

Otimização do Processo de Gestão de *Stocks* e Transferências na Indústria Alimentar

Pedro Miguel Ribeiro Magalhães

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Luís Filipe Ribeiro dos Santos Guimarães



Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

2020-06-29

Resumo

A indústria alimentar em Portugal é muito competitiva, estando presentes no mercado grandes empresas multinacionais com mais recursos que as empresas portuguesas. Além disso, o poder dos retalhistas alimentares é significativo, devido à presença generalizada de marcas próprias. Este contexto coloca grande pressão sobre as margens de negócio das empresas que atuam no ramo, como é o caso do Grupo Cerealis. Assim, uma gestão eficiente dos seus recursos para diminuir os seus custos operacionais, é de grande importância para a empresa.

Surge deste enquadramento a motivação deste projeto, que vai no sentido de aumentar a eficiência da operação logística da Cerealis, nomeadamente no processo de gestão de *stocks* e transferências, de modo a reduzir os custos logísticos da empresa. O processo mencionado foi analisado de forma a encontrar limitações no mesmo, e seguidamente identificar oportunidades de melhoria. Com a análise efetuada identificaram-se duas grandes limitações no processo: a existência de níveis excessivos de *stock*, com elevados custos associados; um processo de planeamento de transferências ineficiente, ao ser realizado de forma manual e não uniformizada.

Deste modo, o principal objetivo da dissertação foi o desenvolvimento de uma ferramenta baseada num modelo matemático de otimização, que apoia o planeamento da gestão de *stocks* e transferências e define a melhor forma de alocar os *stocks* da empresa a cada armazém para responder às encomendas dos clientes, minimizando os custos totais da operação.

A ferramenta desenvolvida permitiu a uniformização do planeamento das transferências, facilitando o trabalho do seu responsável. Possibilitou também o estudo de diferentes políticas de gestão de *stock*, através da construção de cenários alternativos, que resultaram em poupanças consideráveis nos custos totais da operação (obtiveram-se reduções de até 55%), através da diminuição dos níveis de *stock* e otimização das transferências entre armazéns realizadas. Assim, esta ferramenta aumenta a eficiência do processo de gestão de *stocks* e transferências e tem um impacto positivo na sua capacidade de resposta face a potenciais situações futuras inesperadas.

Optimization of the Process of Inventory Management and Transshipments in the Food Industry

Abstract

The food industry in Portugal is very competitive, with large multinational companies with more resources than Portuguese companies present in the market. Moreover, the power of food retailers is significant, due to the widespread presence of own brands. This context puts great pressure on the business margins of companies operating in the industry, such as Cerealis Group. Thus, an efficient management of its resources to reduce its operational costs is of great importance for the company.

From this framework arises the motivation of this project, which is to increase the efficiency of the logistic operation of Cerealis, more specifically in the process of inventory management and transshipments, in order to reduce the logistics costs of the company. The mentioned process was analysed in order to find limitations in it, and then identify opportunities for improvement. The analysis identified two major limitations in the process: the existence of excessive levels of inventory, with high associated costs; an inefficient transshipment planning process, that is carried out in a manual and non-standardised way.

Thus, the main objective of the dissertation was the development of a tool based on a mathematical optimisation model, which supports the planning of the process of inventory management and transshipments and defines the best way to allocate the company's inventory to each warehouse to respond to customer orders, minimizing the total costs of the operation.

The developed tool enabled the standardisation of transshipments planning, facilitating the work of the person in charge. It also enabled the study of different inventory management policies, through the construction of alternative scenarios, which resulted in considerable savings in the total costs of the operation (reductions of up to 55% were obtained), by reducing inventory levels and optimising transshipments between warehouses. Thus, this tool increases the efficiency of the process of inventory management and transshipments and has a positive impact on its ability to respond to potential unexpected future situations.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador na FEUP, o Prof. Luís Guimarães, pelo sua disponibilidade ao longo da dissertação, especialmente no contexto de pandemia, em que surgiram problemas acerca do propósito da dissertação. A sua ajuda nessa fase para redirecionar os objetivos da dissertação foi fundamental e as suas sugestões e conselhos contribuíram muito para o desenvolvimento do trabalho efetuado.

Agradeço também à minha orientadora na empresa, a Eng. Bárbara Fraga pelo apoio durante o estágio e ajuda na integração na Cerealis. Foi uma boa experiência, embora infelizmente curta devido à situação atual.

Agradeço ainda ao Carlos e à Inês, os meus colegas de estágio na Cerealis, pela boa companhia durante o estágio e pela disponibilidade de ajuda sempre fosse que necessário.

Aos meus amigos, agradeço os bons momentos passados que fizeram estes anos universitários serem uma fase inesquecível da minha vida.

Por fim, não posso deixar de agradecer à minha família pelo seu apoio ao longo de todo o meu percurso académico e por ajudarem a formar a pessoa que sou hoje em dia.

À minha família.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	O Projeto “Otimização do Processo de Gestão de <i>Stocks</i> e Transferências na Indústria Alimentar”	2
1.2.1	O Grupo Cerealis	2
1.2.2	A Direção Logística	2
1.2.3	Os Centros de Distribuição	3
1.2.4	Desafios atuais da Distribuição	4
1.3	Objetivos do projeto	5
1.4	Estrutura da dissertação	5
2	Enquadramento Teórico	7
2.1	Gestão da Cadeia de Abastecimento e Gestão de <i>Stocks</i>	7
2.1.1	Modelos de Gestão de <i>Stocks</i>	8
2.1.2	Classificação do <i>Stock</i>	12
2.1.3	Indicadores da Gestão de <i>Stocks</i>	12
2.2	Transferências de <i>Stock</i>	13
2.3	Métodos de Resolução	14
2.3.1	Métodos Exatos de Otimização:	14
2.3.2	Métodos Heurísticos:	15
3	Descrição da Situação Inicial	17
3.1	Classificação dos Produtos	17
3.2	Análise aos níveis de <i>Stock</i>	19
3.3	Processo de Gestão de <i>Stocks</i>	21
3.4	Operação dos Centros de Distribuição	23
3.5	Processo de Transferências de <i>Stock</i>	24
3.6	Limitações atuais da Gestão de <i>Stocks</i> e Transferências	26
4	Modelo de Otimização da Gestão de <i>Stocks</i> e Transferências	29
4.1	Definição do Modelo	29
4.1.1	Pressupostos do modelo	30
4.1.2	Função Objetivo	33
4.1.3	Restrições do modelo	33
4.2	Modelações Alternativas	35
4.2.1	Modelo inspirado na Revisão Periódica	35
4.2.2	Modelo inspirado na Revisão Contínua	36

5	Resultados Experimentais	37
5.1	Recolha de dados	37
5.2	Resultados dos testes	40
5.2.1	Cenário I	40
5.2.2	Cenário II	40
5.2.3	Cenário III	41
5.2.4	Comparação dos Cenários	41
5.3	Análise de sensibilidade	43
5.3.1	Custo de posse	44
5.3.2	Custo variável de transferência	44
5.3.3	Custo fixo de transferência	45
5.3.4	Nível de serviço	45
5.3.5	Procura	46
5.4	Sumário dos resultados	47
6	Conclusões e trabalho futuro	49

Siglas

COO	<i>Chief Operating Officer</i>
CDM	Centro de Distribuição da Maia
CDT	Centro de Distribuição da Trofa
CPA	Cerealis Produto Alimentares
CM	Cerealis Moagens
CI	Cerealis Internacional
QEE	Quantidade Económica de Encomenda
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>

Lista de Figuras

Figura 1.1	Centros Industriais do Grupo Cerealis. Fonte: Cerealis (2020a)	3
Figura 1.2	Organograma da Direção Logística da CPA. Fonte: Cerealis (2020b) . . .	3
Figura 2.1	Modelo de Revisão Periódica	9
Figura 2.2	Modelo de Revisão Contínua	10
Figura 2.3	O princípio da QEE	11
Figura 2.4	Diferentes medidas do nível de serviço. Fonte: Amorim (2018)	13
Figura 3.1	Análise à Classificação Qualitativa dos Produtos	19
Figura 3.2	Análise à Classificação Quantitativa dos Produtos	19
Figura 3.3	<i>Stock</i> em armazém no ano de 2019	20
Figura 3.4	Análise ao <i>stock</i> por Família e ABC	21
Figura 3.5	Roturas mensais de <i>stock</i> (em %) em 2019	22
Figura 3.6	Custos e quantidade vendida por CD em janeiro de 2020	24
Figura 4.1	Representação esquemática da cadeia de abastecimento	33
Figura 5.1	Distribuição dos custos dos diferentes cenários	42

Lista de Tabelas

Tabela 3.1	Classificação Qualitativa e Quantitativa dos Produtos	18
Tabela 3.2	Transferências por origem e destino em janeiro de 2020	26
Tabela 3.3	Taxa de cobertura em 2019 por família de produto	27
Tabela 4.1	Notação do modelo	31
Tabela 5.1	Custo fixo de transferências por armazém e produto	39
Tabela 5.2	Comparação dos custos dos diferentes cenários	41
Tabela 5.3	Comparação dos cenários pelo nível de <i>stock</i> e número de transferências .	42
Tabela 5.4	Comparação dos cenários pelos resultados computacionais	43
Tabela 5.5	Análise de sensibilidade ao custo de posse	44
Tabela 5.6	Análise de sensibilidade ao custo variável de transferência	45
Tabela 5.7	Análise de sensibilidade ao custo fixo de transferência	45
Tabela 5.8	Análise de sensibilidade ao nível de serviço	46
Tabela 5.9	Análise de sensibilidade à procura	47

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo é exposto o contexto do projeto, com uma apresentação da empresa e o departamento específico onde o projeto foi realizado, bem como a motivação para o mesmo. São também explicitados os objetivos a alcançar com o projeto e a metodologia seguida para esse fim.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Este projeto foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular "Dissertação", inserida no 2º semestre do 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O trabalho foi realizado em ambiente empresarial, na Cerealis Produto Alimentares, S.A., mais concretamente no Departamento de Distribuição, enquadrado na Direção Logística, no seu pólo principal em Águas Santas, no concelho da Maia.

Com o crescimento da empresa nos últimos anos, a sua operação logística tem vindo a ficar cada vez mais constrangida, nomeadamente a nível da sua gestão de *stocks*. Por isso, torna-se de grande importância procurar melhorias nesta operação, mais concretamente no processo de gestão de *stocks* e transferências entre os armazéns (foco deste projeto), de forma a torná-lo mais eficiente. Para esse fim, a Direção Logística pretendeu implementar uma plataforma de apoio ao planeamento da operação logística, com o objetivo de reduzir tanto o tempo despendido com o planeamento da operação como o custo da mesma.

Contudo, devido à conjuntura global de pandemia, o projeto teve de ser alterado e o desenvolvimento da plataforma de apoio deixou de ser o foco desta dissertação. Assim, esta dissertação foca-se no desenvolvimento de um modelo de otimização da gestão de *stocks* e do planeamento das transferências. O modelo é proposto para implementação na empresa, e deverá possibilitar o alcance dos objetivos de planeamento mais eficiente e menores custos no processo de gestão de *stocks*, e por consequência na operação logística. A expectativa é de que, no futuro, quando for retomado o desenvolvimento da plataforma de apoio, este modelo seja incorporado na mesma, no seu módulo de gestão de *stocks* e transferências.

1.2 O Projeto “Otimização do Processo de Gestão de *Stocks* e Transferências na Indústria Alimentar”

1.2.1 O Grupo Cerealís

O Grupo Cerealís foi fundado em 1919, como Amorim, Lage & Soares Lda, por três fundadores, Manuel Gonçalves Lage, José Alves de Amorim e Aníbal Soares, sendo que este último saiu da sociedade em 1930. Assim, perdurou a associação entre os dois primeiros fundadores que dura até hoje em dia, com o grupo a ser propriedade dos descendentes de ambos e a ser presidido por José Eduardo Marques de Amorim. Durante a maior parte da sua história, o grupo foi conhecido por Amorim, Lage, Lda, tendo adoptado o nome Cerealís em 2004 (Cerealís 2020a).

O Grupo Cerealís enquadra-se na indústria agroalimentar, em particular no fabrico e comercialização de produtos derivados da transformação de cereais, nomeadamente massas alimentícias, cereais de pequeno-almoço, farinhas para usos culinários e bolachas, num total de mais de 160 artigos. As suas principais marcas são a Milaneza, líder no mercado das massas alimentícias em Portugal, e a Nacional, com produtos nas quatro famílias nomeadas anteriormente, tendo sido adquirida pelo grupo em 1999. O seu grande foco é no mercado português, mas tem cada vez mais presença no estrangeiro, exportando para países como Espanha, Angola e República Checa. Em 2019, teve uma faturação de cerca de 200 milhões de euros, conta com cerca de 700 colaboradores e mais de 2300 clientes (Cerealís 2020b).

O Grupo Cerealís é constituído por uma *holding*, a Cerealís SGPS, S.A. e subdivide-se em três empresas, a Cerealís Produtos Alimentares (CPA), onde é realizado este projeto, a Cerealís Moagens (CM) e a Cerealís Internacional (CI). A Cerealís Produtos Alimentares dedica-se ao fabrico e comercialização das massas alimentícias, bolachas e cereais de pequeno-almoço, enquanto que a Cerealís Moagens é responsável pelas farinhas para usos culinários. A Cerealís Internacional é responsável pela comercialização dos produtos (provenientes das outras duas empresas) destinados para exportação (Cerealís 2020a). O grupo possui um total de cinco centros industriais, representados na Figura 1.1.

1.2.2 A Direção Logística

A Direção Logística está sobre a alçada do COO (do inglês, *Chief Operational Officer*) da empresa e é constituída por quatro departamentos, com as seguintes funções principais:

- **Aprovisionamento:** Responsável pelo aprovisionamento de matérias-primas, matérias subsidiárias e outros componentes necessários para o processo produtivo.
- **Distribuição:** Responsável pela gestão da distribuição dos produtos para clientes e pela gestão dos armazéns e logística interna de transferência de fábricas para armazéns e entre armazéns.
- **Serviço ao cliente:** Responsável por todas as atividades de processamento e acompanhamento dos pedidos dos clientes, com o objetivo de assegurar a satisfação dos mesmos.

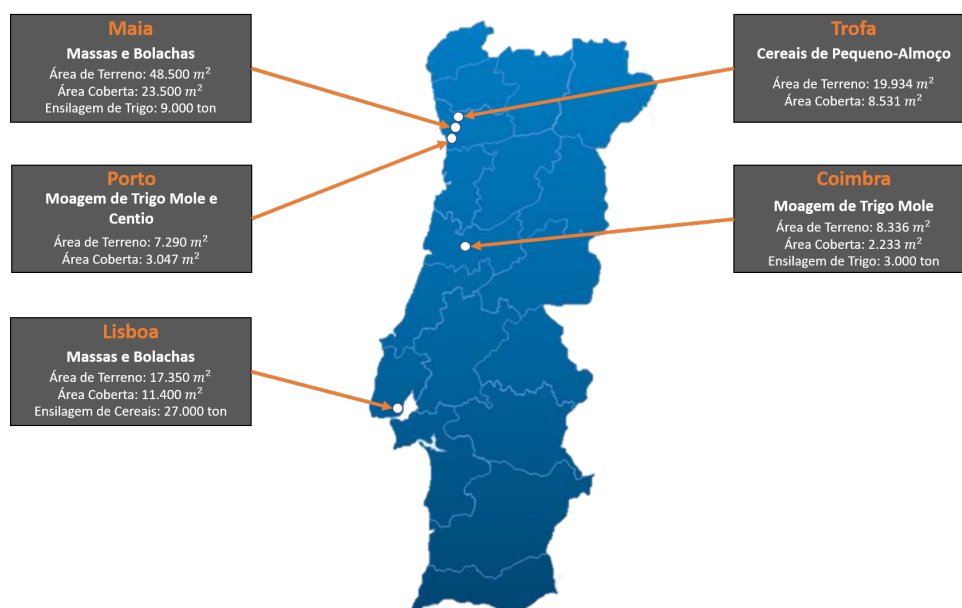


Figura 1.1: Centros Industriais do Grupo Cerealís. Fonte: Cerealís (2020a)

- **Planeamento tático:** Responsável pela determinação da alocação dos recursos necessários à operação logística.

A organização desta direção é ilustrada na Figura 1.2. O projeto foi desenvolvido no departamento de Distribuição, que se enquadra no CDM (Centro de Distribuição da Maia), embora também seja responsável pelo CDT (Centro de Distribuição da Trofa).

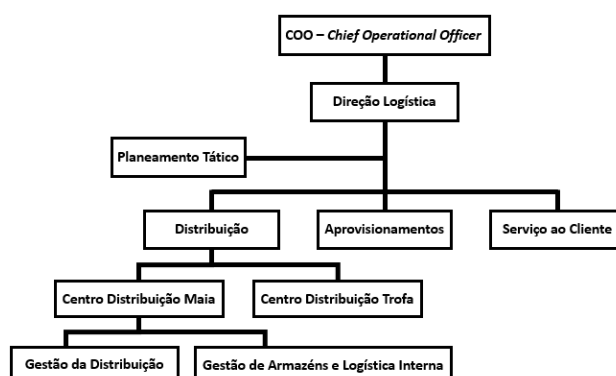


Figura 1.2: Organograma da Direção Logística da CPA. Fonte: Cerealís (2020b)

1.2.3 Os Centros de Distribuição

Aqui são apresentados os armazéns da empresa e são descritas as suas características e especificidades, já que eles serão o foco principal deste projeto. A empresa possui dois centros de distribuição próprios, na Maia e na Trofa.

O CDM enquadra-se no pólo principal da empresa, o Centro Industrial da Maia. Aqui são produzidos os produtos das famílias das massas alimentícias e das bolachas. Contudo, no CDM existem produtos também das famílias dos cereais de pequeno-almoço, vindos do CDT, e das farinhas para usos culinários, vindas da CM em Lisboa, pois aqui são expedidas encomendas com todos as famílias de produtos em virtude de ser o maior centro da empresa. O armazém é constituído por duas componentes, um armazém automático e dois armazéns manuais. O armazém automático tem uma capacidade de 12000 paletes e destina-se maioritariamente ao armazenamento de produto acabado. Os armazéns manuais têm no total uma capacidade de armazenamento de 2500 paletes sendo que um é destinado maioritariamente a matérias primas, subsidiárias e material de embalagem e o outro é fornecido pelo armazém automático e destina-se principalmente às operações de *picking*. O CDM expede diariamente um volume de cerca de um milhão de pacotes, cerca de 30 camiões, 6 contentores, 3000 paletes *in & out* e 6000 caixas de *picking*.

O CDT localiza-se no Centro Industrial da Trofa, sendo que aqui são produzidos os cereais de pequeno-almoço. Assim, neste centro são expedidas maioritariamente encomendas destes produtos, mas por vezes as encomendas incluem também produtos de outras famílias e por isso algum *stock* desses produtos existe no armazém. O armazém neste centro é automático e tem uma capacidade de armazenamento de 10700 paletes. Diariamente tem um volume de expedição de cerca de 20 camiões e 1000 paletes.

Adicionalmente, como atualmente a capacidade instalada nos dois armazéns da empresa não é suficiente para responder às necessidades da empresa, esta recorre a um operador logístico externo, onde armazena produto excedente da Maia e da Trofa. Daqui também são expedidas algumas encomendas, para clientes da grande distribuição (retalhistas modernos).

1.2.4 Desafios atuais da Distribuição

Nos últimos anos a empresa tem tido uma atividade crescente, tendo cada vez mais clientes e estando a lançar sempre novos produtos diferentes. Por exemplo, nos últimos tempos lançou também uma nova gama de barras de cereais. Este acréscimo de atividade, leva também a um aumento progressivo da produção e maior ocupação da sua capacidade de armazenamento. Isto conduz a um sobrecarregamento dos centros de distribuição e levou à necessidade de contratar um armazém adicional de um operador logístico externo.

Assim, os custos da operação logística empresa são cada vez maiores, pressionando as margens obtida pela empresa. Em Portugal estão presentes grandes empresas multinacionais na indústria alimentar e os grandes retalhistas têm grande influência através das marcas próprias, o que torna a indústria bastante competitiva. Por outro lado, neste tipo de produtos os consumidores são muito sensíveis a aumentos de preço. Deste modo, para manter as suas margens competitivas, a empresa não deve apostar no aumento de receitas pelo aumento de preços, mas sim pela redução de custos nas suas operações. Logo, o aumento da eficiência da operação logística da empresa é fundamental.

1.3 Objetivos do projeto

O principal objetivo do projeto é a otimização do processo de gestão de *stocks* e transferências da empresa, de forma a reduzir dos custos da operação logística da empresa. Por isso pretende-se desenvolver uma ferramenta de planeamento e distribuição de *stocks* na cadeia de abastecimento da empresa. Essa ferramenta terá em conta os requisitos da operação logística da empresa e a sua implementação deverá permitir a otimização da gestão de *stocks*, de forma a reduzir os seus custos e simplificar o seu planeamento. Para isso será construído um modelo matemático que será resolvido através de métodos de otimização exata e testado em vários cenários, relativos a diferentes abordagens de gestão de *stocks*, de forma a perceber o impacto potencial da sua implementação na prática. Com base nas conclusões daí retiradas, serão feitas recomendações para a empresa em relação à melhor política de gestão de *stocks* a adotar.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos. No Capítulo 1 é apresentada a empresa, o departamento onde ocorreu o projeto, a motivação para a realização do mesmo e os objetivos que se pretendem alcançar. No Capítulo 2 é realizado o enquadramento teórico dos problemas a ser trabalhados no projeto, sendo abordados e descritos os conceitos relevantes que estão na base das soluções propostas. No Capítulo 3 é feito um enquadramento das atividades logísticas da empresa, dos seus centros de distribuição e é levantada a situação atual do processo de gestão de *stocks* e transferências. As principais limitações do processo atual são identificadas, de forma a enquadrar as soluções propostas. No Capítulo 4 é descrito o modelo conceptual proposto para otimizar a gestão dos *stocks* e transferências e os cenários em que o modelo foi testado. O Capítulo 5 descreve o processo de teste, sendo discutidos tanto os resultados obtidos, como a análise de sensibilidades feita para avaliar a robustez das soluções encontradas. Finalmente, o Capítulo 6 expõe as conclusões do projeto e apresenta as perspetivas de trabalho futuro para melhorar a ferramenta desenvolvida.

Capítulo 2

Enquadramento Teórico

Neste capítulo realiza-se uma revisão geral dos conceitos relevantes para a realização do projeto e que servem como base para as soluções desenvolvidas. Começa-se por abordar os conceitos gerais de gestão da cadeia de abastecimento. De seguida, é abordado o papel do *stock* na gestão da cadeia de abastecimento, motivando a gestão de *stocks* e as diferentes metodologias usadas na área. Depois, são estudadas as transferências de *stocks*, os diferentes tipos existentes e o seu papel de apoio tanto na gestão de *stocks* como na gestão de encomendas. Por fim, são explorados diferentes abordagens de resolução de problemas de modelação da cadeia de abastecimento.

2.1 Gestão da Cadeia de Abastecimento e Gestão de *Stocks*

Um cadeia de abastecimento engloba todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, no cumprimento de pedidos dos clientes. Inclui não apenas fabricantes e fornecedores, mas também transportadores, armazéns, retalhistas e até os próprios clientes. Dentro da organização, a cadeia de abastecimento inclui todas as funções envolvidas no pedido do cliente, como o desenvolvimento de novos produtos, marketing, operações, distribuição, finanças e serviço ao cliente. A gestão apropriada de todos os fluxos entre as diversas operações é chave para o sucesso da cadeia de abastecimento, maximizando a rentabilidade total da cadeia de abastecimento (Chopra e Meindl 2007).

Segundo o *Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP)*, a gestão da cadeia de abastecimento engloba o planeamento e gestão de todas as atividades envolvidas no *sourcing* e aprovisionamento, conversão e todas as atividades de gestão logística. Também inclui a coordenação e colaboração com parceiros de canal, que podem ser fornecedores, intermediários, prestadores terceiros de serviços e clientes. É uma função integradora com responsabilidade primária pela ligação das principais funções e processos de negócio dentro e entre empresas, num modelo de negócio coeso e eficiente.

Dentro da gestão da cadeia de abastecimento, a gestão de *stocks* é naturalmente um dos campos principais. O termo *stock* (inglês para inventário) refere-se a um conjunto de produtos ou materiais (equipamento, maquinaria, consumíveis, etc.) disponíveis para uso ou venda por parte da empresa

(Aro-Gordon e Gupte 2016). O *stock* pode ter a forma de produto acabado, produto em curso de fabrico ou matérias-primas. Segundo Rushton, Croucher e Baker (2010), a principal razão que leva uma empresa a manter stocks é a necessidade da existência de um *buffer* entre a oferta e a procura, devido à impossibilidade de sincronizar perfeitamente as exigências da procura com a capacidade da oferta. Outra razão importante é a sua necessidade para o cumprimento dos níveis de serviço ao cliente.

Em média os *stocks* representam entre 20% a 50% dos ativos e 90% do capital circulante de uma empresa (Carravilla 1997). Daqui se vê a grande importância que a gestão de *stocks* tem numa organização, e a necessidade de estratégias de controlo eficazes, que minimizem as quantidades de *stocks* existentes, já que este constitui capital imobilizado, que poderia ser utilizado em atividades mais produtivas. Contudo deve-se ter sempre em conta o exigente nível de serviço exigido pelos clientes.

Existem vários custos associados ao *stock* que são determinantes na definição das estratégias de controlo. Esses custos geralmente dividem-se em custos de aprovisionamento e custos de posse. Os custos de aprovisionamento estão relacionados com a sua compra e existem independentemente do seu valor, incluindo por exemplo, os custos de expedição da encomenda e os custos da sua receção. Os custos de posse incluem três tipos de custos: o custo do capital imobilizado em inventário (relacionado com o custo de oportunidade do capital); os custos de armazenamento, tal como a amortização dos espaços de armazenamento próprios ou a renda, se estes forem alugados; custos de manuseamento, sob a forma de, por exemplo, equipamentos, colaboradores da atividade, depreciações e impostos (Muller 2011).

2.1.1 Modelos de Gestão de Stocks

Segundo Ziukov (2015), para a definição do modelo de controlo mais adequado para cada caso, existem duas questões fundamentais que devem ser respondidas: "Quando se deve efetuar a encomenda?" e "Quanto se deve encomendar?". Os modelos de gestão diferem na natureza da informação disponível acerca dos seus parâmetros. Existem várias características que influenciam a escolha de um modelo específico, como por exemplo: item individual *versus* itens múltiplos; o horizonte temporal; o número de pontos de *stock*; a natureza do produto; a natureza da procura; os tipos de procura; a natureza do processo de fornecimento; penalizações em caso de rotura de *stock*.

Dentro destas características a mais importante é o tipo de procura existente. Esta pode ser determinística se for exatamente conhecida. Dentro deste tipo, a procura pode ser estática, quando não sofre nenhuma variação ao longo do tempo, ou dinâmica, quando varia com o tempo de uma forma conhecida. A procura pode também ser estocástica / probabilística, se os seus parâmetros forem aleatórios. Aqui a procura tem também dois tipos. Pode ser estacionária, quando segue uma distribuição probabilística conhecida ou que pode ser estimada a partir de dados históricos. Pode também ser não-estacionária, quando varia de forma desconhecida, comportando-se como um passeio aleatório, com mudanças frequentes na sua direção e velocidade de crescimento (Ziukov 2015).

Os modelos de revisão de *stock* existem por isso para minimizar os efeitos da incerteza inerente aos modelos estocásticos. Existe uma grande variedade nos mesmos, mas os principais são os modelos de revisão periódica (ou de intervalo fixo) e os modelos de revisão contínua (ou de ponto fixo) (Rushton, Croucher e Baker 2010).

O modelo de revisão periódica estabelece que os níveis de *stock* são verificados em intervalos regulares, fixos no tempo e, dependendo da quantidade existente, é colocada uma ordem de reaprovisionamento. A quantidade dessa encomenda é determinada de modo a levar o *stock* para um nível predefinido, e por isso a quantidade varia em cada encomenda, consoante o *stock* atual, como se pode ver na Figura 2.1. O nível de *stock* de referência, P , é o nível de *stock* a atingir tendo em consideração os consumos no período de revisão, T , e no tempo de entrega (*lead time*), L . É por isso obtido pelo produto da estimativa da procura, $\hat{d}$ pela soma dos tempos de revisão e entrega. A quantidade variável a encomendar, Q , é dada pela diferença entre o nível de referência e a nível nominal de *stock*, S . As equações em (2.1) exprimem o cálculo do nível de referência e da quantidade a encomendar.

$$\begin{aligned} P &= \hat{d} \cdot (T + L) \\ Q &= P - S \end{aligned} \quad (2.1)$$

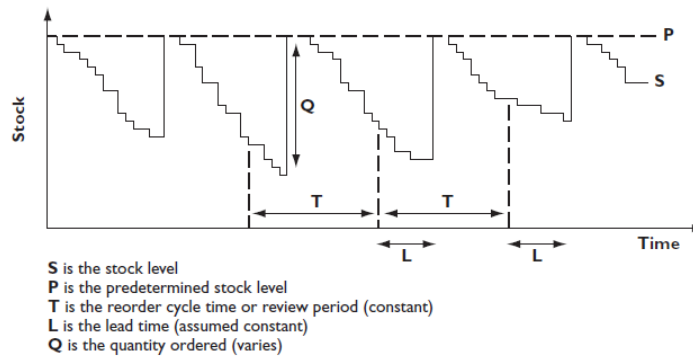


Figura 2.1: Modelo de Revisão Periódica

No modelo de revisão contínua é determinado um nível de *stock* específico (ponto de encomenda), que quando atingido, provoca uma ordem de reaprovisionamento, como mostra a Figura 2.2. A quantidade encomendada é fixa e por isso, neste sistema o que varia é o momento temporal em que a ordem é colocada (e não a quantidade como no modelo anterior). O ponto de encomenda, B , é obtido pela soma do *stock* de segurança, SS , com o produto da estimativa da procura, $\hat{d}$, e o tempo de entrega, L . A quantidade fixa de encomenda, Q , é normalmente obtida pela quantidade económica de encomenda, que é descrita mais à frente. O tempo de ciclo das encomendas, T , corresponde ao tempo entre a colocação de duas encomendas e é dado pelo quociente da quantidade de encomenda e a estimativa da procura. O cálculo do ponto de encomenda e do tempo de ciclo das encomendas é expresso nas equações em (2.2).

$$\begin{aligned} B &= SS + \hat{d} \cdot L \\ T &= Q / \hat{d} \end{aligned} \quad (2.2)$$

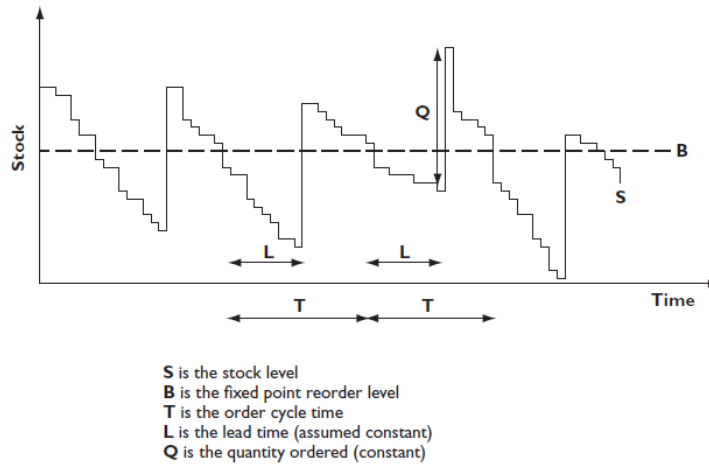


Figura 2.2: Modelo de Revisão Contínua

Outra questão a ter em conta nos modelos estocásticos, como proteção contra a incerteza, é o *stock* de segurança. Como existem flutuações aleatórias na procura e até no tempo de entrega das encomendas, podem ocorrer roturas de *stock* quando a procura ou o tempo de entrega são superiores ao normal. Estas roturas de *stock* têm custos associados devido às perdas de vendas (e também perdas de reputação) e por isso, é necessário criar *stocks* de segurança para proteger o sistema contra esta situação. Os custos de posse serão naturalmente superiores, mas são compensados pelo economia gerada ao se evitar roturas (Carravilla 1997). Segundo Carvalho et al. (2010), o *stock* de segurança é calculado por:

$$SS = Z_{\alpha} \times \sigma, \quad (2.3)$$

onde SS representa o *stock* de segurança, Z_{α} , é o fator de segurança do nível de serviço e σ é o desvio-padrão da procura, que por sua vez, para ter em conta a variabilidade do tempo de entrega, é obtido pela equação (2.4):

$$\sigma = \sqrt{t \times \sigma_d^2 + d^2 \times \sigma_t^2}, \quad (2.4)$$

onde t se refere ao valor médio do *lead time* (tempo desde a colocação da encomenda até à sua entrada em armazém), σ_t^2 se refere ao desvio-padrão do *lead time*, d corresponde ao valor médio da procura e σ_d^2 corresponde ao desvio-padrão da procura.

Quantidade Económica de Encomenda

Os modelos expostos anteriormente requerem que a quantidade encomendada de *stock* encomendada seja ou fixa ou variável. A próxima questão a ser abordada na gestão de *stocks* é a quantidade específica a ser encomendada numa dada ordem. O método tradicional de calcular a quantidade mais adequada é conhecido como o método da QEE (quantidade económica de encomenda).

Segundo Rushton, Croucher e Baker (2010) este método tenta o equilíbrio entre os custos a de aprovisionamento e os custos de posse na estimação da melhor quantidade de encomenda. Por um lado, os custos de posse aumentam com o aumento da quantidade encomendada, pois é maior o

tempo em *stock* e os custos de armazenamento. Por outro lado, os custos de aprovisionamento que existem em cada encomenda, para uma encomenda de quantidades reduzidas serão mais elevados relativamente ao valor da encomenda e, por isso, quanto maior esta for, ocorre a diluição destes custos que são por isso progressivamente inferiores. Este método pretende por isso atingir um compromisso entre estes custos, que é visível na Figura 2.3, representado pelo ponto mínimo da curva do custo total.

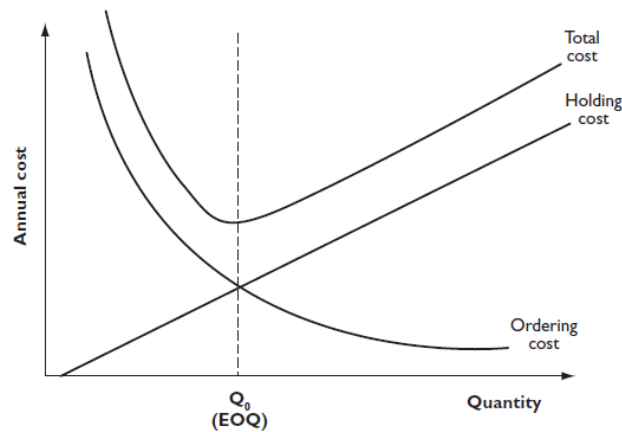


Figura 2.3: O princípio da QEE

Este modelo é baseado numa série de pressupostos que simplificam o problema: é um modelo determinístico, em que a procura é conhecida com exatidão; cada encomenda é entregue instantaneamente (*lead time* nulo); não ocorrem roturas de *stock*. Os pressupostos afastam o problema da realidade mas, se o método for usado em associação com outros, como o método de revisão contínua e tendo em conta a definição de *stocks* de segurança, a sua aplicação torna-se mais válida. Assim, a fórmula de cálculo da QEE para um dado produto, é explicitada na equação (2.5):

$$QEE = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{C \times H}} \quad (2.5)$$

onde D é a procura anual do produto, S é o custo de aprovisionamento da encomenda, C é o custo por unidade de SKU e H é o custo de posse unitário anual por unidade. O uso deste método traz algumas desvantagens, relacionadas com o grande número de pressupostos que têm de ser assumidos. O método assume que a procura pode ser estimada de forma exata, o que não se verifica na realidade pois esta não é estática e existe sempre um grau significativo de incerteza associada. O método também requer a monitorização constante dos níveis de inventário, o que nem sempre é prático para as empresas. Também é assumido que os fornecedores têm sempre disponibilidade para satisfazer as encomendas da empresa, o que está longe da realidade, pois estes nem sempre têm em nível suficiente as matérias-primas necessárias para a produção, em situações de procura inesperada (Rushton, Croucher e Baker 2010).

2.1.2 Classificação do *Stock*

Como a maioria das empresas lida com um elevado número de artigos, nomeadamente no caso da indústria alimentar, a gestão individual de cada um deles torna-se praticamente impossível. Por isso, para diminuir a complexidade, é necessário agrupar os produtos em classes, definindo-se as políticas de gestão de *stock* para cada uma delas.

Um dos métodos mais usados é a classificação ABC. Segundo Muller (2011), as classificações deste método são baseadas na Lei de Pareto, que aplicada a este caso diz que 80% das vendas de uma empresa são geradas por apenas 20% dos seus artigos. Os artigos são então separados em: produtos de categoria *A*, que representam os itens mais ativos e com maior rotação (20% dos artigos e representam 80% das vendas); categoria *B*, que são os itens mais ativos seguintes (30% dos artigos e representam 15% das vendas); categoria *C*, que são os restantes artigos e com menor rotação (50% dos artigos e representam 5% das vendas). As percentagens associadas a cada categoria são naturalmente aproximadas, variando um pouco em cada caso.

2.1.3 Indicadores da Gestão de *Stocks*

Para medir a eficácia das políticas de gestão de *stocks* de uma empresa é necessária a definição de indicadores de avaliação. A sua utilidade depreende-se com o facto de fornecerem uma avaliação quantitativa e objetiva do sucesso dos métodos aplicados, servindo de comparação para com períodos anteriores ou métodos diferentes. Um dos indicadores mais utilizados é a taxa de rotação, dada pelo quociente entre o consumo anual e o *stock* médio, que mede o número de vezes que o *stock* é renovado anualmente e quanto maior o seu valor, maior é a rentabilidade do *stock*. Outro indicador é a taxa de cobertura, que é o inverso da taxa de rotação, indicando o tempo médio de encomendas que o *stock* médio pode assegurar, sendo normalmente expressa em dias de *stock* (Gonçalves 2010). As equações em (2.6) expressam o cálculo destes indicadores.

$$\begin{aligned} \text{Taxa de Rotação} &= \frac{\text{Quantidade consumida anualmente}}{\text{Quantidade média em stock}} \\ \text{Taxa de Cobertura} &= \frac{\text{Quantidade média em stock}}{\text{Quantidade consumida anualmente}} \times \text{Número de dias no ano} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Um dos indicadores fundamentais, não só para a gestão de *stocks*, como para todas as operações no âmbito da gestão da cadeia de abastecimento, é o nível de serviço. Este é um indicador muito ligado ao serviço ao cliente e pode ser definido de várias formas, consoante a natureza da operação a ser avaliada. Uma dessas definições é o nível de serviço α ou de tipo 1, que corresponde à probabilidade de não ocorrerem roturas de *stock* durante um dado ciclo de encomendas. É também apelidado de nível de serviço de ciclo. Outra definição é o nível de serviço β ou de tipo 2, que representa a fração da procura (ou encomendas) que podem ser satisfeitas diretamente com o *stock* disponível. É também denominado de taxa de preenchimento e é a definição mais comumente usada em aplicações práticas (Grob 2019). Outra definição, que é raramente usada, é o nível de serviço γ ou de tipo 3, que reflete tanto a quantidade (ou número) de roturas de *stock*,

como o tempo necessário para recuperar dessa situação. O nível de serviço α é um indicador orientado para eventos pois mede o rácio do número de períodos com roturas de *stock*. O nível de serviço β é, por sua vez, orientada para a quantidade em rotura de *stock*. Por fim, o nível de serviço γ é um indicador orientado para o tempo e também para a quantidade (Amorim 2018). A Figura 2.4 representa os três tipos do nível de serviço e a sua determinação através de um gráfico com os níveis de procura real e estimada.

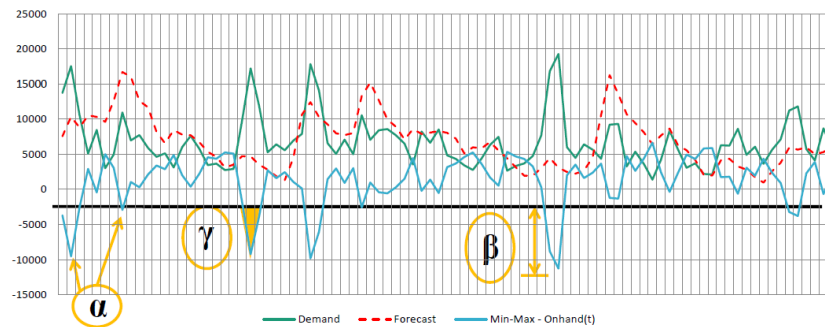


Figura 2.4: Diferentes medidas do nível de serviço. Fonte: Amorim (2018)

2.2 Transferências de Stock

As transferências de *stock* são um processo bastante utilizado por empresas que possuem vários centros de distribuição, como é o caso da empresa onde se realiza o projeto em causa. As transferências de *stock* referem-se à prática de mover *stock* de localizações, onde este esteja em excesso, para localizações com falta de *stock*. Estas localizações encontram-se no mesmo nível na cadeia logística. Este processo visa otimizar a gestão logística da empresa, ao reduzir tanto os custos de posse de *stock* na localização com excesso, como os custos de rotura de *stock* na localização com falta do mesmo (Naseraldin e Herer 2011). Na maioria das situações, as diversas localizações reabastecem-se a partir de um ou vários fornecedores comuns, contudo em casos em que a procura numa dada localização não pode ser coberta pelo *stock* atual existente, a possibilidade de transferência de *stock* torna-se atrativa, já que os custos de encomenda a fornecedores, normalmente superam os custos de transferências intra-empresa (Axsäter 2003). As transferências de *stock* podem ser vistas como uma forma de *pooling*, pois embora existam diversas localizações, cada uma passa a ter acesso ao inventário de todas as outras quando este é necessário, sendo uma forma de obter poupanças a nível de custos com *stock*, mantendo-se os níveis de serviço requeridos (Chen 2008).

Os tipos de transferências de *stock* existentes podem-se classificar em dois grandes tipos: transferências proativas e transferências reativas. As transferências proativas são utilizadas para distribuir *stock* entre as localizações em momentos temporais predefinidos, antecipando-se assim às encomendas. São planeadas em avanço, com o objetivo de equilibrar os *stocks* entre as localizações, de forma a minimizar os custos de manuseamento. Este tipo de custos é bastante importante

no setor do retalho e por isso, este tipo de transferências tem aqui grande utilidade. As transferências reativas respondem a situações em que uma das localizações tem, ou está em risco de ter rotura de *stock*, necessitando assim de *stock* de uma localização com *stock* suficiente para disponibilizar. Este tipo de transferência é adequado a ambientes com custos de transporte são reduzidos em relação aos custos de posse e de incumprimento de encomendas no imediato. São também apelidadas de transferências de emergência (Paterson et al. 2011).

Devido à flexibilidade que trazem às estruturas logísticas das empresas, as transferências de *stock* são um método bastante versátil e podem ser aplicadas nas mais diversas situações. Olsson (2010) estuda um modelo unidirecional de transferências, concluindo que numa rede com várias localizações, a realização de transferências entre todas não é factível, devido ao elevado grau de complexidade, sendo desejável a restrição a apenas algumas localizações-chave, com movimentos apenas unidirecionais. Por outro lado, Tagaras (1999), analisa um sistema com três localizações e conclui que os benefícios da transferências de stock para um sistema aumentam com o número de localizações. Deduz também que num sistema com *pooling* completo para todos os artigos, a política específica de transferências adotada, não tem influência significativa nos resultados globais do mesmo.

2.3 Métodos de Resolução

Visto que esta dissertação visa o desenvolvimento de um modelo matemático para auxiliar na implementação de políticas que otimizem o processo de gestão de *stocks* e o planeamento de transferências, são aqui brevemente descritas as técnicas mais utilizadas na resolução de modelos de planeamento no âmbito das cadeias de abastecimento.

2.3.1 Métodos Exatos de Otimização:

Um modelo matemático de otimização de um dado problema de negócio é o sistema de equações e expressões matemáticas relacionadas que descreve a essência do problema. Existem quatro componentes que caracterizam todos estes modelos: variáveis de decisão, que representam decisões quantificáveis cujos valores respetivos são determinados na resolução do modelo; função objetivo, que é a medida de performance do sistema, expressa sob a forma de uma função matemática constituída pelas variáveis de decisão; restrições, que representam todos os limites, sob a forma de expressões matemáticas, a que estão sujeitos os valores das variáveis de decisão; parâmetros, que são as constantes existentes nas expressões das restrições e função objetivo. O modelo poderá depois ser resolvido no sentido de maximizar ou minimizar a função objetivo (por exemplo, maximizar o lucro ou minimizar o custo total), sujeita às restrições definidas (Hillier e Lieberman 2001).

Os problemas de cadeias de abastecimento são cada vez mais complexos e extensos. Daqui advém a principal desvantagem associada aos métodos de otimização, que em modelos complexos e com elevadas quantidades de dados, requerem o uso de elevados recursos computacionais, ou podem até ser incapazes de resolver o modelo em tempo real (Lourenço 2005).

Existem vários exemplos na literatura do uso de métodos de otimização na gestão de *stocks*. Vicente, Relvas e Barbosa-Póvoa (2015) desenvolveram um modelo para a gestão de *stocks*, através de programação inteira mista, que otimiza o fluxo de produtos numa cadeia de abastecimento multi-nível, multi-produto e com um horizonte temporal multi-período. Bilgen e Günther (2010) construíram um modelo que integra o planeamento da distribuição e da produção, aplicado a uma empresa da indústria alimentar. Consideram diferentes modos de transporte, FTL (*Full Truck Load*) e LTL (*Less than Truck Load*), e descrevem o sistema de produção pela abordagem de *block planning* que define padrões cíclicos em relação às famílias de produtos considerados.

2.3.2 Métodos Heurísticos:

Uma heurística é um método de resolução que não garante o encontro de uma solução ótima, mas que geralmente tem uma boa performance em termos da qualidade e convergência (para o ótimo) da solução encontrada (Lourengo 2005).

Estes modelos são adequados em contextos em que a complexidade e tamanho dos modelos é elevada, em que o tempo e o custo necessários para o encontro de uma solução ótima poderá ser impraticável. Ultimamente, têm vindo a ser feitos grandes progressos no desenvolvimento de heurísticas eficientes e efetivas, incluindo o caso das meta-heurísticas, e por isso o seu uso tem continuado a aumentar. Dentro das meta-heurísticas, que têm vindo a ganhar protagonismo, os principais tipos (baseados em conceitos inovadores para guiar a pesquisa em direção à solução ótimas) são os seguintes: pesquisa tabu, que explora áreas promissoras para o encontro de soluções ótimas ao eliminar rapidamente áreas não promissoras, consideradas "tabu"; recozimento simulado, que conduz a pesquisa através de um processo análogo ao processo físico de recozimento; algoritmos genéticos, que se baseiam no conceito de sobrevivência do mais apto através de seleção natural. Estas meta-heurísticas também podem ser aplicadas para problemas de programação inteira não-linear (Hillier e Lieberman 2001).

Capítulo 3

Descrição da Situação Inicial

Neste capítulo é analisada a situação inicial na CPA (Cerealis Produto Alimentares), no que toca à sua operação logística, com especial foco na função de gestão de *stocks* e planeamento das transferências de *stocks* entre armazéns. São levantados os processos atuais em vigor e são apontadas as fragilidades existentes nos mesmos, que constituem pontos de melhoria. No final deste capítulo as principais limitações da operação atual são resumidas e consolidadas, de forma a introduzir a ferramenta de apoio ao planeamento da gestão de *stocks* e transferências, que é o foco principal desta dissertação. De notar que para alguns dos dados apresentados ao longo deste capítulo não serão usados os seus reais valores, tendo sido alterados por questões de confidencialidade da empresa. Contudo, esses valores mantêm a ordem de grandeza real, para que seja assegurada a fiabilidade dos resultados e mantida a validade das conclusões retiradas.

3.1 Classificação dos Produtos

Para melhor se perceber o processo de gestão de *stocks* da CPA é necessário conhecer a pormenor o tipo de produtos que são produzidos e comercializados pela empresa. As suas características são relevantes pois influenciam a forma como o processo de gestão de *stocks* é efetuado e os requisitos a ter em conta na operação logística. Assim, aqui é estudada a sua classificação. Atualmente, a CPA comercializa cerca de 160 artigos, distribuídos em cerca de 1100 SKUs. Para fins de organização interna, os produtos estão divididos em quatro famílias, já referidas anteriormente: massas, bolachas, farinhas de usos culinários e cereais de pequeno-almoço. Estes produtos foram analisados mais a fundo e daqui retirou-se que, para o ano de 2019, existem:

- Produtos com vendas e existências em stock;
- Produtos com vendas e sem existências em stock;
- Produtos sem vendas e com existências em stock;
- Produtos sem vendas e sem existências em stock.

Os casos em que existem produtos com vendas e sem existências em *stock* constituem uma anomalia e, por isso, identifica-se aqui uma oportunidade de melhoria na actualização da lista de

SKUs existentes, no sentido de harmonizar os dados. Após investigação, conclui-se que todos esses produtos pertencem à família das farinhas que, como são produzidas por outra das empresas do grupo, a CM, para serem comercializadas pela CPA têm de ser adquiridas a essa empresa (ao contrário dos restantes produtos que são produzidos pela CPA). Assim, estes produtos permanecem pouco tempo em armazém, desde que são comprados até serem vendidos e por isso, para muitos deles não são contadas existências em *stock* (por exemplo no caso de chegarem a um armazém e serem vendidos no mesmo dia).

A divisão por famílias constitui uma forma de classificação qualitativa, onde o único critério usado é o tipo de produto. O tipo de produto tem influência em certas características como a densidade do produto, que tem influência no peso por unidade de artigo, que por sua vez, influencia o peso por palete e a sobreposição permitidas das mesmas em camião. Este tema será abordado posteriormente na gestão de *stocks*, pois é um dos fatores que restringe a forma como o transporte de mercadorias pode ser efetuado.

Assim, identificou-se também a necessidade de criar uma forma de classificação quantitativa, que tenha em conta critérios mais relevantes para a gestão de *stock*. Essa classificação baseia-se na análise ABC, que é feita em função da rotação de *stock* de cada artigo. Subdividindo os produtos com base nesse critério, é possível designar políticas de controlo de *stock* específicas a cada categoria, de acordo com o seu impacto relativo para a operação da empresa, sendo esta outra oportunidade de melhoria para a gestão de *stocks*. A Tabela 3.1 resume os dois métodos de classificação:

Tabela 3.1: Classificação Qualitativa e Quantitativa dos Produtos

Família de Produto		ABC	
01	Massas	A	80% das vendas
03	Bolachas	B	15% das vendas
04	Farinhas	C	5% das vendas
05	Cereais	X	Com vendas e sem <i>stock</i>

A análise à distribuição por famílias de produto é apresentada na Figura 3.1, que explicita para cada família, o número de SKUs, o valor de vendas e a quantidade de vendas. Pode-se verificar que a maior família tanto em número de SKUs, como em valor e quantidade vendida é a das massas. Outra métrica calculada foi o preço unitário médio por cada família: €0,75 nas massas; €2,20 nas bolachas; €0,40 nas farinhas; €1,65 nos cereais. As bolachas são assim o produto com maior preço de venda e as farinhas com menor, o que explica a reduzida porção de valor de vendas das farinhas, quando comparado com a sua quantidade vendida bastante superior.

A classificação quantitativa baseada na análise ABC é apresentada na Figura 3.2. A análise efetuada foi semelhante à da classificação qualitativa e pode-se verificar que a categoria A, com apenas 21% do número de SKUs, gera a grande maioria das vendas, 78%. Esta é por isso uma boa aproximação à Lei de Pareto. Acumulando com a categoria B, tem-se que 39% dos artigos, geram 90% das vendas. Nota para a existência da categoria X, que foi criada devido ao facto de existirem produtos com vendas registadas, mas que no entanto nunca tiveram existências em *stock*. Como

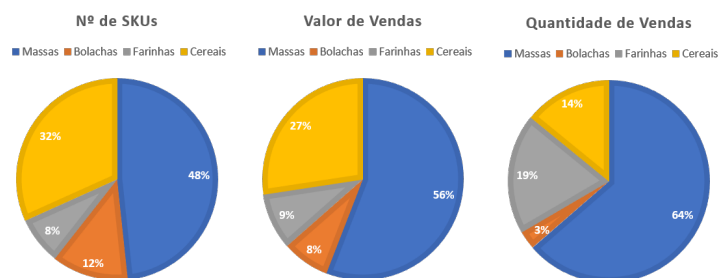


Figura 3.1: Análise à Classificação Qualitativa dos Produtos

já foi referido identificou-se que essa categoria corresponde a produtos da família das farinhas. O seu peso, quer em número de SKUs como em vendas, é inferior ao das farinhas, pois nem todas as farinhas se encontram nessa situação. Em relação aos artigos da categoria C, 35% destes não tiveram vendas nem existências em *stock* no ano anterior pelo que representam produtos obsoletos que a empresa já não produz, existindo aqui outro ponto de melhoria, na sua eliminação da lista de produtos da empresa.

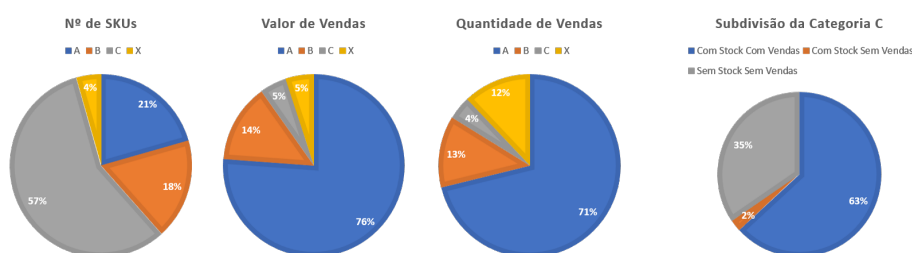


Figura 3.2: Análise à Classificação Quantitativa dos Produtos

3.2 Análise aos níveis de Stock

De forma a melhor compreender a situação inicial dos *stocks* da empresa, fez-se um estudo ao comportamento histórico do *stock* no ano de 2019, medido em número de paletes armazenadas, analisando-se as existências ao longo do período. Foram também calculados, para cada categoria das classificações descritas anteriormente, vários indicadores como a rotação de *stock*, os dias de *stock* e as existências em *stock*. Nestes cálculos foram excluídos os dias não úteis, por serem dias onde não se efetuam vendas (salvo ocasiões excecionais), e por isso também não é feito o controlo das existências em *stock*.

A Figura 3.3 mostra a evolução das existências em *stock* ao longo do ano em cada armazém e da ocupação média na Maia e na Trofa. Em relação aos armazéns, na Maia e na Trofa, as existências mantêm-se relativamente estáveis. Na Maia a ocupação média é de cerca de 65% (capacidade nominal de 14500 paletes), que sobe para 72% ao somar a ocupação com material de embalagem. Na Trofa a ocupação média é de cerca de 59% (capacidade nominal de 10700 paletes) para produtos e 77% ao acrescentar o material de embalagem. A ocupação da Trofa é

ligeiramente superior devido a maioritariamente só satisfazer encomendas de cereais (reduzindo a necessidade de capacidade vazia para fazer face à procura que é menos volátil), o que facilita a gestão da ocupação. No armazém externo em Leixões, a ocupação tem maior volatilidade, devido a este armazém absorver o excesso de capacidade dos dois armazéns próprios. A percentagem de capacidade desocupada nos armazéns da Maia e da Trofa é relativamente grande, fruto da política atual de gestão dos *stocks* armazenados, pelo que existe aqui outro ponto de melhoria no sentido de uma maior ocupação destes armazéns e consequente menor dependência do operador externo que tens elevados custos associados.

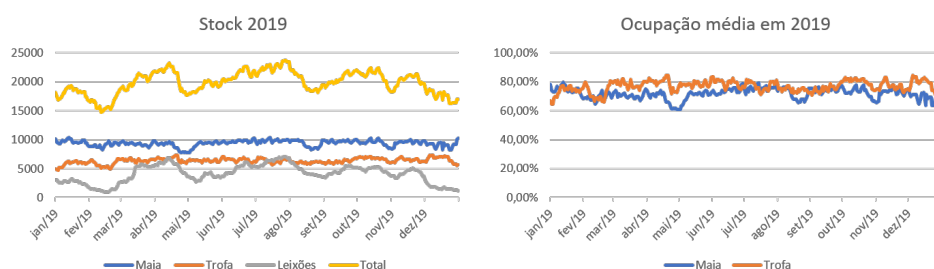


Figura 3.3: *Stock* em armazém no ano de 2019

A Figura 3.4 apresenta a análise ao *stock* por categoria das classificações concebidas. Em relação à classificação ABC, os produtos de categoria X e os de categoria C sem existências em *stock* ou vendas efetuadas foram removidos devido à impossibilidade de calcular a rotação e dias de *stock*. As conclusões a retirar seguem a mesma lógica da análise anterior, ou seja, a categoria A possui de longe o maior peso nas existências em *stock*, devido a representar também a grande maioria das vendas. A rotação de *stock* é maior na categoria A e menor na categoria C, o que é expectável já que o ritmo de vendas é superior na categoria A que gera a maioria das vendas e inferior na categoria C que representa uma minoria das vendas, com a categoria B num nível intermédio. Os dias de *stock* têm um comportamento inverso à rotação de *stock*, sendo inferiores na categoria A e superiores na categoria C, com a categoria B num nível intermédio. Na categoria C, o valor de dias de *stock* aumenta significativamente em relação às outras duas categorias, fruto das baixas vendas desta categoria, com níveis de produção relativamente elevados, que levam estes produtos a estarem parados em armazém durante muito tempo.

Em relação à classificação por família, na rotação de *stock* verifica-se que o rácio das farinhas é muito superior aos restantes, devendo ao facto de que esta família de produtos não é produzida pela CPA, mas sim pela CM em Lisboa, e por isso, só são transferidos para a CPA para responder às encomendas colocadas num futuro próximo, havendo em qualquer momento uma quantidade reduzida em armazém e que corresponde largamente às vendas a efetuar. Salta também à vista o facto de que a família dos cereais tem a grande maioria das existências em *stock* e também a menor rotação e maior número de dias em *stock*. Isto deve-se maioritariamente à natureza da operação do centro de distribuição da Trofa, que é onde se produzem os cereais e, por isso, o armazém é usado maioritariamente para os mesmos. Nos moldes atuais, grande parte da produção de cereais está a ser direcionada para *stock* e não para vendas, o que leva a um número de dias de *stock* bastante

elevado (cerca de 120 dias). Surge assim outro ponto de melhoria, no sentido de adequar esta gestão à realidade efetiva das vendas, para se libertar o capital gasto excessivamente na produção de cereais para outras atividades com maior valor para a empresa.

Em suma, conclui-se com esta análise a necessidade de adequar o inventário existente em *stock* às vendas que são efetivamente realizadas, alocando-se mais inventário às categorias com maior impacto nas vendas e retirando-se àquelas com menor impacto e que levam à existência de excessos de inventário inutilizado.

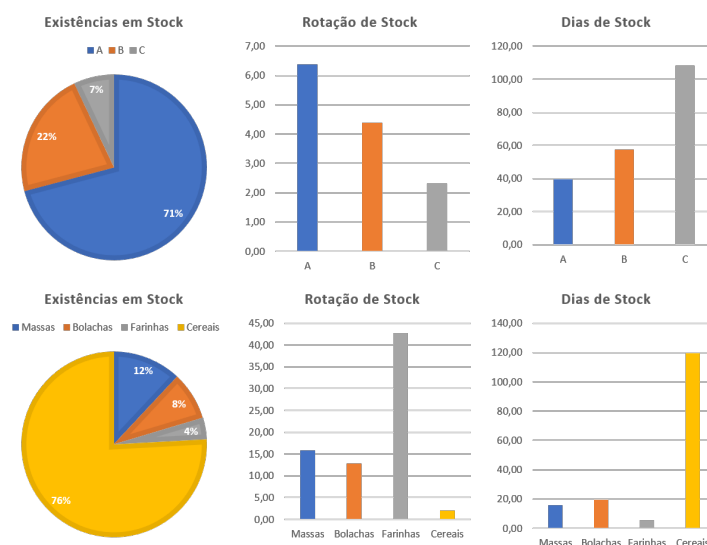


Figura 3.4: Análise ao *stock* por Família e ABC

3.3 Processo de Gestão de Stocks

No âmbito da operação logística da CPA, o processo de gestão de *stocks* insere-se no nível dos centros de distribuição e a relação entre estes e os centros de produção a montante e os clientes a jusante.

Do ponto de vista do produto, o processo de gestão de *stocks* pode ser dividido em dois subprocessos relacionados com o seu ciclo de vida: a receção em armazém e a transferência. A receção em armazém é responsável pelo produto depois da sua produção e tem como função receber o produto no armazém a que se destina e colocá-lo na sua posição atribuída, da forma mais eficiente possível, minimizando o custo da operação. Como a rede de distribuição da empresa é de apenas um nível, onde se inserem os centros de distribuição, não existe uma localização central para onde todo o *stock* produzido pudesse ser enviado. Assim, cada armazém recebe primariamente os produtos dos centros de produção associados: massas e bolachas na Maia (também armazena as farinhas, embora sejam produzidas fora da CPA) e cereais na Trofa. Por isso são necessárias as transferências, que é o subprocesso responsável por distribuir o produto pelos armazéns quando o *stock* existente já não é suficiente para as encomendas dos clientes que são colocadas. Desta forma, ocorre *pooling* de inventário e a gestão deste pode ser feita de forma comum a todos os centros de

distribuição, o que torna o processo mais eficiente, reduzindo as roturas de *stock* e incumprimento de encomendas.

As roturas de *stock* são um dos indicadores mais importantes para a empresa no contexto do seu serviço ao cliente, pois estas representam situações em que, por algum motivo, a encomenda do cliente não é entregue parcial ou totalmente. Têm por isso uma grande influência quer no nível de serviço ao cliente, como nos custos por perda de encomendas e por penalizações contratuais com clientes (muitos destes contratos têm níveis de serviço acordados). Na operação logística da CPA existem dois tipos de roturas de *stock*, roturas por falta de *stock* (roturas “convencionais”) e roturas por bloqueio pela Direção de Qualidade. O segundo tipo de roturas refere-se a defeitos nos produtos propriamente ditos, resultantes de defeitos no processo de fabrico. Por isso, estão fora da responsabilidade da Direção Logística e podem ser excluídas desta análise, representada na Figura 3.5. A percentagem mensal de roturas de *stock*, foi obtida pelo quociente entre a quantidade de *stock* em falta e a quantidade total encomendada, e varia entre 0,96% em março e 3,53% em dezembro. O valor percentual médio anual de roturas de *stock* foi de cerca de 2,37%. O valor é relativamente reduzido, contudo somado com outras causas que levam a que produto não seja entregue ao cliente (como as roturas por qualidade ou até atrasos nas entregas por parte dos transportadores), pode trazer problemas à empresa que não devem ser ignorados.

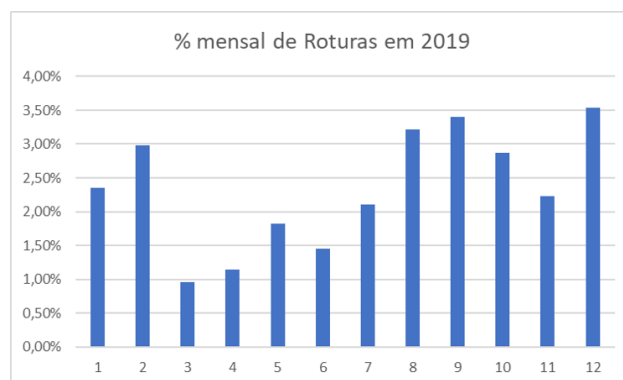


Figura 3.5: Roturas mensais de *stock* (em %) em 2019

Existem outros dois subprocessos que, embora fora do âmbito da gestão de *stocks*, são relevantes para a mesma devido a terem um impacto direto: a produção e a expedição de encomendas. A produção corresponde ao ato de produzir os produtos a comercializar pela empresa e é baseada em planos de produção que são feitos semanalmente, com base nas previsões de vendas mensais. A expedição é feita respeitando tanto o critério FIFO (*first in, first out*) como os prazos de validade dos produtos, para minimizar os níveis de *stock* obsoleto. O responsável pelo planeamento da expedição define a alocação ótima das paletes dentro dos camiões de modo a minimizar espaço vazio e também a sua rota, pois um mesmo camião pode servir até três clientes diferentes numa viagem. Escolhe também a empresa transportadora responsável pela expedição de cada encomenda, com base no preço por zona praticado por cada uma das transportadoras disponíveis. Este responsável é o mesmo que efetua a gestão das transferências, devido à grande semelhança entre estas operações e para assegurar a sincronização entre as encomendas e as necessidades de *stock* em armazém

consequentes.

Um critério importante na alocação dos produtos em camião para transporte (quer em transferências como em expedição) é a sobreposição. Tendo em conta as dimensões e o peso dos produtos e das paletes usadas pela empresa, num camião cabem no máximo 66 paletes, divididas em dois níveis de 33 paletes cada. Assim, torna-se vital saber quais os produtos que permitem a colocação sobre o mesmo, de uma paleta com produto. Se se sobrepor uma paleta sobre uma de um produto para o qual a sobreposição não for possível, existe um grande risco de danos na mercadoria durante o transporte. Isto traria custos à empresa e perda de reputação para com os clientes, sendo por isso uma situação a evitar.

A gestão de *stocks* é por isso, uma atividade feita de forma centralizada, que integra informações quer da produção, como das previsões de vendas, dos níveis de *stock* em cada armazém e também de serviço ao cliente que regista as encomendas a efetuar. As previsões de vendas são feitas trimestralmente, sendo depois atualizadas semanalmente com base em novas informações que vão chegando à medida que as encomendas dos clientes se materializam. Atualmente o objetivo da empresa é manter nos seus armazéns *stock* suficiente para cobrir 3 semanas de procura prevista. A produção e as transferências de *stock* entre armazéns são feitas para garantir tanto esse nível de cobertura de *stock*, como obviamente o nível de serviço alvo para a operação, que é de 95%. O nível de serviço considerado é do tipo 1 (α).

3.4 Operação dos Centros de Distribuição

Para compreender melhor o volume das operações de cada um dos centros de distribuição, de forma a complementar a análise aos níveis de *stock* em armazém em cada um destes centros, procedeu-se a um breve estudo ao historial da operação de expedição de encomendas para o mês de janeiro de 2020. O volume das operações foi medido através dos custos despendidos em transporte de mercadorias para clientes, pois maiores custos indicam um maior número de encomendas expedidas. Como o foco deste projeto está na redução de custos com a operação logística, faz sentido efetuar a medição através dos custos e não das receitas obtidas com as encomendas.

A Figura 3.6 descreve os resultados obtidos na análise, que foi feita para o mês de janeiro de 2020. Pode-se verificar que o CDM é aquele com a grande maioria da fatia dos custos de encomenda. Como estes custos são o somatório dos custos individuais de transporte por encomenda, pode-se dizer que o CDM é aquele com o maior volume de negócios, seguido do CDT e por último, o centro de distribuição de Leixões. Estes resultados são esperados devido à centralidade do CDM, que expede encomendas de todo o tipo de produtos, enquanto que o CDT se especializa principalmente em encomendas de cereais e Leixões serve mais como recurso para o armazenamento do que para satisfazer encomendas. Os níveis de *stock* analisados anteriormente também corroboram esta conclusão. A nível das quantidades vendidas o CDM tem uma maioria ainda maior que no custo das encomendas, indicando custos de encomenda mais baratos. Os custos de transporte variam por zona e aumentam com a distância. Logo os custos mais baixos na Maia devem-se ao facto de que, em média, os clientes que encomendam a partir daqui estejam

mais próximos deste centro de distribuição do que no caso das encomendas nos restantes centros de distribuição.

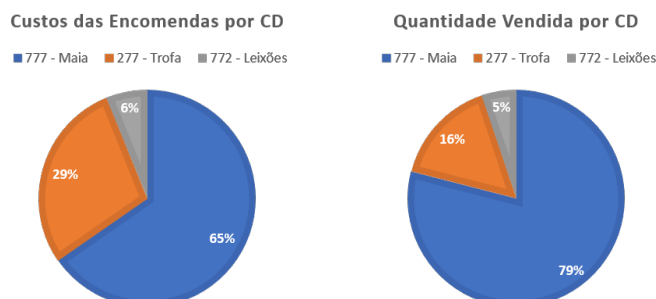


Figura 3.6: Custos e quantidade vendida por CD em janeiro de 2020

Além desta análise, foram também estudados individualmente os custos do armazém externo de Leixões. Devido a ser uma armazém de uma empresa externa, existem custos adicionais de operação para a CPA. Esses custos estão divididos em três rubricas: um custo por palete que entra / sai no armazém; um custo por cada transporte efetuado de / para o armazém; um custo de armazenagem semanal por palete.

Para o mês de janeiro de 2020, a operação deste armazém teve um custo para a CPA de cerca de 6,4% dos custos totais com encomendas, sendo um pouco superior aos custos de encomendas deste armazém (6% do total). Este custo não deve ser por isso ignorado e é também importante na avaliação das alterações a fazer à situação atual. Além disso, este tipo de custos não existe para o CDM e o CDT pois são armazéns próprios e já totalmente amortizados, embora existam custos com o pessoal e de manutenção, que são excluídos da análise por estarem fora do âmbito do projeto.

3.5 Processo de Transferências de *Stock*

As transferências realizam-se entre qualquer um dos três armazéns pertencentes à rede de distribuição da CPA: os armazéns próprios da Maia e Trofa e o armazém de Leixões do operador logístico externo. Como existe a possibilidade de colocação de encomendas de todas as famílias de produtos em todos os armazéns, quando não há *stock* suficiente para satisfazer uma determinada encomenda num dado armazém, é necessária uma transferência. Também são realizadas transferências quando há excesso de *stock* nos armazéns da Maia e da Trofa, sendo necessário mover esse *stock* para o armazém externo em Leixões.

O planeamento das transferências é realizado pelo mesmo responsável pelo planeamento da expedição de encomendas, devido à similaridade entre os dois processos. Em ambos os processos as encomendas são preparadas no armazém com antecedência, para que o carregamento seja efetuado o mais rápido e efetivo possível assim que o camião designado chegue à zona de expedição. O planeamento das transferências é efetuado diariamente, após ser concluído o planeamento das encomendas. Atualmente, este planeamento é feito de forma manual pelo operador, ocupando

cerca de 25% do seu tempo diário de trabalho. Existem dois tipos de transferências que são efetuadas atualmente na operação logística da empresa: transferências devido a falta de *stock* para encomendas (entre todos os armazéns) e transferências por excesso de *stock* em armazém (com destino ao armazém externo).

A única ferramenta de auxílio ao operador neste processo é um ficheiro *Excel*, que calcula para cada produto em cada armazém a diferença entre o *stock* existente nesse armazém (descontando paletes bloqueadas e inválidas devido a ser ultrapassado o limite de validade dos produtos) e as quantidades encomendadas semanais. Se a diferença for negativa é necessária a reposição da diferença de *stock* por transferência. A decisão sobre qual o armazém que irá repor o *stock* necessário é da responsabilidade do operador, sendo assim um processo *ad-hoc* e sem critérios uniformizados. Além disso, se não houver *stock* disponível para a reposição nos outros armazéns, o operador pode decidir adiar ou até cancelar a encomenda. Esta decisão é feita tendo em conta a importância do cliente para a empresa, sendo assim, mais uma decisão feita de forma subjetiva.

Daqui pode-se retirar que, excluindo as transferências por excesso de *stock*, as transferências efetuadas atualmente pela CPA são apenas do tipo transferência reativa, pois só são efetuadas para responder a faltas de *stock* e evitar roturas. Por vezes é até impossível evitar as roturas de *stock*, que ocorreram em cerca de 2,37% das encomendas em 2019. A incorporação de uma estratégia proativa, ajudaria a diminuir o número de roturas verificado. Além disso, o planeamento das transferências não é feito de forma uniformizada e depende muito da capacidade do operador responsável, o que dificulta significativamente o seu trabalho. Por isso reside aqui um ponto de melhoria para a gestão das transferências, na otimização do seu processo de planeamento.

O transporte de cada encomenda é efetuado por uma das quatro empresas transportadoras parceiras da CPA. O operador escolhe para cada encomenda, um transportador com base no preço que este pratica para a zona de destino da encomenda em questão, de forma a minimizar os custos de transporte. As zonas definidas pela empresa cobrem Portugal Continental e também Espanha. Nas zonas da Região Norte de Portugal a empresa tem uma exclusividade contratual definida para com uma das transportadoras, que é a mesma empresa que opera o armazém externo de Leixões. Como os armazéns entre os quais são realizadas as transferências se localizam na Região Norte, o transporte é sempre efetuado pelo operador logístico externo.

Com o objetivo de medir a situação inicial das transferências, foram calculados os custos da operação para cada armazém para o mês de janeiro de 2020, podendo ser visto na Tabela 3.2 um resumo das transferências por armazém de origem e de destino. As percentagens referem-se à quantidade transferida entre os armazéns considerados. Como se pode verificar, em relação ao destino das transferências, a grande maioria (66%) destina-se ao armazém de Leixões. Como este armazém é de longe aquele onde menos encomendas são colocadas (não sendo comum ter falta de *stock* para encomendas), isto deve-se ao facto de se realizarem transferências do *stock* em excesso dos armazéns da Maia e da Trofa. Assim, a maioria das transferências não se devem à resposta a encomendas futuras, mas sim a excessos de *stock* nos armazéns próprios, sendo por isso uma operação que não acrescenta valor à empresa e serve maioritariamente para cobrir as ineficiências da gestão de *stocks* atual.

Em relação à origem das transferências a maioria destas (62%) provêm da Trofa. Além disso, o destino das transferências deste armazém é maioritariamente o armazém de Leixões (45%). Aliando-se ao facto de que os produtos da família dos cereais (produzidos na Trofa e armazenados também aí maioritariamente) são aqueles com maiores existências médias em *stock*, conclui-se que estas transferências são realizadas para libertar *stock* em excesso do armazém da Trofa. As transferências com origem em Leixões são bastante reduzidas (3%) já que, devido aos custos com a operação deste armazém, o *stock* só é enviado para aqui como recurso das ineficiências dos armazéns próprios. Assim, enviar de volta *stock* deste armazém para os restantes, é uma atividade contraproducente e acarreta custos elevados que devem ser evitados.

Tabela 3.2: Transferências por origem e destino em janeiro de 2020

Origem / Destino	777 - Maia	277 - Trofa	772 - Leixões	Total
777 - Maia	—	14%	21%	35%
277 - Trofa	17%	—	45%	62%
772 - Leixões	2%	1%	—	3%
Total	19%	15%	66%	100%

Nos moldes atuais, em que as transferências são maioritariamente usadas para movimentar excesso de *stock*, estas acabam por trazer custos elevados à empresa devido ao modelo contratual acordado com o operador logístico externo, que foi explicitado anteriormente. O facto do planeamento ser efetuado de forma manual, leva também a que o potencial das transferências não seja aproveitado completamente, pois leva a que estas só sejam realizadas como reação a situações de emergência.

3.6 Limitações atuais da Gestão de *Stocks* e Transferências

Ao longo deste capítulo foram caracterizados os processos inerentes à operação logística da empresa, relacionados com a gestão de *stocks* e transferências. Foram também identificadas as principais falhas ou pontos de melhoria nesses processos.

Como foi referido anteriormente, uma dos pontos a ter em atenção é a lista de produtos comercializados pela empresa. Esta encontra-se atualmente desatualizada, contendo ainda alguns produtos que já foram descontinuados pela empresa. É uma melhoria de fácil execução, com exceção da atualização da lista de sobreposição permitida para cada produto. Essa lista não contém uma percentagem significativa dos produtos comercializados atualmente e que foram lançados nos últimos anos. Também inclui produtos que já foram descontinuados. A sobreposição é uma propriedade que depende de vários fatores, como o peso, a densidade ou o formato do produto, havendo grandes diferenças até entre produtos da mesma família. A sua importância para o processo de expedição, torna-la assim num fator a ter em conta nesta atividade de atualização.

Outra limitação identificada depreende-se com o facto de que a gestão de *stocks* atual não diferenciar os produtos tendo em conta a sua importância para a operação da empresa, aplicando-se

as mesmas políticas de gestão idênticas em todos os produtos. Atualmente os níveis de *stock* existentes não se adequam à procura efetiva pelos mesmos, como se pôde verificar anteriormente nas Figuras 3.1 e 3.4. Os cereais possuem a maioria das existências em armazém, mas as massas são os produtos que representam a maioria das vendas. Além disso, os níveis de *stock* são excessivos para grande parte dos produtos da empresa, refletindo-se em taxas de cobertura superiores ao objetivo de 3 semanas (15 dias úteis), como se pode ver na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Taxa de cobertura em 2019 por família de produto

Taxa de cobertura [dias]	Massas	Bolachas	Farinhas	Cereais
Valor médio em 2019	15,8	19,6	5,9	119,7
Valor alvo	15	15	15	15
Desvio do alvo	+0,8	+4,6	-9,1	+104,7

De forma geral, a taxa de cobertura em 2019 foi superior ao valor alvo, com exceção no caso das farinhas. O caso mais significativo ocorre para os cereais, onde o valor atual é superior em cerca de 105 dias ao valor alvo. Estas taxas de cobertura representam assim um problema a nível financeiro, devido ao elevado nível de capital utilizado na consituição de *stocks* que se encontram parados em armazém. É também um problema a nível logístico, pois existem produtos a ocupar uma parte significativa dos armazéns (caso dos cereais) que poderia ser utilizada para produtos com maior procura (caso das farinhas). Elevados níveis de *stock* tornam a operação logística inflexível a lidar com a variabilidade inerente às encomendas dos clientes. Isto motivou a proposta de uma classificação quantitativa para os produtos, com base na análise ABC, pois a categorização dos produtos, é importante para que se consiga modelar as políticas de gestão de *stocks* com base nas características de cada conjunto de produtos. Assim, podem aplicar-se políticas de revisão dos níveis de *stock* para cada categoria de produtos. Por exemplo, produtos de categoria A ou B, como representam a maioria das vendas podem ser monitorizados de forma mais rigorosa, com uma política de revisão contínua. Para os produtos de categoria C, uma política de revisão periódica, que exige menos esforço de gestão será suficiente.

Por fim, outra das grandes limitações é a forma como é feito atualmente o planeamento das transferências entre armazéns. Este é um processo feito de forma manual pelo operador, que não está por isso uniformizado e a sua eficiência depende inteiramente da capacidade do operador. Além disso, a informação acerca dos produtos (e quantidade respetiva) pedidos numa dada encomenda apenas existe em formato físico (papel), não estando integrada com as informações disponibilizadas pelo ERP da empresa, sobre os níveis de *stock* em armazém. Isto dificulta a tarefa de alocação dos produtos a cada armazém, para evitar as roturas de *stock*, sendo bastante dispendioso a nível do tempo de trabalho do operador, que precisa de ter consigo todas as folhas com as encomendas semanais para fazer o planeamento. A única ferramenta de apoio é um ficheiro *Excel* que sugere as quantidades a movimentar com base na taxa de cobertura de *stock* alvo. Por isso, uma ferramenta de otimização que auxilie este processo de planeamento teria o potencial de trazer melhorias significativas para o mesmo.

Assim, tendo em conta estas limitações, surge o principal objetivo desta dissertação que é desenvolver uma ferramenta que permita, por um lado, estudar a implementação de políticas de revisão de *stock* que otimizem o processo atual de gestão de *stocks* e, por outro lado, apoiar e simplificar o planeamento das transferências. A ferramenta será baseada num modelo de programação inteira, com o intuito de otimizar a alocação de *stock* entre os armazéns e o *timing* de realização de transferências, de forma a minimizar os custos da operação logística. As políticas de revisão serão estudadas através de cenários baseados no modelo mencionado e pretendem diminuir os níveis de *stock*, sem que se afete o nível de serviço e a qualidade esperada pelo cliente. Esta é uma opção de fácil implementação para a empresa, que não acarreta elevados custos nem causa grande disrupção na operação logística.

Capítulo 4

Modelo de Otimização da Gestão de *Stocks* e Transferências

Neste capítulo é descrito o modelo matemático desenvolvido para otimizar o processo atual de planeamento da gestão de *stocks* e transferências na CPA. Originalmente, este modelo seria integrado na plataforma de apoio à operação logística da empresa, contudo com o contexto atual de pandemia, surgiram complicações para ambas as empresas envolvidas no projeto, o que levou a que a implementação da plataforma fosse adiada. Assim, este projeto foi alterado de forma a servir como suporte para o processo futuro de implementação do módulo de gestão de *stocks* e transferências da plataforma, ao sugerir as melhores políticas de gestão de *stocks* a adotar. O modelo foi desenvolvido com base nos requisitos decorrentes das especificidades da operação logística da CPA.

Este modelo é de natureza matemática e por isso, são feitas algumas simplificações dos requisitos reais da operação, para que a complexidade do processo de testagem se mantenha em níveis razoáveis. O objetivo da empresa é minimizar os custos relacionados com o stock e as transferências entre armazéns, ao mesmo tempo que se mantém o nível de serviço estipulado para com os clientes. Deste modo, o modelo determina para cada período o número de paletes de produto que devem ser movidas entre armazéns, para cumprir com as encomendas dos clientes e evitar roturas de *stock*.

4.1 Definição do Modelo

O modelo desenvolvido e que é aqui apresentado corresponde a um modelo de programação inteira mista e utiliza a função objetivo definida pela equação (4.1), limitada pelas restrições expressas pelas equações (4.7) a (4.6). Este modelo é por isso baseado em metodologias de otimização exata, mais concretamente de programação matemática. A escolha foi feita pelo facto de que estas metodologias são simples e de fácil implementação (comparando com métodos heurísticos) e pelo modelo ser relativamente pouco complexo, o que permite obter soluções ótimas em

períodos de tempo úteis. Os modelos de Vicente, Relvas e Barbosa-Póvoa (2015) e de Bilgen e Günther (2010) foram tidos como referência no desenvolvimento deste modelo.

O modelo abrange os três armazéns da operação logística da CPA (Maia, Trofa e Leixões) e também os seus centros de produção que abastecem esses armazéns. Abrange também todos os clientes que colocam encomendas nesses armazéns, cerca de 1100 SKUs das quatro famílias de produtos comercializadas pela empresa (produto acabado) e o parceiro logístico responsável pelas transferências entre os armazéns. Este é portanto um modelo matemático multi-produto e multi-período, que representa os aspetos essenciais da operação de gestão de *stocks* e transferências. As transferências podem ocorrer entre qualquer um dos três armazéns envolvidos na operação logística da empresa. Também ocorrem movimentos da fábrica para os armazéns com a quantidade produzida que é destinada a estes.

Foram feitas algumas adaptações ao modelo, em relação aos modelos em que este se baseia, de forma a adequá-lo à realidade da operação logística da CPA. O planeamento é direccionado para o curto prazo, por isso o horizonte temporal considerado é de um mês, dividido em períodos de um dia, existindo por isso 20 períodos (número de dias úteis em dezembro de 2019, que é o mês considerado). A escolha deste horizonte temporal, deveu-se ao facto de que a coordenação dos fluxos de produtos entre localizações é uma atividade realizada diariamente e está sujeita a mudanças constantes devido à variabilidade inerente à operação logística. O conceito de *lead time* não é tido em conta no modelo. Devido à proximidade entre os armazéns, todas as transferências são concluídas no próprio dia e por isso o *lead time* de transferência é desprezável. Em relação à produção, o que é produzido num dado dia, também entra em armazém no mesmo dia. Contudo, o planeamento da produção é feita à escala semanal, sendo que o que é produzido numa semana, foi planeado na semana anterior.

Também não é tido em conta no modelo o custo de transporte de encomendas para clientes, porque a expedição encontra-se fora do âmbito da gestão de stocks e transferências, mas sim da gestão de encomendas (ambas são funções da distribuição que é parte da operação logística).

A notação utilizada está expressa na Tabela 4.1.

4.1.1 Pressupostos do modelo

Desenvolver um modelo que seja uma cópia perfeita do processo real, seria não só praticamente impossível, como também traria um nível de complexidade muito elevado. Isso teria um grande efeito negativo na sua performance, tanto nos testes feitos no projeto, como no seu eventual uso no quotidiano, pois o modelo seria bastante pesado para o equipamento onde fosse executado, com tempos de execução muito longos. Por isso são feitas simplificações que o tornem menos complexo e mais sólido do ponto de vista matemático. As simplificações devem ser feitas através de uma análise rigorosa, para que as aproximações não afastem muito o modelo do funcionamento real do processo e não afetem a validade dos resultados obtidos.

Unidade de trabalho:

A unidade mais elementar com que se trabalha neste modelo é a paleta de produto e não a unidade individual de produto. A justificação para isto é de natureza prática, já que as operações

Tabela 4.1: Notação do modelo

Índices	
i	índice das localizações, $i=\{1,2,\dots,I\}$
j	índice dos armazéns de origem num movimento, $j=\{1,2,\dots,I\}$
k	índice dos armazéns de destino num movimento, $k=\{1,2,\dots,I\}$
t	índice do período de tempo [semana], $t=\{1,2,\dots,T\}$
p	índice dos produtos, $p=\{1,2,\dots,P\}$
Variáveis de Decisão	
$SD_{i,t,p}$	stock disponível do produto p no armazém i no período t [UN]
$X_{j,k,t,p}$	stock transferido do produto p do armazém j para o armazém k no período t [UN]
$E_{k,t,p}$	variável binária; 1: se se realiza movimento do produto p para o armazém k no período t ; 0: caso contrário
Parâmetros	
$d_{i,t,p}$	procura do cliente pelo produto p no armazém i no período t [UN]
$qp_{k,t,p}$	quantidade produzida do produto p recebida pelo armazém k no período t [UN]
$cp_{i,p}$	custo unitário de posse do produto p no armazém i [€/UN]
pv_p	preço unitário de venda do produto p [€/UN]
$si_{i,p}$	stock inicial do produto p no armazém i [UN]
$ss_{i,p}$	stock de segurança do produto p no armazém i [UN]
$cvt_{j,k}$	custo por unidade transferida do armazém j para o armazém k [€/UN]
$ctc_{k,p}$	custo fixo por transferência de produto p para o armazém k [€]
ca_i	capacidade de armazenamento do armazém i [UN]
sl	nível de serviço da operação
ct	custo total do sistema [€]
m	número positivo elevado

na empresa, como a produção, o armazenamento ou a expedição são feitas à base desta unidade. Uma paleta é constituída por caixas, que por sua vez são constituídas pelas unidades individuais de produto. Os valores que esta unidade toma são sempre inteiros. Contudo existe uma exceção no processo real, pois em encomendas de pequenas dimensões para certos clientes, é necessário fazer *picking* o que leva à constituição de paletes incompletas e com vários produtos diferentes, o que leva à existências de valores não inteiros de paletes. No modelo não é considerada esta situação e as quantidades não inteiras que possam existir são aproximadas para valores inteiros. Por isso, cada paleta é considerada como sendo completa (preenchida na totalidade) e constituída por apenas um produto. Em alguns dos dados disponíveis a unidade de medida é a quantidade em quilogramas de produto. Para efeitos de harmonização de dados, essas medidas foram convertidas para paletes de produto através dos dados disponíveis acerca do peso por paleta para cada produto.

Produtos considerados:

Se todos as SKUs individuais fossem consideradas separadamente no modelo, a complexidade gerada seria muito elevada e tornaria o processo de execução excessivamente longo e pesado a nível computacional. Uma das alternativas pensadas seria escolher, por exemplo, os 20 produtos com mais procura, já que estes representariam uma percentagem significativa das vendas. Con-

tudo, o modelo teria de sofrer alterações, como no caso da restrição da capacidade dos armazéns, pois só faz sentido considerar a capacidade total se se considerar todos os produtos. Assim, o processo de testagem considera apenas 4 produtos, um correspondente a cada família de produto, em que a procura e nível de *stock* inicial de cada um corresponde à agregação da procura e nível de *stock* inicial de todos os produtos dessa família no armazém em questão. Esta decisão foi tomada principalmente pela diminuição na complexidade do modelo, mas por outro lado também permite que se tenham em conta todos os produtos no modelo (a nível de quantidades de *stock* e de procura), facilitando as comparações com a situação real.

Estado físico das paletes:

Outra situação que na realidade também leva à existência de paletes incompletas é a existência de danos ou deterioração das paletes, que afetam o seu estado físico. No modelo, esta situação não é considerada, assumindo-se que o manuseamento é feito de forma ideal e a deterioração como inexistente.

Roturas de *stock*:

Na situação real da operação, nem sempre é possível garantir a existência de níveis de *stock* suficientes para abastecer uma dada encomenda de um cliente. O esforço quer a nível de gestão quer a nível de custos pode ser demasiado elevado para garantir uma satisfação perfeita das encomendas. Quando isso acontece, está-se perante uma rotura de *stock* e a encomenda tanto pode ser adiada para um período em que haja *stock* suficiente, ou então é simplesmente cancelada. Com o modelo aqui desenvolvido, não é possível ocorrerem roturas de *stock*, já que o objetivo é chegar-se a soluções ótimas em que todas as encomendas sejam satisfeitas na sua totalidade. Além disso, considerar a possibilidade de não satisfazer totalmente a procura, também acrescenta um elevado grau de complexidade ao problema, ao adicionar uma nova variável de decisão, na forma da quantidade procurada que é satisfeita e também ao adicionar um novo tipo de custo, que seria o custo de venda perdida. Por isso, optou-se por não ter em conta a possibilidade desta situação no desenvolvimento do modelo. Assim, o nível de serviço alvo da operação apenas terá impacto na definição dos *stocks* de segurança e níveis de referência para encomenda, descritos mais à frente na definição dos cenários.

Colocação de encomendas por parte dos armazéns:

Num modelo clássico de gestão de *stocks*, quando necessita de *stock* uma empresa coloca uma encomenda a um dado fornecedor (ou a um membro da empresa num nível superior da cadeia de abastecimento), numa dada quantidade. Como a CPA é uma empresa que produz os produtos que comercializa (à exceção das farinhas), não coloca encomendas destes a fornecedores. Como o modelo se foca na gestão de *stocks* e transferências, que é referente ao nível dos armazéns na cadeia de abastecimento da empresa, considera-se as fábricas (referentes à operação de produção) como sendo fornecedores da operação logística, que lhes coloca encomendas quando assim o necessita. Também relativo às encomendas de produção, é o facto de não se considerar os camiões que efetuam o seu transporte, pois as fábricas estão associadas aos armazéns e como tal o transporte é efetuado por camiões próprios da empresa. Este transporte é designado por *vaivém* e está fora do

âmbito da gestão de *stocks* e transferências. As fábricas são consideradas como sendo apenas uma só neste modelo, representando também uma localização do modelo, para além dos armazéns.

4.1.2 Função Objetivo

O principal intuito do modelo é minimizar o custo total do sistema, ou seja, da função de gestão de *stocks* e transferências da operação logística da empresa. O custo total é expresso pela função objetivo expressa na equação (4.1).

$$\min \quad ct = \sum_i \sum_t \sum_p c_{pi,p} \cdot SD_{i,t,p} + \sum_j \sum_k \sum_t \sum_p cvt_{j,k} \cdot X_{j,k,t,p} + \sum_j \sum_k \sum_t ct_{ck,p} \cdot E_{k,t,p} \quad (4.1)$$

O custo total subdivide-se em três componentes. Inclui os custos de posse de inventário que representam os custos associados com o armazenamento de produto que, no final de um dado período, se encontram armazenados num dado armazém. Inclui ainda o custo de transferências, que decorre dos movimentos de produto entre armazéns e da fábrica para os armazéns, subdividido entre o custo variável decorrido com cada unidade transferida e o custo fixo cobrado pela empresa transportadora pela realização de cada transferência. Na Figura 4.1 pode-se ver uma representação esquemática da parcela da cadeia de abastecimento considerada no modelo.

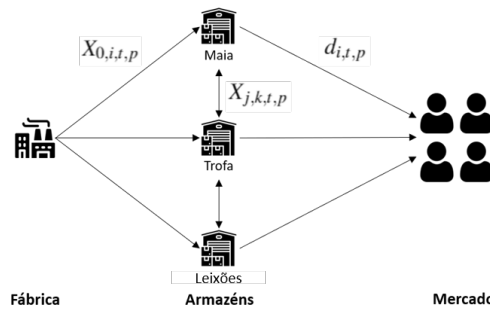


Figura 4.1: Representação esquemática da cadeia de abastecimento

4.1.3 Restrições do modelo

Para tornar a formulação matemática do modelo mais próxima da realidade e dar mais credibilidade aos resultados, é necessário estabelecer algumas restrições que são agora explicitadas.

Stock em armazém:

O nível de *stock* em armazém de um dado produto num dado período de tempo é igual à quantidade existente desse produto no período anterior, mais a quantidade que entra no armazém no período, proveniente de produção ($X_{0,i,t,p}$) e de transferências dos outros armazéns ($X_{j,i,t,p}$, com i a ser um armazém de destino k), menos a quantidade que sai, tanto por encomendas de clientes ($d_{i,t,p}$), como por transferências para outros armazéns ($X_{i,k,t,p}$, com i como armazém de origem j). De notar que para o período de tempo inicial ($t = 1$), o nível de *stock* existente do produto no

período anterior é dado pelo *stock* inicial do produto no armazém ($SD_{i,t,p}$).

$$\begin{aligned}
 t = 1 : \quad & SD_{i,t,p} = si_{i,p} + X_{0,i,t,p} - d_{i,t,p} - \sum_k X_{i,k,t,p} + \sum_j X_{j,i,t,p} \\
 t \neq 1 : \quad & SD_{i,t,p} = SD_{i,t-1,p} + X_{0,i,t,p} - d_{i,t,p} - \sum_k X_{i,k,t,p} + \sum_j X_{j,i,t,p}, \\
 \forall \quad & i, j, k \in \{1, 2, \dots, I\}, \quad j \neq k, \quad t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad p \in \{1, 2, \dots, P\}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Capacidade de armazenamento:

Uma restrição importante prende-se com a capacidade máxima dos armazéns, que constitui um limite físico real ao número de paletes de produto que podem ser armazenadas num dado período nesse armazém. De notar que essa restrição apenas está presente nos armazéns próprios da empresa (Maia e Trofa). No armazém externo (Leixões), além da CPA outras empresas que trabalham com a empresa externa também armazenam aí os seus produtos. Não existe um limite de ocupação permitida para a CPA, acordado com a empresa externa, sendo a gestão da capacidade desse armazém da inteira responsabilidade dessa empresa.

$$\sum_p SD_{i,t,p} \leq ca_i, \quad \forall \quad i \in \{1, 2, \dots, I\}, \quad t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad p \in \{1, 2, \dots, P\} \tag{4.3}$$

Quantidade movimentada numa dada transferência:

Uma dada transferência de um armazém j para um armazém k é constituída pelo somatório de todas as quantidades movimentadas de cada produto individual nessa direção ($X_{j,k,t,p}$). A mera existência dessas quantidades a movimentar não implica a realização da transferência, pois esta tem também que cumprir outros critérios. Assim, a equação (4.4) significa que se o movimento de um dado produto não se realizar ($E_{k,t,p} = 0$), as quantidades movimentadas desse produto serão nulas. Por outro lado, se o movimento se realizar, as quantidades movimentadas poderão existir e têm apenas de ser inferiores ao limite superior dado pela constante m , que é igual a um valor suficientemente grande para permitir qualquer que seja a quantidade movimentada. De notar que não é considerado nenhum limite máximo de carga movimentada numa transferência (além do parâmetro m), já que o transporte é subcontratado a empresas externas. Assim, a gestão desta atividade é da responsabilidade dessas empresas, que definem o número de camiões que devem alocar a cada movimento.

$$\begin{aligned}
 X_{0,k,t,p} + \sum_j X_{j,k,t,p} & \leq m \cdot E_{k,t,p}, \quad \forall \quad j, k \in \{1, 2, \dots, I\}, \quad j \neq k, \\
 t & \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad p \in \{1, 2, \dots, P\}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Stock de segurança:

De forma a minimizar o risco de rotura na operação logística, o nível de *stock* disponível de cada produto em cada período num dado armazém, tem de ser igual ou superior ao valor estipulado do *stock* de segurança desse produto nesse armazém no período em questão.

$$SD_{i,t,p} \geq ss_{i,p}, \quad \forall \quad i \in \{1, 2, \dots, I\}, \quad t \in \{1, 2, \dots, T\}, \quad p \in \{1, 2, \dots, P\} \tag{4.5}$$

Quantidade recebida por produção:

A quantidade produzida é representada pelas transferências com origem na fábrica e destino em qualquer um dos armazéns k . Assim essa quantidade transferida terá de ser igual à produção do produto em questão, destinada ao armazém em questão, durante essa semana. Este horizonte temporal é considerado devido ao facto de que a produção ocorre à escala semanal. Esta restrição é incluída para representar a gestão de *stocks* atual da empresa, em relação aos níveis de *stock* mantidos em armazém.

$$X_{0,k,t,p} + X_{0,k,t+1,p} + X_{0,k,t+2,p} + X_{0,k,t+3,p} + X_{0,k,t+4,p} = qp_{k,t,p}, \quad \forall \quad k \in \{1, 2, \dots, I\}, \quad (4.6)$$

$$t \in \{1, 6, 11, 16\}, \quad p \in \{1, 2, \dots, P\}$$

Domínio das variáveis de decisão:

Para garantir a integridade do modelo, é necessário definir o domínio da variáveis de decisão. Estas variáveis apenas devem assumir valores não negativos e inteiros, excetuando a variável $E_{k,t,p}$ que é binária e por isso apenas assume os valores 0 e 1.

$$SD_{i,t,p}, \quad X_{j,k,t,p} \geq 0 \quad e \quad \in \mathbb{Z} \quad (4.7)$$

4.2 Modelações Alternativas

O modelo descrito na secção anterior, representa o funcionamento da operação logística na sua situação inicial. A sua formulação foi feita no sentido de tornar o modelo o mais fiel possível à situação real, mediante algumas aproximações e simplificações que tiveram de ser efetuadas devido a falta de dados ou para manter a complexidade do modelo em níveis aceitáveis.

Com o objetivo de otimizar a colocação de encomendas ao departamento de produção e as transferências realizadas entre armazéns foram concebidas duas modelações alternativas, inspiradas em políticas de revisão periódicas e contínuas, respetivamente. Para acomodar a gestão de *stocks* e transferências a essas políticas são necessárias algumas alterações à formulação do modelo inicial, que são apresentadas nesta secção. Por exemplo, a restrição (4.6), referente à quantidade produzida, é removida nas duas modelações, em resultado da diferente gestão de *stocks* realizada. De notar que ambos os casos não refletem exatamente políticas de revisão periódica ou contínua, são apenas modelos inspirados nas mesmas de forma a aproximar o funcionamento da operação a estas. Por exemplo, no caso da modelação baseada na revisão contínua, a monitorização dos níveis de *stock* não é estritamente constante, mas sim diária, o que na verdade a torna em revisão periódica. É apenas considerada como revisão contínua pelo facto de que a unidade temporal de base nestes modelos é o dia.

4.2.1 Modelo inspirado na Revisão Periódica

Como foi explicitado no Enquadramento Teórico com uma política de revisão periódica o nível de *stock* é verificado em intervalos regulares fixos temporalmente. Se no momento de revisão, o nível de *stock* se encontrar abaixo de um nível de referência predeterminado, é colocada uma encomenda para elevar o nível de *stock* existente até ao nível de referência. Por isso, esta é uma política de encomendas em quantidades variáveis, em intervalos de tempo fixos. Foi adicionado

o parâmetro $srp_{k,p}$ que representa o nível de *stock* de referência do produto p no armazém k e a variável de decisão $QM_{k,t,p}$ que se refere à quantidade total movimentada para armazém k de produto p no período t . A quantidade movimentada será igual à diferença entre o nível de referência e o *stock* disponível. Isto significa que a restrição (4.4) é substituída pelas restrições em (4.8) (além da remoção da restrição (4.6)). A primeira restrição define a condição de realização de movimento. Se não ocorrer movimento, a quantidade movimentada é nula, enquanto que se ocorrer, a quantidade será igual a $srp_{k,p} - SD_{k,t,p}$.

$$\begin{aligned}
srp_{k,p} - SD_{k,t,p} &\leq M \cdot E_{k,t,p} \\
srp_{k,p} - SD_{k,t,p} - m(1 - E_{k,t,p}) &\leq QM_{k,t,p} \\
QM_{k,t,p} &\leq srp_{k,p} - SD_{k,t,p} + m(1 - E_{k,t,p}) \\
-m \cdot E_{k,t,p} &\leq QM_{k,t,p} \\
QM_{k,t,p} &\leq m \cdot E_{k,t,p} \\
X_{0,k,t,p} + \sum_j X_{j,k,t,p} &= QM_{k,t,p}
\end{aligned} \tag{4.8}$$

4.2.2 Modelo inspirado na Revisão Contínua

No modelo de revisão contínua é estabelecido um nível de *stock* como ponto de encomenda, $pe_{k,p}$, e sempre que o nível de *stock* disponível for inferior a este, é colocada uma encomenda numa quantidade fixa. Também é definido a variável de decisão $QM_{k,t,p}$, relativo à quantidade total movimentada para armazém k de produto p no período t . O nível de *stock* é assim constantemente monitorizado. Por isso, esta é uma política de encomendas em quantidades fixas, em intervalos de tempo variáveis. A quantidade fixa de encomenda é representada pelo parâmetro $qe_{k,p}$. Para incorporar a revisão contínua no modelo, é removida a restrição (4.6) e as restrições em (4.9) substituem a restrição (4.4). A primeira restrição define a condição de realização de movimento. Se não ocorrer movimento, a quantidade movimentada é obviamente nula. Se ocorrer movimento, a quantidade movimentada será igual a $qe_{k,p}$.

$$\begin{aligned}
pe_{k,p} - SD_{k,t,p} &\leq m \cdot E_{k,t,p} \\
qe_{k,p} - m(1 - E_{k,t,p}) &\leq QM_{k,t,p} \\
QM_{k,t,p} &\leq qe_{k,p} + m(1 - E_{k,t,p}) \\
-m \cdot E_{k,t,p} &\leq QM_{k,t,p} \\
QM_{k,t,p} &\leq m \cdot E_{k,t,p} \\
X_{0,k,t,p} + \sum_j X_{j,k,t,p} &= QM_{k,t,p}
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Capítulo 5

Resultados Experimentais

Neste capítulo é descrito o processo de teste dos diferentes cenários do modelo proposto para implementação. O modelo foi testado através do software de otimização CPLEX com auxílio da linguagem de modelação GAMS, num computador HP Envy 13 com 16GB de memória RAM e com um processador Intel(R) Core(TM) i7-8565U CPU @ 1.80GHz 1.99GHz. É abordado o processo de recolha de dados para os parâmetros do modelo com atenção para fatores como a disponibilidade real dos dados e a influência que isso teve no modelo e nas simplificações que tiveram de ser feitas. De seguida são definidos os valores desses mesmos parâmetros.

Depois, são testados os diferentes cenários considerados e é feita a interpretação dos resultados obtidos para cada cenário e também a comparação entre eles, com base nos indicadores relevantes para a operação logística. Além disso, é feita uma análise de sensibilidade aos parâmetros com mais influência no modelo, com o objetivo de avaliar a sua solidez e viabilidade de implementação na situação real. Por fim são retiradas conclusões em que são feitas recomendações sobre qual a melhor política de gestão de *stocks* a implementar, com base em toda a análise efetuada ao longo do capítulo. Os testes foram realizados para o mês de dezembro de 2019. Este mês foi escolhido por ser o mês mais próximo do presente que pertença ao ano de 2019, que é o ano mais recente para o qual existem dados sólidos para a realização destes testes. Por isso, é o mês passível de estudo, em que as circunstâncias de funcionamento da operação são mais parecidas com a situação atual.

5.1 Recolha de dados

Os dados utilizados neste projeto foram disponibilizados dentro da organização da CPA. Contudo a quantidade de dados em boas condições para uso no modelo é relativamente reduzida e por isso, tiveram de ser feitas algumas simplificações. Por exemplo, para muitos produtos não estava disponível informação acerca do peso por palete de cada produto devido ao facto de que essa lista se encontra desatualizada e muitos dos produtos lançados recentemente pela empresa não estão incluídos e alguns dos produtos incluídos já foram descontinuados pela empresa. Para esses produtos a única opção viável para uso no modelo foi a aproximação ao peso médio por

paleta da família do produto. Essa razão também teve influência na decisão de apenas considerar 4 produtos, um a representar cada família de produto. Os valores escolhidos para os parâmetros do modelo não são os valores reais praticados na operação logística pela CPA, tendo sido alterados por questões de anonimidade da empresa. Contudo, esses valores mantêm a ordem de grandeza real, para que seja assegurada a fiabilidade dos resultados e mantida a validade das conclusões retiradas.

Procura e Produção:

Em relação aos dados da procura dos clientes, foram utilizados dados relativos ao histórico de vendas de 2019, que foi o ano testado em todos os cenários. Aqui também surgiu um obstáculo na recolha destes dados, relativamente aos dados das encomendas dos clientes devido ao baixo nível de integração entre as bases de dados da empresa e as encomendas dos clientes cuja composição apenas existe em formato físico (documentos preparados pelos operadores do serviço ao cliente). Os dados utilizados no modelo, apenas continham o histórico de procura mensal de cada produto (e não a diária como se aborda no modelo). Esta situação levou a que se aproximasse a procura a uma distribuição normal mensal com base nesses dados históricos existentes, que foi depois convertida para uma distribuição diária. A produção efetuada também foi aproximada para uma distribuição normal, para se poderem utilizar esses dados no cenário I que representa a situação atual.

Conjuntos dos índices:

Como tem sido referido ao longo da dissertação, o número de armazéns considerados no modelo é de 3: o armazém da Maia, o armazém da Trofa e o armazém externo de Leixões. Assim, tem-se que $I = 3$, e os seguintes valores para os índices i (e j e k): $i = 1$, Maia; $i = 2$, Trofa; $i = 3$, Leixões. De notar que além destes armazéns, é considerado o valor de $i = 0$, para o caso da Fábrica. Da mesma forma, para os produtos tem-se que $P = 4$, e os seguintes valores para o índice p : $p = 1$: Massas; $p = 2$: Bolachas; $p = 3$: Farinhas; $p = 4$: Cereais. Para o índice t , como o período de teste é de 20 dias (número de dias úteis em dezembro de 2019), tem-se que $T = 20$.

Capacidade de armazenamento:

Em relação ao armazenamento, além de produto acabado, os armazéns também contêm outros tipos de material necessários para as diversas atividades da empresa, como matérias subsidiárias, matérias consumíveis e material de embalagem. Por isso, como o modelo apenas considera produto acabado, deve ser descontado o espaço ocupado por este tipo de materiais à capacidade nominal dos armazéns. Esta ocupação é variável no tempo, não existindo uma localização fixa para os mesmos. Como tal, considerou-se a ocupação média anual deste materiais para fazer a redução. Em 2019, a ocupação média na Maia é de 10% e na Trofa é de 18%. Assim, considerou-se uma capacidade de 13000 paletes na Maia e de 9000 paletes na Trofa. De notar que embora o armazém da Maia é considerado como um só, embora na realidade tenha componentes automáticas e manuais, com funções e procedimentos diferentes.

Stock inicial:

O modelo é testado para o mês de dezembro de 2019. Por isso, os níveis de *stock* inicial usados nos testes corresponde às existências em *stock* no dia 29 de novembro de 2019, que corresponde

ao último dia útil antes do início do período de teste.

Custo de posse:

Este custo ($cp_{i,p}$) é de difícil determinação pois existem bastante componentes que contribuem para o mesmo e por isso, normalmente são feitas aproximações. Segundo Christopher (2005), se todos esses componentes forem completamente tidos em conta, o custo real anual de posse de *stock* está à volta de 25% do valor contabilístico do inventário. Esta regra foi aqui considerada e, utilizando o preço unitário de venda, pv_p , como valor contabilístico, obteve-se o custo de posse por período (dia) pela equação (5.1).

$$cp_{i,p} = \frac{0,25}{252} \cdot pv_p \quad (5.1)$$

Para converter o custo de posse anual em custo diário são considerados 252 dias, que foi o número de dias úteis em 2019. Para o caso do armazém externo, o custo de posse está contratualmente estipulado, sendo que a CPA é cobrada cerca de €0,16 / dia por cada paleta armazenada neste armazém.

Custo de transporte por unidade transferida:

O custo de transferência é normalmente fixo em toda os contratos de expedição da CPA. Contudo, no caso das transferências, que são exclusivamente expedidas pelo operador logístico externo, existe um custo variável ($cvt_{j,k}$) por cada paleta que entra / sai do armazém de Leixões, de €1,15. Nos restantes armazéns este custo é nulo.

Custo fixo de transferência:

Este é o custo ($ctc_{k,p}$) que a transportadora cobra à empresa por cada movimento realizado, sendo fixo independentemente da carga transportada e do número de camiões alocados. Nos dados existente acerca deste parâmetro apenas estava disponível uma tabela com os preços cobrados por transporte entre dois destinos considerados. Para se transformar este parâmetro na forma de custo do movimento de um certo produto para um certo armazém, foram obtidas estatísticas acerca da procura e do nível médio de *stock* de cada produto em cada localização. Com base nisso, foi feita a aproximação considerando essas estatísticas como sendo uma probabilidade de se mover um dado produto para um dado armazém. A Tabela 5.1 mostra os valores considerados no modelo.

Tabela 5.1: Custo fixo de transferências por armazém e produto

CTC [€]	Massas	Bolachas	Farinhas	Cereais
Maia	20,90	24,02	2,12	104,91
Trofa	111,82	112,67	110,24	7,99
Leixões	69,68	65,98	87,88	115,30

Nível de serviço:

O valor alvo do nível de serviço considerado no modelo é o mesmo da operação logística da CPA e é de 95% ($sl = 0,95$). De notar que o nível de serviço real usado na operação é do tipo 1 (α) e não do tipo 2 (β), como é considerado no modelo. O nível de serviço de tipo 1 é orientado para eventos, ou seja, mede o número de encomendas que são satisfeitas totalmente com o *stock* disponível, ao contrário do tipo 2 que mede em termos de quantidades agregadas

satisfeitas, independentemente das encomendas específicas. Devido à falta de informação sobre o conteúdo específico de cada encomenda (apenas se sabe o número total de paletes), optou-se por utilizar as quantidades procuradas totais, já que estas foram disponibilizadas, e por consequência o nível de serviço de tipo 2. No modelo aqui concebido, o nível de serviço tem impacto especial na definição dos *stocks* de segurança a considerar.

Stock de segurança:

O *stock* de segurança foi calculado assumindo a normalidade da procura e deve respeitar o nível de serviço. Tem em conta a variabilidade da procura, representada pelo desvio-padrão. Como o *lead time* de entrega é nulo, este não é tido em conta no cálculo representado pela equação (5.2)

$$ss_{i,p} = z_{sl} \cdot \sigma_{d_{i,p}} \quad (5.2)$$

em que z_{sl} é o fator do nível de serviço e $\sigma_{d_{i,p}}$ é o desvio-padrão da procura do produto p no armazém i . Este cálculo é usado nos novos cenários propostos, sendo que no cenário inicial é seguido um *stock* de segurança que garanta um período de cobertura de 3 semanas, ou seja, 15 dias de procura.

5.2 Resultados dos testes

Nesta secção são expressos os resultados dos cenários considerados. No total são três cenários a ser testados: o cenário da situação inicial (cenário I), que reflete a operação logística atual da empresa; o cenário com base no modelo referente à revisão periódica (cenário II); o cenário baseado no modelo inspirado numa política de revisão contínua (cenário III). No final os três cenários serão comparados tendo em conta os resultados obtidos.

5.2.1 Cenário I

Este é o cenário relativo à situação atual de funcionamento da operação logística. De notar que o valor escolhido para o parâmetro m é de 1×10^6 (também nos restantes cenários), que é suficientemente elevado para não interferir com as restrições.

5.2.2 Cenário II

Para o cenário com revisão periódica, o período de revisão é de 5 dias (semanal), logo só são feitas encomendas nos períodos $t \in t = \{1, 6, 11, 16\}$. O nível de *stock* de referência é obtido pela fórmula na equação (5.3).

$$srp_{k,p} = (PR + LT) \cdot \bar{d} = 5 \cdot \bar{d}, \quad (5.3)$$

em que PR é o período de revisão, LT é o *lead time* da encomenda e $\bar{d}$ é a procura média diária. Como o *lead time* é desprezado chega-se ao último membro da fórmula descrita.

5.2.3 Cenário III

Neste cenário, o ponto de encomenda e a quantidade de encomenda são calculados segundo as equações em (5.4).

$$\begin{aligned} pe_{k,p} &= \bar{d} \cdot LT + ss_{k,p} = \bar{d} + ss_{k,p} \\ qe_{k,p} &= 15 \cdot \bar{d} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Como o *lead time* é desprezável chega-se ao último membro da primeira fórmula descrita. Em relação à quantidade de encomenda, esta foi calculada partindo do período de cobertura pretendido pela empresa (3 semanas). Com esta escolha pretende-se minimizar a necessidade da realização de movimentos para prevenir ou cobrir roturas de *stock*.

5.2.4 Comparação dos Cenários

Os três cenários foram testados e na Tabela 5.2 encontram-se os resultados relativamente aos custos da operação em cada um deles. Os custos de cada componente dos custos totais encontram-se discriminados, podendo-se também ver a variação dos custos em cada um dos cenários alternativos relativamente ao cenário da situação inicial.

Tabela 5.2: Comparação dos custos dos diferentes cenários

Custo [€]	Cenário I	Cenário II	Cenário III
Posse	52.390	31.772	24.863
Mov. Variável	20.703	7.845	7.685
Mov. Fixo	3.628	1.890	2.048
Total	76.721	41.507	34.596
Var. Posse [%]	0	-39,4	-52,5
Var. Mov. Variável [%]	0	-62,1	-62,9
Var. Mov. Fixo [%]	0	-47,9	-43,6
Var. Total [%]	0	-45,9	-54,9

O cenário com melhores resultados para a operação é o cenário III. Com revisão contínua conseguem-se atingir reduções de cerca de 55% nos custos totais, em comparação com 42% na revisão periódica. O cenário I possui os custos mais elevados em todas as componentes, ao mesmo tempo que o cenário III possui os mais baixos, com exceção no caso dos custos fixos de movimento. Esses custos são mais baixos no cenário II, já que uma política de revisão periódica consolida as transferências num menor número de períodos, reduzindo a sua frequência. Por outro lado, isto conduz a uma menor redução custos de posse pois as quantidades transferidas permanecem mais tempo em armazém entre períodos de revisão, o que explica a menor redução dos custos de posse neste cenário, face ao cenário III, baseado em revisão contínua.

A Figura 5.1 apresenta a distribuição dos custos por cada componente em cada um dos cenários.

Como se pode ver pelos resultados em todos os cenários, os custos de posse representam a maior fração de custos na operação. Os custos por movimento são inferiores, o que faz sentido

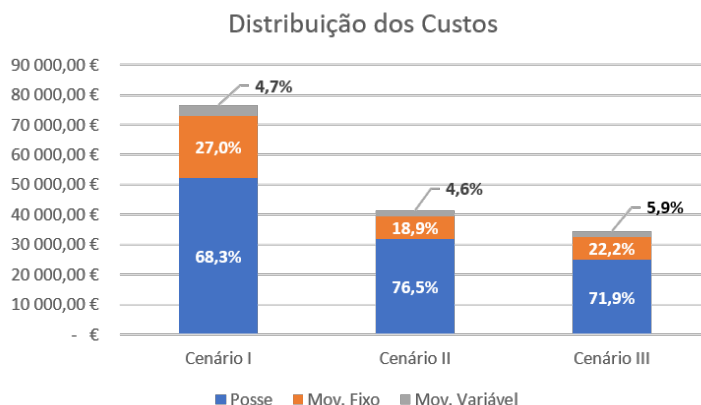


Figura 5.1: Distribuição dos custos dos diferentes cenários

pois as transferências são apenas uma ferramenta de recurso ao funcionamento da operação para prevenir roturas de *stock*, sendo que o inventário existente é de forma geral suficiente para suprir a procura existente. Contudo, custos de posse elevados podem indicar níveis de *stock* excessivos, o que está de acordo com o identificado na descrição da situação inicial, refletindo o elevado número de dias de *stock* em grande parte dos produtos.

A predominância dos custos de posse explica que a política periódica seja mais cara que a contínua. A revisão contínua permite maior flexibilidade no *timing* de movimento que a revisão periódica, levando a que o *stock* esteja menos tempo parado em armazém. A política periódica seria mais vantajosa se os custos de transferências tivessem maior peso, o que levaria a custos significativos devido à maior frequência de transferências na revisão contínua. Nota para o facto de que o cenário III apresenta uma estrutura de custos semelhante ao cenário I, sendo a proporção de custos de cada componente relativamente semelhante. Isto faz sentido já que em ambos os cenários as transferências são permitidas com a mesma frequência (diariamente).

Na Tabela 5.3 são comparados os cenários em relação ao nível médio de *stock* em cada armazém e ao número médio de transferências (apenas os movimentos entre armazéns).

Tabela 5.3: Comparação dos cenários pelo nível de *stock* e número de transferências

Cenário	Número de transferências	Nível médio de stock		
		Maia	Trofa	Leixões
Inicial	17	4.011	3043	7075
Rev. Periódica	22	4.350	1.262	1.202
Rev. Contínua	43	2.396	1.915	1.260

Por análise da Tabela 5.3, verifica-se que o número de transferências é maior no cenário III e menor no cenário I. Isto contraria os resultados anteriores em que os custos de movimento eram inferiores nos novos cenários que no atual. Contudo, essa redução de custos foi devido à diminuição da quantidade produzida que levou a menos movimentos da fábrica. No cenário II, embora apenas sejam permitidas transferências em 4 períodos distintos, ocorrem mais transferências que

no cenário I, devido a menor produto disponível por via de produção. O cenário com revisão contínua é aquele com maior número de transferências, o que vem de encontro ao facto de ser o cenário com menor nível médio de *stock*, que explica também os seus custos de posse serem os mais reduzidos.

Os cenários também foram comparados em relação à sua performance computacional aquando da sua testagem estando os resultados expressos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Comparação dos cenários pelos resultados computacionais

Cenário	Nº variáveis	Nº restrições	Tempo execução [s]	Desvio ao ótimo
Inicial	1.764	812	17	0,0 %
Rev. Periódica	1.580	1.620	5	0,0 %
Rev. Contínua	2.204	2.004	1.000	0,2 %

Em relação ao tempo de execução, o cenário inicial foi executado em 17 segundos, o que constitui um bom resultado, já que permite uma execução rápida. No cenário II a execução é ainda mais curta, o que faz sentido devido ao reduzido número de alternativas de movimento que advém da revisão periódica. No cenário III a execução demorou 1000 segundos, que constitui o valor limite do critério de paragem da execução definido no software (a outra alternativa de paragem é chegar a um desvio de 0% - solução ótima). Assim, este cenário é de difícil otimização, o que constitui um problema a nível do desempenho do modelo, pois não foi atingida a solução ótima. No entanto, o desvio atingido foi de apenas 0,2% e, tendo em conta que com esta política foram alcançados os melhores resultados a nível de custos, este acaba por ser o cenário com a política mais indicada para implementação na operação. Para fins práticos de uso real numa operação logística, onde o mais importante é chegar a soluções pragmáticas, obter bons resultados a nível da redução de custos é mais importante que chegar a uma solução completamente otimizada.

Assim, destas comparações conclui-se que a política de revisão contínua é a mais adequada para implementação na operação logística da CPA. Esta é uma política onde os níveis de *stock* são revistos diariamente, o que resulta num esforço de gestão mais elevado (refletido no tempo de execução elevado) em relação a uma política periódica, devido à monitorização mais apertada dos níveis de *stock*. Contudo, isto permite uma maior flexibilidade à gestão de *stocks*, o que resultou nos melhores resultados a nível dos custos (com uma redução de até 55%), que é a grande prioridade para a empresa.

5.3 Análise de sensibilidade

Para avaliar a robustez das conclusões retiradas na secção anterior, foi efetuada uma análise de sensibilidade para observar o impacto de alguns parâmetros-chave no desempenho do modelo. A análise foi feita sobre o modelo do cenário III (revisão contínua) já que este foi o que obteve melhores resultados e é por isso, o mais adequado para implementação na operação logística.

Os parâmetros analisados foram aqueles com maior influência na política de revisão, bem como aqueles com maior probabilidade de incerteza no futuro, ou seja, que podem mais facilmente

sofrer alterações. Por exemplo, se os custos fixos de transferência aumentassem, a política de revisão contínua tornar-se-ia mais custosa para a operação e deixaria de ser tão atrativa. Assim, os parâmetros que aqui foram analisados são o custo de posse, o custo fixo e variável de transferência, o nível de serviço e a procura. Em cada uma das análises foi variado o parâmetro em questão e mantiveram-se fixos os restantes.

5.3.1 Custo de posse

O custo de posse foi o primeiro parâmetro a ser analisado, já que é a componente do custo total com maior peso no mesmo. O parâmetro foi aumentado e diminuído em 25% e 50%, tendo por isso sido feitos 4 testes diferentes, com os resultados expressos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Análise de sensibilidade ao custo de posse

Custo [€] / CP	-50%	-25%	Original	+25%	+50%
Posse	12.784	18.890	24.863	30.737	36.599
Mov. Variável	7.316	7.567	7.685	7.794	7.983
Mov. Fixo	1.874	1.874	2.048	2.251	2.321
Total	21.974	28.331	34.596	40.782	46.903
Var. Posse [%]	-48,6	-24,0	0	23,6	47,2
Var. Mov. Variável [%]	-4,8	-1,5	0	1,4	3,9
Var. Mov. Fixo [%]	-8,5	-8,5	0	9,9	13,3
Var. Total [%]	-36,5	-18,1	0	17,9	35,6

Pelos resultados pode ver-se que, como esperado, com o aumento do custo de posse, o custo total também aumenta. Contudo, a proporção de aumento no custo total é inferior à do custo de posse, que aumenta em proporção quase igual ao respetivo parâmetro. Isso deve-se ao facto dos custos de movimento terem um aumento mais reduzido face ao aumento dos valores do parâmetro. O seu aumento, principalmente na componente fixa, é explicado pelo facto de que, à medida que os custos de posse aumentam, torna-se mais vantajoso fazer mais encomendas e transferências, mantendo-se níveis de *stock* inferiores. Logo, o custo total não aumenta exclusivamente por causa do aumento do custo de posse.

5.3.2 Custo variável de transferência

Para o custo variável de transferências, também foram testados 4 alternativas, em que se aumentou e diminui o parâmetro em 25% e 50%. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.6.

Como se pode ver, o custo total aumentou à medida que o parâmetro foi aumentado, mas em menor proporção, devido ao custo de posse (que representa a maioria dos custos) ter tido apenas um ligeiro aumento. A componente do custo variável aumentou praticamente na mesma proporção que o parâmetro, como seria de esperar. De realçar que o custo fixo tem um comportamento diferente dos restantes, pois diminui com o aumento do custo variável. Isso ocorre pois com o

Tabela 5.6: Análise de sensibilidade ao custo variável de transferência

Custo [€] / CVT	-50%	-25%	Original	+25%	+50%
Posse	24.503	24.686	24.863	25.065	25.415
Mov. Variável	4.033	5.845	7.685	9.459	10.099
Mov. Fixo	2.146	2.146	2.048	1.986	1.986
Total	30.682	32.677	34.596	36.510	38.400
Var. Posse [%]	-1,4	-0,7	0	0,8	2,2
Var. Mov. Variável [%]	-47,5	-23,9	0	23,1	43,1
Var. Mov. Fixo [%]	4,8	4,8	0	-3,0	-3,0
Var. Total [%]	-11,3	-5,5	0	5,5	11,0

aumento do custo da movimentação de produto, as transferências tornam-se uma opção menos atrativa e o seu número diminui.

5.3.3 Custo fixo de transferência

Para testar a influência do custo fixo de transferência, também se testaram as mesmas 4 alternativas anteriores. Os resultados encontram-se na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Análise de sensibilidade ao custo fixo de transferência

Custo [€] / CTC	-50%	-25%	Original	+25%	+50%
Posse	24.449	24.589	24.863	25.109	25.109
Mov. Variável	7.772	7.794	7.685	7.636	7.636
Mov. Fixo	1.278	1.688	2.048	2.343	2.811
Total	33.499	34.071	34.596	35.088	35.556
Var. Posse [%]	-1,7	-1,1	0	1,0	1,0
Var. Mov. Variável [%]	1,1	1,4	0	-0,6	-0,6
Var. Mov. Fixo [%]	-37,6	-17,6	0	14,4	37,3
Var. Total [%]	-3,2	-1,5	0	1,4	2,8

Os resultados indicam que com o aumento do custo fixo, também aumenta o custo total, mas numa proporção muito reduzida. Este comportamento faz sentido, tendo em conta que este é o parâmetro com menor peso no custo total da operação (cerca de 6% no cenário III). O mesmo se verifica para os custos de posse. O custo variável tem o comportamento oposto e tem uma tendência de ligeira diminuição. Com o aumento do custo fixo, cada transferência torna-se mais cara, e por isso diminui a quantidade movimentada. O custo fixo tem a maior variação, mas numa proporção inferior ao parâmetro correspondente.

5.3.4 Nível de serviço

Outro parâmetro testado foi o nível de serviço, que tem impacto direto nos níveis de *stock* de segurança e de ponto de encomenda considerados na política de revisão contínua. Para além do modelo original, em que o nível de serviço considerado é de 95%, foram testadas 4 alternativas, com níveis de serviço de 51%, 55%, 75% e 99%. Os resultados encontram-se na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Análise de sensibilidade ao nível de serviço

Custo [€] / SL	51%	55%	75%	Original	99%
Posse	23.810	23.876	24.230	24.863	25.321
Mov. Variável	7.518	7.529	7.585	7.685	7.756
Mov. Fixo	2.048	2.048	2.048	2.048	2.048
Total	33.376	33.453	33.863	34.596	35.125
Var. Posse [%]	-4,2	-4,0	-2,5	0	1,8
Var. Mov. Variável [%]	-2,2	-2,0	-1,3	0	0,9
Var. Mov. Fixo [%]	0	0	0	0	0
Var. Total [%]	-3,5	-3,3	-2,1	0	1,5

Pelos resultados pode-se verificar que com o aumento do nível de serviço o custo total também aumenta se bem que de forma reduzida. As componentes do custo total também têm um ligeiro aumento, com exceção do custo fixo que se mantém inalterado. A razão para isso, está relacionada com o fraco impacto que o nível de serviço tem no modelo, sendo que não se justifica realizar mais ou menos movimentos, em face da sua variação. O impacto do nível de serviço é pequeno pois o nível de *stock* praticamente nunca chega a ser tão baixo quanto o *stock* de segurança e assim alterações nesse parâmetro não têm grande influência no modelo. O nível de ponto de encomenda também é determinado principalmente pelo nível médio de procura e por isso, também é pouco influenciado pelo *stock* de segurança. Se fossem permitidas roturas de *stock* no modelo, segundo um dado nível de serviço alvo, este parâmetro poderia ter mais impacto no modelo.

5.3.5 Procura

Finalmente, foi também analisado o impacto de variações na procura. Este é naturalmente o parâmetro com mais importância de estudo, pois é aquele que mais facilmente pode ter mudanças no futuro, em virtude na natureza instável e incerta da procura. A sazonalidade e eventos como crises económicas, podem levar a alterações significativas na procura. Foram testados 4 alternativas, em que a procura foi aumentada e diminuída 25% e 50%, estando os resultados descritos na Tabela 5.9. A procura tem influência noutros parâmetros que também se alteram nestes testes, como o *stock* de segurança, o nível de ponto de encomenda e a quantidade encomendada. O *stock* inicial também foi alterado, embora não seja determinado pela procura, já que num contexto real, se a procura fosse diferente os níveis de *stock* anteriores ao período de testagem também seriam diferentes.

Pelos resultados obtidos pode-se verificar que o custo total, bem como as componentes de custo de posse e de custo variável aumentam quase na mesma proporção que a procura. A única componente com comportamento diferente é o custo fixo. Pode-se dizer que este tem uma tendência de aumento com o aumento da procura, mas esta tendência é bastante irregular. Como a procura afeta vários parâmetros diferentes, tem um efeito complexo sobre o critério de realização de transferências. Contudo, como o custo fixo tem pouco impacto no custo total, este último varia

Tabela 5.9: Análise de sensibilidade à procura

Custo [€] / Procura	-50%	-25%	Original	25%	50%
Posse	12.525	18.821	24.863	30.974	37.095
Mov. Variável	3.849	5.741	7.685	9.613	11.558
Mov. Fixo	1.987	1.874	2.048	1.938	2.161
Total	18.361	26.436	34.596	42.525	50.814
Var. Posse [%]	-49,6	-24,3	0	24,6	49,2
Var. Mov. Variável [%]	-49,9	-25,3	0	25,1	50,4
Var. Mov. Fixo [%]	-3,0	-8,5	0	-5,4	5,5
Var. Total [%]	-46,9	-23,6	0	22,9	46,9

de forma parecida com a procura. Assim, a procura é um parâmetro a ter em conta na implementação do modelo em contexto real na CPA, já que tem um impacto difícil de prever no número de transferências realizadas.

5.4 Sumário dos resultados

Ao longo deste capítulo foram testados vários cenários diferentes, representado diferentes políticas de gestão de *stocks*. Pelos resultados obtidos na testagem dos cenários, conclui-se que uma política de revisão contínua será a mais adequada para implementação no contexto real da operação logística da CPA. O cenário III, baseado nessa política, foi aquele com melhores resultados a nível de custos da operação, com uma redução de 55% nos custos totais. De notar que numa implementação real este grau de redução de custos pode ser irrealista, pois o nível de redução no *stock* em armazém que se verifica neste cenário poderá não ser permitido. Na situação real, os níveis de *stock* mantidos serão superiores a fim de minimizar os riscos na gestão de *stocks*. Assim, os resultados aqui obtidos são apenas um limite superior das melhorias expectáveis a obter.

Para avaliar o impacto de variações dos parâmetros do modelo, foi feita uma análise de sensibilidade para os parâmetros que podem ter mais impacto na sua performance. Os resultados mostraram que o custo total da política de revisão contínua, varia de forma relativamente semelhante aos parâmetros (embora em grau inferior), o que atesta à sua estabilidade e desempenho numa situação real. O parâmetro com maior impacto no custo total é a procura. Por isso deve-se tê-la em especial atenção na implementação do modelo. Esta tem impacto direto em vários parâmetros do modelo, e a conjugação destes fatores pode gerar efeitos complexos de avaliar, como no caso do número de transferências realizadas, visto através da variação instável do custo fixo de transferência. Por isso, o processo de estimação da procura deve ser efetuado de forma rigorosa, a fim de se minimizar a incerteza na sua estimação.

Uma das desvantagens de aplicar uma política de revisão contínua, é a monitorização mais exigente dos níveis de *stock*, que foi comprovada pela execução mais lenta do modelo no cenário referente a essa política. Requer por isso um maior esforço de gestão da operação. Relacionando com as conclusões retiradas no Capítulo 3, sugere-se no futuro que, para os produtos das categorias A e B, como representam a grande maioria das vendas da empresa, se aplique esta política

de revisão, para um controlo mais apertado dos seus níveis de *stock*. Isto permite reduções consideráveis nos custos totais da operação como foi visto anteriormente. Como estas categorias representam poucos produtos (39% das SKUs existentes) consegue-se manter a complexidade da gestão de *stocks* num nível razoável. Para os restantes produtos, de categoria C, que acrescentam valor reduzido à empresa embora constituam a maioria dos produtos, pode-se utilizar uma política de revisão periódica, pois é menos complexa de gerir e permite a agregação de encomendas devido à sua natureza de permitir movimentos em certos intervalos fixos. Isto é vantajoso tendo em conta que estes produtos são numerosos, mas possuem poucas existências em *stock*. Os custos mais elevados desta política não terão grande impacto devido ao facto desta categoria representar uma pequena fatia das vendas. Isto constituirá uma oportunidade de melhoria futura para a estratégia de gestão de *stocks* e transferências aqui sugerida.

Capítulo 6

Conclusões e trabalho futuro

Esta dissertação apresentou o desafio enfrentado pela Cerealis Produtos Alimentares de reduzir os custos da sua operação logística e simplificar o processo de planeamento da mesma. No âmbito da operação logística, o foco do projeto foi no processo de gestão de *stocks* e transferências da empresa. Tendo em consideração o foco e os objetivos do projeto, surgiu a solução do desenvolvimento de uma ferramenta que apoie o planeamento das transferências e permita o estudo do tipo de política de gestão de *stocks* mais adequada à operação, de forma a reduzir os seus custos.

Do processo de levantamento da situação inicial da operação logística, foram identificadas as principais oportunidade de melhoria no processo de gestão de *stocks* e transferências. Uma das suas principais limitações está relacionada com os elevados níveis de *stock* em armazém, que resultam em taxas de cobertura muito superiores ao desejado. Outra grande limitação prende-se com o processo de planeamento das transferências de *stock*, que é realizado de forma manual, não estando por isso uniformizado e bastante sujeito ao erro humano.

Tendo em conta os principais pontos de melhoria, desenvolveu-se um modelo de otimização da gestão de *stocks* e transferências da empresa, que determina para cada período de tempo, o nível de *stock* de cada produto em cada armazém, e também as quantidades movimentadas entre armazéns (transferência) e das fábricas para os armazéns (expedição de produção).

O modelo matemático construído foi testado para vários cenários baseados em políticas de revisão de *stock* de forma a avaliar a política mais adequada para implementação. O período de teste considerado foi o mês de dezembro de 2019. Concluiu-se que a melhor política e que minimiza os custos da operação é a política baseada na revisão contínua, tendo-se estimado poupanças na ordem de 55% dos custos totais mensais da operação. A análise de sensibilidades realizada indicou que os resultados obtidos são robustos, sendo que dos principais parâmetros com influência na gestão de *stocks*, apenas a procura poderá ter um impacto significativo nos resultados. Assim, deve-se ter especial atenção na sua estimativa, de modo a minimizar a incerteza para a operação. Outra das grandes vantagens da ferramenta é o facto de que proporciona uma estrutura simples para o planeamento de cenários, através de mudanças nos parâmetros ou restrições do modelo, que ajuda na obtenção de respostas adequadas para potenciais situações futuras ou até para estudar outras políticas de gestão de *stocks*.

Deste modo, sugere-se à Cerealis Produtos Alimentares a implementação de estratégias baseadas na revisão contínua, para minimizar os custos da sua operação logística, e também a utilização de uma ferramenta de otimização para auxiliar o planeamento das transferências a realizar.

De forma a aumentar a robustez da análise efetuada e da própria ferramenta de otimização, sugerem-se algumas melhorias a serem trabalhadas futuramente. Em primeiro lugar, de modo a fortalecer o modelo desenvolvido, sugere-se a desagregação dos centros de produção, passando-se a considerar as duas fábricas em separado, de forma a obter estimativas mais precisas para os custos, em particular nos custos relacionados com a movimentação de produto das fábricas para os armazéns. Da mesma forma sugere-se desagregar os produtos considerados, no sentido de ter em conta todos os produtos individuais, o que também permitirá estimar mais precisamente os custos, especialmente os custos de posse. Também se deverá ter em conta a sobreposição das paletes de produto em camião, de modo a ter estimativas mais realistas dos custos de movimento em geral. Estas considerações aumentarão significativamente a complexidade do modelo, pelo que deverão ser estudadas de forma rigorosa.

Devido às limitações encontradas na recolha de dados, o horizonte temporal considerado foi de apenas um mês. Assim, no futuro, com o levantamento de dados mais exaustivo, sugere-se testar o modelo em horizontes temporais superiores de modo a obter-se conclusões mais robustas. Nesse sentido, sugere-se também a inclusão da possibilidade de ocorrerem roturas de *stock* na operação e a incorporação do custo de venda perdida, de modo a refletir a natureza competitiva da indústria alimentar.

Também se sugere considerar o *stock* de segurança como uma variável a ser otimizada, no sentido de melhor compreender melhor a sua relação com os níveis de *stock* alocados a cada armazém e estudar a redução das taxas de cobertura observadas. Outra proposta, seria que a empresa formulasse restrições a nível dos seus clientes, com base no volume de negócios que tem com cada um destes. Isto possibilita a definição de prioridades entre encomendas no caso de existirem níveis de *stock* reduzidos, de forma a otimizar a escolha de quais encomendas adiar ou simplesmente cancelar, se isso for necessário. Atualmente esta decisão é tomada de forma subjetiva.

Outra potencial melhoria, que já foi mencionada no Capítulo 5, é a incorporação da análise ABC efetuada, de modo a adaptar as políticas de revisão de *stock* a cada categoria de produto baseada na sua importância para a operação da empresa. A sugestão é de aplicar revisão contínua nas categorias A e B e aplicar revisão periódica na categoria C. Isto permitirá atingir um compromisso entre a redução de custos e a complexidade de gestão provenientes das políticas de revisão.

Por fim, fora do âmbito do modelo propriamente dito, sugere-se que a empresa retome o projeto de implementação de uma plataforma de apoio ao planeamento da operação logística. Isto permitirá otimizar os processos, não só na gestão de *stocks*, proporcionando uma visão integrada da operação, que será um grande auxílio para os gestores da empresa no seu processo de decisão.

Referências

Amorim, Pedro. 2018. "Inventory Management". Powerpoint de apoio à disciplina de Logística, lecionada no MIEGI, FEUP.

Aro-Gordon, Stephen e Jaideep Gupte. 2016. "Review of Modern Inventory Management Techniques". *Global Journal of Business & Management* 1 (2): 1-22.

Axsäter, Sven. 2003. "A New Decision Rule for Lateral Transshipments in Inventory Systems". *Management Science* 49 (9): 1168-1179.

Bilgen B. e H. O. Günther. 2010. "Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application". *OR Spectrum* 32 (4). 927-955.

Carravilla, Maria Antónia. 1997. "Gestão de stocks". Publicação Didática.

Carvalho, J. C., A. P. Guedes, A. J. M. Arantes, A. L. Martins et al. 2010. *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. 1ª ed. Lisboa: Edições Sílabo.

Cerealis. 2020. "Cerealis Supply Chain Management". Slides de Apresentação.

Cerealis. s.d. "SOBRE NÓS | CEREALIS". Acedido a 16/03/2020. <https://www.cerealis.pt/pt/sobre-nos/>.

Chen, Min. 2008. "Lateral Transshipments in Inventory Models". Dissertação de Mestrado, Vrije Universiteit Amsterdam.

Chopra, Sunil e Peter Meindl. 2007. *Supply Chain Management*. 3ª ed. Boston: Pearson Education.

Christopher, Martin. 2005. *Logistics and Supply Chain Management*. 3ª ed. Londres: Pearson Education.

CSCMP. s.d. "SCM Definitions and Glossary of Terms". Acedido a 27/03/2020. https://cscmp.org/imis0/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921.

Gonçalves, José Fernando. 2010. *Gestão de Aprovisionamentos*. 2ª ed. Porto: PublIndústria.

Grob, Christopher. 2019. *Inventory Management in Multi-Echelon Networks*. 1ª ed. Wiesbaden: Springer.

Hillier, Frederick S. e Gerald J. Lieberman. 2001. *Introduction to Operations Research*. 7ª ed. Nova Iorque: McGraw-Hill.

Lourenço, Helena R. 2005. "Integrated Logistics Management: An opportunity for Metaheuristics". Em *Metaheuristic Optimization via Memory and Evolution*, 329-356. 1ª ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Muller, Max. 2011. *Essentials of Inventory Management*. 2ª ed. Nova Iorque: AMACOM.

Naseraldin, Hussein e Yale T. Herer. 2011. "A Location-Inventory Model with Lateral Transshipments". *Naval Research Logistics* 58 (5): 437-456.

Olsson, Fredrik. 2010. "An inventory model with unidirectional lateral transshipments". *European Journal of Operational Research* 200 (3). 725-732.

Paterson, Colin, Gudrun Kiesmüller, Ruud Teunter e Kevin Glazebrook. 2011. "Inventory models with lateral transshipments: A review". *European Journal of Operational Research* 210 (2). 125-136.

Rushton, Alan, Phil Croucher e Peter Baker. 2010. *The Handbook of Logistics & Distribution Management*. 4ª ed. Londres: Kogan Page.

Tagaras, George. 1999. "Pooling in multi-location periodic inventory distribution systems". *Omega* 27 (1). 39-59.

Vicente, Joaquim Jorge, Susana Relvas e Ana Paula Barbosa-Póvoa. 2015. "Distribution Supply Chain Inventory Planning under Uncertainty". Em *Operations Research and Big Data*, 247-254. 1ª ed. Cham: Springer.

Ziukov, Serhii. 2015. "A literature review on models of inventory management under uncertainty". *Business Systems & Economics* 5 (1): 26-35.