). Os valores máximos de volume verificados nas restantes divisões seguem uma ordem crescente, desde a Divisão 2 até à Divisão 7, sendo que o valor máximo da Divisão 8 ( $18600.96 \text{ cm}^3$ ) é menor do que o da Divisão 7 ( $27360 \text{ cm}^3$ ) – o que, à primeira vista, não parece intuitivo. Quanto às medianas (que correspondem ao valor até onde se encontram 50% dos artigos de cada divisão), estas seguem a ordem crescente:  $514.11 \text{ cm}^3$  (Divisão 1),  $685.57 \text{ cm}^3$  (Divisão 3),  $815.94 \text{ cm}^3$  (Divisão 2),  $1366.48 \text{ cm}^3$  (Divisão 5),  $1405.44 \text{ cm}^3$  (Divisão 6),  $1759.39 \text{ cm}^3$  (Divisão 4),  $2442.55 \text{ cm}^3$  (Divisão 7),  $2605.74 \text{ cm}^3$  (Divisão 8) – note-se que, ao contrário do que seria de esperar, a mediana da Divisão 2 é superior àquela da Divisão 3 e, da mesma forma, a mediana da Divisão 4 é superior às medianas das divisões 5 e 6. Adicionalmente, comparando – para todas as

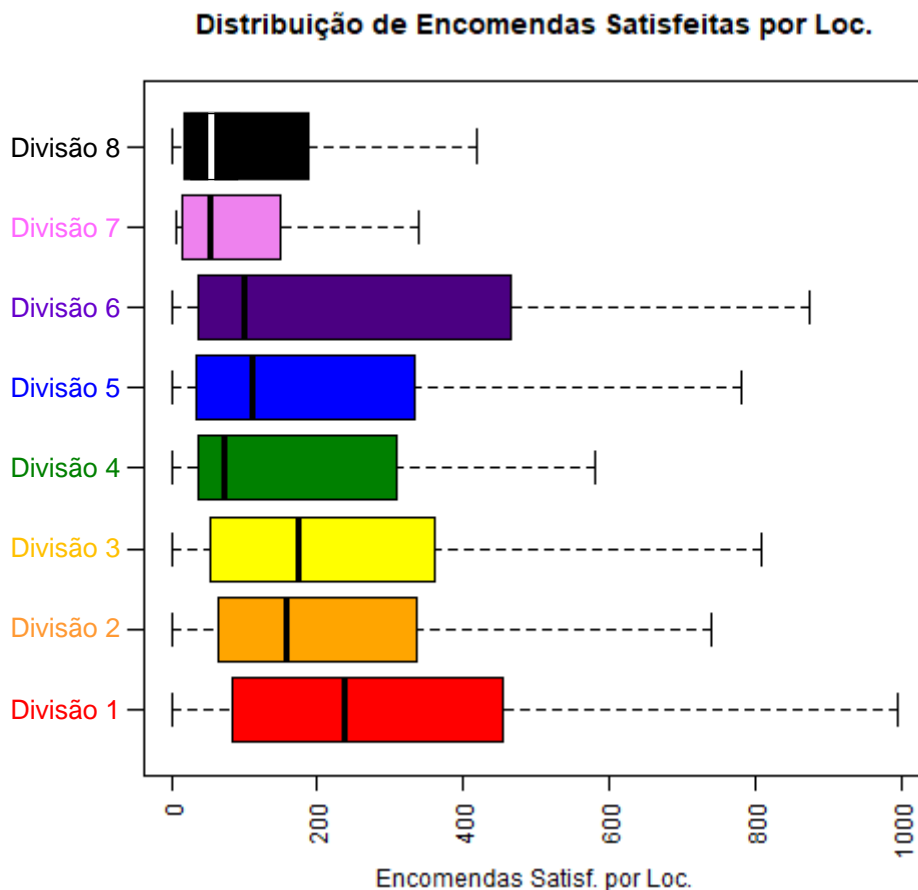
divisões – as distâncias relativas do primeiro quartil à mediana e da mediana ao terceiro quartil, é possível verificar que, em todos os casos, a dispersão dos volumes é maior do lado direito, ou seja, a variação, em termos de volume, é maior para a segunda metade dos artigos que constituem cada divisão.



**Figura 21** – Distribuição de artigos, de cada divisão, quanto ao seu Número de Encomendas de Saída.

A *Figura 21* evidencia a diferença, em termos do número de encomendas de saída, entre os artigos da Divisão 1 e os artigos das restantes divisões, sendo que o valor do primeiro quartil (167 encomendas) - que corresponde ao valor até onde se encontram 25% dos artigos - da Divisão 1 é superior ao valor do terceiro quartil - que corresponde ao valor até onde se encontram 75% dos artigos - das seguintes divisões: Divisão 3 (122 encomendas), Divisão 4 (120 encomendas), Divisão 5 (98 encomendas, Divisão 6 (69 encomendas) e Divisão 8 (72 encomendas). As medianas seguem a seguinte ordem crescente: 22 encomendas (Divisão 8), 27 encomendas (Divisão 6), 33 encomendas (Divisão 5), 34 encomendas (Divisão 7), 36 encomendas (Divisão 3), 56 encomendas (Divisão 4), 73 encomendas (Divisão 2), 392 encomendas (Divisão 1) – note-se que a mediana da Divisão 7 é superior às medianas das divisões 5 e 6 e a mediana da Divisão 4 é superior à mediana da Divisão 3 (recordando que seria de esperar que o maior número de encomendas de saída se verificasse para as divisões com menor índice). Em relação à dispersão, em termos de número de encomendas de saída, dos artigos em cada

divisão, é possível tirar uma conclusão similar àquela tirada para a distribuição de volumes (*Figura 20*), ou seja, a variação do número de encomendas é maior para a segunda metade da distribuição dos artigos de todas as divisões.



**Figura 22** – Distribuição de artigos, de cada divisão, quanto ao seu Número de Encomendas Satisfeitas por Localização de Armazenamento.

O gráfico *boxplot* da *Figura 22* indica que o valor do primeiro quartil dos artigos da Divisão 1 é – como seria de esperar – o mais alto em relação às restantes divisões. Da mesma forma, a mediana da Divisão 1 é também aquela com o valor mais alto, de entre todas as divisões, com 237 encomendas satisfeitas por localização, face às: 157 da Divisão 2, 174 da Divisão 3, 74 da Divisão 4, 112 da Divisão 5, 101 da Divisão 6, 53 da Divisão 7 e 56 da Divisão 8 – note-se que, a mediana da Divisão 3 é mais alta do que a da Divisão 2 e que a mediana da Divisão 4 é mais baixa do que as medianas das divisões 5 e 6, ao contrário do que seria expectável. Por outro lado, os valores dos terceiros quartis das divisões, em ordem crescente, é a seguinte: 464 encomendas (Divisão 6), 455 encomendas (Divisão 1), 362 encomendas (Divisão 3), 336 encomendas (Divisão 2), 333 encomendas (Divisão 5), 309 encomendas (Divisão 4), 189 encomendas (Divisão 8) e 151 encomendas (Divisão 7). Similarmente às distribuições de volume (*Figura 20*) e de encomendas de saída (*Figura 21*), a variação (ou dispersão) do número de encomendas satisfeitas por localização é maior para a segunda metade da distribuição dos artigos de todas as divisões.

Comparando as divisões da Classe 1 (COI inferior a 1), em termos das distribuições de volume, de encomendas de saída e de número de encomendas satisfeitas por localização – e recordando que, na perspectiva do método COI, um menor valor de índice COI será atribuído em função do: menor volume, maior número de encomendas de saída e maior número de encomendas satisfeitas por localização –, será possível inferir sobre a viabilidade do método COI adaptado na atribuição de índices COI para os artigos da Worten.

Assim sendo, entre a **Divisão 1** e **Divisão 2**, os valores do primeiro quartil, mediana e terceiro quartil das distribuições de volume, encomendas de saída e encomendas satisfeitas por localização comparam-se da seguinte forma: volume mais alto na Divisão 2 (entre 39% e 58% acima dos valores verificados na Divisão 1) e menos encomendas de saída (por volta de 80% abaixo dos valores da Divisão 1) e encomendas satisfeitas por localização (entre 23% e 33% abaixo dos valores da Divisão 1) também na Divisão 2 – tal como seria de esperar.

O valor da mediana na distribuição de volume da **Divisão 3** é 16% menor do que aquele verificado na **Divisão 2** – metade dos artigos da Divisão 3 têm menor volume do que metade dos artigos da Divisão 2. Por outro lado, o valor do terceiro quartil na mesma distribuição da Divisão 3 é 11% superior àquele verificado na Divisão 2 – 75% dos artigos da Divisão 3 têm volume superior à mesma parte dos artigos que pertencem à Divisão 2. Os valores do primeiro quartil desta distribuição são similares nas duas divisões. Quanto à distribuição de encomendas de saída, os valores do primeiro quartil, mediana e terceiro quartil são inferiores na Divisão 3 – entre 32% e 51% –, em comparação com a Divisão 2. O número de encomendas satisfeitas por localização é ligeiramente superior para a Divisão 3 – 11% em termos de valor da mediana e 8% no valor do terceiro quartil –, comparando com os valores análogos da Divisão 2. O que se verifica é que: em termos de volume, as duas divisões equiparam-se; o número de encomendas de saída dos artigos da Divisão 3 tende a configurar metade do valor verificado na Divisão 2; e o número de encomendas satisfeitas por localização é tipicamente ligeiramente superior no caso da Divisão 3. É possível concluir então que a popularidade (número de encomendas de saída) tem um peso superior aos restantes fatores (volume e número de encomendas satisfeitas por localização), colocando então os artigos da Divisão 2 numa posição superior àqueles da Divisão 3, em termos de valor de índice COI.

Comparando a **Divisão 3** e **4**, a maioria dos artigos da Divisão 4 têm, de uma forma geral, maior volume do que aqueles que configuram a Divisão 3, sendo que os valores do primeiro quartil, mediana e terceiro quartil são mais elevados na distribuição dos artigos da Divisão 4 – chegando mesmo a atingir, no caso da mediana, um valor que equivale a mais do dobro daquele verificado na Divisão 3. O mesmo se verifica para o número de encomendas satisfeitas por localização, tendo a Divisão 4 valores de primeiro quartil, mediana e terceiro quartil superiores àqueles da Divisão 3 – entre 15% e 58% superiores. Por outro lado, a distribuição dos artigos de acordo com a popularidade (número de encomendas de saída), da Divisão 4, apresenta um valor de mediana 56% superior ao valor da mediana da Divisão 3. Quanto aos terceiros quartis desta mesma distribuição, a Divisão 4 apresenta um valor 2% inferior ao da Divisão 3. Conclui-se então que uma popularidade mais alta (56% superior, comparando a mediana da Divisão 4 à da Divisão 3) não será capaz de contrabalançar um volume muito mais alto (157% superior,



comparando as medianas da Divisão 4 e 3) e número de encomendas satisfeitas por localização bastante mais baixo (58% inferior, comparando as medianas da Divisão 4 e 3), resultando assim em valores de índice COI mais altos para os artigos da Divisão 4, em comparação com aqueles da Divisão 3.

A popularidade tendencialmente mais baixa da **Divisão 5**, em relação àquela da **Divisão 4**, – mediana 41% inferior e terceiro quartil 18% inferior – não compensa o número de encomendas satisfeitas por localização tendencialmente mais elevado – 51% e 8%, em termos de valor de mediana e terceiro quartil, respetivamente –, mantendo-se assim a Divisão 4 numa posição superior à da Divisão 5.

Uma comparação entre as **Divisões 5 e 6** indica um domínio por parte da Divisão 5 – volume mais baixo, número de encomendas de saída e de encomendas satisfeitas por localização mais altos. A mediana e terceiro quartil na distribuição de encomendas de saída da Divisão 6 têm valores 18% e 29% inferiores aos da Divisão 5. Por outro lado, os valores de todos os quartis na distribuição de volume são similares nas duas divisões. Embora, o valor do terceiro quartil na distribuição do número de encomendas satisfeitas por localização da Divisão 6 seja 39% superior àquele verificado da Divisão 5, num cômputo geral, este valor não compensa a popularidade mais baixa da Divisão 6.

No caso da **Divisão 7**, a popularidade alta – valor de mediana e de terceiro quartil 26% e 85% (respetivamente) superiores àqueles da **Divisão 6** – é contrabalançada por volumes altos e números de encomendas satisfeitas por localização baixos – no caso do volume, a mediana e terceiro quartil têm valores 74% e 198% superiores (respetivamente) e, no caso do número de encomendas satisfeitas por localização, a mediana e terceiro quartil têm valores 47% e 68% superiores (respetivamente), em relação aos valores análogos da Divisão 6 –, impondo assim valores de índice COI superiores aos artigos da Divisão 7.

Entre a **Divisão 7 e 8**, a popularidade (encomendas de saída) surge como fator determinante para as classificações relativas destas divisões – mediana e terceiro quartil da Divisão 8 com valores 35% e 44% (respetivamente) inferiores aos da Divisão 7 –, sobrepondo-se ao volume – terceiro quartil da Divisão 8 com valor 30% inferior ao da Divisão 7 – e ao número de encomendas satisfeitas por localização – 6% e 25% superiores, em termos de valores de mediana e terceiro quartil, respetivamente e comparando a Divisão 8 à Divisão 7.

Comparando as classes de COI (em termos de distribuição dos artigos quanto aos fatores descritos), é possível verificar que o método COI adaptado premeia artigos com volume baixo, popularidade alta (ou seja, muitas encomendas de saída) – similarmente ao método COI original – e, adicionalmente, atribui peso à quantidade de encomendas satisfeitas por localização, premiando assim artigos cujas dimensões são pequenas e cujas tendências de vendas – em termos de número médio de unidades que configuram cada encomenda e número de encomendas do artigo – permitem minimizar os movimentos de reaprovisionamento. Perante esta análise comparativa, é possível verificar ainda que o fator popularidade (encomendas de saída) tem maior peso do que os restantes fatores – considerando assim a redução das distâncias percorridas em movimentos de *Put-Away* e *Picking* sem, ao mesmo tempo, descorar as distâncias percorridas em movimentos de reaprovisionamento. Posto isto, existem

fortes indícios de que a adaptação do método COI – como um critério classificativo de artigos – constitui um método robusto e relevante para a operação da Worten, sendo capaz de classificar a vasta gama de artigos comercializados por esta empresa.

### 5.3. Resultados do Modelo de *Slotting*

O modelo de *slotting* apresentado na secção 4.4. foi implementado no software GAMS, versão 23.5. O algoritmo utilizado na resolução foi o CPLEX, versão 12.2 e o modelo correu num processador Intel i7 de 7ª geração com 4 cores e 16GB de memória RAM.

Este modelo (em GAMS) inclui 255379 variáveis discretas, 51077 equações (restrições) e executa-se em 1,453 segundos, atingindo um valor de função objetivo (minimização) ótimo de aproximadamente 5626823,2 metros (ou pouco mais de 5626 quilómetros) – note-se que este é o valor da função objetivo mas não corresponde às distâncias percorridas no armazém para esta solução, sendo que esse cálculo será feito posteriormente num modelo de simulação. Estas e outras estatísticas do modelo são apresentadas na *Tabela 5*.

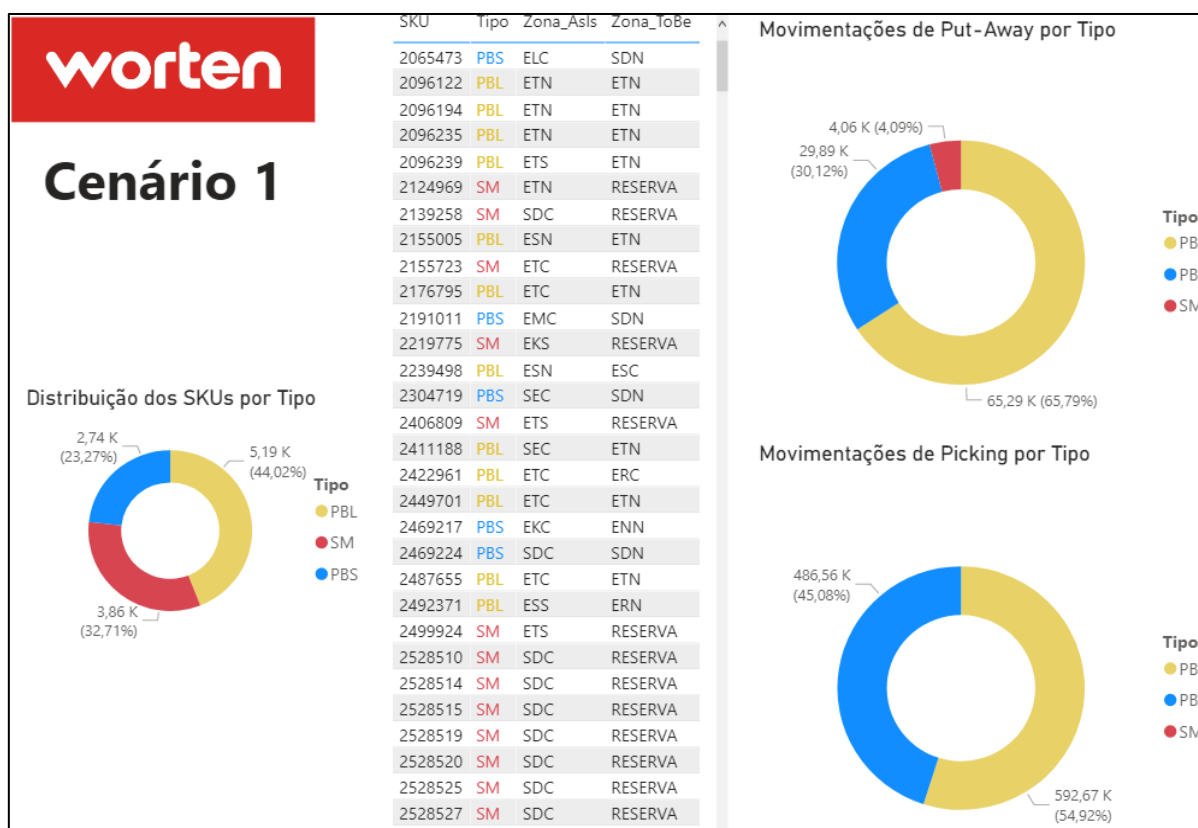
**Tabela 5** – Estatísticas do modelo implementado em GAMS.

Nº de Blocos de Equações	9
Nº de Equações	51077
Nº de Blocos de Variáveis	4
Nº de Variáveis	255423
Nº de Variáveis Discretas	255379
Nº de Elementos Não-Nulos	1693866
Tempo de Execução	1.453 segundos
Valor de Objetivo	5626823.2 metros
Gap Relativo	0%
Contagem de Iterações	13858

A solução do modelo de *slotting* inclui uma tabela que faz a correspondência entre os artigos e as zonas de armazenamento às quais foram alocados pelo modelo. Esta tabela é então exportada pelo GAMS para o formato Excel (.xlsx), ficando armazenada numa folha de cálculo. De forma a tornar os resultados desta tabela mais legíveis e fáceis de comunicar às equipas de operadores que farão a alocação dos artigos, criou-se outro script de R que fará o tratamento dos resultados e os preparará para integração num relatório interno da Worten, desenvolvido em Power BI – *dashboard* (ilustrado na *Figura 23*) que contém os resultados do algoritmo de *slotting* e algumas estatísticas adicionais.

Foram estudados 2 cenários, que são: **Cenário de Slotting 1**, que consiste numa realocação de todos os artigos a armazenar no WH708 Racks e para o qual se consideram todas as localizações ativas desta zona do armazém – este cenário será executado trimestralmente, em momentos-chave que exigem uma reorganização do espaço de armazenamento (numa mudança de época, por exemplo no fim do Verão, quando se deixam de vender tantas ventoinhas e se começam a vender mais aquecedores) –; e **Cenário de Slotting 2**, que consiste na alocação de artigos (destinados ao WH708 Racks) que são rececionados no armazém diariamente e para o qual se consideram apenas as localizações ativas que estão disponíveis (livres), ou seja, localizações de armazenamento sem qualquer artigo alocado.

Na *Figura 23*, pode observar-se a tabela com os resultados do algoritmo de *slotting* (ao centro) – para o **Cenário 1 de Slotting** – transformada de forma a incluir informação adicional como: o tipo de fluxo do artigo no armazém (coluna **Tipo**) – onde **SM** (a vermelho) indica que o artigo é um *slow mover*, independentemente do fluxo a que pertence –, a zona de armazenamento onde o artigo se encontrava alocado (coluna **Zona\_Asls**) e a zona de armazenamento sugerida pelo algoritmo para alocação do artigo (coluna **Zona\_ToBe**).



**Figura 23** – Relatório ou Dashboard de Slotting para o Cenário 1 ( Power BI).

De notar que, para efeitos de apresentação, as zonas de armazenamento propostas para alocação de artigos (nas colunas **Zona\_Asls** e **Zona\_ToBe** do *dashboard* da *Figura 23*) aparecem sem hífen a

separar o nome do corredor da zona (Norte, Centro ou Sul) – por exemplo, a zona de armazenamento EL-C (zona Centro, ou “C”, do corredor “EL”) é apresentada como “ELC” nesta figura.

Os restantes dados – gráficos circulares (*pie charts*) – são referentes à solução proposta (situação “*To Be*”) foram solicitados pela Worten e fornecem informações relevantes para a gestão do armazém. O gráfico circular à esquerda, referente à distribuição dos SKUs por tipo, ilustra a distribuição dos artigos – pertencentes ao WH708 *Racks* – pelos tipos de fluxos, sendo que, no momento avaliado, 23.27% dos artigos pertencem ao fluxo PBS, 44.02% pertencem ao fluxo PBL e 32.71% dos artigos são *slow movers*, ou seja, durante o ano de 2019 não foram encomendados uma única vez. Os gráficos circulares mais à direita da figura indicam a distribuição dos movimentos de *Put-Away* e *Picking* de acordo com o tipo de fluxo do artigo movimentado. Assim sendo, 30.12% dos movimentos de *Put-Away* são feitos com artigos do fluxo PBS, enquanto que 65.79% são feitos com artigos do fluxo PBL e os restantes 4.09% dos movimentos de *Put-Away* serão feitos para localizações de reserva, ou seja, referem-se a artigos *slow movers*. Da mesma forma pode concluir-se que 45.08% dos movimentos de *Picking* são feitos com artigos do fluxo PBS, sendo que os restantes 54.92% dos movimentos de *Picking* são feitos com artigos do fluxo PBL – neste gráfico não se verificam movimentos de *Picking* com artigos *slow movers*, pois estes artigos não configuram quaisquer encomendas de saída do entreposto.

Outro *dashboard* idêntico (com um relatório de estatísticas no mesmo âmbito) foi feito para o **Cenário 2 de Slotting**. Neste *dashboard*, apenas aparecem os artigos que deverão chegar ao entreposto no dia em que se executa o modelo de *slotting* e as zonas onde estes deverão ser alocados, assim como gráficos circulares que configuram as mesmas estatísticas verificadas no *dashboard* da *Figura 23*.

Analisando a alocação resultante do algoritmo de *slotting*, pode verificar-se que apenas 24 das 40 zonas de armazenamento disponíveis são utilizadas (ver *Tabela 6*), sendo que as zonas com menores distâncias ponderadas (maior acessibilidade) têm tipicamente maior ocupação – lembrar que artigos pertencentes a um fluxo (PBL ou PBS) apenas podem ser alocados a zonas de armazenamento dedicadas a esse fluxo e que existem também restrições de compatibilidade entre os artigos e as zonas ao nível dimensional. Note-se também que na *Tabela 6* as zonas de cada fluxo se encontram dispostas por ordem crescente (de cima para baixo) das suas distâncias ponderadas (coluna mais à direita da *Tabela 6*).

De acordo com a lógica de *slotting*, os artigos são alocados por ordem crescente do seu COI às melhores zonas possíveis (aquelas mais às quais é possível aceder mais rapidamente), atendendo à sua compatibilidade com os *slot types* das mesmas. Por consequência, a zona ET-S não tem qualquer artigo alocado, pois as zonas ET-N e ET-C têm o mesmo *slot type* (Alvéolo Grande) – logo poderão levar exatamente os mesmos artigos – e, devido às suas menores distâncias ponderadas, são preenchidas primeiro que a zona ET-S, tendo ocupação na ordem dos 100% e 81.44%, respetivamente. O mesmo se sucede com as zonas ES-S, EN-C, EP-S, SE-N, SD-C, EM-S, EL-C, EK-S, EJ-C, EH-S, EQ-S, EN-S, SE-C, EL-S e EJ-S. De ressaltar também que um artigo pode ser compatível com mais do que um *slot type*.

Olhando para o COI médio dos artigos alocados a cada zona, é possível reparar que, para zonas com o mesmo *slot type*, o COI médio é menor para zonas com menor distância ponderada (como seria de esperar) – por exemplo: na zona dedicada ao fluxo PBL, as zonas ER-N, ER-C e ER-S têm o mesmo *slot type* (Paleta Baixa) e os seus COI médios seguem a mesma ordem crescente: zona ER-N com 71.76 metros de distância ponderada e COI médio (índice) de 0.000398231, seguida pela zona ER-C com 115.12 metros e índice médio de 0.009920314 e, por fim, a zona ER-S com 160.18 metros e índice médio de 2.899931715.

Recordando a classificação dos artigos quanto ao seu valor de COI (em classes e divisões) feita na secção 5.2., os valores de COI médio verificados (na *Tabela 6*) para as zonas ET-N, ER-N, ES-N, ET-C, ER-C, EP-N, EM-N, EK-N, EH-N, SH-N, EQ-N, EP-C, EN-N e EM-C são inferiores a 0.059022668, o que sugere que estas zonas deverão ter, na maioria, artigos pertencentes à Divisão 1 da Classe 1 – pois este valor corresponde ao intervalo de COI da Divisão 1 da Classe 1. As zonas EV-N, ES-C, SD-N, EL-N e EK-C têm valores de COI médio inferior a 1, pelo que a maioria dos artigos ali alocados deverão pertencer às diversas divisões da Classe 1.

Por outro lado, as zonas ER-S, EJ-N, EH-C e SH-C têm valores de COI médio entre 1 e 10, o que indica que estas zonas deverão ter maioritariamente artigos pertencentes à Classe 2. A zona EQ-C é a única com um valor de COI médio superior a 10, o que sugere a presença de artigos pertencentes à Classe 3 – note-se também que esta zona é, de entre as zonas do fluxo PBS com *slot type* Paleta Alta e artigos alocados, aquela com maior distância ponderada (156.92 metros) e menor ocupação (21.35%).

**Tabela 6** – Resultados da Alocação sugerida pelo Algoritmo de *Slotting* (Ocupação e COI Médio de cada zona).

Fluxo	Zona	Ocupação	COI Médio	Slot Type	Dist. Ponderada (m)
PBL	ET-N	100.00%	0.001147388	Alvéolo Grande	62.08
	ER-N	100.00%	0.000398231	Palete Baixa	71.76
	EV-N	100.00%	0.436814551	Palete Média	102.07
	ES-N	100.00%	0.002175763	Prateleira Grande	102.12
	ET-C	81.44%	0.049708206	Alvéolo Grande	108.91
	ER-C	100.00%	0.009920314	Palete Baixa	115.12
	ES-C	100.00%	0.276007548	Prateleira Grande	147.14
	ET-S	0.00%	N/A	Alvéolo Grande	151.78
	ER-S	16.16%	2.899931715	Palete Baixa	160.18
	ES-S	0.00%	N/A	Prateleira Grande	192.67
PBS	EP-N	100.00%	5.78777E-05	Palete Alta	76.05
	EM-N	100.00%	0.000144543	Palete Alta	81.78
	EK-N	100.00%	0.000261318	Palete Alta	93.11
	EH-N	100.00%	0.000459018	Palete Alta	104.95
	SH-N	100.00%	0.000995823	Palete Média	109.48
	EQ-N	100.00%	0.001756676	Palete Alta	111.91
	EP-C	100.00%	0.001756676	Palete Alta	119.62
	EN-N	100.00%	0.004064948	Palete Alta	121.33
	EM-C	100.00%	0.017894812	Palete Alta	125.35
	SD-N	100.00%	0.109440901	Prateleira Grande	126.57
	EL-N	100.00%	0.332008383	Palete Alta	133.06
	EK-C	100.00%	0.886242932	Palete Alta	136.68
	EJ-N	100.00%	1.303163978	Palete Alta	144.56
	EH-C	100.00%	2.124605251	Palete Alta	148.49
	SH-C	100.00%	4.436265104	Palete Alta	153.03
	EQ-C	21.35%	21.68657859	Palete Alta	156.92
	EN-C	0.00%	N/A	Palete Alta	166.35
	EP-S	0.00%	N/A	Palete Alta	166.56
	SE-N	0.00%	N/A	Prateleira Grande	166.88
	SD-C	0.00%	N/A	Prateleira Grande	170.11
	EM-S	0.00%	N/A	Palete Alta	170.41
	EL-C	0.00%	N/A	Palete Alta	178.08
	EK-S	0.00%	N/A	Palete Alta	181.74
	EJ-C	0.00%	N/A	Palete Alta	189.58
	EH-S	0.00%	N/A	Palete Alta	193.58
	EQ-S	0.00%	N/A	Palete Alta	202.45
	EN-S	0.00%	N/A	Palete Alta	211.88
	SE-C	0.00%	N/A	Prateleira Grande	211.90
	EL-S	0.00%	N/A	Palete Alta	223.61
	EJ-S	0.00%	N/A	Palete Alta	235.11

Tendo concluído a conceção do algoritmo de *slotting* e o fluxo de dados que lhe fornece *inputs*, torna-se pertinente e necessário medir o desempenho do método aqui proposto. Para tal, pode fazer-se uma avaliação das distâncias percorridas no armazém para a situação atual (considerando a alocação dos artigos de acordo com a lógica que a Worten tem vindo a utilizar nos últimos anos) face a uma situação hipotética em que os artigos são alocados de acordo com a lógica deste método COI adaptado. Para as duas situações, utilizam-se os mesmos dados de entradas e saídas de artigos ao longo de um ano (ano de 2019). Assim, a variação nas distâncias percorridas ao longo de um ano para as duas situações dependerá apenas da alocação dos artigos às zonas de armazenamento (e das suas distâncias aos pontos de *input* e *output*). Considera-se que cada encomenda de entrada ou saída origina um movimento (de *Put-Away* ou *Picking*, respetivamente) que é composto por duas viagens (ida e volta).

As condições descritas são então modeladas em AnyLogic (*software* baseado em Java e utilizado para simulações), obtendo assim um modelo analítico perfeitamente determinístico – no sentido em que os números de encomendas, os momentos em que estas chegam e os tempos necessários para desempenhar as diferentes operações (de *Put-Away* e *Picking*) estão definidos e não variam.

Definindo o tempo de simulação para um ano e utilizando dados reais de encomendas de entrada e saída (diárias) do Entrepósito para o WH708 *Racks*, corre-se o modelo em duas situações de alocação dos artigos: (1) segundo a lógica proposta pelo método COI adaptado – situação *To-Be* – e (2) segundo a lógica atualmente utilizada pela Worten – situação *As-Is*.

Devido à extensão dos dados utilizados no modelo de simulação – os mais de 13000 artigos, 46 zonas de armazenamento e cerca de 2237899 encomendas de saída anuais – surgiu a necessidade de dividir o problema em três partes que diferem em termos do período do ano: Parte 1 que diz respeito ao período de 01/01/2019 a 30/04/2019; Parte 2 que diz respeito ao período de 01/05/2019 a 31/08/2019; e Parte 3 que diz respeito ao período de 01/09/2019 a 31/12/2019. Tal como referido anteriormente, ambas as situações simuladas (*As-Is* e *To-Be*) têm exatamente o mesmo número e cadência de encomendas ao longo do ano, sendo que os tempos de simulação são similares e rondam os 51586 segundos (ou um pouco mais de 14 horas) – note-se que o tempo de simulação depende do número de encomendas processadas. A discretização destas estatísticas (períodos do ano, encomendas satisfeitas e tempo de simulação) para cada parte simulada aparece na *Tabela 7*.

**Tabela 7** – Estatísticas dos modelos de simulação *As-Is* e *To-Be*.

	Períodos	Encomendas Satisfeitas	Tempo Simulação (s)
<b>Parte 1</b>	01/01/2019 ~ 30/04/2019	560366	12840
<b>Parte 2</b>	01/05/2019 ~ 31/08/2019	531927	15357
<b>Parte 3</b>	01/09/2019 ~ 31/12/2019	1145606	23390
<b>Total</b>	Ano de 2019	2237899	51586

Os resultados obtidos (ver *Tabela 8*) indicam uma redução de 27.3% nas distâncias percorridas em atividades de *Put-Away* e *Picking*, o que corresponde a uma poupança de mais de 110.000€ (em custos operacionais), para a Worten, a cada ano em que este método de *slotting* esteja em prática – este valor foi calculado com base na diferença entre as distâncias percorridas (obtidas no cenário *As-Is* e *To-Be*) e assumindo uma velocidade de circulação média de 2.52 m/s no armazém (conjugação dos diferentes dispositivos móveis utilizados em *Picking* e *Put-Away*). A título demonstrativo, esta poupança equivale a 7 FTEs (*Full-Time Employees*) anuais.

**Tabela 8** – Comparação dos Resultados obtidos nos modelos *As-Is* e *To-Be*.

Resultados	As-Is	To-Be	Alterações
<b>Distância Total (km)</b>	650734.30	472904.99	<b>-27.3%</b>
<b>Custo Total (€)</b>	429,714.0 €	312,288.0 €	<b>-117,426.0 €</b>



## 6. Conclusões

Após compreender o problema da Worten e os dados do seu sistema logístico, a adaptação do método COI surge como uma solução para a classificação de artigos e localizações de armazenamento com variadas tipologias e restrições dimensionais, atribuindo o devido peso aos fatores contemplados no método COI original (popularidade e dimensões dos artigos) e ao novo fator que, no contexto da operação da Worten, configura um novo objetivo para o desafio de alocação de artigos – a redução de movimentos de reaprovisionamento. A alocação de acordo com a lógica do método COI verifica-se, estando as melhores zonas (as mais acessíveis) completamente preenchidas com os melhores artigos (aqueles com menor índice COI), validando assim o fluxo e tratamento de dados e o modelo de *slotting* aqui desenvolvidos. Os resultados obtidos com a criação deste modelo sugerem uma melhoria significativa – redução de custos operacionais em 27%, ao nível de *Picking* e *Put-Away* – relativamente à situação atualmente verificada no processo de preparação de encomendas na zona 708 do armazém da Azambuja.

Embora o método escolhido (COI) seja mais viável e indicado para adaptação à operação específica da Worten – em relação aos restantes métodos analisados (baseados em fatores como Popularidade, *Cube-Movement*, *Turnover Rate*, entre outros) –, não existem dados que permitam comparar este método aos métodos baseados na afinidade. A estrutura atual das tabelas na base de dados da Worten não contempla dados que relacionem a procura de um dado artigo com outro artigo diferente – conceito de afinidade entre artigos –, pelo que alterações nesta estrutura e no âmbito dos dados recolhidos da operação podem levar a novas interpretações dos dados e revelar novas possibilidades de melhorias nos processos de armazenagem. A inclusão de variáveis/fatores relativos à afinidade de produtos no método COI adaptado deverá levar – em conjugação com circuitos de *Cluster Picking* – a melhorias mais significativas no processo de preparação de encomendas, pelo que este é um aspeto que deverá ser estudado no âmbito da melhoria contínua de processos no armazém da Worten.

Adicionalmente, a adaptação dos circuitos de *Picking* será outro fator determinante na implementação do novo método de alocação de artigos, sendo que a agregação de encomendas para *Picking* em granel (*Batch Picking*) – em vez de *Cluster Picking* (atualmente executado) – reduzirá o número de viagens no armazém e inflacionará o benefício deste novo método.

No contexto da situação atual referente ao processo de preparação de encomendas no Entrepósito da Worten, a operação de alocação de artigos (*slotting*) dentro do armazém apresenta possibilidade para melhorias, sendo que o método COI utilizado e adaptado produz benefícios comprovados analiticamente – carecendo assim de uma comprovação prática no terreno (implementação do método de *slotting* na operação da Worten e análise de resultados). A alocação de vários artigos populares ao mesmo corredor poderá produzir congestionamentos a nível de circulação no armazém, o que leva a tempos de espera (improdutivos) não contemplados na fase de avaliação de desempenho da ferramenta desenvolvida nesta Dissertação.

Sugere-se então uma análise aprofundada ao possível efeito de congestionamento (devido à alocação de vários artigos populares ao mesmo corredor) e, caso se pretenda atuar sobre este efeito, ponderar

a possibilidade de mudar o layout do WH708 *Racks*. Algumas mudanças poderão passar por: atribuir mais do que uma localização ativa (de *Picking*) a artigos populares – para que possa ser feito *Picking* em mais do que uma localização em simultâneo –, alternar o *slotting* de artigos mais populares com artigos menos populares no mesmo corredor – diluindo assim a concentração de circuitos de *Picking* nos corredores com artigos mais populares –, alterar a disposição dos corredores e/ou sentidos de circulação – de forma a homogeneizar a acessibilidade dos corredores – ou até escalar os circuitos de *Picking* – de forma a reduzir a ocorrência de cruzamentos de circuitos de *Picking* nos corredores.

Agregando encomendas de forma a possibilitar a criação de mais circuitos de *Batch Picking* será possível verificar os benefícios associados à sinergia entre o método de *slotting* aqui desenvolvido e esta política de *Picking*, levando a conclusões relativamente ao impacto que esta decisão possa ter no nível de serviço do entreposto e nos custos operacionais. O nível de serviço deverá reduzir – visto que existirão menos circuitos de *Picking* devido ao agregamento de encomendas que deverão atrasar a preparação das mesmas – mas este efeito negativo poderá ser compensado por uma redução nos custos operacionais – menos circuitos de *Picking* (em comparação com os circuitos de *Cluster Picking*) que deverão configurar mais artigos implicam menos viagens dentro do armazém.

Por fim, a associação de artigos a famílias mercadológicas – organizadas por tipo: *smartphones* Apple, *smartphones* Samsung, etc. – constitui uma base para a definição do COI de artigos sem histórico de vendas (novos no entreposto) – os quais, segundo o método COI original, não possibilitariam o cálculo do COI por falta de dados –, no sentido em que se pode estimar o COI de um artigo associando-o a outros artigos (com histórico de vendas) da mesma família mercadológica e utilizar os COI destes últimos como referência, tornando assim possível a alocação de novos artigos segundo a lógica desenvolvida neste método. Utilizando a categorização de artigos por grupos mercadológicos (já feita pela Worten, ao nível de bases de dados) como ponto inicial, será possível cruzar estes dados com outros dados relativos aos artigos – tais como: faixa de preço, época de lançamento no mercado e outras especificações – e desenvolver uma estrutura de categorização rigorosa o suficiente para que a averiguação do valor do COI (para um artigo sem histórico) produza uma alocação que seja representativa da sua posição relativamente a outros artigos armazenados.

## Referências

- Apte, U. M., & S. Viswanathan, (2000): *Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies*. International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management, 3:3, 291-302. <http://dx.doi.org/10.1080/713682769>
- Bartholdi, J. J., & Gue, K. R. (2004). *The best shape for a crossdock*. Transportation Science, 38(2), 235–244. <https://doi.org/10.1287/trsc.1030.0077>
- Battini, D., Calzavara, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2015). *Order Picking system design: The storage assignment and travel distance estimation (SA&TDE) joint method*. International Journal of Production Research, 53(4), 1077–1093. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.944282>
- Bell, David & Gallino, Santiago & Moreno, Antonio. (2014). *How to Win in an Omnichannel World*. MIT Sloan Management Review. 56(1). 45-+.
- Belle, J. Van, Valckenaers, P., & Cattrysse, D. (2012). *Cross-docking: State of the art*. Omega, 40(6), 827–846. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.01.005>
- Brynjolfsson, E., Hu, Y. J., & Rahman, M. S. (2013). *Competing in the Age of Omnichannel Retailing* International Journal of Electronic Commerce, 18(4), 5–16. <https://doi.org/10.2753/JEC1086-4415180400>
- Brynzér, H., & Johansson, M. I. (1996). *Storage location assignment: Using the product structure to reduce order Picking times*. International Journal of Production Economics, 46–47, 595–603. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)00091-3](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)00091-3)
- Buijs, P., Vis, I. F. A., & Carlo, H. J. (2014). *Synchronization in cross-docking networks: A research classification and framework*. European Journal of Operational Research, 239(3), 593–608. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.012>
- Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (2000). *Layout design in manual Picking systems: a simulation approach*. Integrated Manufacturing Systems, 11(2), 94–104. <https://doi.org/10.1108/09576060010313946>
- Coyle, J. J., Bardi, E. J., & Langley, C. J. (1996). *The management of business logistics (Vol. 6)*. St Paul, MN: West publishing company.
- CSCMP, (2013). *Supply Chain Management Terms and Glossary*. January. 1-222, Website: [https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/](https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/) [Consulted January 2020]

- Chen, M., Huang, C., Chen, K., & Wu, H. (2005). *Aggregation of orders in distribution centers using data mining*. 28, 453–460. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2004.12.006>
- Davarzani, H., & Norrman, A. (2015). *Toward a relevant agenda for warehousing research: literature review and practitioners' input*. *Logistics Research*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-014-0120-1>
- de Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). *Design and control of warehouse order Picking: A literature review*. *European Journal of Operational Research*, 182(2), 481–501. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.07.009>
- Fernie, J., Sparks, L., & McKinnon, A. C. (2010). *Retail logistics in the UK: Past, present and future*. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 38(11), 894–914. <https://doi.org/10.1108/09590551011085975>
- Fontana, M. E., & Cavalcante, C. A. V. (2014). *Use of Promethee method to determine the best alternative for warehouse storage location assignment*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(9–12), 1615–1624. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5405-z>
- Frazelle, E. H. (2017). *Supply Chain Strategy, Second Edition: Unleash the Power of Business Integration to Maximize Financial, Service, and Operations Performance*. 2nd Edition. McGraw-Hill. ISBN: 9780071842815
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). *Research on warehouse operation: A comprehensive review*. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>
- Hall, R. W. (1993). *Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse*. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 25(4), 76–87. <https://doi.org/10.1080/07408179308964306>
- Harrison, A., & Hoek, R. Van. (2008). *Logistics Management and Strategy (3rd Edition)*. Prentice Hall, Financial Times, Pearson Education.
- Hausman, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). *Optimal storage assignment in automatic warehousing systems*. *Management Science*, (pp. 629–638). University of Rochester.
- Hsieh, L. F., & Tsai, L. (2006). *The optimum design of a warehouse system on order Picking efficiency*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28(5–6), 626–637. <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2404-0>
- Hübner, A., Wollenburg, J., & Holzapfel, A. (2016). *Retail logistics in the transition from multi-channel to omni-channel*. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 46(6–7), 562–583. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2015-0179>

- Jahani, P. (2016). *Dynamic warehouse optimization using predictive analytics*. Electronic Theses and Dissertations. Paper 2582. <https://doi.org/10.18297/etd/2582>
- Kallina, C., & Lynn, J. (1976). *Application of the Cube-Per-Order Index Rule for Stock Location in a Distribution Warehouse*. *Interfaces*, 7(1), 37–46. <https://doi.org/10.1287/inte.7.1.37>
- Kembro, J. H., Norrman, A. and Eriksson, E. (2018). *Adapting warehouse operations and design to omni-channel logistics: A literature review and research agenda*. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 48(9), pp. 890–912. doi: 10.1108/IJPDLM-01-2017-0052.
- Koster, R. M. . B. M. De, & Le-Duc, T. (2007). *Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse*. *International Journal of Production Research*, 43(17), 3561–3581. <https://doi.org/10.1080/00207540500142894>
- Ladier, A. L., & Alpan, G. (2016). *Cross-docking operations: Current research versus industry practice*. *Omega* (United Kingdom), 62, 145–162. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.09.006>
- Laudon, K. C., & Traver, C. G. (2016). *E-commerce 2016: business. technology. society*. In Global Edition. [www.pearsonglobaleditions.com](http://www.pearsonglobaleditions.com)
- Li, J., Moghaddam, M., & Nof, S. Y. (2016). *Dynamic storage assignment with product affinity and ABC classification—a case study*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84(9–12), 2179–2194. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7806-7>
- Liu, C. (1999). *Clustering techniques for stock location and order-Picking in a distribution center*. *Computers and Operations Research*, 26, 989–1002. [https://doi.org/10.1016/s0305-0548\(99\)00026-x](https://doi.org/10.1016/s0305-0548(99)00026-x)
- Santiago Gallino, Antonio Moreno (2014). *Integration of Online and Offline Channels in Retail: The Impact of Sharing Reliable Inventory Availability Information*. *Management Science* 60(6):1434-1451. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.2014.1951>
- Muppani (Muppant), V. R., & Adil, G. K. (2008). *Efficient formation of storage classes for warehouse storage location assignment: A simulated annealing approach*. *Omega*, 36(4), 609–618. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2007.01.006>
- Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). *A comparison of Picking, storage, and routing policies in manual order Picking*. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.09.006>
- Petersen, C. G. I. (1997). *An evaluation of order Picking routeing policies*. *International Journal of Operations and Production Management*, 17(11 (2006)), 1098–1111. <https://doi.org/10.1108/01443579710177860>

- Petersen, C. G., & Schmenner, R. W. (1999). *An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order Picking operation*. *Decision Sciences*, 30(2), 481–501. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1999.tb01619.x>
- Petersen, C.G., Siu, C. & Heiser, D.R. (2005), *Improving order picking performance utilizing slotting and golden zone storage*. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 25 No. 10, pp. 997-1012. <https://doi.org/10.1108/01443570510619491>
- PwC, (2013). *Demystifying the Online Shopper – 10 Myths of Multichannel Retailing*. US Studio, New York, NY.
- Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). *Order-Picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem*. *Operations Research*, 31(3)(August 2015), 507–521.
- Rau, H., & Yin, Y.-L. (2006). *Dynamic selection of sequencing rules for a class-based unit-load automated storage and retrieval system*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29, 1259–1266. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0005-1>
- Richards, G. (2014). *Warehouse Management. A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*. (2nd Edition). Kogan Page Limited.
- Rohrer, M. (1995). *Simulation and Cross Docking*. *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, 846–849. <https://doi.org/10.1109/WSC.1995.478868>
- Roodbergen, K. J., & Koster, R. (2010). *Routing methods for warehouses with multiple cross aisles*. *International Journal of Production Research*, 39(9)(2010), 1865–1883. <https://doi.org/10.1080/00207540110028128>
- 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(3), 515–533. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X)
- Shuib, A., & Fatthi, W. N. A. W. A. (2012). *A Review on Quantitative Approaches for Dock Door Assignment in Cross-Docking*. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 2(5), 370. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.2.5.226>
- Verhoef, P. C., Kannan, P. K., & Inman, J. J. (2015). *From Multi-Channel Retailing to Omni-Channel Retailing*. Introduction to the Special Issue on Multi-Channel Retailing. *Journal of Retailing*, 91(2), 174–181. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2015.02.005>
- Walha, F., Chaabane, S., Bekrar, A., & Loukil, T. (2014). *The cross docking under uncertainty: State of the art*. 2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport, ICALT 2014, 330–335. <https://doi.org/10.1109/ICAAdLT.2014.6866334>

- Yin, Y.-L., & Rau, H. (2007). *Dual commands dispatching of a class-based unit-load automated storage and retrieval system using multi-pass simulation with generic algorithm*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33, 530–539. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0478-6>
- Yu, W., & Egbelu, P. J. (2008). *Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage*. *European Journal of Operational Research*, 184(1), 377–396. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.10.047>