

Previsão de Vendas, Distribuição e Reabastecimento Integrados para Retalho

Nuno Luís Velasco Esteves

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professor Bernardo Almada-Lobo

Orientador no INESC Porto: Engenheiro Rui Rebelo



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2011-07-28

*à Felita,
ao meu Pai
e à Neuza*

Resumo

No retalho de moda, a gestão adequada de inventários compostos por inúmeros artigos com um reduzido histórico de vendas assume-se como problema fundamental. Más decisões neste âmbito podem levar perda de vendas ou prejuízos avultados com campanhas de promoções.

Na literatura é possível encontrar este problema abordado de diferentes perspectivas, nomeadamente a de previsão de vendas, distribuição ou alocação de mercadoria e optimização de políticas de gestão de inventário em loja. Como excepção, surgem alguns casos que apresentam soluções integrando duas ou mesmo as três perspectivas no contexto da gestão de inventários, mas acabam por ser demasiado restritivos ou pelos pressupostos assumidos ou pelo contexto de desenvolvimento.

Neste documento são analisadas as operações de uma empresa de retalho de calçado de moda, com o propósito de identificar actividades relacionadas com a gestão de inventário que apresentem ganhos potenciais na integração da previsão, distribuição e reabastecimento. Como resultado, é seleccionado o processo de gestão de inventário dos artigos em loja para toda a rede de pontos de venda da empresa.

A implementação da previsão, distribuição e reabastecimento integrados é feita desenvolvendo um algoritmo para gestão de inventário, com base numa política (R,S) dinâmica integrada com um modelo de previsão assente em redes neuronais e um modelo de distribuição. O problema prático resolvido pelo algoritmo é o da gestão de inventário com artigos múltiplos a partir de um armazém para n pontos de venda no contexto do retalho de calçado de moda. O cumprimento de um nível de serviço β (*fill rate*) é usado como objectivo.

O algoritmo é testado com dados reais fornecidos pela empresa do sector tendo um bom resultado.

Palavras-Chave: modelo de inventário, algoritmo, retalho, moda, previsão, distribuição reabastecimento, integrado.

Integrated Sales Forecast, Distribution and Replenishment for Retail Operations

Abstract

In fashion retail, the proper management of inventories made up of numerous goods with limited demand history data remains a tough challenge to deal with. Poor decisions on this issue will often result in lost sales or massive profit loss due to aggressive markdown campaigns.

The available literature contains several approaches to this problem, mainly from three different perspectives, namely: sales forecasting, distribution or allocation of merchandise and the optimization of store inventory management policies. As an exception, some works present solutions that actually integrate two or even the three perspectives, but they generally end up being too strict, either from the assumptions made or the context of application.

On this document, the operations from a case-study, which operates in the fashion retail context, are analyzed with the purpose of identifying inventory management related activities that present potential gains by integrating sales forecast, distribution and replenishment. The analysis results in the selection of the retail store network inventory management.

The implementation of integrated sales forecast, distribution and replenishment is carried through the development of an inventory management algorithm, based on a dynamic version of the classical (R,S) policy integrated with an artificial neural network forecasting model and a distribution model. The practical motivation problem is that of managing multiple-item inventories from a warehouse to n retail stores in the context of a fashion shoe retail network. A target fill rate service level is used as the main objective.

The algorithm's performance is tested with real world data provided by the case-study, achieving good results.

Keywords: inventory model, algorithm, fashion, retail, forecasting, distribution, replenishment, integrated.

Agradecimentos

Gostaria de deixar algumas palavras de agradecimento àqueles que me acompanharam e apoiaram durante o desenvolvimento do projecto de dissertação, nomeadamente ao meu orientador da Faculdade, o Professor Bernardo Almada-Lobo, e ao meu orientador de empresa, o Engenheiro Rui Diogo Rebelo.

Um obrigado também ao João Sousa e à restante equipa da UESP – INESC Porto.

Um agradecimento especial à minha família e amigos pela força que me deram.

Índice de Conteúdos

1	APRESENTAÇÃO DO PROJECTO	1
1.1	INTRODUÇÃO.....	1
1.2	CONTEXTO DO PROJECTO DE DISSERTAÇÃO	1
1.2.1	Apresentação do INESC Porto	1
1.2.2	Projecto ShoeID.....	2
1.3	MOTIVAÇÃO	2
1.3.1	Previsão	3
1.3.2	Distribuição.....	3
1.3.3	Reabastecimento	3
1.4	OBJECTIVOS	4
1.5	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	5
2	ESTADO DA ARTE	7
2.1	INTRODUÇÃO.....	7
2.2	FACTORES QUE CONDICIONAM INVENTÁRIOS E A SUA GESTÃO	8
2.2.1	Estrutura da cadeia de abastecimento	8
2.2.2	Características dos Artigos.....	10
2.2.3	Procura dos Artigos.....	10
2.2.4	Custos	11
2.2.5	Prazos de entrega (<i>Lead times</i>).....	11
2.2.6	Frequência de revisão.....	12
2.3	MEDIDAS DE DESEMPENHO NUM SISTEMA DE GESTÃO DE INVENTÁRIO	12
2.4	CLASSIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE GESTÃO DE INVENTÁRIOS	13
2.5	MODELOS DE GESTÃO DE INVENTÁRIO CLÁSSICOS	13
2.6	MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO	17
2.7	USO DE MODELOS DE PREVISÃO PARA A GESTÃO DE INVENTÁRIOS	18
2.8	CASOS DE IMPLEMENTAÇÃO DE PREVISÃO, DISTRIBUIÇÃO E REPOSIÇÃO INTEGRADOS	19
2.9	CONCLUSÕES.....	19
3	ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO.....	21
3.1	ESTRUTURA DA EMPRESA	21
3.2	ARTIGOS COMERCIALIZADOS	21
3.3	OPERAÇÕES	22
3.3.1	Compra de artigos a fornecedores.....	22
3.3.2	Operação do armazém e meios de transporte de mercadoria	23
3.3.3	Operação dos pontos de venda ao consumidor final.....	24
3.4	PROCESSOS DE GESTÃO DE STOCKS NOS PONTOS DE VENDA	24
3.4.1	Gestão de sortidos, promoções e fornecimentos excepcionais – médio prazo.....	24
3.4.2	Gestão de <i>stocks</i> de artigo em loja – curto prazo	28
3.5	SELECÇÃO DO PROCESSO PARA IMPLEMENTAÇÃO DA PREVISÃO, DISTRIBUIÇÃO E REABASTECIMENTO INTEGRADOS.....	30
4	DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO	31
4.1	POLÍTICA DE INVENTÁRIO SELECIONADA.....	31
4.2	ESQUEMATIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO ALGORITMO	32
4.2.1	Módulo de Previsão.....	32
4.2.2	Módulo de Distribuição.....	34
4.2.1	Módulo de Reabastecimento	35

4.3	FERRAMENTAS INFORMÁTICAS DE SUPORTE UTILIZADAS	37
4.4	SÍNTESE DO ALGORITMO	38
5	TESTES COMPUTACIONAIS.....	39
5.1	TESTES PRELIMINARES SIMPLES	39
5.2	TESTES FINAIS	42
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO.....	45
7	REFERÊNCIAS	47

Índice de Figuras

Figura 1 – Previsão, Distribuição e Reabastecimento Integrados.	4
Figura 2 – Cadeia de abastecimento genérica.	9
Figura 3 – Efeito chicote ao longo de uma cadeia de abastecimento.	9
Figura 4 – Estrutura parcial da cadeia: um armazém – n pontos de venda.	10
Figura 5 – Classificação dos problemas de gestão de inventários.	13
Figura 6 - Modelo gráfico da quantidade económica de encomenda.	14
Figura 7 – Modelo gráfico da política (s, Q)	16
Figura 8 – Modelo gráfico da política (s, S)	16
Figura 9 – Modelo gráfico da política (R, S)	17
Figura 10 – Esquema ilustrativo da introdução de diferentes sortidos de artigos durante uma única estação.	25
Figura 11 – Processo de gestão de sortidos (arranque de estação/época).	26
Figura 12 – Processo de gestão de sortidos, promoções e encomendas excepcionais (semanal).	27
Figura 13 – Processo de gestão de <i>stocks</i> de artigo em loja.	29
Figura 14 – Esquema do funcionamento do algoritmo de gestão de <i>stocks</i>	32
Figura 15 - Arquitectura da rede neuronal utilizada.	33
Figura 16 – Quota percentual das vendas da Loja 1 face às nacionais.	34
Figura 17 – Quota percentual das vendas da Loja 2 face às nacionais.	35
Figura 18 – Quota percentual das vendas da Loja 3 face às nacionais.	35
Figura 19 – Esquema do algoritmo de Previsão, Distribuição e Reabastecimentos Integrados.	38
Figura 20 – Procura real e esperada para o artigo 1.	39
Figura 21 – Modelo (R, S) para o artigo 1.	40
Figura 22 – Procura real e esperada para o artigo 2.	40
Figura 23 – Modelo (R, S) para o artigo 2.	40
Figura 24 – Procura real e esperada para o artigo 3.	41
Figura 25 – Modelo (R, S) para o artigo 3.	41

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tarifas mais utilizadas para calçado de senhora.....	23
Tabela 2 – Proporções de tamanhos para categoria sandália.	37
Tabela 3 – Tabela de resultados dos testes finais.	43

1 Apresentação do Projecto

Neste capítulo é feita uma introdução do projecto de dissertação, apresentando-se o seu contexto de desenvolvimento. São também introduzidos a problemática que motiva a elaboração desta tese e os objectivos principais da mesma.

1.1 Introdução

Esta dissertação insere-se no âmbito de um projecto de investigação e desenvolvimento orientado à cadeia de valor do calçado, denominado ShoeID, a cargo de um consórcio que envolveu o INESC Porto, em particular a Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção. Para além do INESC Porto, o consórcio responsável pelo ShoeID teve ainda como participantes uma empresa de calçado, onde foram testados e validados, de forma iterativa, os vários módulos do projecto.

O projecto de dissertação abordou um destes módulos, designadamente o módulo de previsão, distribuição e reposição. Estes três conceitos foram estudados numa perspectiva integrada e a sua aplicabilidade testada numa empresa de retalho de calçado de moda.

O estudo das operações da empresa e da aplicabilidade destes conceitos culminou no desenvolvimento de um algoritmo. Este pretende servir como ferramenta de apoio a uma gestão eficaz e eficiente dos inventários de calçado em loja, integrando previsão, distribuição e reabastecimento.

1.2 Contexto do Projecto de Dissertação

1.2.1 Apresentação do INESC Porto

O INESC Porto - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores do Porto é uma associação privada sem fins lucrativos e com fortes ligações à Universidade do Porto que pretende fazer a ligação entre o mundo académico e o mundo empresarial da indústria e dos serviços (INESC Porto, 2011).

Este laboratório associado aposta fortemente na investigação científica e desenvolvimento tecnológico, estando directamente ligado a áreas das Tecnologias de Informação, Telecomunicações e Electrónica, tendo também actividade em consultoria e formação avançada. Abordando um conjunto de áreas muito amplas, a sua estrutura, excluindo os órgãos de gestão e departamentos de suporte, divide-se em sete unidades/grupos de Investigação e Desenvolvimento não estanques. São elas:

- Telecomunicações e Multimédia;
- Sistemas de Energia;
- Engenharia de Sistemas de Produção;
- Sistemas de Informação e Computação Gráfica;
- Optoelectrónica e Sistemas Electrónicos;

- Inovação e Transferência de Tecnologia;
- Robótica e Sistemas Inteligentes.

O projecto de dissertação foi desenvolvido na Unidade de Engenharia de Sistemas de Produção (UESP), em colaboração com uma das suas equipas de projecto.

A UESP, de acordo com os seus objectivos estratégicos, procura desenvolver competências e contribuir para a melhoria do desempenho de empresas industriais. Na prossecução destes objectivos, a UESP realiza I&D de soluções inovadoras nas áreas de:

- Produção – sistemas de informação avançados de apoio à gestão industrial, gestão da qualidade e gestão da manutenção, sistemas de planeamento e controlo da produção, soluções de automação, sistemas de apoio à decisão;
- Logística – sistemas de gestão da cadeia de abastecimento, planeamento de sistemas logísticos, integração e optimização de estruturas logísticas.

1.2.2 Projecto ShoelD

O projecto de dissertação descrito no presente documento insere-se num projecto, de âmbito e duração mais alargados, iniciado em 2010, denominado ShoelD. No seu desenvolvimento estiveram envolvidos o INESC Porto, uma empresa especializada em soluções RFID, uma empresa de indústria e comércio de calçado e um centro tecnológico.

O projecto ShoelD tem como principal objectivo a concepção, desenvolvimento e validação de um conceito inovador de gestão da cadeia de valor do calçado, desde o fabrico até à venda ao consumidor final em loja. Este novo conceito parte da incorporação da tecnologia RFID no produto e traz consigo a redefinição de processos, sistemas de informação e logística, quer pelos requisitos que lhe são inerentes, como pelas possibilidades que abre. Estas últimas podem ser desdobradas nos pontos mais relevantes:

- Eliminação do suporte em papel nos fluxos de informação;
- Rastreabilidade dos processos e produtos;
- Armazenagem e distribuição ágil, adaptada à realidade da indústria da moda – mudança de colecções e vendas afectadas por uma forte componente sazonal;
- Utilização de novos modelos de previsão capazes de incorporar vários factores que afectam o consumo dos bens transaccionados neste mercado;
- Redução dos *stocks* ao longo da cadeia de abastecimento (*bullwhip effect*);
- Implementação de processos de logística inversa mais eficientes para tratar dos excedentes de cada colecção;
- Identificação em tempo útil de tendências e promoção dos produtos nas lojas de forma mais interactiva e dinâmica.

1.3 Motivação

Os objectivos de um retalhista podem ser resumidos em termos das decisões que este toma em relação à mercadoria que vende na forma de três questões simples: “quanto?”; “quando?”; “onde?” (Fisher, Raman, & McClelland, 2000). Na literatura têm sido desenvolvidas soluções para estas questões em campos diversos, nomeadamente através da previsão, da distribuição e do reabastecimento.

1.3.1 Previsão

O uso de modelos de previsão procura responder essencialmente às questões de quantidade. Um exemplo clássico é o de quantas unidades do produto x se esperam vender no dia t . Quando devidamente construído, um modelo de previsão pode indicar ao retalhista, para um horizonte temporal por ele determinado, uma quantidade que será vendida, com um determinado grau de incerteza.

1.3.2 Distribuição

A área de distribuição prende-se com a forma como é feita a divisão e colocação das quantidades nos pontos de venda. Trata de determinar como dividir a quantidade e para onde enviar os resultados.

1.3.3 Reabastecimento

O reabastecimento, mais directamente associado à gestão de inventários, tem como propósito a determinação da frequência das reposições e as quantidades adicionais de *stock* a manter tendo em conta a incerteza inerente à procura esperada em cada ponto de venda.

Estas três áreas são abordadas em várias publicações, mas, na grande maioria dos casos, em separado. Exemplo disso são as inúmeras propostas de resolução para modelos de gestão de inventários para um artigo único, sujeito a procura determinística (*e.g.* (Silver, 1976), (Pal, Goswami, & Chaudhuri, 1993)), ou os problemas de roteamento de veículos (Laporte, 1992), cujos algoritmos proporcionam soluções para quantidades conhecidas *a priori*. O modelo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados é explicitado na Figura 1. As ligações entre as três áreas dizem respeito à forma como cada uma interage com a seguinte, de acordo com as questões levantadas no início da secção 1.3.



Figura 1 – Previsão, Distribuição e Reabastecimento Integrados.

1.4 Objectivos

O trabalho feito no INESC Porto teve como objectivo estudar a aplicabilidade de um modelo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados e, com base nele, desenvolver um algoritmo que servisse de base para a programação de um protótipo funcional. Este protótipo pretende apoiar os processos de gestão de inventário em loja para as cadeias de retalho de moda de calçado que realizam esta actividade de uma forma centralizada. No fundo, o trabalho desenvolvido responderia às três principais questões relacionadas com a gestão de inventários (Silver, 1981): qual a frequência de revisão do nível de inventário; quando efectuar uma encomenda de reabastecimento; qual o número de unidades a encomendar. O modelo de cadeia de abastecimento considerado é o de um armazém e n pontos de venda (*one warehouse multi-retailer system*).

Alguns dos problemas que este tipo de gestão coloca a empresas menos desenvolvidas são:

- Análise periódica de *stocks* e elaboração de ordens de expedição feita manualmente, recorrendo a indicadores simples e pouco eficazes, como, por exemplo, as vendas médias;
- Heurísticas usadas para determinar a quantidade de cada artigo a expedir e o respectivo destino pouco definidas e sujeitas a mudanças não planeadas;
- Existência de desequilíbrios de inventário significativos entre as várias lojas da rede no final de cada estação, não explicados pelo volume de vendas típico de cada uma.

O algoritmo desenvolvido surgiu então para colmatar os pontos fracos mencionados, tendo sido propostas como principais características:

- Recolha de toda a informação necessária a partir da base de dados da empresa;
- Realização de previsões de vendas a partir do modelo de previsão;
- Utilização de um algoritmo de gestão de inventário seleccionado e adaptado ao contexto do retalho de calçado de moda para determinar as quantidades recomendadas de cada artigo a colocar em loja;
- Elaboração das ordens de expedição, para posterior impressão ou introdução na base de dados da empresa.

A ferramenta desenvolvida a partir daí permitiria assim ao utilizador realizar a gestão de *stocks* em loja de uma forma consistente e rápida, tirando o máximo partido da informação disponível para tomar decisões sólidas.

1.5 Estrutura da Dissertação

Este documento divide-se em cinco capítulos, servindo o primeiro para introduzir o problema abordado, o trabalho desenvolvido e o seu contexto.

No segundo capítulo é feita uma passagem pelo estado da arte na gestão de inventários. Daqui se tiram as bases teóricas nas quais assentou o desenvolvimento do projecto de dissertação.

O terceiro capítulo descreve a análise do caso de estudo e a esquematização dos principais processos para os quais se considerou a implementação de um modelo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados. Já no quarto capítulo explicita-se todo o trabalho de desenvolvimento que conduziu à definição de um algoritmo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados.

No quinto capítulo é feita uma comparação do desempenho do algoritmo com o processo de reposição utilizado na empresa que cedeu os seus dados para o desenvolvimento do projecto.

Por fim, no último capítulo tiram-se as principais conclusões sobre os resultados obtidos e fazem-se algumas sugestões quanto a trabalhos futuros.

2 Estado da Arte

Neste capítulo apresenta-se o conceito de gestão de inventários na forma como é abordado na literatura relevante e encarado na perspectiva do reabastecimento. São descritas as razões fundamentais por detrás da necessidade de acumulação de *stocks* e os factores que os afectam, bem como a sua influência na gestão de operações de uma empresa. São também descritas as principais políticas de gestão de inventários que servem de base

Seguidamente descrevem-se o modelo de cadeia de abastecimento considerado nesta dissertação e algumas das soluções desenvolvidas pela comunidade científica para resolver os problemas de gestão de inventário que esta configuração levanta, na perspectiva da distribuição. São também abordados os modelos de previsão com base na sua aplicação à gestão de inventários.

Finalmente faz-se um levantamento de exemplos da literatura que apresentam soluções cujos objectivos são em alguns aspectos semelhantes ao que se pretende atingir com esta tese e apontam-se algumas das suas lacunas.

2.1 Introdução

A acumulação de inventários é algo muito comum no contexto das organizações e não só. Exemplos diversos incluem os alimentos guardados na despensa em casa, os tanques de combustível subterrâneos de um posto de abastecimento, o equipamento de substituição e os fármacos nos hospitais, os artigos dos armazéns de grandes superfícies comerciais, o material em curso de fabrico resultante de processos produtivos, entre outros.

Chikán (2007), enquadrado no paradigma tradicional desenvolvido pela comunidade científica ligada à área de gestão de inventários durante a segunda metade do século XX, compara a função dos *stocks* à das “almofadas” (ou *buffers*). Por um lado, suavizam o decorrer de processos de negócio, sendo a produção e vendas os mais relevantes; por outro, permitem manter ligações flexíveis entre várias unidades organizacionais (*e.g.* pontos de venda, fábricas, armazéns). De uma forma geral, os inventários são criados para fazer face a desequilíbrios (ou assincronia) entre o abastecimento e o consumo ou venda de um bem num determinado local. Assim, os *stocks* acabam por constituir uma consequência e não uma causa, uma necessidade que decorre do contexto tecnológico, económico, social, natural e, finalmente, da forma como são geridas as operações nesse mesmo contexto (Muckstadt & Sapro, 2010).

Para um retalhista, ter o produto certo, no local certo e na altura certa é crucial, sendo o seu inventário um dos factores críticos de sucesso. Nos Estados Unidos da América, no ano 2000, o investimento em inventários das empresas do sector do retalho representava, em média, 36% dos seus activos, atingindo o valor de 53% quando considerados apenas os activos correntes (Gaur, Fisher, & Raman, 2005). Medidas quantitativas, como o crescimento de inventários de ano para ano ou a rotação de inventário (que corresponde ao quociente entre as vendas e o nível médio de inventário), são usadas frequentemente para aferir o desempenho destas empresas (Asaeda, 2007), tanto de uma perspectiva externa, por investidores através do balanço, como de interna. É portanto natural que a gestão correcta dos inventários assuma uma relevância destacada neste contexto.

Muckstadt & Sapra (2010) distinguem cinco tipos de inventário ou *stock*, cada um com um propósito específico:

- Inventário de antecipação (*anticipation stock*) – acumulado para satisfazer necessidades futuras. Como exemplos comuns têm-se a produção de bens ao longo do ano, para serem vendidos durante uma estação única, normalmente devido a limitações de capacidade produtiva, e a compra de matéria-prima em excesso quando se espera que a especulação faça subir o seu preço;
- Inventário de ciclo (*cycle stock*) – destinado a satisfazer o consumo corrente esperado. O seu nível decresce à taxa da procura até que ocorra uma reposição, que se supõe periódica, resultando daí a sua natureza cíclica;
- Inventário de segurança (*safety stock*) – como se verá adiante, um sistema pode estar sujeito a procura determinística, conhecida com certeza *a priori*, ou estocástica, em que pode ser estimada, mas com um certo grau de incerteza. Este tipo de inventário destina-se a satisfazer esta componente incerta (ou inesperada) da procura entre duas reposições sucessivas;
- Inventário de *Lead-time* (*pipeline stock*) – é formado para satisfazer a procura que ocorre desde que o pedido de reposição inicial é feito até à chegada do mesmo. O intervalo correspondente é designado por *lead-time*;
- Inventário de desacoplamento (*decoupling stock*) – surge num contexto industrial. Considere-se uma linha de produção constituída por uma série de processos sequenciais, maquinagem, pintura e montagem, por exemplo. A acumulação de produtos de cada processo permite que o seguinte continue a ser executado, mesmo que o anterior avarie, ou seja interrompido por outro motivo qualquer. Estes inventários conferem assim um grau relativo de independência a cada processo.

No contexto do retalho de moda, os inventários organizados segundo o modelo de um armazém e n pontos de venda com um papel de destaque, correspondem aos de ciclo, de segurança e de *lead-time*. O inventário de antecipação também se reveste de alguma importância aquando da aquisição de mercadoria para venda durante uma estação que ainda não se tenha iniciado.

2.2 Factores que condicionam inventários e a sua gestão

Como referido na secção anterior, a necessidade de acumulação de inventários é uma consequência do contexto em que as empresas operam. Existem seis factores principais que limitam e moldam as práticas de gestão de inventário adoptadas pelas empresas: a estrutura da cadeia de abastecimento, os artigos, os custos associados, a procura, os prazos de entrega e a frequência de revisão. É de acordo com as diversas configurações destes factores que os diferentes modelos desenvolvidos para sistemas de gestão de inventários presentes na literatura se baseiam.

2.2.1 Estrutura da cadeia de abastecimento

A cadeia de abastecimento (do termo inglês *supply chain*) surge de uma perspectiva das empresas sobre a forma como várias organizações se ligam entre si no que respeita ao fluxo de informação, materiais e serviços. Esta perspectiva abrange toda a cadeia de valor, desde os fornecedores de matéria-prima, passando pelas fábricas, armazéns e pontos de venda até ao

consumidor final (Jacobs, Chase, & Aquilano, 2009). A Figura 2 ilustra um exemplo simplificado de uma cadeia de abastecimento genérica em que se explicitam os fluxos de informação e material.

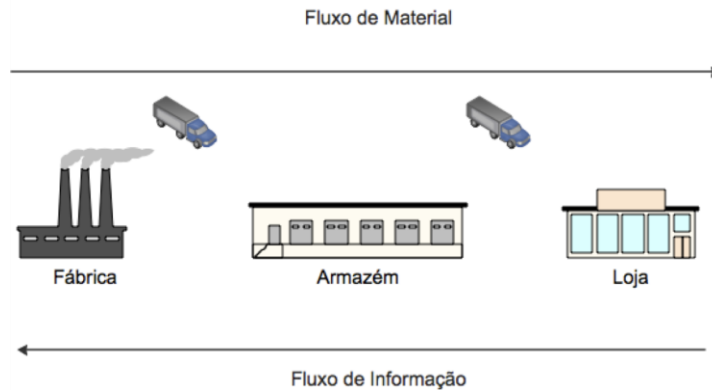


Figura 2 – Cadeia de abastecimento genérica.

A forma como a estrutura se dispõe geograficamente afecta o modo como são feitas as deslocações de material de um ponto para outro. Por outro lado, se os pontos pertencem a empresas distintas, a relação fornecedor-cliente pode ter impacto na disponibilidade de informação a montante ((Hau, Padmanabhan, & Whang, 1997), (Tang, 2006)), provocando o efeito chicote (*bullwhip effect*). Este traduz-se num aumento da variabilidade das encomendas ao longo da cadeia de abastecimento (no sentido jusante-montante), que resulta em níveis de inventário mais elevados ou níveis de serviço mais reduzidos, tal como ilustrado na Figura 3. O estudo realizado por Baker P. (2007), envolvendo um conjunto de seis empresas e cobrindo treze cadeias de abastecimento distintas, relata o efeito deste factor com casos reais de retalhistas internacionais.

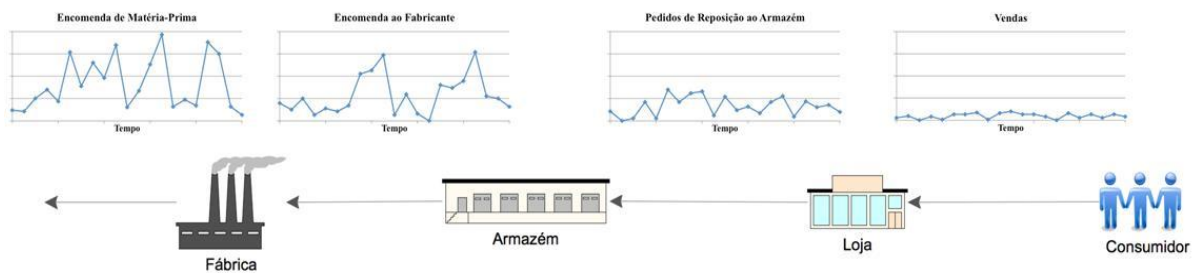


Figura 3 – Efeito chicote ao longo de uma cadeia de abastecimento.

A estrutura da cadeia de abastecimento considerada neste documento baseia-se numa marca de retalho e é composta por um armazém central e vários pontos de venda ao consumidor. Uma vez que o foco desta investigação tem que ver com a gestão de inventários na cadeia de lojas, os componentes a montante do armazém são ignorados. Na Figura 4 esquematiza-se a estrutura em causa.

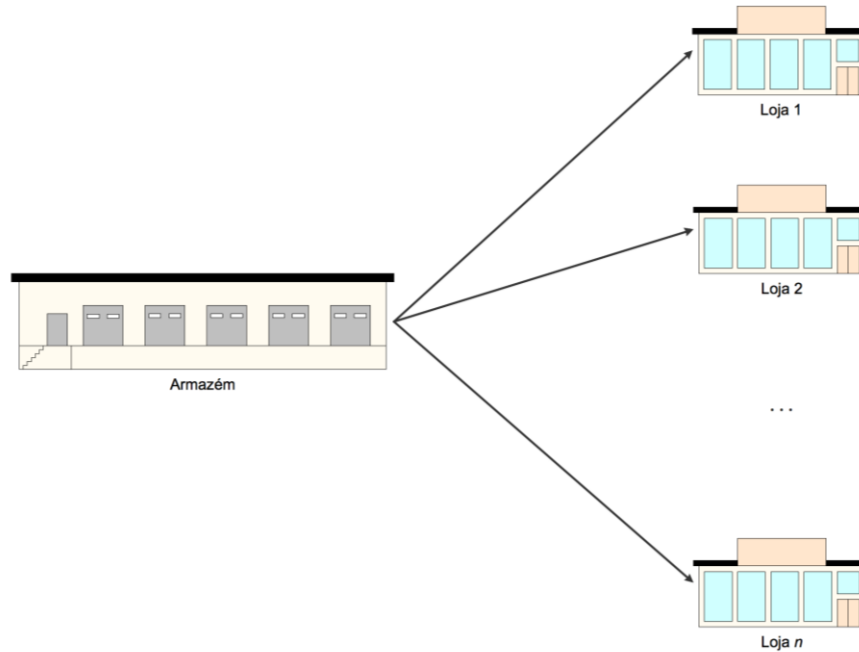


Figura 4 – Estrutura parcial da cadeia: um armazém – n pontos de venda.

2.2.2 Características dos Artigos

Os artigos a colocar em inventário impõem restrições decorrentes da sua própria natureza. O seu volume e variedade afectam os níveis que se conseguem acomodar com o espaço disponível, bem como decisões respeitantes a que artigos colocar em inventário.

A obsolescência é uma característica em produtos com ciclos de vida mais curtos, como é o caso de artigos de moda. Esta tem implicações na forma como os inventários são distribuídos pelos pontos da cadeia para que não ocorram rupturas sem, no entanto, acumular demasiado *stock*, uma vez que o período de venda é limitado. As quantidades excedentárias têm que ser escoadas recorrendo a descontos e promoções, o que pode resultar em prejuízos para o vendedor.

Finalmente, os artigos perecíveis, como bens de alimentação, obrigam muitas vezes a condições de armazenamento e transporte especiais (*e.g.* regulação da temperatura e humidade) e à monitorização dos prazos de validade.

Tanto a obsolescência como a perecibilidade dos artigos são consideradas na resolução de modelos muito estudados na literatura, como é o caso do problema do vendedor de jornais (*newsvendor problem*) – ver revisão de Khouja (1999).

2.2.3 Procura dos Artigos

A procura a que os artigos se encontram sujeitos divide-se em dois tipos:

- Determinística – Tratada como conhecida *a priori*. Casos em que esta consideração é válida incluem a gestão de inventários em ambiente industrial para bens com procura também descrita como dependente. Como exemplo deste tipo de artigos, os botões

usados em camisas, cuja utilização é proporcional ao número de camisas fabricadas, a ser determinado no plano de produção.

- Estocástica – Neste caso a procura é considerada como conhecida com um certo grau de incerteza. Pode ser modelada através de distribuições de probabilidade conhecidas (*e.g.* normal, Poisson), com distribuições cuja forma é conhecida mas com parâmetros indeterminados e, finalmente, assumindo que a variabilidade da procura não segue nenhuma distribuição em particular.

Embora a maioria da literatura se foque no desenvolvimento e optimização de modelos sujeitos apenas a um dos tipos de procura, alguns autores, como Sobel & Zhang (2001) desenvolveram modelos em que ambos coexistem numa perspectiva de integrar processos produtivos que culminem na satisfação de clientes externos.

2.2.4 Custos

Na gestão de inventários podem ser considerados diversos custos, que são tipicamente incluídos na função objectivo que modela o sistema ou usados em restrições. Entre os mais comuns encontram-se:

- Custo do artigo em causa – traduzido normalmente pelo valor monetário pago para ter o artigo disponível para venda. No contexto de retalho é usualmente o preço de compra, eventualmente acrescido de custos de transporte por unidade;
- Custo de armazenagem – o custo de oportunidade do investimento em inventário. Pode também incluir custos que digam respeito a necessidades especiais de armazenamento, no caso de artigos perecíveis (*e.g.* a refrigeração de frescos);
- Custo de encomenda – um custo fixo, composto pelas despesas administrativas realizadas de cada vez que é feita uma encomenda, independentemente do seu volume;
- Custo de ruptura – ou custo da procura não satisfeita imediatamente, resultado de expedições não planeadas quando são permitidos pedidos pendentes (*backorders* ou *backlogged demand*) ou de lucro perdido por vendas não concretizadas;
- Custo do sistema de gestão de inventário – representa o custo incorrido por utilização de um sistema de gestão de inventários. Pode ser expresso pelo custo de manutenção dos recursos que lhe são afectados, como bases de dados, *hardware* dedicado, entre outros. Embora mencionado por Silver (1981) como relevante, a literatura sobre modelos matemáticos ou casos de aplicação práticos em que este custo seja considerado é escassa.

2.2.5 Prazos de entrega (*Lead times*)

Os prazos de entrega, representando o tempo decorrido entre um pedido de reposição ou realização de uma encomenda e a sua chegada, afectam também os níveis de inventário. Quanto maior a sua duração, maior será a quantidade de artigos armazenada no momento de um novo pedido.

Da mesma forma que a procura, os prazos de entrega podem ser tomados como determinísticos ou estocásticos.

2.2.6 Frequência de revisão

Finalmente, a frequência com que é determinado o nível de inventário corrente de um ou mais artigos afecta as quantidades em *stock*, de uma forma semelhante aos prazos de entrega. Os dois tipos extremos de revisão são:

- Revisão contínua – em que o nível de inventário é conhecido a todo o momento. É frequente recorrer à revisão contínua em situações como a de um hipermercado, onde é fundamental manter as prateleiras preenchidas (Wong & McFarlane, 2007);
- Revisão periódica – em que se verificam os níveis de inventário em instantes separados por um intervalo de tempo, normalmente fixo.

2.3 Medidas de desempenho num sistema de gestão de inventário

Tendo como objectivo a resposta às três questões indicadas por Silver (1981) e já mencionadas na secção 1.4, o factor determinante na escolha de um sistema de gestão de inventários é o seu desempenho. Para o avaliar existe um conjunto de indicadores, dos quais se apresentam abaixo os mais importantes:

- Rotação do inventário – indica o número de vezes que o inventário de um ou mais artigos é vendido e repostado durante um determinado período. Valores baixos podem ser um indicador de excesso de *stock*.

$$\text{Rotação de Inventário} = \frac{\text{Custo dos artigos vendidos}}{\text{Nível médio de inventário}} \quad [1]$$

- Nível de serviço – usado para indicar o nível de satisfação da procura com base na disponibilidade dos artigos em *stock*. Existem duas medidas do nível de serviço mencionadas na literatura com frequência (Coleman, 2000):
 - Nível de serviço α (*service level*) – mede a probabilidade de, num dado período, o inventário disponível ser suficiente para satisfazer a procura:

$$\alpha = \text{Prob}\{\text{Procura do período } n \leq \text{stock do período } n\}$$

- Nível de serviço β (*fill rate*) – mede, num dado período, a proporção de procura satisfeita a partir do inventário disponível:

$$\beta = 1 - \frac{\text{Procura não satisfeita esperada}}{\text{Procura esperada no período } n} \quad [2]$$

A segunda medida do nível de serviço, β , apesar de mais prática e interessante, é usada com menos frequência nos modelos matemáticos presentes na literatura (Aucamp & Barringer, 1987).

- Custo global da solução – baseado no princípio da empresa que tem como objectivo principal a maximização do lucro, a tomada de decisões com base no custo é uma medida crucial.

2.4 Classificação dos problemas de gestão de inventários

Na Figura 5 podem observar-se a variedade de combinações conseguidas com alguns dos factores mencionados na secção 2.2.

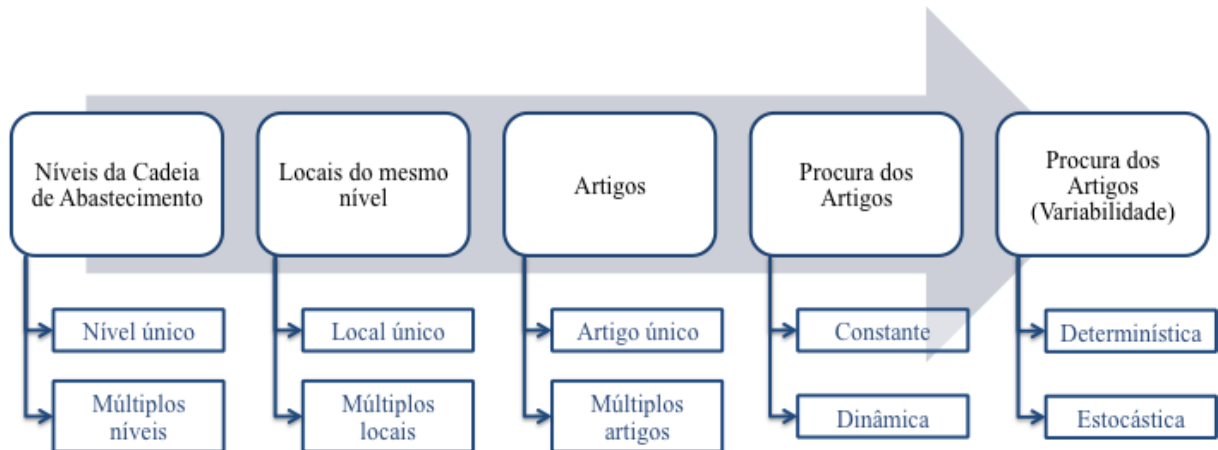


Figura 5 – Classificação dos problemas de gestão de inventários.

2.5 Modelos de gestão de inventário clássicos

O desenvolvimento de modelos de gestão de inventário, apesar de ter conhecido a sua “era dourada” a partir de 1950 iniciou-se com a proposta do modelo clássico da quantidade económica de encomenda (*Economic Order Quantity*, ou EOQ), cuja autoria é atribuída a Harris (Harris, 1913).

Desenvolvido para aplicação num contexto industrial, o modelo tem como objectivo determinar a quantidade óptima, Q , a encomendar de uma vez para suprir a procura, minimizando os custos de inventário por unidade de tempo, t . É assumida uma procura, d , constante e conhecida, que deve ser satisfeita obrigatoriamente a partir dos artigos em inventário sem atrasos. São considerados essencialmente dois custos: o custo de armazenamento, h , que varia de forma proporcional ao número de artigos, e o custo de reabastecimento, ou *setup*, k , fixo, isto é, independente do número de artigos. O prazo de entrega de um reabastecimento é considerado nulo, pelo que a encomenda pode ser realizada no momento em que o inventário é nulo. Todos estes parâmetros são considerados constantes ao longo do tempo. A Figura 6 ilustra graficamente o nível de inventário em função do tempo decorrido de acordo com este modelo.

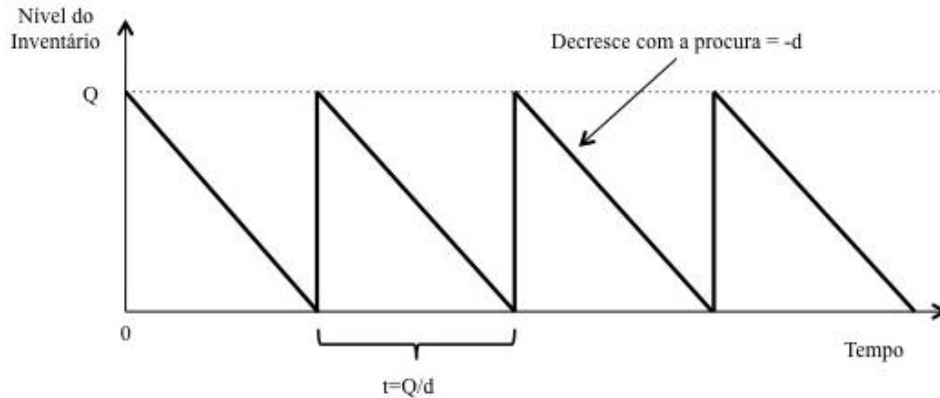


Figura 6 - Modelo gráfico da quantidade econômica de encomenda.

Uma vez que os níveis de inventário para este modelo variam de uma forma cíclica, pode considerar-se apenas um dos períodos para cálculo dos custos globais do modelo, cuja duração, t , é dada por d/Q . A função que indica o custo por unidade de tempo em função de Q , a ser minimizada, é dada por:

$$F(Q) = k \frac{d}{Q} + h \frac{Q}{2} \quad [3]$$

O mínimo global desta função pode ser determinado resolvendo a derivada da função em ordem a Q igualada a zero. A quantidade ótima é então:

$$Q_{EOQ} = \sqrt{\frac{2dk}{h}} \quad [4]$$

Apesar de aparentemente restritivo, uma vez que os parâmetros do modelo são assumidos como constantes e alguns dos pressupostos pouco sólidos quando comparados com casos reais (*e.g.* tomar o prazo de entrega como nulo, ou a procura ocorrendo a uma taxa constante), este modelo é facilmente extensível para acomodar circunstâncias mais realistas. Alguns exemplos são a extensão do modelo para considerar artigos perecíveis, procura não satisfeita e variável com o tempo (Chakrabarty, Giri, & Chaudhuri, 1998), prazos de entrega estocásticos (Liberatore, 1979), descontos de quantidade (Kuzdrall & Britney, 1982), entre outros.

Com uma complexidade acrescida, surge o problema do lote económico de encomenda dinâmico. Em contraste com o modelo EOQ, a procura varia ao longo do tempo, embora seja conhecida (determinística) e o horizonte temporal é finito e dividido em N períodos. Para este problema, Wagner & Within (1958) desenvolveram um algoritmo baseado em programação dinâmica capaz de determinar a solução ótima. O mesmo continua a receber a atenção da comunidade científica, tendo Federgruen & Tzur (1991) desenvolvido algoritmos mais eficientes para a resolução do mesmo. Já Baker, Dixon, Magazine & Silver (1978) elaboraram e resolveram extensões do problema, com restrições de capacidade de produção variáveis com o tempo.

Os dois modelos abordados contêm um pressuposto que os torna inadequados para lidar com algumas situações reais, que é o tratamento determinístico da procura. Ao incluir uma

componente de incerteza na procura, o grau de complexidade dos problemas de gestão de inventário aumenta consideravelmente:

- O modelo tem que admitir situações em que a procura num período não é satisfeita ou é satisfeita mais tarde;
- Torna-se necessário determinar *stocks* de segurança para reduzir o impacto da procura incerta;
- Com a incerteza relativa à procura torna-se também necessário determinar quando é que deve ser determinado o nível de inventário.

De acordo com o primeiro ponto, respeitante à forma como é tratada a procura que excede o nível de inventário num determinado período, isto é, não satisfeita de imediato, existem dois casos:

- Procura ou venda perdida (*lost sale*) – a procura é tratada como não satisfeita, caso usual em contextos de venda ao consumidor individual, em que são abundantes os produtos substitutos;
- Procura pendente (*backorder*) – a procura é satisfeita assim que o inventário é repostado, ou imediatamente, mas com penalizações (*e.g.* recorrendo a entregas urgentes ou turnos de produção extraordinários)

A constituição de *stocks* de segurança com o objectivo de proteger o inventário de rupturas provocadas por procura em excesso não previstas é fundamental em modelos que consideram a procura como estocástica. O *stock* de segurança, *SS*, é dado pela fórmula:

$$SS = k\sigma_t \quad [5]$$

O índice t indica o período em consideração, enquanto que σ_t corresponde ao desvio padrão da procura. O cálculo do parâmetro k depende da medida de serviço utilizada pelo modelo, α ou β e da variabilidade da procura. Para o nível α , os cálculos são relativamente simples, encontrando-se em diversos livros dedicados ao tema da gestão de inventários, como Jacobs, Chase & Aquilano (2009). Quanto ao nível β , podem ser encontrados os cálculos necessários em Aucamp & Barringer (1987), envolvendo a consulta de uma tabela. Uma fórmula exacta para este último pode ser encontrada em Silver, Pyke & Peterson (1998).

Sobre a determinação dos níveis de inventário, como referido na secção 2.2.6, esta depende da frequência de revisão, que pode ser contínua ou periódica. Para cada uma das frequências de revisão podem ser seleccionadas uma de duas políticas:

- Revisão Contínua – (s, Q) – ponto de encomenda, quantidade de encomenda

Esta política de gestão de inventário, pressupondo a revisão contínua dos níveis de inventário, estabelece um nível mínimo, s , a partir do qual é despoletado um pedido de reabastecimento ou encomenda de quantidade Q . Este modelo é de implementação simples, veja-se a adaptação do mesmo para uma política de “duas caixas” (*two-bin policy*) que funciona de forma semelhante a um sistema *Kanban* (Sugimori, Kusunoki, Cho, & Uchikawa, 1977), (Bitran & Chang, 1987)). Numa das caixas é armazenada a quantidade s do artigo e noutra a quantidade Q . Uma vez que a procura deixe esta última vazia, é colocada uma nova encomenda. A limitação deste sistema surge quando o pedido que esvazia a caixa contendo Q também retira uma quantidade

significativa da caixa contendo a quantidade s . Nestas situações, a quantidade restante pode não ser suficiente para cobrir a procura que ocorre até à chegada da encomenda de Q . Na Figura 7 ilustra-se o funcionamento deste modelo de forma simplificada.

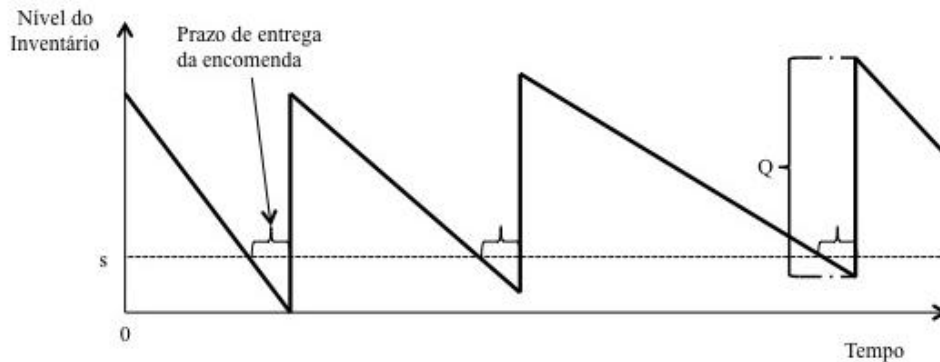


Figura 7 – Modelo gráfico da política (s, Q) .

- Revisão Contínua – (s, S) – ponto de encomenda, encomenda até ao nível fixo

Esta política, de forma semelhante à (s, Q) , estabelece um nível mínimo s , mas, ao invés de despoletar uma encomenda cuja quantidade não varia, estabelece um nível máximo S , sendo a quantidade encomendada igual a $(S - s)$, tal como se encontra ilustrado na Figura 8.

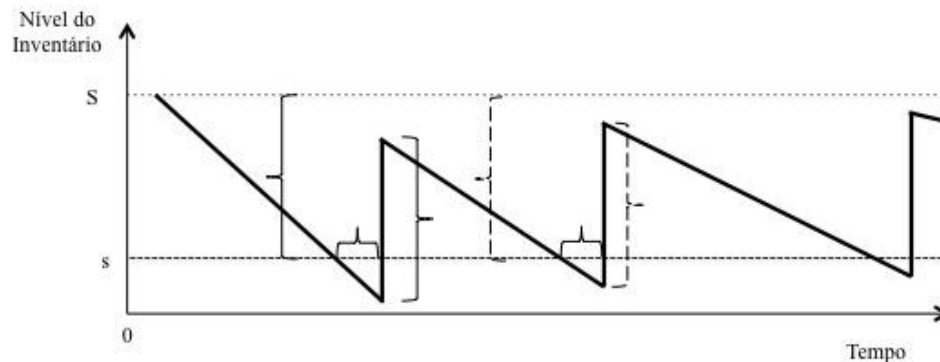


Figura 8 – Modelo gráfico da política (s, S) .

- Revisão Periódica – (R, S) – encomenda até ao nível fixo

O período de revisão desta política é intervalado de R unidades de tempo. A cada revisão do inventário são encomendadas unidades suficientes para elevar o nível deste até S (Figura 9). Esta política justifica-se, por exemplo, quando são tratados diversos artigos provenientes do mesmo fornecedor, para que as encomendas de cada um possam ser consolidadas. Os custos de armazenamento para esta política tendem a ser mais elevados que os conseguidos com as de revisão contínua.

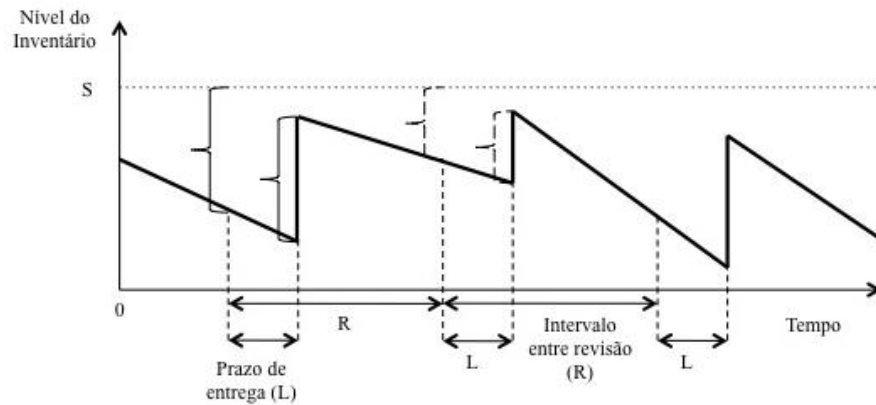


Figura 9 – Modelo gráfico da política (R,S) .

- Revisão Periódica – (R,s,S)

Trata-se de uma combinação das políticas (s,S) e (R,S) , em que a cada R unidades de tempo verifica-se o nível de inventário. Quando este é inferior a s , são encomendadas unidades suficientes para trazer o nível de inventário de novo a S . Sethi & Cheng (1997) e os autores mencionados no seu trabalho mostram que esta política e a (s,S) , depois de optimizados os seus parâmetros, conseguem resultados melhores que qualquer outro sistema em termos de custo global, apesar do elevado esforço computacional requerido para essa optimização.

2.6 Modelos de Distribuição

Os modelos ou sistemas de distribuição descritos na literatura, do ponto de vista de repartição de artigos, em quantidade e variedade, têm como problema principal determinar aonde localizar o inventário de forma a minimizar os custos de armazenagem e os custos induzidos por procura perdida (Gallego, Ozer, & Zipkin, 2007). Para além das encomendas efectuadas para reposição dos *stocks* dos pontos de venda, neste tipo de problemas são também consideradas as encomendas a fornecedores por parte do armazém.

Estes modelos dividem-se à partida entre dois tipos, de acordo com a forma como é feito o controlo de inventários (Abdul-Jalbar, Gutiérrez, & Sicilia, 2003):

- Centralizado – O modelo agrega a informação proveniente dos vários pontos de venda de forma a determinar uma solução óptima de acordo com os objectivos da rede de lojas. O resultado final traz benefícios para o conjunto de lojas como um todo;
- Localizado – cada ponto de venda tem apenas acesso à informação de vendas que verifica no seu estabelecimento e ao inventário disponível em armazém. Assim, cada retalhista realiza pedidos de reposição de forma a garantir a satisfação dos seus objectivos.

Para o caso de modelos centralizados, Clark & Scarf (1960) referem que as políticas óptimas têm um grau de complexidade elevado. Assim, torna-se útil recorrer a um conjunto de heurísticas que permitam a obtenção de uma boa solução em pouco tempo (Gallego, Ozer, & Zipkin, 2007).

2.7 Uso de modelos de previsão para a gestão de inventários

O conhecimento da procura é de suma importância dadas as suas implicações na tomada de decisão de qualquer empresa, tanto a nível estratégico, como operacional. Para modelar um sistema de gestão de inventário, é necessário conhecer a procura futura, mesmo que com alguma incerteza. Nos casos em que esta varia com o tempo e não é conhecida com certeza *a priori*, a forma de o conseguir é recorrendo a previsões.

Os métodos de previsão têm aplicação em diversas áreas, tais como finanças, economia, meteorologia, produção de energia, sociologia (Thomassey, Happiette, & Castelain, 2005), incluindo naturalmente o retalho de moda. Ainda que uma quantidade significativa de retalhistas recorra a previsões obtidas de forma simples sem recurso a séries temporais de vendas (Fisher, Raman, & McClelland, 2000), existe hoje em dia uma grande variedade de modelos na literatura capazes de produzir resultados que competem e são capazes de por vezes superar, as previsões de peritos (*expert forecasts*) em termos de qualidade (Franses & Legerstee, 2008).

Fildes, Nikolopoulos, Crone & Syntetos (2008) nomeiam três grandes grupos de modelos de previsão quantitativos cujos resultados contribuíram para a área de Investigação Operacional, na qual a gestão de inventários se encontra inserida:

- Modelos de extrapolação;

Compreendem os modelos que tiram partido de séries temporais de forma exclusiva para realizar previsões, como o amortecimento exponencial simples, desenvolvido por Brown em 1956 (Gardner, 1985), a extensão natural do mesmo modelo para incorporar um parâmetro de amortecimento adicional, incluindo a componente de tendência, desenvolvida por Holt apenas um ano depois. Finalmente, tem-se o modelo desenvolvido por Winters, em 1960, que se trata de mais uma extensão do modelo de amortecimento exponencial para incorporar sazonalidade, no que ficou conhecido como o modelo de Holt-Winters. Estes modelos continuam a ser os mais utilizados na prática dada a sua simplicidade e desempenho superiores (Syntetos, Boylan, & Disney, 2009).

- Modelos causais e multivariados;

Estes modelos, à semelhança dos extrapolativos, também fazem uso de séries temporais. A diferença reside na adição de variáveis explicativas que se correlacionam com a série em análise.

A aplicação destes modelos, introduzidos por Box & Jenkins (1994) não encontra grande expressão no âmbito da investigação operacional (que inclui a gestão de inventários), sendo mais usual na área de econometria.

- Métodos computacionais intensivos.

Os avanços recentes no desenvolvimento e aumento da capacidade computacional e a investigação do cérebro humano permitiram a conceptualização e teste de redes neuronais artificiais (*ANN - Artificial Neural Networks*). Estas têm vindo a revelar-se como alternativas bastante atractivas no âmbito da previsão, pela sua capacidade de reconhecer padrões e integrar características dos modelos extrapolativos e dos modelos causais (Zhang, Patuwo, & Hu, 1998). Alon, Qi, & Sadowski (2001) realizam um estudo comparativo dos principais modelos de previsão com redes neuronais artificiais, onde mostram a capacidade preditiva destas.

2.8 Casos de implementação de previsão, distribuição e reposição integrados

Apresentam-se abaixo alguns artigos onde é feita uma abordagem do problema da gestão de inventários próxima da que este trabalho pretende:

- Aburto & Weber (2007) desenvolvem um modelo de previsão híbrido para aplicação na gestão de *stocks* de um supermercado. Utilizam um modelo autorregressivo integrado com média móvel (*ARIMA - Autoregressive Integrated Moving Average*) para modelar a série e uma rede neuronal artificial treinada para prever os erros de previsão. A combinação das previsões constitui a previsão de vendas para o artigo escolhido. A partir da previsão é calculada a quantidade de *stock* que deve estar disponível no instante de revisão. Este trabalho integra apenas as perspectivas de previsão e reabastecimento. Adicionalmente, os artigos cuja procura é prevista têm um histórico de vendas considerável, o que não ocorre no retalho de moda;
- Zotteri, Kalchschmidt & Caniato (2005) estudam o impacto do nível de agregação utilizado para previsões. No seu estudo, calculam estimadores que permitem desagregar as previsões de vendas para uma cadeia de lojas ao nível da loja e do artigo, proporcionando uma via muito interessante a adoptar no modelo de distribuição. Neste caso, o âmbito de aplicação é uma cadeia de supermercados;
- Finalmente, Caro & Gallien (2010) desenvolvem um modelo que inclui as três perspectivas, tratando do problema da gestão de inventários para a cadeia de lojas da Zara. No entanto, tomam como objectivo a maximização do tempo de exposição dos artigos na loja. Este critério advém da estratégia de gestão da área da loja: retirar das prateleiras os artigos para os quais não haja um dos tamanhos centrais disponível.

2.9 Conclusões

Dos modelos de gestão de inventário clássicos analisados, as políticas (R,S) e a (R,s,S) são as mais pertinentes para uso no tratamento de vários artigos. A utilização de um intervalo de revisão fixo permite que os diversos artigos sejam tratados de uma vez, consolidando as operações de movimentação de mercadoria em armazém e envio. As outras políticas de ponto de encomenda obrigariam a um esforço adicional em termos de revisão, em que seria necessário “vigiar” os níveis individuais dos artigos e compará-los com o valor de s . Este poderia, num caso extremo, ser único para cada referência.

Para o modelo de distribuição, as formulações previstas na literatura não são utilizadas, uma vez que o processo de compras obedece a um conjunto de restrições que dificulta a sua abordagem no âmbito deste trabalho, como será explicado no capítulo 3. O método utilizado é inspirado no trabalho de Zotteri, Kalchschmidt, & Caniato (2005), mas sendo utilizando o amortecimento exponencial simples para estimação dos parâmetros de desagregação.

Como modelo de previsão, é utilizada uma rede neuronal já em desenvolvimento no âmbito do projecto ShoeID que revela resultados melhores que os modelos de Holt-Winters.

3 Análise do Caso de Estudo

Neste capítulo descreve-se a análise das operações relacionadas com a gestão de *stocks* em loja da empresa utilizada como caso de estudo nesta dissertação.

É feita uma pequena introdução sobre a empresa, abordando a sua estrutura, artigos comercializados e operações. Uma vez devidamente explicitado o contexto operacional, é feita uma análise dos processos directamente relacionados com a gestão dos inventários nas várias lojas da cadeia. Destes, é seleccionado o processo de reabastecimento dos artigos em loja para aplicação do algoritmo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados.

3.1 Estrutura da empresa

A empresa analisada é constituída uma cadeia de pontos de venda abastecidos a partir de um armazém único. Os pontos de venda encontram-se espalhados pelo país, sendo a sua maioria localizada em centros comerciais.

Embora as lojas, na sua maioria, sejam detidas pela empresa, existe um pequeno número destas que é gerido em regime de *franchising*. As decisões relacionadas com a gestão do produto em loja, nomeadamente a escolha do sortido de artigos a receber e a expor, as reposições de *stock* realizadas periodicamente, a definição e alteração de preços e a organização geral do espaço de venda são tomadas de forma centralizada.

O armazém, para além de servir como local de acumulação, tanto de mercadoria recebida a partir dos fornecedores, como de restos de colecção não vendidos em estações anteriores, aloja os escritórios da direcção, funcionando também como centro de operações globais.

3.2 Artigos comercializados

Os artigos comercializados pela empresa cobrem os mercados do calçado de moda para senhora, homem e criança, bem como um pequeno segmento de acessórios para mulher. A gama de artigos mais representativa é a correspondente ao mercado de senhora, compreendendo cerca de 60% do total de artigos.

De colecção para colecção, o catálogo de artigos sofre alterações profundas, sendo raro encontrar repetições em anos consecutivos. Esta é uma característica comum em produtos de moda, que procuram acompanhar novos estilos que se afirmam de forma consistente de estação para estação. As tendências que estes estilos reflectem são moldadas e afectadas por fontes tão diversas como a cultura *pop*, celebridades e os próprios consumidores, entre outros (Rinallo & Golfetto, 2006).

As principais categorias entre as quais o calçado vendido pela empresa considerada se divide são três, nomeadamente:

- Sapato – vendido ao longo de todo o ano, com um desenho menos influenciado pela moda. É a única categoria em que alguns dos modelos são mantidos ano após ano;
- Bota – vendida quase exclusivamente durante a estação de Outono-Inverno;

- Sandália – vendida exclusivamente durante a estação de Primavera-Verão.

Os artigos em si são identificados por referências únicas, por exemplo, duas botas com o mesmo desenho, mas cor diferente, possuem referências diferentes.

Os acessórios de mulher dividem-se em carteiras e uma quantidade pouco significativa de bijutaria, vendidos ao longo de todo o ano, também eles identificados por referências únicas.

3.3 Operações

No contexto do retalho de moda, a actividade de uma empresa decorre de forma cíclica, em que os períodos são associados às estações/coleções de Outono-Inverno e Primavera-Verão. As principais operações de uma empresa neste contexto podem ser divididas em (Sen, 2008):

- Compra de artigos a fornecedores;
- Operação dos armazéns e meios de transporte de mercadoria para recepção e envio da mesma;
- Operação dos pontos de venda ao consumidor final.

Seguidamente apresentam-se alguns detalhes sobre como são realizadas estas operações no caso de estudo analisado.

3.3.1 Compra de artigos a fornecedores

As operações de compra a fornecedores (*sourcing*) decorrem durante a estação homóloga imediatamente anterior, uma vez que os prazos de entrega neste sector, no caso de importações, podem durar de seis a nove meses (Hines & Bruce, 2007). O ciclo de compras divide-se em três fases:

1. Contacto com potenciais fornecedores;

Esta fase tem como objectivo determinar o tipo de oferta existente e, ao mesmo tempo, antecipar as tendências de moda futuras. Uma das formas de o conseguir é através da participação em desfiles e feiras de moda nacionais e internacionais (*fashion e trade shows*) em que se reúnem diversos fornecedores para promover os seus produtos. Estes eventos juntam produtores por tipo de artigo (sapato, bota, entre outros), estação e mercado (homem, senhora, criança). Outra forma é a consulta de catálogos ou contacto directo com fornecedores, mais frequente quando já existe uma relação estabelecida em anos anteriores. Finalmente, há uma grande componente de sensibilidade e experiência individual do comprador que assume particular relevância.

2. Composição da colecção – selecção dos artigos a incluir;

Identificadas as tendências de moda e os fornecedores com a melhor oferta, procede-se à elaboração da colecção, seleccionando os artigos que farão parte dela. Nesta fase é importante garantir uma variedade de artigos que, por um lado retrate as tendências de moda identificadas pelo(s) comprador(es) e, por outro, não alargue demasiado o leque de fornecedores que é necessário envolver. Este último aspecto permite a negociação de descontos de volume e de acordos de exclusividade sobre modelos.

3. Celebração de contratos com os fornecedores.

De seguida são determinadas as quantidades de cada artigo a encomendar. Estas são estimadas globalmente, ao nível da categoria, com base nas vendas conseguidas em

anos passados. Os valores são depois divididos por cada artigo, de acordo com o número de lojas em que vão estar disponíveis. A quantidade determinada para cada artigo sofre depois um pequeno ajuste, de forma a que se consiga realizar a encomenda em tarifas. As tarifas são pequenos conjuntos de artigos de calçado do mesmo modelo, dispersos segundo os seus tamanhos e são utilizadas como unidade de venda pelos fornecedores, podendo estes aceitar diversas configurações. Podem ser caracterizadas pelo número de unidades contidas e número de tamanhos cobertos. Na Tabela 1 apresentam-se as mais utilizadas, para calçado de senhora.

Tabela 1 – Tarifas mais utilizadas para calçado de senhora.

	Tamanho						Total
	35	36	37	38	39	40	
Quantidade	1	2	3	3	2	1	12
	1	2	2	2	1	-	8
	1	1	1	1	1	1	6
	1	1	2	1	1	-	6

Finalmente são celebrados os contratos de produção com os fornecedores. Neste ponto, para além da negociação de descontos de volume e de acordos de exclusividade para determinados modelos, é também importante a determinação das datas de chegada das encomendas. Estas são fixas tendo em conta a capacidade produtiva do fornecedor e a data prevista para entrada do(s) artigo(s) em loja.

Durante o decorrer da estação, para alguns artigos com um sucesso de vendas inesperado, pode verificar-se que as quantidades encomendadas inicialmente não são suficientes. Nestas situações, podem ser realizadas novas encomendas, mas apenas nos casos em que os fornecedores são portugueses. O motivo para tal é o facto de os prazos de entrega destes fornecedores ser suficientemente reduzido para que o reabastecimento chegue a tempo de ser colocado em loja antes do fim da estação.

3.3.2 Operação do armazém e meios de transporte de mercadoria

O armazém central é o ponto onde é recebida, acumulada e expedida a mercadoria comercializada. As operações neste âmbito estão fundamentalmente relacionadas com a movimentação física de bens:

- Recepção e conferência de encomendas – no caso de fornecimentos externos, a mercadoria é recebida em contentores compostos por um conjunto de tarifas. Estas são verificadas e depois separadas em quantidades: para envio imediato para lojas (*cross-docking*) e para armazenagem e reposição durante a estação corrente. No caso de artigos recolhidos das lojas no fim da estação, é feita a verificação das quantidades e armazenagem em local próprio;
- Expedição de artigos para lojas – feita para introduzir um ou mais artigos novos em loja, ou para repor *stocks* de artigos já à venda. Envolve a recolha (*picking*) das

referências e posterior embalagem consoante a loja de destino. São as ordens de expedição elaboradas pelos responsáveis da gestão de *stocks* que determinam que artigos e as respectivas quantidades a expedir.

O transporte de artigos encomendados e expedidos é efectuado por meio de uma operadora logística subcontratada.

3.3.3 Operação dos pontos de venda ao consumidor final

As operações ao nível das lojas detidas pela empresa e das lojas franqueadas são iguais na sua essência. Abrangem única e exclusivamente a:

- gestão do espaço de vendas – envolve a manipulação da montra e prateleiras com artigos em exposição, que deve obedecer a requisitos mínimos estabelecidos pela gestão da empresa;
- venda propriamente dita de artigos ao consumidor.

A gestão do sortido de artigos disponível na loja, bem como as reposições de *stock* e a realização de promoções são feitas de forma centralizada, como já referido. Estes processos são alvo de uma análise mais profunda na secção seguinte.

3.4 Processos de gestão de *stocks* nos pontos de venda

Nesta secção é feita uma análise mais detalhada dos processos directamente relacionados com a gestão de *stocks* em loja.

Os processos de gestão em loja identificados dividem-se em dois grupos, de acordo com a frequência com que são executados e o respectivo impacto nas vendas verificadas a curto e longo prazo:

- Gestão de sortidos, promoções e fornecimentos excepcionais – médio prazo;
- Gestão de *stocks* de artigo em loja – curto prazo.

3.4.1 Gestão de sortidos, promoções e fornecimentos excepcionais – médio prazo

Este processo engloba decisões que afectam:

- Conjunto de artigos apresentados em cada loja;
Designado como sortido, varia consoante o ponto de venda, em que um volume de vendas anuais histórico elevado leva à introdução de uma maior variedade de artigos. Normalmente fixos do início ao fim da estação, a influência de marcas como a Zara tem levado cada vez mais retalhistas à adopção de alguns aspectos distintivos do conceito *fast-fashion*, nomeadamente o de disponibilizar diferentes sortidos ao longo da estação (Caro & Gallien, 2007). Esta prática tem como principais vantagens a constante novidade da montra da loja, do ponto de vista do consumidor e a possibilidade de fasear as entregas de fornecedores durante o decorrer da estação, do ponto de vista do retalhista. Na Figura 10 encontra-se um esquema exemplificativo desta prática. A venda dos artigos que sobram de cada sortido é depois estimulada com promoções feitas ao longo da estação.

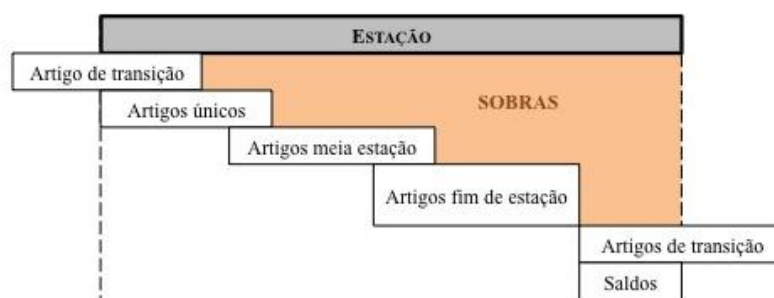


Figura 10 – Esquema ilustrativo da introdução de diferentes sortidos de artigos durante uma única estação.

- Preço dos artigos em loja;
As decisões de alteração do preço de um artigo têm como principal objectivo influenciar a procura, de forma a conseguir um aumento de vendas, no caso de uma redução (promoção). Nesse sentido, as reduções de preço são normalmente efectuadas quando se verificam procuras abaixo do esperado, isto é, que não vão permitir escoar o produto antes do término da estação correspondente.
- Fornecimentos excepcionais no decorrer da estação.
Verificando-se uma procura excessiva de um artigo, para a qual não existe *stock* suficiente em armazém, podem ser feitas encomendas adicionais ao fornecedor. É, no entanto, necessário que este possua prazos de entrega abaixo do normal para a indústria do calçado de moda, como é o caso dos fornecedores nacionais. Estes, dada a proximidade geográfica, conseguem reabastecer o armazém num mês. Outra das opções, quando não é possível a realização de encomendas excepcionais, é o envio de artigos semelhantes para a loja, para captar algumas vendas pelo efeito de substituição que, de outra forma, seriam perdidas.

O processo de gestão de sortidos, promoções e fornecimentos excepcionais em si pode ser dividido em dois, consoante os períodos da estação em que são executados. No fim da estação ou época, esta última designando a período de vendas planeado para um sortido, desenvolve-se o processo que afecta exclusivamente os sortidos em exposição. As condições que determinam o início deste processo não são apenas dependentes do calendário, têm em conta também a evolução das condições meteorológicas (*e.g.*, o fim das chuvas de Abril mais cedo do que o normal, marca a entrada de sapatos de Verão mais abertos). Nesta altura é feita uma análise artigo a artigo das vendas e existências a nível nacional a partir de um relatório elaborado pelo sistema de informação da empresa. Do resultado da análise, o artigo é classificado como coleccionado, podendo vir a ser incluído em colecções futuras ou não coleccionado, tendo como destino um *outlet*. De seguida são elaboradas as ordens de recolha dos artigos em fim de estação/época e as de entrada do novo sortido de artigos. Este processo encontra-se esquematizado na Figura 11.

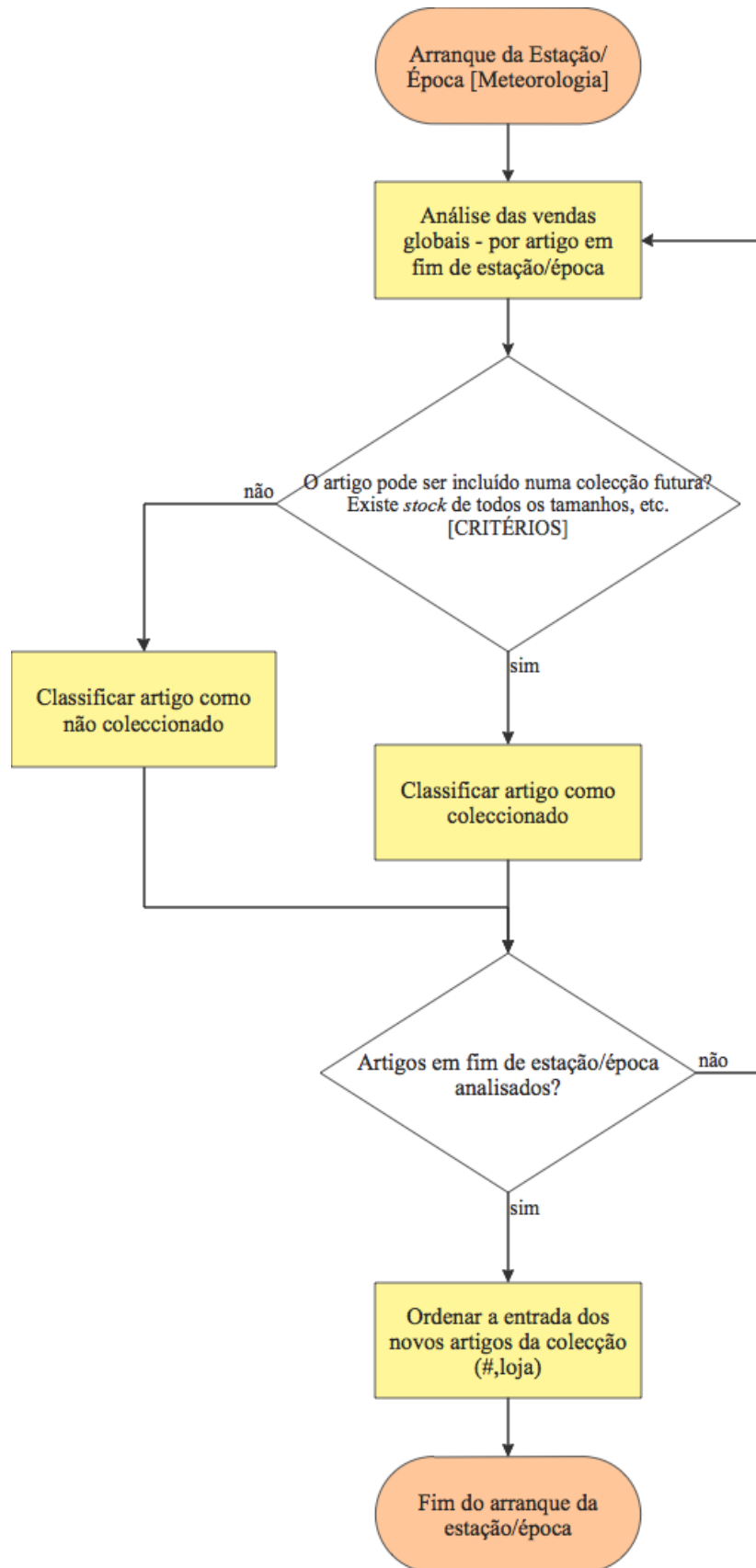


Figura 11 – Processo de gestão de sortidos (arranque de estação/época).

Semanalmente, o decisor recebe um relatório das vendas globais por artigo que são depois comparadas com os objectivos de vendas estabelecidos por si. Para além das vendas passadas, o decisor extrapola vendas futuras com base na média semanal verificada.

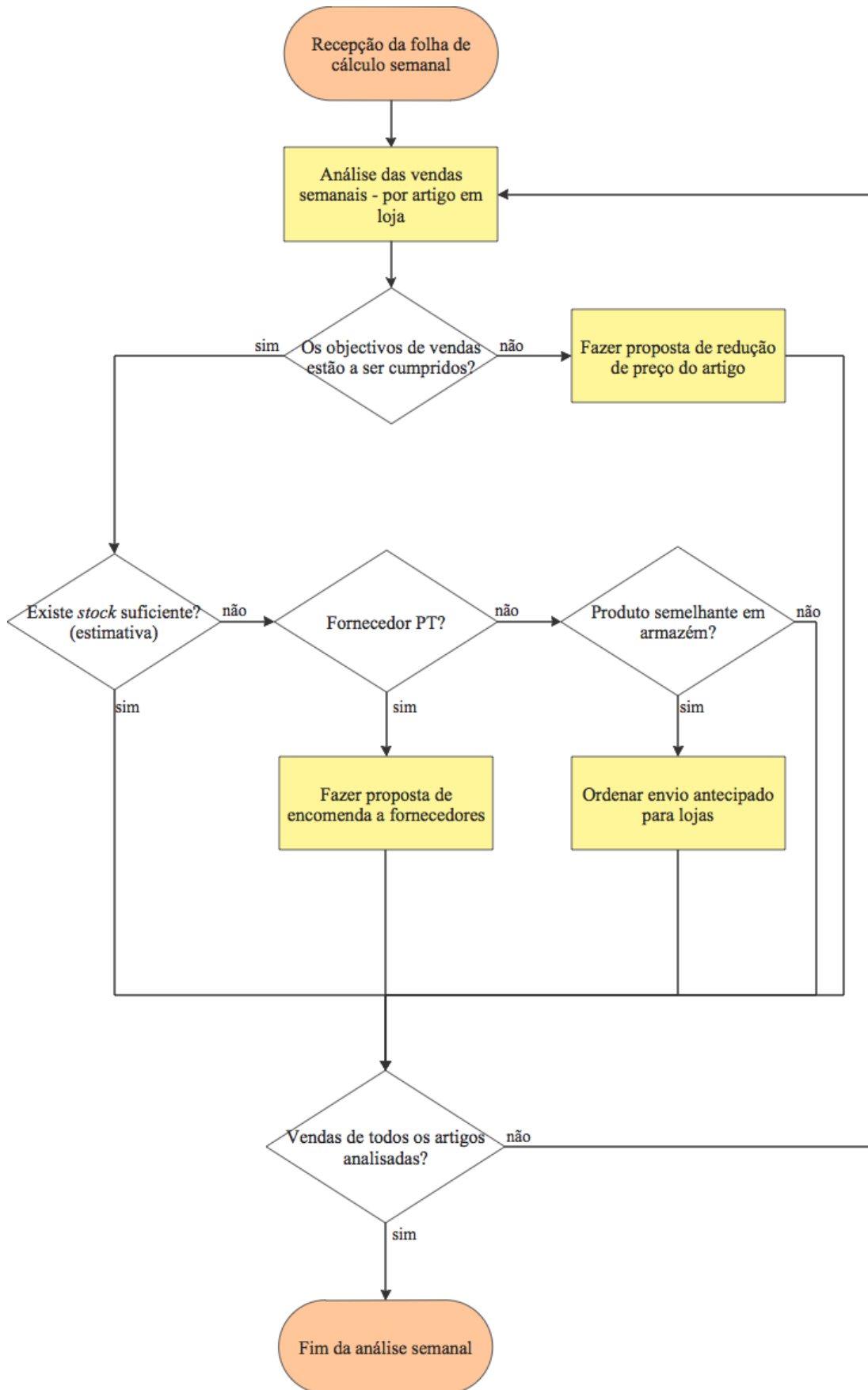


Figura 12 – Processo de gestão de sortidos, promoções e encomendas excepcionais (semanal).

Os artigos com um desempenho negativo potencial ou real são alvo de promoções, no sentido de inverter a tendência esperada. No caso de um desempenho satisfatório, são analisadas as existências em trânsito para e disponíveis em armazém. Caso sejam consideradas insuficientes, as alternativas são a realização de uma encomenda excepcional, se o fornecedor do artigo analisado for Português e a substituição por um artigo semelhante que ainda não esteja nas lojas. Na Figura 12 encontra-se uma esquematização deste processo.

3.4.2 Gestão de *stocks* de artigo em loja – curto prazo

A gestão de *stocks* de artigo em loja afecta apenas a quantidade por tamanho dos artigos disponíveis em loja, ocorrendo duas vezes por semana. A análise inicial é feita de forma bastante semelhante aos processos referidos na secção 3.4.1. Adicionalmente, são também consideradas as existências em cada loja.

As quantidades de base por tamanho de cada artigo são definidas à escala global e assumem na maioria dos casos a distribuição contida na tarifa de doze artigos (conferir Tabela 1). Quem executa o processo apenas tem que determinar a diferença entre as existências em cada loja e a quantidade base predefinida. Excepcionalmente é-lhe possível, quando se identifica um aumento inesperado nas vendas, aumentar o limite base, não existindo um critério bem definido para o determinar. Desta forma a empresa tem conseguido manter a ocupação do espaço de armazenamento de cada loja em níveis confortáveis, com excepção do fim das estações.

Facilmente se observa que este processo consiste na aplicação manual de uma política (R,S) (*Base-Stock*), em que S é a quantidade base definida globalmente, por política da empresa ou, em casos excepcionais, é elevado quando a procura recente aparenta uma tendência crescente. O intervalo de revisão, no entanto, varia, repetindo-se ciclicamente de duas em duas revisões, ao fim de uma semana. O resultado final do processo é um conjunto de ordens de expedição dos artigos para cada loja. Na Figura 13 pode-se observar uma esquematização deste processo.

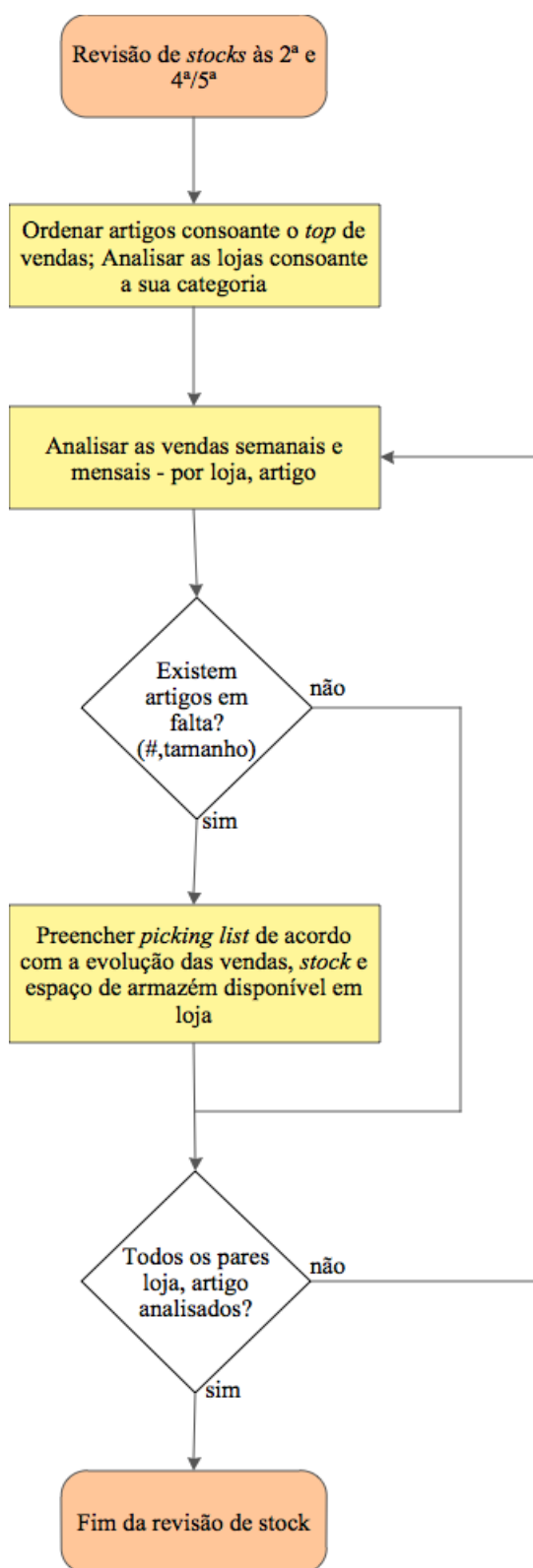


Figura 13 – Processo de gestão de stocks de artigo em loja

3.5 Selecção do processo para implementação da previsão, distribuição e reabastecimento integrados

Tanto as operações de compra como as de gestão de *stocks* nos pontos de venda apresentam características que as tornam bons candidatos para implementação de um modelo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados.

As operações de compra, podem ser melhoradas utilizando a previsão para determinar a quantidade de artigo(s) que se espera vender durante a estação, a distribuição para determinar as quantidades a atribuir a cada loja e o reabastecimento para evitar quebras de *stock* provocadas por erros de previsão. No entanto, este âmbito coloca um conjunto de problemas, nomeadamente:

- Exigência de um horizonte de previsão extenso e inexistência de um histórico de vendas por artigo, o que dificulta a realização de previsões, mesmo quando utilizados níveis de agregação superiores;
- Constituição das colecções muito dependente das tendências da moda, por exemplo, um ano pode ser marcado por uma maior ou menor variedade de um tipo de artigo, ou a inclusão de novos tipos de artigos;
- Variedade de fornecedores disponíveis;
- Importância da experiência do comprador.

O processo de gestão de *stocks* em loja a médio prazo também possui aspectos passíveis de melhoramento, mas apresenta inconvenientes semelhantes às operações de compra, nomeadamente a necessidade de horizontes de previsão também extensos e a importância da experiência do agente de decisão. Outro dos problemas fundamentais é a abordagem pouco estruturada utilizada neste processo, que dificulta a sua modelação.

Por sua vez, o processo de gestão de *stocks* em loja a curto prazo pode ser executado de forma mais eficaz e eficiente, sendo consideravelmente menos afectado pelos factores mencionados:

- Horizonte de previsão requerido mais curto;
- Existência de algum histórico de vendas dos artigos, colmatado por dados da mesma categoria para anos anteriores;
- Conhecimento dos artigos em loja e armazém, incluindo quantidades;
- Utilização de conceitos da literatura que melhoram as decisões tomadas exclusivamente com base na experiência do agente de decisão.

Desta forma, é este o processo seleccionado para implementação de um algoritmo que integra previsão, distribuição e reabastecimento.

4 Desenvolvimento do Algoritmo

Neste capítulo descreve-se o processo de conceptualização e desenvolvimento do algoritmo de gestão de inventário, baseado do processo seleccionado no capítulo 3.

Os dados quantitativos utilizados para desenvolvimento e teste do algoritmo compreenderam:

- séries de vendas de artigos da categoria sandália para senhora (coleção de Primavera-Verão) do ano 2007 até Maio de 2011;
- inventários em loja e armazém de artigos da mesma categoria, desde Janeiro a Maio de 2011.

4.1 Política de Inventário Seleccionada

Um dos objectivos do algoritmo descrito neste documento é proporcionar bases para a implementação de um protótipo na empresa parceira. Paralelamente, pretendeu-se que o algoritmo por si só fosse suficientemente genérico de forma a poder ser facilmente adaptado a contextos semelhantes (*e.g.* outros sectores do retalho). Por essa razão, procurou-se atingir um compromisso entre as possibilidades que a utilização de um modelo de previsão abre para a gestão de inventários e o processo seguido usualmente na empresa em causa.

Assim, utilizou-se como política de gestão de inventário o modelo (R,S) , mas com limites dinâmicos, à semelhança do trabalho desenvolvido por Eilon & Elmaleh (1970). Desta forma, o valor de S é actualizado a cada período de revisão de acordo com os resultados do modelo de previsão e o nível de serviço fixado. Assim conseguem-se acompanhar uma das principais características da procura de bens, bastante evidente no retalho de moda, que é a sazonalidade. Este aspecto traduz-se numa ou mais séries de variações cíclicas que traduzem o efeito do dia da semana, os consumidores deslocam-se mais para realizar compras quanto à medida que se aproxima o fim-de-semana, o efeito do mês, em que em dias próximos do 25 de cada mês (para o caso Português) se observam picos de procura devido à recepção dos salários pela maioria das pessoas, entre outros. A soma do período de revisão R com o prazo de entrega das encomendas L é admitida como uma semana. Este pressuposto, consistente com o desempenho da operadora logística subcontratada, baseia-se na consideração de que a revisão de inventário é feita numa altura do dia em que uma parte significativa da procura já ocorreu e a expedição chega ao ponto de venda no dia seguinte antes que se verifique uma procura considerável.

De forma semelhante, a sequência de revisão de artigos e distribuição pelos pontos de venda para elaboração das ordens de expedição a partir do armazém também foram integradas na sequência lógica do algoritmo. Toda a informação necessária para o seu funcionamento é recolhida a partir da base de dados da empresa que recebe os dados de vendas em tempo real através de terminais instalados em cada loja com POS (*Point Of Sale*).

O tipo de nível de serviço seleccionado é o β que, embora de tratamento mais difícil no que respeita à determinação de *stocks* de segurança, tem um significado mais intuitivo e prático para o gestor de inventário. Não sendo considerados custos de forma explícita ou implícita no processo original, optou-se por fazer o mesmo no modelo desenvolvido, utilizando-se então o

nível de serviço seleccionado como objectivo a ser satisfeito (este representa de facto um custo implícito atribuído à procura não satisfeita).

4.2 Esquematização e Definição do Algoritmo

Na Figura 14 apresenta-se um esquema ilustrativo do funcionamento do algoritmo de gestão de *stocks*. Nas subsecções seguintes, o funcionamento de cada um dos módulos é descrito em particular, terminando com uma síntese do algoritmo.

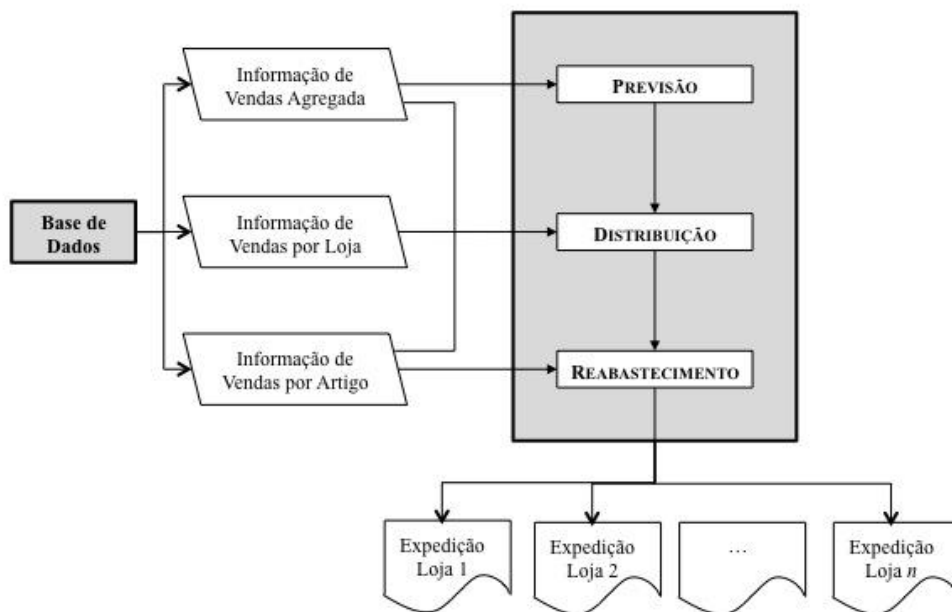


Figura 14 – Esquema do funcionamento do algoritmo de gestão de *stocks*.

4.2.1 Módulo de Previsão

O modelo de previsão desenvolvido para utilização no módulo de previsão é constituído por uma rede neuronal artificial do tipo *feedforward* treinada com os dados de 2007 a 2011, composta por quatro camadas, sendo a primeira utilizada para inserir os dados de entrada (*input*). As duas camadas intermédias, compostas por quatro e três nós, respectivamente, são responsáveis pelo tratamento dos dados de *input*. Na última camada, constituída por um único nó, é dada a previsão de vendas globais (a nível nacional) para a categoria sandália. A Figura 15 representa a arquitectura da rede neuronal utilizada.

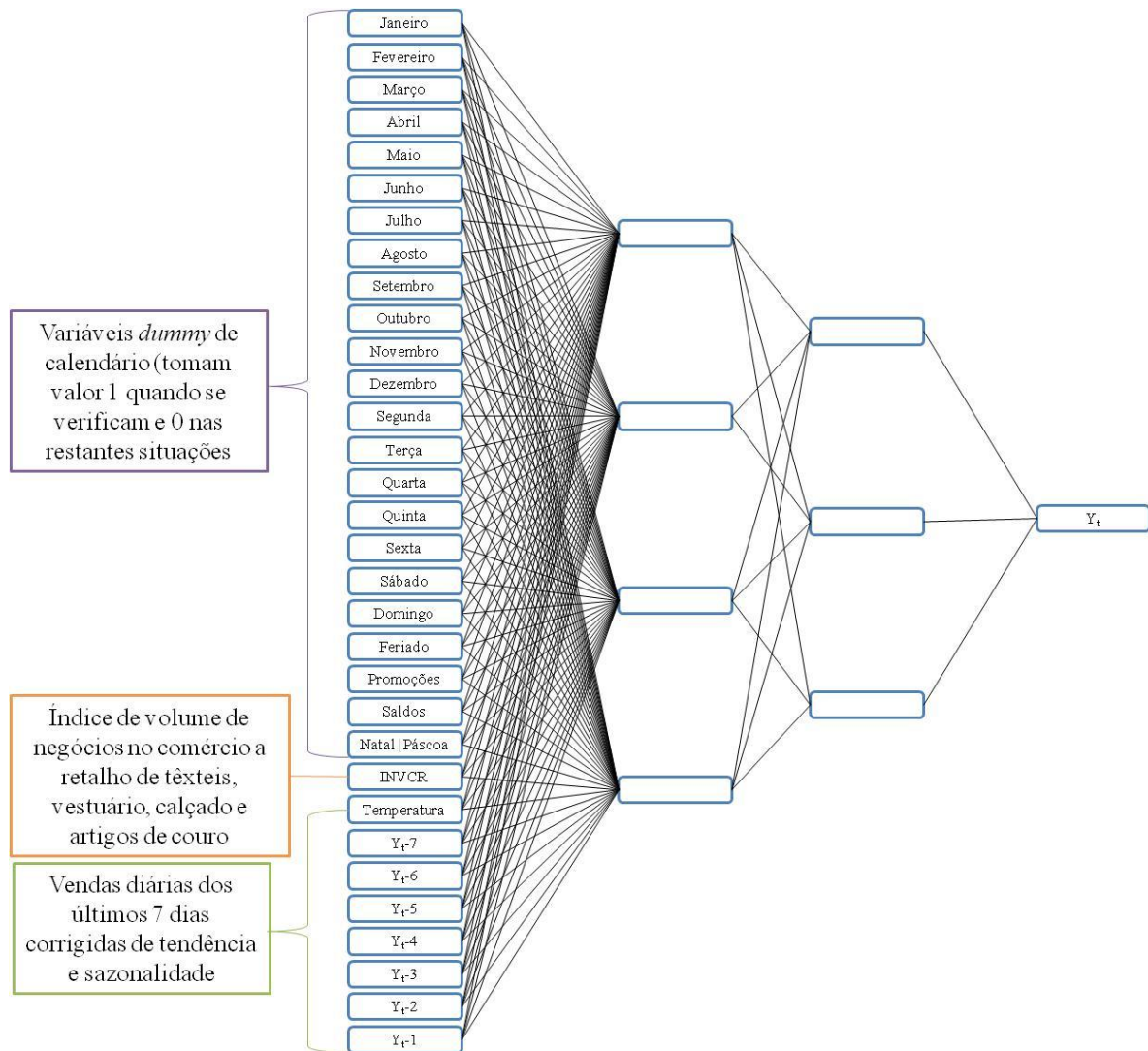


Figura 15 - Arquitectura da rede neuronal utilizada.

O nível de agregação dos dados utilizados para previsões resulta normalmente de um compromisso entre o nível de ruído presente na série temporal (grau de confiança estatística nos resultados) e utilidade da informação conseguida (Zotteri, Kalchschmidt, & Caniato, 2005). A selecção das vendas da categoria a nível nacional como nível de agregação resultou, neste caso, dos seguintes factores:

- Características inerentes ao sector do retalho de moda – uma vez que grande parte dos artigos de cada colecção são completamente novos, isto é, sem histórico de vendas, torna-se necessário agrupá-los com outros que possuam características semelhantes e tenham sido vendidos em anos anteriores;
- Classificação dos artigos fragmentada, para além do nível da categoria – resultado da prática da empresa, não sistematizada, para classificar artigos de acordo com características comuns, limitou a escolha do nível de agregação a ponto de venda e categoria ou artigo.

O horizonte temporal de previsão desta rede é de um dia, mas, quando realimentada com as próprias previsões, é possível estender esse horizonte até uma semana, com um erro percentual absoluto médio de 21%. Verificou-se que este erro é inferior ao conseguido com

uma rede cuja arquitectura lhe permite efectuar previsões com o horizonte de uma semana, cerca de 40%.

4.2.2 Módulo de Distribuição

Este módulo começa por determinar os artigos a tratar pelo algoritmo, dentro da categoria seleccionada para a previsão, recorrendo a uma análise de Pareto modificada. Esta análise recebeu o seu nome do economista italiano Vilfredo Pareto que, em 1906 constatou que 80% da riqueza italiana pertencia a 20% da população. À semelhança da observação do economista, com esta análise pretende destacar-se os artigos que, por ordem decrescente de quantidade vendida, apresentam uma frequência acumulada relativa de 60%, de forma a que sejam filtrados os artigos “parados” (*slow movers*). Para o cálculo da quantidade vendida, é considerado um período de quatro semanas, contado a partir da data de revisão, conseguindo-se assim acompanhar os artigos que os consumidores consideram mais apetecíveis.

Recebendo o resultado do módulo de previsão, este módulo selecciona um dos artigos destacados e recolhe da base de dados as séries de vendas passadas da categoria sandália nas lojas em que o artigo seleccionado foi transaccionado.

Para distribuir a previsão agregada à categoria pelas lojas em que o artigo seleccionado é vendido, recorre-se à aproximação da quota de vendas de cada uma por amortecimento exponencial simples. Nas Figuras 16 a 18 apresentam-se as quotas percentuais de cada uma de três lojas verificadas ao longo da estação de Primavera/Verão do ano de 2010, truncadas das primeiras e últimas quatro semanas de forma a retirar o efeito provocado pelas promoções do final de cada estação. Pela análise dos gráficos verifica-se que a série é localmente estacionária.

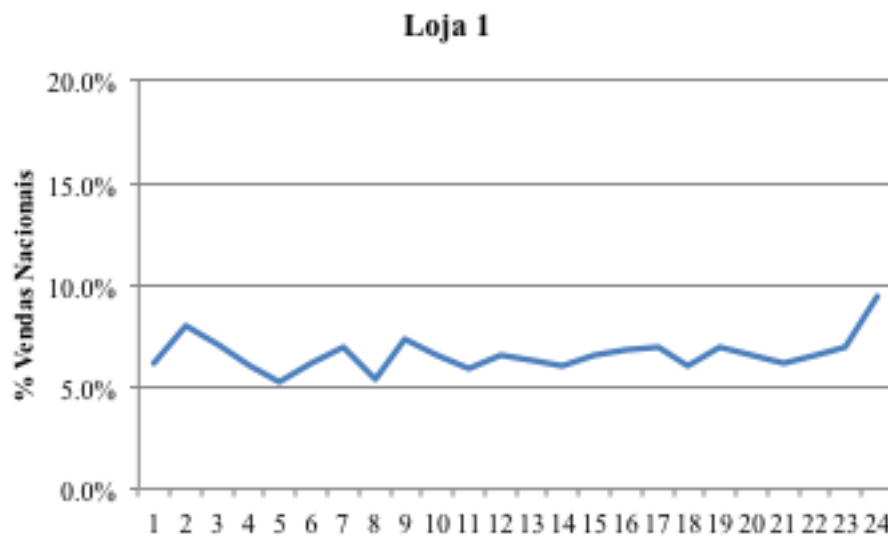


Figura 16 – Quota percentual das vendas da Loja 1 face às nacionais.

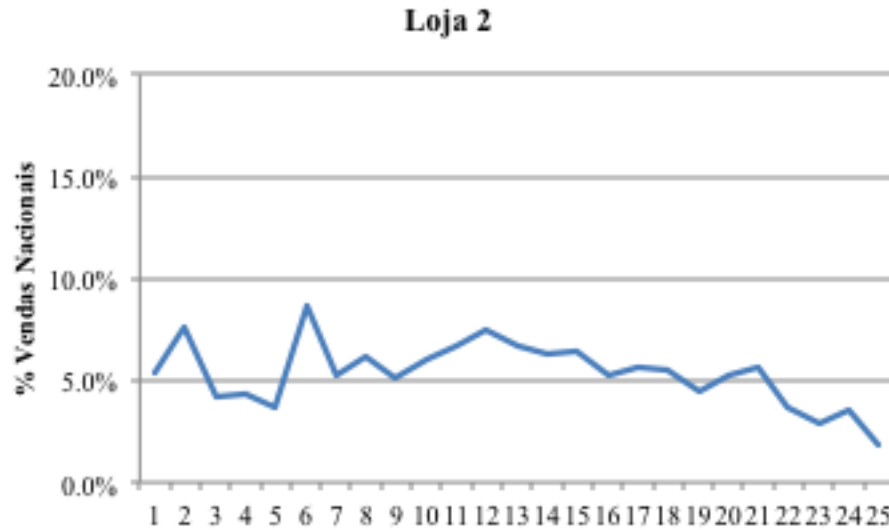


Figura 17 – Quota percentual das vendas da Loja 2 face às nacionais.

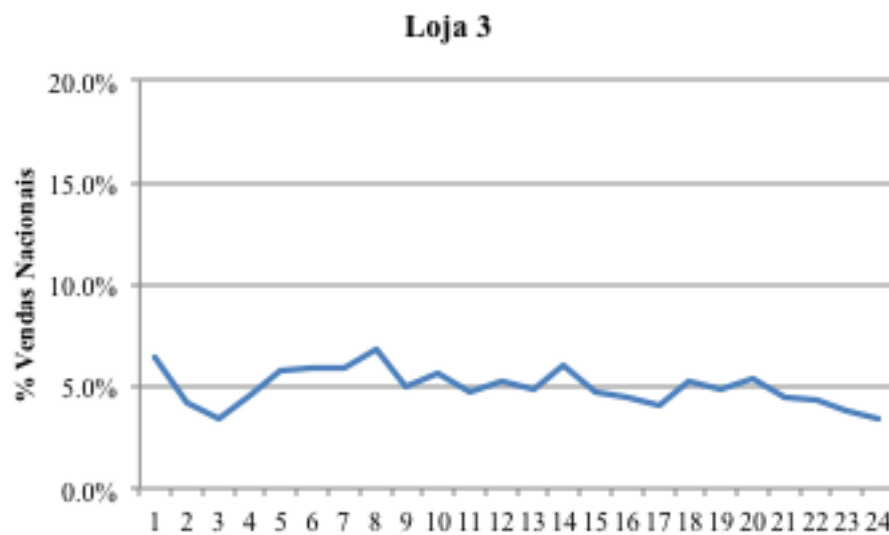


Figura 18 – Quota percentual das vendas da Loja 3 face às nacionais.

Tendo as vendas da categoria por loja, torna-se necessário desagregar o resultado ao nível do artigo, procedendo-se de forma semelhante à anterior. No entanto, as quotas de venda de um artigo numa dada loja exibem um comportamento mais “nervoso” apesar de poderem ser aproximadas com boa qualidade recorrendo, de novo, ao amortecimento exponencial simples.

4.2.1 Módulo de Reabastecimento

Finalmente, com os valores esperados da procura do artigo em análise, o módulo de reabastecimento determina S :

$$S = \mu + k\sigma \quad [6]$$

em que μ denota o valor esperado da procura do artigo em análise durante o próximo período, k o factor de segurança determinado pelo nível de serviço β escolhido e σ o desvio padrão da procura.

O factor k é determinado recorrendo às fórmulas para aproximação racional de Silver, Pyke & Peterson (1998) para a política (R,S) com vendas perdidas, apresentadas nas equações (7) e (8):

$$G(k) = \frac{\mu}{\sigma} \left(\frac{1-\beta}{\beta} \right) \quad [7]$$

$$k = \frac{\sum_{i=0}^3 a_i z^i}{\sum_{j=0}^4 b_j z^j} \quad [8]$$

onde:

$$z = \sqrt{\ln \left(\frac{25}{(G(k))^2} \right)} \quad b_0 = 1$$

$$a_0 = -5,3925569 \quad b_1 = -7,2496485 \times 10^{-1}$$

$$a_1 = 5,6211054 \quad b_2 = 5,07326622 \times 10^{-1}$$

$$a_2 = -3,8836830 \quad b_3 = 6,69136868 \times 10^{-2}$$

$$a_3 = 1,0897299 \quad b_4 = -3,29129114 \times 10^{-3}$$

O valor de σ é estimado através do desvio padrão amostral a partir dos erros históricos de até cinco períodos imediatamente anteriores, calculados pela subtracção dos resultados do módulo de distribuição à procura realmente verificada para o artigo considerado. Esta aproximação do valor do desvio padrão não piora o modelo de forma significativa, como demonstrado no trabalho de Ehrhardt (1979). O valor de S resultante é então arredondado por excesso de forma a que sejam eliminadas as casas decimais.

Para proceder à divisão de S pelos tamanhos do artigo, foi necessário realizar uma análise das proporções de tamanhos vendidos para a categoria em estudo. Para isso foram utilizados os dados de vendas da categoria sujeitos a diferentes agregações, para analisar o impacto individual de três factores:

- Calendário – dados agrupados por data de venda – mês, ano;
- Geografia – dados agrupados por loja;
- Tipo de calçado (sola, tacão, entre outros) – dados agrupados por artigo.

Os tamanhos fora do intervalo $[35,40]$ representam menos de 0,05% das quantidades vendidas, pelo que foram ignorados, uma vez que, mesmo quando usados para dividir quantidades de S próximas de 100 (bastante acima das determinadas neste documento), continuariam longe de justificar a reposição de uma única unidade.

Na análise dos dados agrupados por data, não se verificou um efeito significativo na variação das proporções de mês para mês ou ano para ano. A variação média das proporções foi

inferior a 0,75%. Da mesma forma, agrupando os dados por loja, verifica-se uma variação de proporções muito baixa, considerando 85% das lojas.

Por outro lado, na agregação ao nível do artigo, encontram-se várias discrepâncias, sendo possível construir diversos grupos consoante a distribuição de proporções. Não existindo forma de caracterizar os artigos de forma a conseguir agregações intermédias (entre o nível do artigo, com cerca de 1000 referências e da categoria sandália), optou-se por utilizar a média de proporções calculada a partir dos artigos responsáveis por 60% das vendas do ano 2010, arredondada por excesso à segunda casa decimal. O resultado é ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporções de tamanhos para categoria sandália.

Tamanho	35	36	37	38	39	40
Proporção	0,12	0,22	0,24	0,24	0,15	0,06

Com o valor final de S , é necessário dividir a quantidade obtida pelos diferentes tamanhos do artigo. Esta divisão é então levada a cabo com os valores médios das proporções de tamanhos vendidos em cada artigo dentro da categoria sandália, considerando o conjunto [35,40]. Esta divisão obriga a que, para cada tamanho, a quantidade mínima seja a unidade, sendo qualquer outro resultado arredondado de forma a eliminar casas decimais.

As quantidades determinadas são então comparadas com o *stock* disponível na loja e a diferença é colocada numa ordem de expedição. O procedimento regressa então a 3.3.2, até que as lojas, nas quais o artigo seleccionado foi vendido, estejam todas tratadas. Aí é seleccionado outro artigo até que todos os que foram listados inicialmente estejam tratados.

4.3 Ferramentas Informáticas de Suporte Utilizadas

O módulo de previsão havia sido desenvolvido originalmente em *Matlab R2010b*®, sendo depois implementado em R. O *Microsoft SQL Server 2008*® foi o *software* de gestão de bases de dados utilizado para aceder à informação da empresa e os módulos de distribuição e reabastecimento foram implementados em *Microsoft Excel 2007*® e *VBA*®.

4.4 Síntese do Algoritmo

Apresenta-se na Figura 19 a estrutura conjunta do algoritmo em pseudo-código.

Algoritmo de Previsão, Distribuição e Reabastecimento Integrados
<p>Na semana t</p> <p><Módulo de Previsão></p> <p>Extrair os dados da série temporal e outras variáveis explicativas até t</p> <p>Normalizar os dados para <i>Input</i></p> <p>Realizar a previsão para a categoria y</p> <p>Desnormalizar a previsão</p> <p><Módulo de Distribuição></p> <p>Extrair os dados de vendas por artigo da categoria y a nível nacional de $(t-4)$ até t</p> <p>Construir a lista de artigos a tratar (análise de Pareto modificada)</p> <p>Para cada artigo i da lista</p> <p style="padding-left: 20px;">Extrair dados de <i>stock</i> do artigo i disponível em armazém</p> <p style="padding-left: 20px;">Extrair da lista de lojas que registaram vendas do artigo i durante $t-1$ semana</p> <p style="padding-left: 20px;">Para cada loja j</p> <p style="padding-left: 40px;">Extrair os dados de vendas da categoria y na loja j</p> <p style="padding-left: 40px;">Estimar a quota de vendas da loja j para o período t (amortecimento exponencial simples)</p> <p style="padding-left: 40px;">Extrair os dados de vendas do artigo i na loja j</p> <p style="padding-left: 40px;">Estimar a quota de vendas do artigo i na loja j para o período t</p> <p style="padding-left: 40px;">Calcular a procura esperada do artigo i na loja j</p> <p style="padding-left: 40px;">Calcular o desvio padrão amostral das procuras esperadas entre o período $t-5$ e $t-1$</p> <p style="padding-left: 20px;"><Módulo de Reabastecimento></p> <p style="padding-left: 20px;">Calcular S</p> <p style="padding-left: 20px;">Dividir S por tamanhos</p> <p style="padding-left: 20px;">Extrair dados de <i>stock</i> do artigo i na loja j</p> <p style="padding-left: 20px;">Actualizar a ordem de expedição do artigo i para a loja j</p> <p style="padding-left: 20px;">Fim de Para</p> <p style="padding-left: 20px;">Validar ordem de expedição com o <i>stock</i> do artigo i disponível em armazém</p> <p>Fim de Para</p> <p>Fim do algoritmo</p>

Figura 19 – Esquema do algoritmo de Previsão, Distribuição e Reabastecimentos Integrados.

5 Testes Computacionais

No sentido de avaliar o desempenho do algoritmo, foram realizados dois conjuntos de testes. O primeiro foi efectuado com o propósito de validar o procedimento em si. O segundo procurou comparar os resultados gerados pelo algoritmo com os dados de inventário da empresa registados para o mesmo período de tempo.

5.1 Testes Preliminares Simples

Os testes iniciais compreenderam a aplicação do algoritmo a três artigos da categoria sandália ao longo de catorze semanas durante a estação Primavera-Verão do ano 2010, sem realizar a divisão por tamanhos para a mesma loja. Os parâmetros introduzidos foram:

- Constantes de amortecimento: 0,3
- Nível de serviço β desejado: 0.95 (95%)

O resultado é apresentado nas Figuras 20 a 25. Para cada par de figuras é ilustrada:

- procura que se verifica na realidade e a procura esperada, depois de determinada pelo modelo de previsão e finalmente distribuída pelas lojas da cadeia e artigo;
- nível S determinado pelo modelo de reabastecimento e o comportamento dos níveis de *stock*, afectados pelas reposições semanais e a procura verificada.

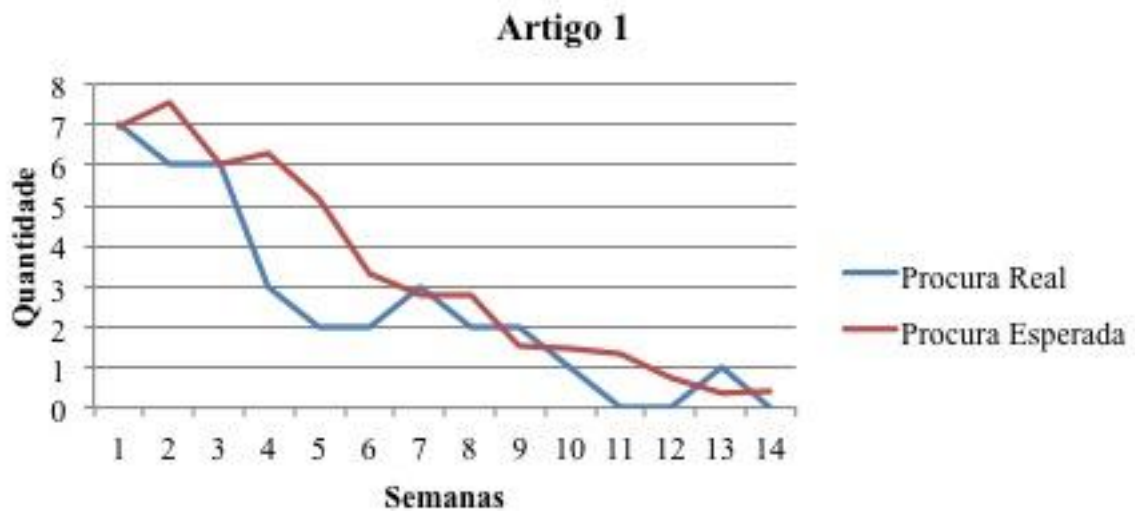


Figura 20 – Procura real e esperada para o artigo 1.

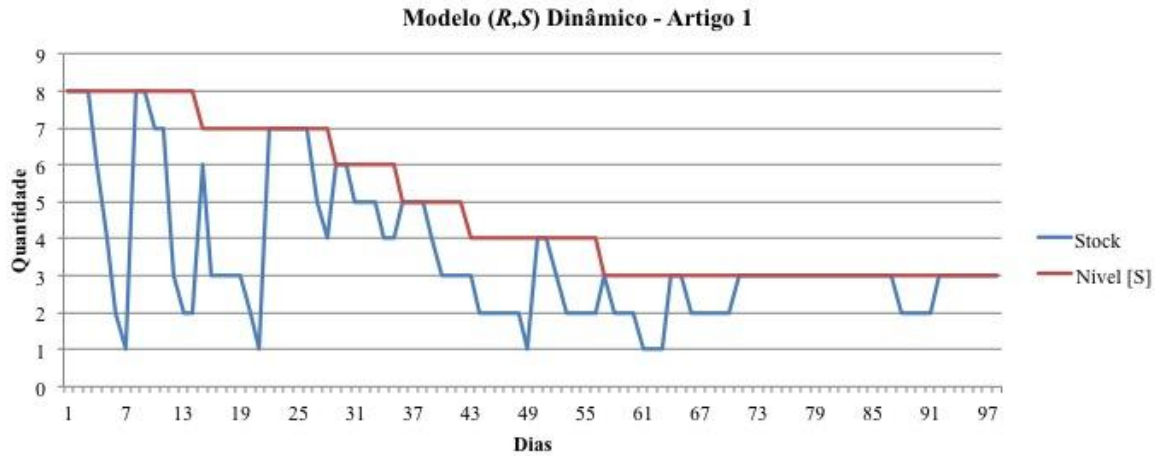


Figura 21 – Modelo (R,S) para o artigo 1.

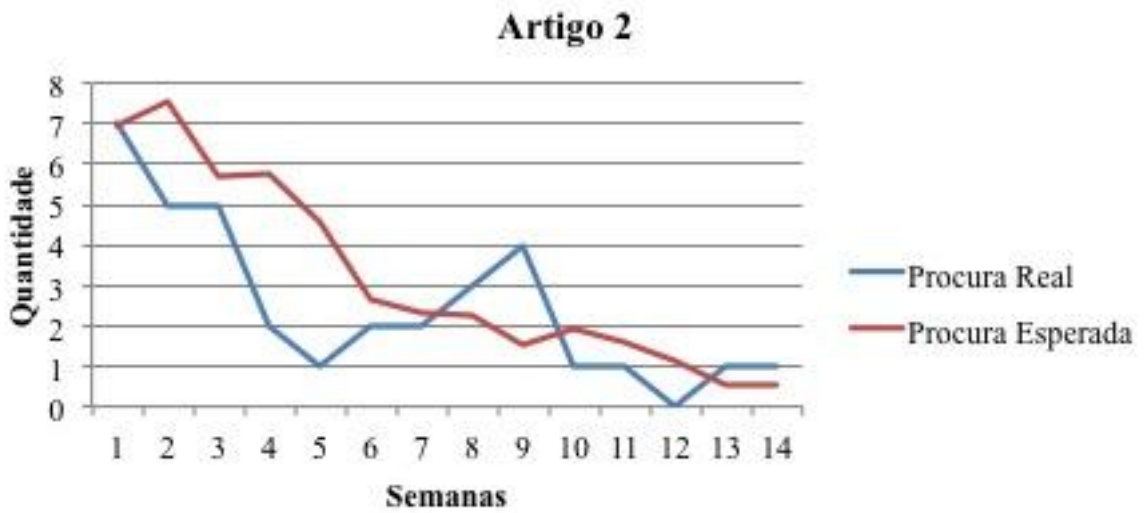


Figura 22 – Procura real e esperada para o artigo 2.

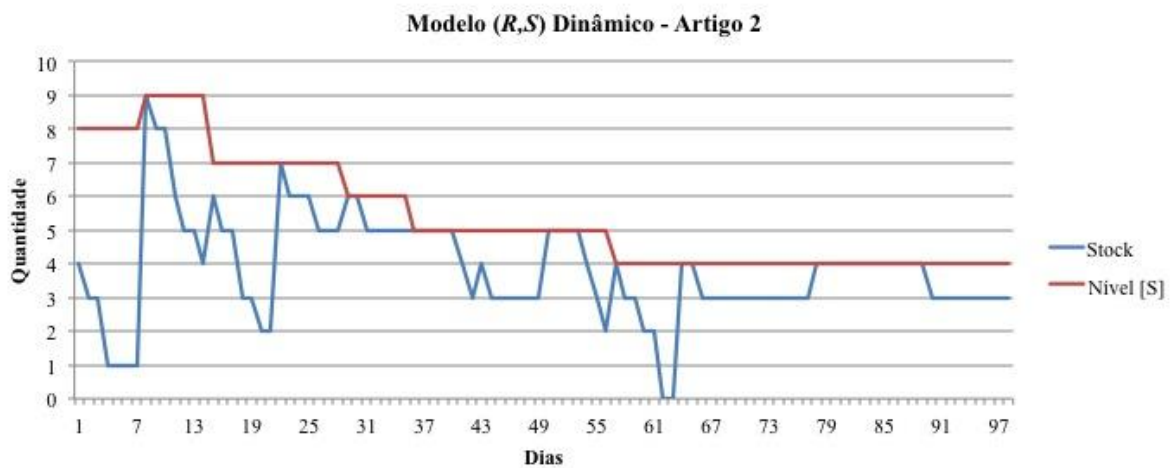


Figura 23 – Modelo (R,S) para o artigo 2.

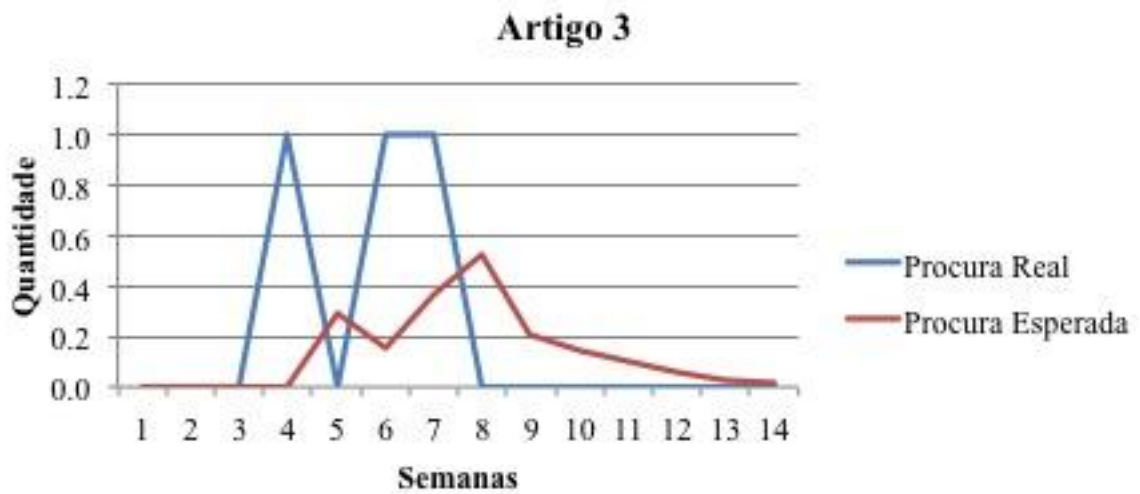


Figura 24 – Procura real e esperada para o artigo 3.

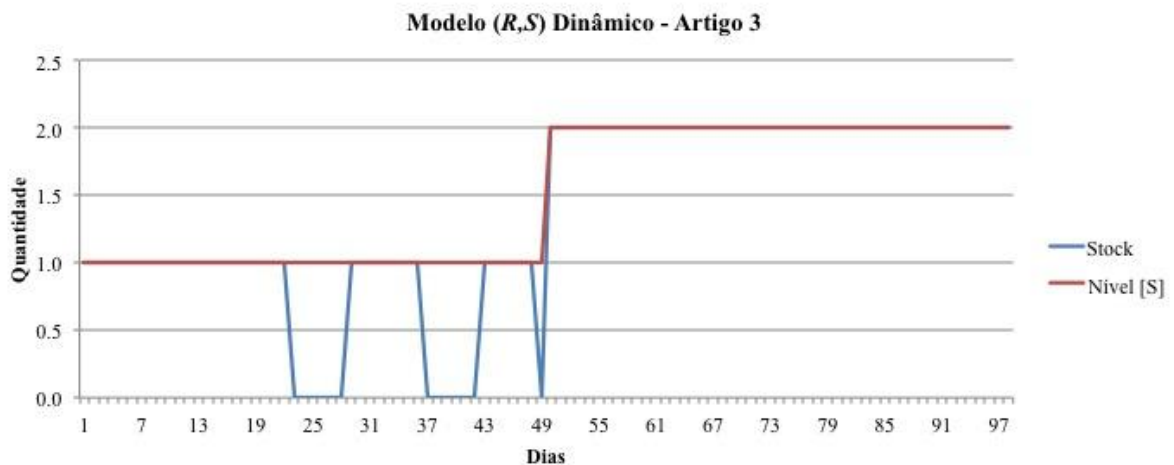


Figura 25 – Modelo (R,S) para o artigo 3.

Pode-se verificar que, apesar de algum desfasamento entre a procura esperada e a real, observável nas Figuras 20 e 22, natural quando se verificam quedas acentuadas nas vendas, os valores esperados acompanham a série temporal real com uma boa precisão. A exceção surge na Figura 24, em que as quantidades são manifestamente mais reduzidas, oscilando entre zero e um, verificando-se um desempenho bastante inferior.

A nível de desempenho do modelo de gestão de *stocks*, verifica-se que o nível *S* varia de forma a acompanhar a procura esperada, entrando em conta com a variabilidade da procura que se observa. Isto leva a que o nível se desloque de uma forma menos acentuada. Pode-se observar o efeito das reposições traduzido pela subida periódica da quantidade em *stock* e o efeito da procura nas descidas do mesmo. Não ocorrem rupturas em nenhum dos casos, o que é um indicador francamente positivo.

5.2 Testes Finais

Finalmente, o algoritmo foi testado em instâncias reais da empresa, permitindo a comparação do desempenho deste face à situação da empresa. As métricas utilizadas são a variação de *stock* médio, $\Delta\bar{S}$, e o nível de serviço β . A primeira utiliza os *stocks* médios, \bar{S} , e é calculada pela equação (9).

$$\Delta\bar{S} = \frac{\bar{S}_{\text{algoritmo}} - \bar{S}_{\text{realidade}}}{\bar{S}_{\text{realidade}}} \quad [9]$$

A partir da forma como esta métrica é calculada, depende-se que reduções no nível médio de *stock* se traduzem por valores negativos.

O nível de serviço β mede a percentagem da procura satisfeita em relação àquela que se verifica na realidade, de acordo com a equação (10).

$$\beta = 1 - \frac{D_{\text{real}} - D_{\text{satisfeita}}}{D_{\text{real}}} \quad [10]$$

Os resultados da aplicação do algoritmo a cinco artigos e cinco lojas são resumidos na Tabela 3.

A partir da tabela verifica-se que, dos 25 casos, apenas 3 demonstram um aumento do *stock* médio, em que a percentagem máxima não ultrapassa os 7%. Quanto ao nível de serviço conseguido, verifica-se alguma perda de procura, atingindo esta 25% em dois casos. Ainda assim, no pior dos casos, o nível de serviço agregado é superior a 85%.

Tabela 3 – Tabela de resultados dos testes finais.

Loja	Artigo	Variação de Stock Médio	Nível de Serviço β
1	1	-31.25%	100.00%
	2	-60.61%	91.67%
	3	-44.12%	87.50%
	4	-31.82%	100.00%
	5	-26.67%	90.00%
2	1	-37.08%	100.00%
	2	-52.50%	100.00%
	3	1.43%	100.00%
	4	-10.53%	100.00%
	5	-38.89%	100.00%
3	1	-30.12%	83.33%
	2	6.25%	100.00%
	3	-37.50%	100.00%
	4	-52.00%	83.33%
	5	-64.52%	75.00%
4	1	80.70%	100.00%
	2	-35.00%	84.62%
	3	-44.54%	100.00%
	4	-53.85%	100.00%
	5	-69.44%	83.33%
5	1	-37.08%	100.00%
	2	-60.00%	75.00%
	3	-14.12%	100.00%
	4	5.88%	100.00%
	5	-17.86%	100.00%

6 Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro

O trabalho descrito neste documento teve como objectivo o estudo da aplicabilidade de um modelo de previsão, distribuição e reabastecimento integrados no contexto das operações de gestão de *stocks* de uma empresa de retalho de calçado de moda e o desenvolvimento e teste de um algoritmo que o implementasse sob a forma de gestão de inventário. Os resultados suportam a pertinência desta abordagem. O algoritmo em si não é uma ferramenta que pretende substituir o gestor de *stocks* na sua actividade, mas sim apoiar, agilizar e melhorar as suas decisões tomadas neste âmbito.

A política de gestão de inventário aplicada pelo algoritmo desenvolvido é uma versão dinâmica da (R,S) , escolhida para acomodar o contexto de desenvolvimento, que pressupõe a gestão de vários artigos em simultâneo. Por outro lado, a forte sazonalidade da procura que se verifica no retalho, em particular no de moda, justifica o uso de modelos de previsão que, por sua vez, carecem de versões mais flexíveis das políticas de gestão de inventário clássicas.

Assim, o modelo desenvolvido incorporou um módulo de previsão, capaz de estimar a procura agregada futura de forma fiável, um módulo de distribuição, para dividir a previsão pelos pontos de venda e artigos em montra e um módulo de reabastecimento para o cálculo do nível S , variável consoante a procura. Como *input*, necessita que lhe seja indicado um nível de serviço β como objectivo.

Os resultados positivos conseguidos demonstram a mais valia que um sistema simples, facilmente parametrizável e capaz de processar as grandes quantidades de informação a que se tem acesso hoje em dia, representa. O algoritmo pode também ser estendido a outras situações práticas semelhantes sem necessidade de muitas alterações.

Como perspectivas de trabalho futuro, este modelo pode ser melhorado incorporando os custos considerados na generalidade dos problemas de inventário, para além daquele que já é assumido implicitamente sob a forma do nível de serviço β . Devem, no entanto, ser tidas em conta as implicações que a inclusão de restrições adicionais coloca, nomeadamente os aumentos de esforço computacional e o acréscimo de complexidade do sistema, do ponto de vista do utilizador.

Outras extensões das capacidades do algoritmo podem incluir a forma como o resultado final é tratado. Neste documento, o produto do algoritmo são as ordens de expedição, sobre as quais não é feita nenhuma consideração no que toca a, por exemplo, equilíbrio das cargas de trabalho no armazém ou interacção com sistemas de processamento automático de expedições.

Finalmente, a adaptação à política (R,s,S) , cujo resultado óptimo supera o de qualquer outra das políticas clássicas, podendo também incluir parâmetros dinâmicos (o valor de s , tipicamente) deve também ser considerada. As condições para que tal adaptação se tornasse vantajosa não foram, no entanto, verificadas no contexto de desenvolvimento deste projecto.

7 Referências

- Abdul-Jalbar, B., Gutiérrez, J. P., & Sicilia, J. (2003). Policies for Inventory/Distribution Systems: The Effect of Centralization vs. Decentralization. *International Journal of Production Economics* , 81-82, 281-293.
- Aburto, L., & Weber, R. (2007). Improved Supply Chain Management Based on Hybrid Demand Forecasts. *Applied Soft Computing* , 7 (1), 136-144.
- Alon, I., Qi, M., & Sadowski, R. J. (2001). Forecasting Aggregate Retail Sales: a Comparison of Artificial Neural Networks and Traditional Methods. *Journal of Retailing and Consumer Services* , 8 (1), 147-156.
- Asaeda, J. (2007). *Industry Surveys Retailing: General*. New York: Standard & Poor's.
- Aucamp, D. C., & Barringer, R. L. (1987). A Table for the Calculation of Safety Stock. *Operations Management* , 7 (1-2), 153-163.
- Baker, K. R., Dixon, P., Magazine, M. J., & Silver, E. A. (1978). An Algorithm for the Dynamic Lot-Size Problem with Time-Varying Production Capacity Constraints. *Management Science* , 24 (16), 1710-1720.
- Baker, P. (2007). An Exploratory Framework of the Role of Inventory and Warehousing in International Supply Chains. *The International Journal of Logistics Management* , 18 (1), 64-80.
- Bitran, G. R., & Chang, L. (1987). A Mathematical Programming Approach to a Deterministic Kanban System. *Management Science* , 33 (4), 427-441.
- Box, G. E., & Jenkins, G. M. (1994). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (3rd Edition ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Caro, F., & Gallien, J. (2007). Dynamic Assortment with Demand Learning for Seasonal Consumer Goods. *Management Science* , 53 (2), 276-292.
- Caro, F., & Gallien, J. (2010). Inventory Management of a Fast-Fashion Retail Network. *Journal Operations Research* , 58 (2), 257-273.
- Chakrabarty, T., Giri, B. C., & Chaudhuri, K. S. (1998). An EOQ Model for Items with Weibull Distribution Deterioration, Shortages and Trended Demand: An Extension of Philip's Model. *Computers & Operations Research* , 25 (7-8), 649-657.
- Chikán, A. (2007). The new role of inventories in business: Real world changes and research consequences.pdf. *International Journal of Production Economics* , 108 (1-2), 54-62.
- Clark, A., & Scarf, H. (1960). Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem. *Management Science* , 6, 475-490.
- Coleman, B. J. (2000). Determining the Correct Service Level Target. *Production and Inventory Management Journal* , 41 (1), 19-23.
- Ehrhardt, R. (1979). The Power Approximation for Computing (s, S) Inventory Policies. *Management Science* , 25 (8), 777-786.
- Eilon, S., & Elmaleh, J. (1970). Adaptive Limits in Inventory Control. *Management Science* , 16 (8), B533-B548.

- Federgruen, A., & Tzur, M. (1991). A Simple Forward Algorithm to Solve General Dynamic Lot Sizing Models with n Periods in $O(n \log n)$ or $O(n)$ Time. *Management Science*, 37 (8), 909-925.
- Fildes, R., Nikolopoulos, K., Crone, S. F., & Syntetos, A. A. (2008). Forecasting and Operational Research: a Review. *Journal of the Operational Research Society*, 59 (9), 1150-1172.
- Fisher, M. L., Raman, A., & McClelland, A. S. (July-August de 2000). Rocket Science Retailing is Almost Here - Are You Ready? *Harvard Business Review*, 115-124.
- Franses, P. H., & Legerstee, R. (2008). Do Experts' Adjustments on Model-Based SKU-Level Forecasts Improve Forecast Quality? *Journal of Forecasting*, 331-340.
- Gallego, G., Ozer, O., & Zipkin, P. (2007). Bounds, Heuristics and Approximations for Distribution Systems. *Operations Research*, 55 (3), 503-517.
- Gardner, E. S. (1985). Exponential Smoothing: The State of the Art. *Journal of Forecasting*, 4 (1), 1-28.
- Gaur, V., Fisher, M. L., & Raman, A. (2005). An Econometric Analysis of Inventory Turnover Performance in Retail Services. *Management Science*, 51 (2), 181-194.
- Harris, F. W. (1913). How Many Parts to Make at Once. *Factory, The Magazine of Management*, 10 (2), 135-136, 152.
- Hau, L. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, 43 (4), 546-558.
- Hines, T., & Bruce, M. (2007). *Fashion Marketing - Contemporary Issues* (2nd Edition ed.). Amsterdam: Butterworth-Heinemann.
- INESC Porto. (2011). *Apresentação INESC Porto*. Retrieved May 2011, from INESC Porto: <http://www2.inescporto.pt/apresentacao>
- Jacobs, F. R., Chase, R. B., & Aquilano, N. J. (2009). *Operations and supply management* (12th Edition ed.). Boston: McGraw-Hill.
- Khouja, M. (1999). The Single-Period (News-Vendor) Problem: Literature Review and Suggestions for Future Research. *International Journal of Management Science*, 27 (5), 537-553.
- Kuzdrall, P. J., & Britney, R. R. (1982). Total Setup Lot Sizing with Quantity Discounts. *Decision Sciences*, 13 (1), 101-112.
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358.
- Liberatore, M. J. (1979). Technical Note -The EOQ Model under Stochastic Lead Time. *Operations Research*, 27 (2), 391-396.
- Muckstadt, J. A., & Sapro, A. (2010). *Principles of Inventory Management: When You Are Down to Four, Order More*. New York [etc]: Springer.
- Pal, S., Goswami, A., & Chaudhuri, K. S. (1993). A Deterministic Inventory Model for Deteriorating Items with Stock-Dependent Demand Rate. *International Journal of Production Economics*, 32 (3), 291-299.

- Rinallo, D., & Golfetto, F. (2006). Representing Markets: The Shaping of Fashion Trends by French and Italian Fabric Companies. *Industrial Marketing Management* , 35 (7), 856-869.
- Sen, A. (2008). The U.S. Fashion Industry - A Supply Chain Review. *International Journal of Production Economics* , 571-593.
- Sethi, S., & Cheng, F. (1997). Optimality of (s, S) Policies in Inventory Models with Markovian Demand. *Operations Research* , 45 (6), 931-939.
- Silver, E. A. (1976). A Simple Method of Determining Order Quantities in Joint Replenishments Under Deterministic Demand. *Management Science* , 22 (12), 1351-1361.
- Silver, E. A. (1981). Operations Research in Inventory Management: A Review and Critique. *Operations Research* , 29 (4), 628-645.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: Wiley.
- Sobel, M. J., & Zhang, R. Q. (2001). Inventory Policies for Systems with Stochastic and Deterministic Demand. *Operations Research* , 49 (1), 157-162.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & Uchikawa, S. (1977). Toyota Production System and Kanban System Materialization of Just-In-Time and Respect-For-Human System. *International Journal of Production Research* , 15 (6), 553-564.
- Syntetos, A. A., Boylan, J. E., & Disney, S. M. (2009). Forecasting for Inventory Planning: a 50-Year Review. *Journal of the Operational Research Society* , 60, 149-160.
- Tang, C. S. (2006). Perspectives in Supply Chain Risk Management. *International Journal of Production Economics* , 103 (2), 451-488.
- Thomassey, S., Happiette, M., & Castelain, J.-M. (2005). A Global Forecasting Support System Adapted to Textile Distribution. *International Journal of Production Economics* , 96 (1), 81-95.
- Wagner, H. M., & Within, T. M. (1958). Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. *Management Science* , 5 (1), 89-96.
- Wong, C. Y., & McFarlane, D. (2007). Radio Frequency Identification Data Capture and its Impact on Shelf Replenishment. *International Journal of Logistics Research and Applications* , 10 (1), 71-93.
- Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. Y. (1998). Forecasting with Artificial Neural Networks: The State of the Art. *International Journal of Forecasting* , 14 (1), 35-62.
- Zotteri, G., Kalchschmidt, M., & Caniato, F. (2005). The Impact of Aggregation Level on Forecasting Performance. *International Journal of Production Economics* , 93-94, 479-491.