



**AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS ENTREPOSTOS COMERCIAIS DA  
EMPRESA SECIL**

**Natacha Carranca Teixeira**

Projeto submetido como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Gestão de Serviços e Tecnologia

Orientador:

Henrique José da Rocha O'Neill, Prof. Associado, ISCTE Business School, Departamento de  
Marketing, Operações e Gestão Geral

Coorientadores:

Maria João Cortinhal, Prof. Auxiliar, ISCTE Business School, Departamento de Métodos  
Quantitativos para Gestão e Economia

Outubro 2016

## Agradecimentos

A realização deste projeto de mestrado contou com apoios importantes, aos quais estarei eternamente grata, pois sem eles não seria possível a realização deste projeto.

Ao Professor Henrique O'Neill e Professora Doutora Maria João Cortinhal, pela sua orientação, disponibilidade, pelas opiniões e críticas, colaboração total no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo da realização deste trabalho, e principalmente pela disponibilidade total para quaisquer dúvidas.

Agradeço à Secil – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A., e em especial ao Dr. Cardoso por ter possibilitado este projeto e pela disponibilidade para me auxiliar durante o mesmo. Sem deixar de referir, um grande obrigada, à Dra. Ana Frazão, pela ajuda e apoio incondicional durante todo este processo.

Aos meus pais e à Carla, um muito obrigado.

Por fim, agradeço à Cláudia, Melissa e Nádia por todo o apoio e ajuda no decorrer deste projeto, e principalmente à Joana pela ajuda e contribuição no enriquecimento do projeto.

## Resumo

Dada a alteração dos mercados e principalmente das preferências dos clientes, foi sentida a necessidade de uma avaliação por parte da empresa cimenteira Secil, S.A., relativamente à localização dos seus pontos de venda, de modo a fazer face às necessidades dos clientes.

Este projeto consiste na construção de um modelo em Programação Linear, que teve como objetivo avaliar a localização dos entrepostos comerciais da empresa, de forma a minimizar o custo total dos entrepostos (custos de transporte, custos fixos e operacionais). No modelo serão consideradas as fábricas, produtos, centros de expedição (entrepósitos), clientes e meios de transporte, num período anual.

O modelo proposto (submetido através do *software* ILOG CPLEX da IBM) teve como foco encontrar a solução ótima da rede de distribuição da empresa Secil. Após análise do modelo, foram elaborados dois cenários possíveis de reestruturação da rede, e também com o objetivo de compreender melhor o funcionamento do mesmo.

Palavras-chave: Cadeia de Abastecimento, Logística, Modelos de Otimização, Programação Linear

Sistema de Classificação JEL:

C61 – Optimization Techniques; Programming Models; Dynamic Analysis;

L61 – Metals and Metal Products; Cement; Glass; Ceramics.

## Abstract

Nowadays markets evolve very rapidly so market practices must be reviewed and companies have to adapt to keep up and to meet customers' preferences. With this in mind we felt the need for a reevaluation of cement company Secil, SA location of points of sale aiming mainly to meet reported customers' needs but also take this opportunity to review current operational costs.

Through the construction of a model in Linear Programming, this project will evaluate the efficiency of the current location of the commercial warehouse of the company in order to minimize the inherent cost of the warehousing (specifically transportation, fixed and operating costs).

The proposed model, submitted through IBM ILOG CPLEX software, focuses on finding the optimal distribution network solution for Secil, SA. taking into consideration, products, dispatch centers (warehouses), customers location and transportation during the period of one year.

As a result of the application of the linear programming model we were able to fully understand the current status of the warehousing process and that allowed us to draw up two possible scenarios of network restructuring that would surely increase operational efficiency and reduction of costs.

**Keywords:** Supply Chain, Logistics, Optimization Models, Linear Programming

**JEL Classification System:**

C61 - Optimization Techniques; Programming Models; Dynamic Analysis;

L61 - Metals and Metal Products; Cement; Glass; Ceramics.

# Índice Geral

Agradecimentos .....	II
Resumo .....	III
Abstract .....	IV
Índice de Tabelas .....	VII
Índice de Figuras .....	VII
Sumário Executivo.....	VIII
Capítulo 1 - Introdução .....	1
1.1. Enquadramento do projeto .....	1
1.2. Objetivo do projeto.....	3
1.3. Enquadramento metodológico.....	4
1.4. Estrutura do projeto .....	5
Capítulo 2 - Revisão da Literatura .....	6
2.1. Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento .....	6
2.2. Redes de Distribuição.....	7
2.2.1. Centros de Distribuição.....	7
2.2.2. Localização das instalações .....	8
2.2.3. Desenho da Rede de Distribuição.....	9
2.3. Estratégias de Distribuição.....	12
2.3.1. Distribuição Direta .....	12
2.3.2. Distribuição por Intermediários.....	12
2.4. Quadro Conceptual.....	14
Capítulo 3 - Metodologia .....	15
Capítulo 4 - Análise da Informação .....	17

4.1.	Descrição da cadeia de abastecimento da Secil .....	17
4.2.	Distribuição .....	18
4.2.1.	Centros de expedição e venda.....	18
4.2.2.	Meios de transporte.....	20
4.2.3.	Clientes .....	21
Capítulo 5 – Modelo de Programação Linear .....		22
5.1.	Definição das variáveis de decisão.....	22
5.2.	Definição dos parâmetros.....	24
5.3.	Restrições do modelo .....	24
5.3.1.	Restrições à capacidade de expedição a partir das fábricas .....	24
5.3.2.	Restrições à capacidade de expedição a partir dos entrepostos .....	25
5.3.3.	Restrições de satisfação da procura .....	27
5.3.4.	Restrições de ligação de fluxo .....	28
5.3.5.	Restrições de sinal.....	28
5.4.	Função objetivo .....	28
5.5.	Conclusões do modelo .....	30
Capítulo 6 - Cenários .....		34
6.1.	Cenário 1 .....	34
6.2.	Cenário 2 .....	39
Capítulo 7 - Conclusões .....		43
Referências Bibliográficas .....		45

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipo de produto por embalagem.....	17
Tabela 2 - Meios de transporte acessíveis em cada entreposto.....	20
Tabela 3 - Conjuntos do modelo.....	22
Tabela 4 - Percentagem de utilização por entreposto (modelo base).....	30
Tabela 5 - Custos da rede de distribuição (modelo base) .....	32
Tabela 6 - Percentagem de utilização por entreposto (cenário 1).....	36
Tabela 7 - Custos da rede de distribuição (cenário 1).....	38
Tabela 8 - Percentagem de utilização por entreposto (cenário 2).....	40
Tabela 9 – Custos da rede de distribuição (cenário 2).....	42

## Índice de Figuras

Figura 1 - Sistema de distribuição da Secil.....	18
Figura 2 - Centros de distribuição.....	19
Figura 3 - Abastecimento dos clientes, por concelho, por entreposto (modelo base) .....	31
Figura 4 - Abastecimento dos clientes, por concelho, por entreposto (cenário 1).....	37
Figura 5 - Abastecimento dos clientes, por concelho, por entreposto (cenário 2).....	41

## Sumário Executivo

Este projeto surgiu durante um estágio na empresa Secil, S.A., e dadas as alterações do mercado e da necessidade dos clientes, concluiu-se que seria uma mais valia reavaliar a rede de distribuição da empresa, com o objetivo de redução de custos. O principal foco do projeto será a avaliação da localização dos entrepostos da empresa, com base na criação de um modelo de Programação Linear a fim de ser utilizado no futuro como ferramenta de análise para uma reestruturação da rede.

A Secil – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A. é uma das principais empresas produtoras de cimento do país. A empresa assegura a sua produção através das suas três fábricas e detém cerca de vinte e um entrepostos comerciais, sendo três deles entrepostos marítimos. As fábricas e os entrepostos funcionam como pontos de venda ao cliente.

O modelo de Programação Linear desenvolvido teve como base a informação disponibilizada pela empresa, sendo que os dados foram extrapolados, devido à confidencialidade da informação. O modelo desenvolvido incorpora elementos da cadeia de abastecimento em estudo, tais como: as fábricas, os entrepostos, os clientes, os meios de transporte e os produtos.

Foi criado um modelo base que espelha o panorama real da empresa, em que se encontram dezoito entrepostos operacionais. O programa apenas decidiu quais os entrepostos que abasteciam cada cliente, sempre com o objetivo de minimizar os custos totais da rede. De acordo com os resultados obtidos, foram criados dois cenários, com o intuito de compreender melhor o comportamento da rede.

No primeiro cenário, o programa decide quais os entrepostos que devem estar operacionais. Tendo em conta os resultados obtidos no modelo base e no cenário um, concluiu-se que haviam entrepostos que apresentavam uma percentagem de utilização muito baixa e, por vezes, nula e de acordo com a empresa esses entrepostos tinham um volume elevado de vendas. Então, criou-se um segundo cenário em que se fixou como operacionais esses entrepostos, tais como: Braga, Leixões, Linhó, Penafiel, Viana do Castelo e Vila Real. Há que ter em atenção que os restantes entrepostos serão escolhidos através do modelo, como posteriormente será demonstrado.

Da análise dos resultados, observou-se que mesmo fechando alguns entrepostos, e no que diz respeito à redução dos custos totais da rede de distribuição, existe uma redução considerável nos custos operacionais dos entrepostos.

# Capítulo 1 - Introdução

Nos dias de hoje, o mercado está cada vez mais competitivo e dinâmico, devido ao rápido desenvolvimento da tecnologia, da globalização e da constante alteração das expectativas dos clientes, o que implica um aumento da competitividade das empresas no mercado, assim como a concorrência nas cadeias de abastecimento.

Assim, este projeto aparece com o intuito de analisar a localização dos diversos pontos de distribuição/venda da empresa Secil, de modo a encontrar uma solução ótima, tendo em conta a redução de custos. A empresa atua no setor do cimento a nível nacional e internacional, que por sua vez é afetado pela evolução do mercado da construção.

A otimização de uma rede extensa e complexa, e normalmente com muitas restrições, é uma tarefa complicada. Ao longo dos anos, a otimização tem sido estudada por muitos investigadores, de forma a descobrir métodos mais eficientes. Esses métodos serão desenvolvidos mais à frente na revisão da literatura.

## **1.1. Enquadramento do projeto**

A Secil – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A., fundada em 1930, é uma das principais produtoras de cimento do país, com uma produção anual de cerca de quatro milhões de toneladas de cimento.

A empresa tem uma forte presença no sector industrial cimenteiro, constituindo um grupo empresarial com atividades operacionais em Portugal e vários países do mundo. Atualmente, a Secil opera três fábricas de cimento em Portugal - Secil-Outão, Maceira-Liz e Cibra-Pataias – e com uma atividade significativa no Líbano, Tunísia, Angola, Brasil e Cabo Verde (sendo o mercado nacional o mais importante em todo o planeamento da empresa).

O setor da construção ocupa um lugar importante na economia europeia, pois gera quase 10% do PIB da UE e representa cerca de 20 milhões de postos de trabalho, nomeadamente nas micro e pequenas empresas. Segundo a Comissão Europeia, a crise financeira e económica sentida entre 2008 e 2012 implicou uma queda de 17% no setor, o que influenciou significativamente a evolução da economia.

A forte contração dos mercados nos países da União Europeia (num total dos 28 países aderentes), resultou de uma produção de cimento de 157,5 milhões de toneladas em 2013, menos 10% que no ano anterior (de acordo com a CEMBUREAU, *The European Cement Association*, 2009).

O setor da construção em Portugal movimenta vários setores, o que o torna um dos setores com maior importância para o crescimento da economia nacional, não só pelo peso na criação de riqueza como também a nível de postos de trabalho. Este setor sentiu fortemente os efeitos da recessão, nomeadamente ao nível do volume de negócios e, conseqüentemente, do seu contributo para o investimento nacional.

Sensível à contenção do investimento privado e restrições de natureza orçamental das contas do Estado, este setor manteve-se retraído com penalização no consumo de cimento do país. Embora a evolução da construção se mantenha ainda desfavorável, observam-se sinais positivos e o grau de retração do mercado foi bastante inferior ao ocorrido em 2013.

Durante o período de recessão, a partir de 2002 o sector da construção e obras públicas apresentaram uma redução acumulada de 31% na sua atividade produtiva e uma forte redução de 9% em 2009 (dados da FEPICOP, Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas (2010)). Relativamente às vendas de cimento em Portugal (dados fornecidos pelos Balanços do Banco de Portugal) no período de 2010 a 2015, observou-se um grande decréscimo de vendas de cerca de 86,7% para 29,5%, com o maior pico de decréscimo no primeiro trimestre de 2014 com 26,6%.

Em 2014 a economia portuguesa inverteu a tendência de contração sentida nos últimos anos, apresentando um crescimento do PIB próximo de 1% e fortalecendo um caminho de recuperação

global do PIB. Contudo, as vendas de cimento no mercado interno chegaram aos 2,5 milhões de toneladas, menos 7,2% do que em 2013, e muito longe dos onze milhões de toneladas conseguidos em 2001.

De acordo com a informação disponível nos Balanços do Banco de Portugal, o setor de construção representava em 2012 cerca de 12% das empresas e 7% do volume de negócios. Este reparte-se pela construção de edifícios (40%), engenharia civil (38%) e atividades especializadas (22%).

## **1.2. Objetivo do projeto**

A globalização e o crescente tráfego de produtos e serviços a nível nacional e internacional está em constante mudança e as empresas deparam-se com realidades competitivas e mercados cada vez mais dinâmicos, onde os clientes estão informados e são mais exigentes (o que aumenta a pressão na prestação de um serviço de excelência).

Este projeto centra-se na existência de uma vantagem em analisar a localização da rede de entrepostos comerciais da empresa Secil, em que o foco do estudo será as alterações da procura ao longo dos anos, com uma avaliação da localização dos pontos de venda direta existentes (face às alterações do mercado), de modo a propor alterações ou apenas melhorias na estratégia implementada.

Ao longo do estudo serão respondidas as seguintes questões necessárias para uma análise mais correta:

1. Onde estão localizados os centros de procura?
2. Os entrepostos estão a ser utilizados na sua totalidade?
3. Quais os entrepostos com maior importância na rede de distribuição?
4. Ao fechar entrepostos a procura consegue ser satisfeita na totalidade?

### **1.3. Enquadramento metodológico**

De acordo com o objetivo proposto, o enquadramento metodológico inicia-se com uma pesquisa profunda do problema em questão e a sua compreensão, de modo a elaborar um modelo de otimização para chegar a uma solução ótima. Assim, o levantamento de informação necessária para o desenvolvimento do modelo foi realizado com entrevistas com o Coordenador Logístico da empresa Secil.

A criação de um modelo de Programação Linear tem como objetivo a elaboração de um modelo adaptado à realidade da empresa Secil, com o intuito de servir de base para avaliações futuras da localização dos seus entrepostos face aos clientes. O modelo é constituído por restrições, variáveis de decisão e uma função objetivo. As restrições estão divididas em cinco padrões e vão de acordo com a capacidade de expedição a partir das fábricas, capacidade de expedição a partir dos entrepostos, satisfação da procura, ligações de fluxo e restrições de sinal.

Após a análise dos resultados obtidos, observou-se que alguns dos entrepostos (que têm um grande volume de vendas) apresentam uma percentagem de utilização muito baixa. Assim, houve a necessidade em desenvolver dois cenários, para compreender melhor o comportamento desses entrepostos.

No primeiro cenário, o programa escolhe quais os entrepostos que devem ficar operacionais e quais devem fechar, tendo em conta todos os custos inerentes. E, no segundo cenário, coloca-se a restrição de que os entrepostos de Braga, Leixões, Penafiel, Vila Real, Viana do Castelo e Linhó (entrepósitos com grande volume de vendas) têm de estar operacionais e, posteriormente, o programa escolhe se devem, ou não, abrir mais entrepostos.

#### **1.4. Estrutura do projeto**

Este projeto está dividido em 7 capítulos.

O primeiro capítulo tem como objetivo apresentar o problema de estudo e enquadrá-lo no seu meio envolvente, apresentação do objetivo do projeto e o seu enquadramento metodológico, onde é apresentada a estrutura a seguir no estudo.

No capítulo 2 é apresentado um enquadramento teórico que fundamenta temas relacionados com o caso de estudo, no âmbito da logística, com especial foco nos modelos de otimização de localização estudados ao longo dos anos.

No terceiro capítulo é apresentada toda a estrutura metodológica a ser desenvolvida ao longo do projeto.

No capítulo 4 é feita uma análise de toda a informação necessária, fornecida pela empresa, de modo a modelar o problema. De seguida, no capítulo 5 é apresentado o modelo de Programação Linear, que apresentará a solução ótima da rede de distribuição da empresa.

Por fim, no capítulo 6 serão apresentados os cenários da rede e uma análise do resultado dos mesmos, e no capítulo 7 serão apresentadas as conclusões finais e as limitações do projeto.

## Capítulo 2 - Revisão da Literatura

### 2.1. Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento

O desenvolvimento e implementação de uma gestão da cadeia de abastecimento adequada conduzem a um aumento da produtividade, à maximização da eficiência e à minimização dos custos e impactos ecológicos. De acordo com (Simchi-Levi, et al., 2008), a gestão da cadeia de abastecimento preocupa-se com a gestão de todos os processos eficientemente relacionados com os fornecedores, produtores, armazéns e lojas, desde a produção até ser distribuição na quantidade certa, no local certo e na hora certa, com o objetivo de minimizar os custos ao mesmo tempo que satisfaz o nível de serviço pretendido.

(Noche & Elhasia, 2013) afirma que o cimento é a segunda substância mais consumida no mundo e um ingrediente insubstituível na sua aplicação, tal como em projetos de infraestrutura civil, casas, e muito mais. A partir do ano 2000, a gestão da cadeia de abastecimento tem vindo a ter um papel operacional muito importante dentro das empresas de cimento. Atualmente, os processos de redução de custos levaram a gestão da cadeia de abastecimento a outro patamar, facilitando o desenvolvimento económico mundial.

A cadeia de abastecimento tem como pilar a logística em todo o seu processo, desde a perceção da procura até ao consumidor final a um custo competitivo (Harrison, 2008).

Segundo (Christopher, 2011), a logística é um processo de gestão estratégico de aquisição, movimentação e armazenamento de materiais, produto acabado e fluxo de informação integrado, de forma a maximizar a rentabilidade atual e futura, através da relação custo-benefício no cumprimento das encomendas. O seu principal objetivo é planear e coordenar todas as atividades necessárias, a fim de atingir níveis desejados de serviço prestados ao menor custo possível. Em suma, conclui-se que a logística é o conjunto da gestão de materiais e a sua respetiva distribuição (Rushton, et al., 2000).

No que diz respeito ao planeamento da cadeia de abastecimento, este é um processo complexo e de grande dificuldade e responsabilidade, pois há que ter em atenção algumas variáveis, como os

fornecedores, a fábrica, os clientes, entre outros. Assim sendo, é de extrema importância saber como conciliar os vários meios de transporte com a posterior expedição em tempo real, e reduzindo ao máximo os custos inerentes, de forma a satisfazer todos os clientes a nível nacional e internacional.

## **2.2. Redes de Distribuição**

Atualmente existe uma maior pressão das empresas devido às exigências do consumidor, em relação à eficiência e rapidez da entrega, o que torna a gestão da distribuição importante em todo o processo logístico, com o intuito de minimizar os custos sem perder rapidez e qualidade do produto.

De acordo com (Rushton, et al., 2000), existem dois princípios a ter em consideração na seleção dos canais de distribuição a utilizar (consoante o objetivo da empresa), tais como: tornar o produto de fácil acesso a todos os consumidores a que se destina; e receber uma rápida e exata resposta de informação.

### **2.2.1. Centros de Distribuição**

Os armazéns e centros de distribuição, e posteriormente a sua localização, segundo (Higginson & Bookbinder, 2005), são imprescindíveis na rede de abastecimento para darem suporte ao movimento dos materiais.

Relativamente à indústria do cimento, existe a necessidade de distribuí-lo desde a fábrica até aos centros de distribuição. A procura de cada centro é volátil, uma vez que é o ponto de venda para o consumidor final. Assim, para atender às necessidades dos centros de distribuição, as fábricas têm que ser muito flexíveis, e necessitam de um elevado número de camiões para a distribuição do cimento (Jovi, 2009).

### 2.2.2. Localização das instalações

Ao longo dos anos as empresas têm enfrentado decisões estratégicas no desenho da rede de distribuição, o que gera um grande impacto na decisão da localização das instalações e alocação dos clientes. Relativamente às empresas industriais, a localização das fábricas e postos de venda dos seus produtos têm um grande impacto na localização das mesmas (Klose & Drexl, 2005).

A escolha adequada da localização das instalações de uma empresa (fábricas, armazéns, serviços administrativos) é um fator crítico de sucesso para qualquer negócio, que permite o alcance de melhores resultados com a redução do custo associado (a sua análise depende sempre do tipo de indústria). Em relação à indústria cimenteira é mais vantajoso a unidade produtiva situar-se próximo das pedreiras de calcário, enquanto noutros casos é mais vantajoso a proximidade com o mercado atual e potencial (Ribeiro & Roldão, 2009).

De acordo com (Ballou, 2004) na escolha da localização das instalações é necessário ter em conta os problemas de localização, tais como:

- *Driving Force* – a localização é geralmente determinada por um fator crítico, como por exemplo a acessibilidade e a distância média percorrida.
- Número de instalações – a decisão de localizar uma instalação é diferente e mais simples do que várias instalações ao mesmo tempo.
- Diferenciação de escolhas – permite dividir os problemas de localização em contínuos e discretos. A localização contínua diz que todos os locais possíveis ao longo do espaço contínuo podem ser selecionados como a solução do problema de localização. A localização discreta permite a escolha da localização de um conjunto de localizações possíveis pré-definidas.
- Nível de agregação – dada a dimensão da informação, por vezes, é necessário proceder à agregação da informação para que a dimensão do problema seja exequível.
- Horizonte temporal – os métodos podem ser estáticos ou dinâmicos, em que no estático podem encontrar-se localizações para um curto período de tempo, enquanto no dinâmico pode ter-se em conta vários períodos no planeamento da localização.

Dada a importância da localização das instalações, existe a necessidade de uma análise mais profunda sobre a configuração da rede de distribuição, nomeadamente através de modelos de otimização e ferramentas de apoio à decisão.

### **2.2.3. Desenho da Rede de Distribuição**

De acordo com (Farahani, et al., 2014), o desenho da rede da cadeia de abastecimento determina a estrutura de uma cadeia e afeta os seus custos e desempenho. Assim como, uma variedade de decisões, tais como: determinar o número de instalações, o seu tamanho e a sua localização, incluindo decisões táticas (como a distribuição, transporte e políticas de inventário) e operacionais (como o cumprimento das exigências dos clientes).

A configuração da rede deve envolver questões relacionadas com a localização das fábricas, armazéns e retalhistas. Estas são muito importantes nas decisões estratégicas, porque têm um efeito duradouro na empresa. (Simchi-Levi, et al., 2008), refere que as principais decisões estratégicas a tomar no estudo da configuração da rede são os seguintes:

- Determinar o número apropriado de instalações, como as fábricas e armazéns;
- Determinar a localização para cada instalação;
- Determinar o tamanho de cada instalação;
- Alocação de espaço para os produtos em cada instalação;
- Determinar as necessidades de abastecimento;
- Determinar estratégias de distribuição, ou seja, a atribuição dos clientes para cada armazém.

O objetivo é reconfigurar a rede, através de modelos de otimização, de modo a minimizar os custos anuais do sistema, incluindo os custos de produção, custos de manutenção de *stock*, custos da instalação (custos fixos e operacionais), e os custos de transporte. Outra decisão muito importante é a seleção do meio de transporte, por exemplo, camião, comboio, entre outros (Simchi-Levi, et al., 2008).

A área da Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento têm utilizado, há várias décadas, técnicas de Investigação Operacional e respetivos modelos matemáticos, a fim de resolver diversos tipos de problemas. Segundo (Ballou, 2004), os modelos de otimização devem utilizar-se sempre que possível. Os mesmos garantem a melhor solução do problema (solução ótima), face ao conjunto de variáveis e restrições previamente definidas, permitindo a avaliação de problemas complexos. E, ainda, têm a garantia de que são consideradas todas as alternativas possíveis.

Ao longo dos anos, os principais modelos desenvolvidos na literatura, de acordo com (Owen & Daskin, 1998) e (Hamacher, 1998) são:

**Modelos Contínuos e Discretos** – o modelo contínuo permite que as instalações estejam localizadas dentro de um espaço de soluções, enquanto os modelos de localização em rede estão classificados como discretos, pois assumem que a procura e as instalações estão localizadas nos nós de uma rede num conjunto finito de localizações. Nos modelos discretos a localização é definida a partir de uma lista de possibilidades

**Modelos Estáticos e Dinâmicos** – os modelos estáticos são muito utilizados, pois são independentes do tempo. No entanto, na análise da generalidade dos modelos, o tempo é uma condicionante, o que acontece nos modelos dinâmicos. Em termos de modelação matemática, a decisão de abrir ou fechar uma instalação é avaliada num período de tempo específico que se pretende projetar.

**Modelos Estocásticos e Determinísticos** – nos modelos estocásticos ou probabilísticos existem uma certa incerteza, ou seja, há parâmetros que não são conhecidos, enquanto nos determinísticos não têm incorporada incerteza, ou seja, assume-se que todos os parâmetros são conhecidos.

De acordo com (Bazaraa, et al., 2010), na construção de um modelo em Programação Linear é necessário delinear quais as decisões a serem tomadas, que se convertem em variáveis de decisão  $x$  e  $y$ , ou seja, definir o que pretendemos determinar. A formulação do problema apresenta-se com a maximização ou minimização da função objetivo (define o que se pretende otimizar), que satisfaz um conjunto de restrições ou condições.

O problema pode ser formulado da seguinte forma:

$$\text{Maximizar ou Minimizar } c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeito às restrições:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq, \leq, = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq, \leq, = b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq, \leq, = b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Em que  $x_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$  são designadas por variáveis de decisão a serem determinadas, como por exemplo as quantidades do produto transportados a partir da fábrica para cada entreposto.

A função objetivo garante que a partir das variáveis de decisão e os coeficientes  $c_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , designa-se pelo que se pretende otimizar.

Já as equações e/ou inequações estabelecem um conjunto de restrições que devem ser satisfeitas. E, a partir destas é que se estabelecem as limitações ao problema, como por exemplo, limitações à capacidade de armazenamento de um centro de distribuição e limites de carregamento por cada camião. A partir das variáveis de decisão  $x_i$ , dos coeficientes técnicos ( $a_{ij}$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ ) e termos independentes ( $b_j$ ,  $j=1, 2, \dots, n$ ) são expressas as restrições funcionais. Por último, a restrição que aparece no final define qual o valor que as variáveis de decisão podem assumir, chamam-se restrições de sinal.

## **2.3. Estratégias de Distribuição**

De modo a reconfigurar a rede, é necessário decidir que tipo de estratégia de distribuição será implementada. De acordo com (Simchi-Levi, et al., 2008), existem três estratégias distintas de distribuição utilizadas: distribuição direta e distribuição por intermediários (Armazenamento Tradicional e *Cross-Docking*).

### **2.3.1. Distribuição Direta**

As estratégias de distribuição direta existem para evitar armazéns e centros de distribuição, ou seja, os produtores ou fornecedores entregam os produtos diretamente nas lojas de retalho. Isto leva a que o retalhista evite os custos operacionais de um centro de distribuição e reduza os tempos de espera. No entanto, esta estratégia ignora os efeitos do *Risk-Pooling* (efeito em que a variabilidade da procura é reduzida quando agrega a procura a outros locais), pois não existe um armazém central, e também leva a um aumento dos custos de transporte, pois é necessário enviar camiões para mais locais (Simchi-Levi, et al., 2008).

Esta estratégia é muito utilizada em situações em que os tempos de espera são críticos, como por exemplo quando se trata de produtos perecíveis.

### **2.3.2. Distribuição por Intermediários**

#### **Armazenamento Tradicional**

Na estratégia de armazenamento tradicional, (Simchi-Levi, et al., 2008) refere que é necessário decidir se os armazéns serão centrais (menos armazéns localizados mais longe dos clientes) ou locais (mais armazéns localizados perto dos clientes). Ou então, misturar as duas estratégias, em que alguns produtos são armazenados em armazéns centrais, no caso de produtos caros, com baixa procura e com um nível elevado de incerteza, enquanto outros serão mantidos em vários armazéns locais, no caso de produtos baratos, com uma elevada procura e um baixo nível de incerteza. Nesta estratégia o efeito do *Risk Pooling* é facilitado.

### ***Cross-Docking***

De acordo com (Simchi-Levi, et al., 2008), o *Cross-Docking* é um processo de distribuição em que, os armazéns funcionam como pontos de coordenação de inventário em vez de pontos de armazenamento, ou seja, é um sistema de distribuição em que a mercadoria recebida no centro de distribuição ou armazém, não é colocada de modo a fazer *stock*, mas sim preparada para a distribuição até ao cliente final. Neste sistema, as mercadorias ficam no armazém muito pouco tempo, muitas vezes menos de doze horas.

## 2.4. Quadro Conceptual

Num ambiente cada vez mais competitivo é necessário uma gestão da cadeia de abastecimento adequada, que leve ao aumento da produtividade, à minimização dos custos, à maximização da eficiência e, sobretudo, ter em conta os impactos ecológicos.

Dadas as exigências do consumidor, em relação à eficiência e rapidez de entrega, é necessário uma coerente seleção dos canais de distribuição a utilizar. Tudo isto terá de ter em conta a localização dos centros de distribuição, pois estes terão impacto nos custos e eficiência do serviço. A escolha adequada da sua localização é um fator crítico de sucesso para qualquer negócio, o que permitirá alcançar melhores resultados, como a redução do custo da rede de distribuição.

O problema de localização das instalações deve ser analisado, com base em modelos matemáticos de otimização, como forma de apoio à decisão.

Para uma boa modelação de um modelo de otimização é necessário ter um conhecimento profundo do problema em estudo, para que seja possível transformar conceitos qualitativos em quantitativos, definir como será feito o tratamento dos dados, e encontrar um equilíbrio entre a realidade e o modelo apresentado, que permita obter resultados úteis em tempo real.

Também é importante escolher qual a estratégia de distribuição a adaptar pela empresa:

- Distribuição Direta – nesta estratégia, os produtos são enviados diretamente da fábrica ou fornecedor até às lojas de retalho, sem passar por centros de distribuição;
- Armazenamento Tradicional – é uma estratégia clássica em que os armazéns mantêm o *stock* e são entregues os produtos aos clientes quando desejam.
- *Cross-Docking* – os produtos são distribuídos continuamente, desde as fábricas ou fornecedores até aos clientes, através da passagem pelo armazém. Passagem essa que não dura mais de doze horas.

## Capítulo 3 - Metodologia

Apostar numa forte estratégia logística pode acrescentar valor à empresa, permitindo diferenciar-se e sobretudo criar vantagem competitiva. Assim, este projeto aparece com o intuito de aproveitar uma oportunidade da empresa Secil e esta tornar-se mais competitiva face à concorrência, através de um estudo da análise da localização dos seus entrepostos comerciais, tendo em conta todos os fluxos de distribuição associados e satisfazendo a procura.

O problema de localização das instalações é um dos pontos mais importantes em toda a estratégia logística, devido ao seu impacto no posicionamento no mercado. Deste modo, ao longo do projeto serão respondidas a questões de investigação elaboradas através de um problema de programação linear. A programação linear tem como objetivo a procura da resolução de problemas de otimização, com o intuito de encontrar o ótimo, ou seja, minimizar ou maximizar a função objetivo que satisfaz um conjunto de restrições que têm de ser satisfeitas, tendo em conta variáveis de decisão que definem o que se pretende determinar (Bazaraa, et al., 2010).

Para responder às questões anteriormente enunciadas foi utilizado o seguinte esquema metodológico:

1. Análise e perceção da cadeia de abastecimento da empresa e do problema em questão;
2. Elaboração de um modelo de otimização em Programação Linear que demonstra o problema em estudo;
3. Levantamento de informação junto da empresa que servirá de *input* ao modelo;
4. Elaboração de um conjunto de testes computacionais, de modo a validar o modelo;
5. Análise da solução ótima e apresentação de resultados;
6. Apresentação de cenários de configuração da rede.

Na elaboração do modelo pretende-se encontrar um equilíbrio entre as características da cadeia de abastecimento da empresa, tendo em conta a sua complexidade, e a criação de um modelo de otimização que permita retirar conclusões fundamentadas.

Depois de uma análise extensiva da informação fornecida pela empresa, foi formulado um modelo em que o seu resultado será a solução ótima da rede, tendo em conta o panorama atual da empresa, ou seja, os dezoito entrepostos encontram-se operacionais. Após a análise dos resultados obtidos através do modelo serão apresentados dois cenários, com o intuito de entender melhor o comportamento da rede e perceber se existe alguma vantagem em fechar entrepostos.

As restrições do modelo descrevem os principais elementos da cadeia de abastecimento da empresa, tais como, as limitações à capacidade de expedição a partir das fábricas e entrepostos, satisfação da procura e fluxos de ligação, tendo em conta os meios de transporte disponíveis.

## Capítulo 4 - Análise da Informação

### 4.1. Descrição da cadeia de abastecimento da Secil

A Secil, S.A. está presente no mercado nacional e internacional e opera no setor da construção. O projeto centra-se apenas no mercado nacional, que é o grande foco da empresa.

No mercado nacional o produto pode ser comercializado a granel ou ensacado, tanto cimento cinzento como branco. Para o projeto apenas será relevante o cimento cinzento ensacado dado o seu maior volume de vendas.

No cimento ensacado existem três tipos de embalagem: palete simples, palete plastificada e pacotão, como se pode observar na Tabela 1. A palete simples e plastificada é composta por 40 sacos de 40kg, e a palete plastificada também pode ser composta por 64 sacos de 25kg. Ambas contêm uma palete de madeira que suporta os sacos empilhados. Por sua vez, o pacotão contém 44 sacos de 40kg.

Peso por embalagem / produto			
Produto	Unidades	Peso (Kg)	Peso Total (ton)
CEM I 42,5R.PAC	44	40	1,76
CEM II/A-L 42,5R.PAC	44	40	1,76
CEM II/B-L 32,5N.PAC	44	40	1,76
CEM II/B-L 32,5N.PAC	70	25	1,75
CEM II/B-L 32,5N.PALPP	64	25	1,6
CEM II/B-L 32,5N.PALPR	40	40	1,6
CEM II/B-L 32,5N.PALR	40	40	1,6

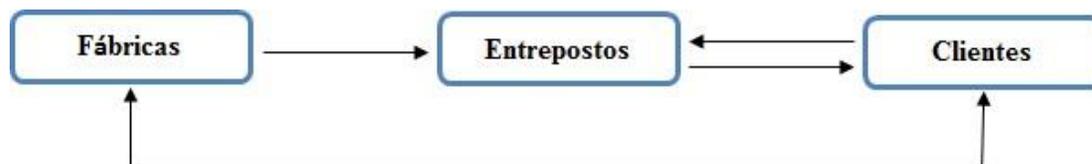
**Tabela 1 - Tipo de produto por embalagem**

Fonte: elaboração própria

Relativamente aos produtos referidos anteriormente, a sua produção tem lugar em todas as fábricas, com exceção de alguns produtos e tipos de embalagem que não são produzidos em certas fábricas (informação confidencial).

## 4.2. Distribuição

No sistema de distribuição do mercado nacional da empresa, o fluxo de produtos ao longo da cadeia de abastecimento é realizada da seguinte forma:



**Figura 1 - Sistema de distribuição da Secil**

Fonte: Elaboração própria

A rede de distribuição começa com a distribuição dos produtos a partir das fábricas para os entrepostos que servem de armazém e posto de venda ao cliente. Os clientes abastecem-se a partir dos entrepostos, seja diretamente ou mediante um serviço de transporte contratado, de modo a receberem o produto onde desejarem. No entanto, os clientes também podem abastecer-se a partir das fábricas, ou no caso do cimento a granel, o cliente poderá receber o produto onde desejar mediante um serviço de transporte contratado (ver Figura 1).

Neste projeto será tido em conta apenas a distribuição das fábricas para os entrepostos e dos entrepostos para os clientes, pois o foco do estudo é a localização dos entrepostos face à procura. No entanto, existe uma limitação no projeto relativamente aos clientes que compram diretamente no entreposto, sem um contrato de um serviço de transporte. Esta informação é um dado muito importante na análise da procura, o que poderá levar a resultados diferentes do esperado.

### 4.2.1. Centros de expedição e venda

A organização é constituída por três fábricas e vinte e um entrepostos comerciais localizados por diversas zonas do território nacional, como se pode observar na Figura 2. Sendo que dezoito dos entrepostos comercializam cimento ensacado, enquanto três deles são marítimos (Leixões-Mar, Viana do Castelo-Mar e Aveiro) e vendem apenas cimento a granel, exceto Trofa que detém cimento ensacado e a granel.



**Figura 2 - Centros de distribuição**

Fonte: elaboração própria

Os entrepostos e as fábricas operam como ponto de venda direta ao cliente ou como armazém. Assim, o cliente pode adquirir o produto diretamente nos entrepostos/expedições das fábricas ou contratar o serviço de transporte da empresa e o cimento será entregue no local desejado. Os diversos entrepostos também têm como objetivo facilitar a distribuição capilar do produto junto dos revendedores. Relativamente à exportação, o produto sai diretamente das fábricas para o navio (no cais próprio da fábrica do Outão), ou então, dependendo do tipo de produto, sai das fábricas da Maceira e Pataias por rodovia ou ferrovia.

A gama de produtos disponível em cada entreposto depende das infraestruturas e da procura local, ou seja, nem todos os entrepostos armazenam ou vendem todos os produtos mencionados na Tabela 1. Por exemplo, alguns dos entrepostos não dispõem de qualquer tipo de embalagem de palete, seja simples ou plastificada, pois não têm infraestruturas adequadas para proteção das chuvas.

#### 4.2.2. Meios de transporte

O processo de distribuição da empresa inicia-se com a expedição dos produtos a partir das fábricas para os entrepostos e, posteriormente, dos entrepostos para os clientes. De modo a distribuir o produto para os entrepostos e clientes, a empresa subcontrata prestadores de serviços de transporte rodoviário, ferroviário e marítimo. Para o projeto apenas serão considerados os transportes rodoviários e ferroviários, visto serem os únicos meios de transporte de cimento ensacado no mercado interno.

Entrepósitos	Rodoviário	Ferrovário
Viana do Castelo	x	
Braga	x	X
Trofa	x	X
Vila Real	x	
Penafiel	x	X
Pinhão	x	
Leixões	x	X
Stª Mª da Feira	x	
Cacia	x	X
Mangualde	x	X
Fundão	x	X
Sarnadas	x	X
Torres Vedras	x	
Linhó	x	
Poço do Bispo	x	
Estremoz	x	
Stº André	x	
Vila Real Stº António	x	

**Tabela 2 - Meios de transporte acessíveis em cada entreposto**

Fonte: elaboração própria

Relativamente às restrições de transporte, a rodovia não tem quais quer restrições, pois pode-se contratar a quantidade necessária, enquanto na ferrovia existe um limite de transferências por semana. Mas, no total das transferências não haverá qualquer restrição, pois caso haja necessidade existe a possibilidade de contratar mais comboios. A única limitação será ao nível das transferências ferroviárias que apenas vão das fábricas até aos entrepostos acessíveis, como

demonstrado na Tabela 2. Não existe a possibilidade de abastecer o cliente através da ferrovia, tanto a partir das fábricas como dos entrepostos, apenas por rodovia.

#### **4.2.3. Clientes**

Os centros de procura estão localizados, principalmente, nos grandes centros populacionais, como o litoral norte e centro (onde estão localizados grande parte dos entrepostos da Secil).

O processo de compra poderá ser efetuado de duas formas: o cliente pode optar por receber o produto onde desejar, mediante a contratação de um serviço de transporte Secil, ou comprar o produto diretamente no entreposto ou fábrica. A segunda opção, não será tida em consideração no presente projeto.

## Capítulo 5 – Modelo de Programação Linear

Neste capítulo é apresentado um modelo de Programação Linear desenvolvido, tendo em conta as necessidades e características da empresa. O problema em estudo será moldado, de forma a dar resposta às questões enumeradas anteriormente, e para que no futuro possa ser implementado na cadeia de abastecimento da empresa.

De modo a replicar o panorama real da empresa foi desenvolvido um modelo em Programação Linear, em que se considerou que todos os entrepostos se encontravam operacionais. Neste caso, o objetivo é determinar o fluxo ótimo de distribuição, ou seja, em que o próprio modelo irá escolher quais os entrepostos que abastecem cada cliente, tendo em conta a minimização dos custos de transporte. Note-se que, como se está a considerar que todos os entrepostos estão em funcionamento, os seus respetivos custos fixos e operacionais serão contabilizados.

Na descrição do modelo foi omitido qual o horizonte temporal específico utilizado, devido ao facto do modelo poder ser aplicado a outros períodos distintos, bastando apenas ajustar os dados ao período a considerar.

### 5.1. Definição das variáveis de decisão

De modo a simplificar a leitura e compreensão do modelo matemático representativo da cadeia de distribuição da empresa Secil, serão utilizados os seguintes conjuntos, apresentados na Tabela 3, para representar as entidades envolvidas – fábricas, entrepostos, clientes, meios de transporte e produtos.

Entidade	Conjunto	Cardinalidade
Produtos	P	7
Fábricas	I	3
Entrepósitos	J	18
Meios de Transporte	M	2
Clientes	C	176

**Tabela 3 - Conjuntos do modelo**

Fonte: elaboração própria

Dado que os produtos podem apenas ser comercializados e transportados em embalagens específicas, por exemplo uma embalagem de produto P1 é constituída por 44 pacotes de 40 kg de cimento CEM I 42,5R.PAC, na definição das variáveis de decisão foi assumido que uma unidade de um determinado produto representa uma embalagem. Além disso, iremos utilizar o parâmetro  $Peso_p$  para representar o peso, em toneladas, de uma unidade de produto p,  $p=1,2,\dots,P$ . Por exemplo, para o produto P1 o correspondente valor será  $Peso_1=1,76$  toneladas.

Tendo em conta a nomenclatura acima apresentada, as variáveis de decisão são definidas por:

$X_{pijm}$  : unidades de produto p a serem transportadas da fábrica i para o entreposto j através do meio de transporte m,  $p=1,2,\dots,P$ ,  $i=1,2,\dots,I$ ,  $j=1,2,\dots,J$ ,  $m=1,2,\dots,M$

$Y_{picm}$  : unidades de produto p a serem transportadas do entreposto j para o cliente c através do meio de transporte m,  $p=1,2,\dots,P$ ,  $j=1,2,\dots,J$ ,  $c=1,2,\dots,C$ ,  $m=1,2,\dots,M$

Para além disso, como o transporte de produtos é realizado por camiões e contentores ferroviários, cuja capacidade é limitada foi ainda necessário definir as seguintes variáveis de decisão:

$X1_{ijm}$  : número de veículos a serem utilizados no transporte de produtos da fábrica i para o entreposto j através do meio de transporte m,  $i=1,2,\dots,I$ ,  $j=1,2,\dots,J$ ,  $m=1,2,\dots,M$

$Y1_{icm}$  : unidades de produto p a serem transportadas do entreposto j para o cliente c através do meio de transporte m,  $j=1,2,\dots,J$ ,  $c=1,2,\dots,C$ ,  $m=1,2,\dots,M$

## 5.2. Definição dos parâmetros

$Peso_p$  : Peso, em toneladas, do produto p.

$Proc_{pc}$  : Quantidade do produto p que é necessária para satisfazer a procura dos clientes c.

$CapArm_j$  : Capacidade de armazenamento anual, em toneladas, no entreposto j.

$CT_{jc1}$  : Custos de transporte do entreposto j para o cliente c através do meio de transporte 1.

$CO_j$  : Custos operacionais do entreposto j.

$CF_j$  : Custos fixos do entreposto j.

## 5.3. Restrições do modelo

De modo a garantir que o modelo seja formulado o mais próximo da realidade, será necessário encontrar quais as restrições que definem e limitam a rede de distribuição, tais como a capacidade de expedição a partir das fábricas e entrepostos, a satisfação da procura e as ligações do fluxo.

### 5.3.1. Restrições à capacidade de expedição a partir das fábricas

Tendo em conta que a capacidade produtiva das fábricas não será tomada em consideração, por se considerar que a mesma excede a procura existente, será apenas necessário impor restrições de capacidade às fábricas quando as mesmas não produzem certo tipo de produtos. Neste caso, a fábrica designada por F3 não produz os produtos P1, P2, P3 e P4, ou seja,

$$\sum_{p=1}^4 \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J X_{p3jm} = 0 \quad (1)$$

A restrição (1) garante que da fábrica F3 não serão expedidas quaisquer unidades de P1, P2, P3 e P4.

Relativamente aos meios de transporte é necessário garantir que:

- a) a ferrovia não pode ser utilizada como meio de transporte para expedir produtos para os clientes;
- b) a ferrovia não pode ser utilizada como meio de transporte para expedir produtos da fábrica localizada no F1 para entrepostos;
- c) o volume de carga transportado por cada veículo não pode exceder as 26 e 300 toneladas, respetivamente para transporte rodoviário e ferroviário.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J X_{p1j2} = 0 \quad (2)$$

A restrição (2) garante que a partir da fábrica designada por F1 não serão expedidas, por ferrovia, quaisquer unidades de produtos para os entrepostos.

$$\sum_{p=1}^P \text{Peso}_p X_{pij1} \leq 26 X_{1ij1}, i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J \quad (3)$$

As restrições (3) garantem que a carga transportada, por veículo rodoviário, a partir das fábricas, não irá exceder as 26 toneladas.

$$\sum_{p=1}^P \text{Peso}_p X_{pij2} \leq 300 X_{1ij2}, i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J \quad (4)$$

As restrições (4) garantem que a carga transportada, por veículo ferroviário, a partir das fábricas, não irá exceder as 300 toneladas.

### 5.3.2. Restrições à capacidade de expedição a partir dos entrepostos

Contrariamente ao que acontece com a capacidade produtiva das fábricas, a capacidade de armazenamento nos entrepostos é limitada. Designando por  $\text{CapArm}_j, j=1,2,\dots,|J|$ , a capacidade de armazenamento anual, em toneladas, no entreposto  $j$ , temos que:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \text{Peso}_p Y_{pijm} \leq \text{CapArm}_j, j = 1, 2, \dots, J \quad (5)$$

As restrições (5) garantem que a carga transportada anualmente para cada entreposto não excede a capacidade do mesmo.

Para além disso, alguns dos entrepostos não podem funcionar como centros de distribuição de alguns produtos:

$$\sum_{p=5}^P \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^M (Y_{p2cm} + Y_{p9cm} + Y_{p14cm} + Y_{p15cm}) = 0 \quad (6)$$

A restrição (6) garante que dos entrepostos designados por E2, E9, E14 e E15 não serão expedidas quaisquer unidades de produtos P5, P6 e P7.

No que diz respeito ao transporte de produtos para os entrepostos serão consideradas as seguintes condicionantes:

- alguns dos entrepostos não têm acesso a ferrovia (ver Tabela 2);
- a ferrovia não pode ser utilizada como meio de transporte para expedir produtos para os clientes;
- o volume de carga transportado por cada veículo não pode exceder as 26 e 300 toneladas, respetivamente para transporte rodoviário e ferroviário.

Estas condicionantes traduzem-se nas seguintes restrições:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I (X_{pi22} + X_{pi32} + X_{pi62} + X_{pi92} \dots + X_{pi132} + X_{pi152} + \dots + X_{pi182}) = 0 \quad (7)$$

A restrição (7) garante que a ferrovia não será utilizada como meio de transporte para expedir produtos das fábricas para os entrepostos localizados em Cacia, Estremoz, Linhó, Pinhão, Poço do Bispo, Santo André, Sarnadas, Torres Vedras, Viana de Castelo, Vila da Feira, Vila Real de Santo António e Vila Real.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{c=1}^C Y_{pj2c} = 0 \quad (8)$$

A restrição (8) garante que a ferrovia não pode ser utilizada como meio de transporte para distribuição de produtos a clientes.

$$\sum_{p=1}^P \text{Peso}_p Y_{pj c1} \leq 26 Y_{1j c1}, \quad j=1,2,\dots,J, \quad c=1,2,\dots,C \quad (9)$$

As restrições (9) garantem que a carga transportada, por veículo rodoviário, a partir dos entrepostos, não irá exceder as 26 toneladas.

$$\sum_{p=1}^P \text{Peso}_p Y_{pj c2} \leq 300 Y_{1j c2}, \quad j=1,2,\dots,J, \quad c=1,2,\dots,C \quad (10)$$

As restrições (10) garantem que a carga transportada, por veículo ferroviário, a partir dos entrepostos, não irá exceder as 300 toneladas.

### 5.3.3. Restrições de satisfação da procura

No que se refere à satisfação da procura, é necessário garantir que a mesma será satisfeita. Designando por  $Proc_{cp}$ , a procura anual do cliente  $c$  para o produto  $p$ , expressa em unidades, temos que:

$$\sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M Y_{pjcm} = Proc_{cp}, \quad p = 1,2,\dots,P, \quad c = 1,2,\dots,C \quad (11)$$

As restrições (11) asseguram que a procura de cada cliente para cada produto será satisfeita na totalidade.

### 5.3.4. Restrições de ligação de fluxo

Por fim, é necessário garantir que o produto que é expedido a partir dos entrepostos com origem nas fábricas é distribuído na sua integralidade:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M X_{pijm} = \sum_{c=1}^C \sum_{m=1}^{2M} Y_{pjcm}, \quad p=1,2,\dots,P, j=1,2,\dots,J, \quad (12)$$

A restrição (12) garante que as unidades de cada produto que são expedidas para cada entreposto são depois distribuídas na totalidade pelos clientes.

### 5.3.5. Restrições de sinal

$$X_{pijm} \geq 0 \text{ e inteiro } p=1,2,\dots,P, i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J, m=1,2,\dots,M \quad (13)$$

$$Y_{pjcm} \geq 0 \text{ e inteiro } p=1,2,\dots,P, j=1,2,\dots,J, c=1,2,\dots,C, m=1,2,\dots,M \quad (14)$$

$$X1_{ijm} \geq 0 \text{ e inteiro } i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J, m=1,2,\dots,M \quad (15)$$

$$Y1_{jcm} \geq 0 \text{ e inteiro } j=1,2,\dots,J, c=1,2,\dots,C, m=1,2,\dots,M \quad (16)$$

## 5.4. Função objetivo

Na função objetivo serão contabilizados não só os custos de transporte, mas também os custos associados aos entrepostos, nomeadamente os custos fixos e os custos operacionais. Os custos de transporte entre cada origem  $o$  e cada destino  $j$  ( $CT_{odm}$ ) foram contabilizados em função da distância, expressa em quilómetros, e dependem do meio de transporte. Para o transporte aos clientes, o custo de transporte não depende da quantidade enviada sendo contabilizado apenas em função da distância e do custo por quilómetro. Já para os restantes fluxos, os que são enviados das fábricas para os entrepostos, o custo de transporte é contabilizado tendo em conta o custo por quilómetro, a distância e a quantidade, em toneladas, transportada. Os custos fixos serão designados por  $CF_j$  e os custos operacionais,  $CO_j$ , são contabilizados por toneladas de produtos.

$$\begin{aligned}
 \text{Min Custo} = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M CT_{ijm} \text{Peso}_p X_{pijm} \\
 & + \sum_{j=1}^J \sum_{c=1}^C CT_{jc1} Y_{1jc1} + \sum_{j=1}^J CF_j + \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^m \text{Peso}_p CO_j X_{pijm} \quad (17)
 \end{aligned}$$

Dado que nenhum cliente poderá receber produtos via ferrovia, as variáveis  $Y_{pij2}$  e  $Z_{pic2}$  não necessitam de ser consideradas e, em consequência, as restrições (11) e (13) podem ser removidas do modelo.

## 5.5. Conclusões do modelo

O modelo em Programação Linear foi codificado em C++ com recurso ao ILOG *Concert Technology* e foi resolvido com o CPLEX 12.5. Para correr o modelo foi utilizado um Intel Core i7, com um processador de 2.9 GHz e 8 GB RAM, e dado um tempo máximo de 8 horas de tempo CPU.

A solução apresentada pelo programa é a solução ótima da rede de distribuição, tendo em conta o cenário real da empresa, em que todos os entrepostos estão abertos.

Através dos resultados do modelo pode observar-se qual a percentagem de utilização de cada entreposto, com base na redução dos custos totais.

Entrepósitos	% utilização	Entrepósitos	% utilização
Braga	0,03	Poço do Bispo	100,00
Cacia	2,79	Santo André	7,80
Estremoz	6,64	Sarnadas	13,58
Fundão	0,03	Torres Vedras	11,25
Leixões	0,52	Trofa	1,65
Linhó	20,98	Viana do Castelo	2,27
Mangualde	13,31	Vila da Feira	7,32
Penafiel (Irivo)	99,99	Vila R. St. António	0,01
Pinhão	0,00	Vila Real	0,00

**Tabela 4 - Percentagem de utilização por entreposto (modelo base)**

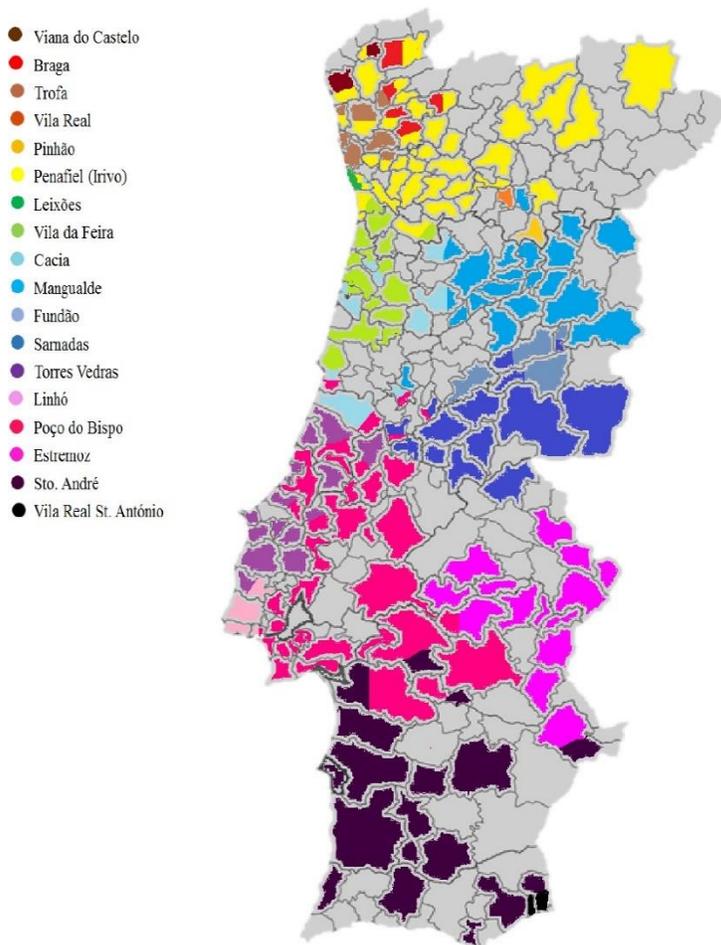
Fonte: Elaboração própria

Tendo em conta o panorama real da rede de distribuição, em que todos os entrepostos se encontram operacionais, pode observar-se na Tabela 4 que os entrepostos de Braga, Fundão, Leixões, Pinhão, Trofa, Vila Real St. António e Vila Real apresentam uma percentagem de utilização quase nula. Já no caso de Penafiel e Poço do Bispo a utilização é total. Note-se que esta solução proposta, em termos práticos, pode ser inviável dado que não está a ser considerada a procura dos clientes que compram cimento diretamente no entreposto. Caso essa informação tivesse sido disponibilizada, essa procura teria que ser retirada à capacidade dos entrepostos. Por exemplo, no entreposto do Poço do Bispo a percentagem de utilização é de 100%. Se a procura dos clientes que compram

diretamente no entreposto equivalesse a 10%, então teria que se colocar uma restrição de que o entreposto apenas poderia funcionar a 90% para clientes com transporte contratado.

É também de realçar que apesar dos entrepostos do Pinhão e Vila Real apareçam com uma percentagem nula de utilização existe fluxo desses entrepostos para clientes, embora em quantidade muito reduzida: cerca de 5 toneladas do Pinhão e 2 toneladas de Vila Real.

Relativamente à escolha de quais os entrepostos é que abastecem cada cliente, será apresentado na Figura 3, por concelho.



**Figura 3 - Abastecimento dos clientes, por concelho, por entreposto (modelo base)**

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Figura 3 observa-se que, na generalidade, os clientes são abastecidos por entrepostos que se encontram nos concelhos mais próximos. Existem, contudo, algumas exceções: entrepostos que abastecem clientes situados mais longe e que estão mais perto de outros entrepostos. Isto deve-se ao facto do custo total de transporte associado a cada deslocação ser menor, tendo em conta o somatório do custo do transporte desde a fábrica até ao entreposto e do entreposto para o cliente. Por exemplo, no caso do entreposto de Santo André, este abastece concelhos do Sul que, em termos de distância, estão mais perto do entreposto de Vila Real de Santo António. Embora a distância seja mais curta e o custo de transporte do entreposto até ao cliente seja muito menor desde Vila Real de Santo António, o custo de enviar o produto da fábrica para o entreposto é bastante superior, o que leva a que seja mais económico abastecer o cliente a partir do entreposto de Santo André.

Também pode observar-se que existem concelhos que são abastecidos por dois ou mais entrepostos, isto é devido às limitações de capacidade nos entrepostos: quando a capacidade máxima é atingida, a restante procura do cliente tem que ser coberta a partir de um outro entreposto. Por exemplo, o entreposto de Penafiel abastece o concelho de Arcos de Valdevez. Dado que esse mesmo entreposto se encontra na capacidade máxima de utilização, este foi seleccionado o entreposto de Braga, por ser o mais desejável a seguir a Penafiel tendo em conta todos os custos.

<b>Modelo base</b>	
<b>Custos de Transporte</b>	
Fábrica - Entreposto	2 474 952 €
Entreposto - Cliente	716 363 €
<b>Total</b>	<b>3 191 315 €</b>
<b>Custos Fixos e Operacionais</b>	<b>642 948 €</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>3 834 263 €</b>

**Tabela 5 - Custos da rede de distribuição (modelo base)**

Fonte: Elaboração própria

No que diz respeito aos custos da rede de distribuição, a maior parcela encontra-se nos custos de transporte, como se pode observar na Tabela 5, principalmente nos custos de transporte de cimento

das fábricas para os entrepostos. Como todos os entrepostos estão abertos, o custo de abastecê-los é muito elevado, dada a quantidade dos mesmos.

Relativamente à análise dos custos totais da rede, decompõem-se pelos custos de transporte, das fábricas para os entrepostos e dos entrepostos para os clientes, e os custos fixos e operacionais dos entrepostos. Pode então concluir-se que, a maior parcela refere-se aos custos de transporte, nomeadamente, no transporte do produto das fábricas para os entrepostos. Custo este que será sempre necessário existir, de modo a abastecer todos os clientes.

Após uma análise detalhada dos resultados obtidos através do modelo, observa-se que há alguns entrepostos com uma percentagem de utilização muito baixa. Principalmente nos entrepostos de Braga, Leixões, Viana do Castelo e Vila Real, que de acordo com a informação disponibilizada pela empresa são dos entrepostos com maior volume de vendas.

De modo a completar a análise da rede de distribuição da Secil, foram criados dois cenários com objetivos diferentes. No primeiro cenário, pretende-se, a partir da otimização do modelo, determinar quais seriam os entrepostos mais vantajosos para abastecer toda a procura. Tendo em conta a análise dos resultados obtidos, criou-se ainda um segundo cenário em que seis dos dezoito entrepostos foram considerados como operacionais, ou seja, já em funcionamento. Este cenário surgiu, em grande medida por se ter conhecimento (informação disponibilizada pela empresa) que esses entrepostos apresentam um volume elevado de vendas.

## Capítulo 6 - Cenários

Depois de uma análise detalhada do panorama real da rede de distribuição da empresa, foram criados dois cenários. No primeiro cenário o programa irá decidir quais os entrepostos que devem estar operacionais, tendo em conta os objetivos do modelo. No segundo cenário são fixos seis dos dezoito entrepostos, que de acordo com a informação disponibilizada, que têm um maior volume de vendas, e os restantes o modelo decidirá quais devem estar operacionais.

### 6.1. Cenário 1

Vamos agora considerar um cenário em que se vai equacionar a hipótese de alguns dos entrepostos poderem ser fechados, ou seja, em que será o próprio modelo a decidir quais dos entrepostos devem ficar operacionais. A formulação em Programação Linear terá como suporte o modelo base. Para o efeito serão introduzidas novas variáveis binárias de decisão, tais como:

$$W_j = 1, \text{ se o entreposto localizado no local } j \text{ estiver operacional e } 0, \text{ caso contrário } j=1,2,\dots,J$$

Na formulação deste cenário, bastará substituir a restrição (5)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M Y_{pijm} \leq CapArm_j, j = 1,2, \dots, J$$

pela restrição (5a)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M Y_{pijm} \leq CapArm_j W_j, j = 1,2, \dots, J \quad (5a)$$

que garantem que cada entreposto  $j$  apenas poderá receber produtos se estiver operacional, e também adicionar um novo conjunto de restrições de sinal, tais como:

$$W_j = 0,1, j = 1,2, \dots, J \quad (18)$$

que garantem que as variáveis de decisão relativas à seleção dos entrepostos que irão estar operacionais são binárias.

Adicionalmente, será necessário alterar a função objetivo (17)

$$\begin{aligned}
 \text{Min Custo} = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M CT_{ijm} \text{Peso}_p X_{pijm} \\
 & + \sum_{j=1}^J \sum_{c=1}^C CT_{jc1} Y_{1jc1} \\
 & + \sum_{j=1}^J CF_j + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \text{Peso}_p CO_j X_{pijm}
 \end{aligned}$$

pela função (17a)

$$\begin{aligned}
 \text{Min Custo} = & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M CT_{ijm} \text{Peso}_p X_{pijm} & (19) \\
 & + \sum_{j=1}^J \sum_{c=1}^C CT_{jc1} Y_{1jc1} \\
 & + \sum_{j=1}^J CF_j W_j + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{m=1}^M \text{Peso}_p CO_j X_{pijm}
 \end{aligned}$$

**Análise da solução**

A criação deste cenário teve como intuito entender que entrepostos o programa escolherá, como os mais vantajosos na redução de custos, de modo a fazer face à procura. Através da análise de resultados, o modelo diz-nos que ao manter apenas seis entrepostos operacionais, a procura será satisfeita na totalidade.

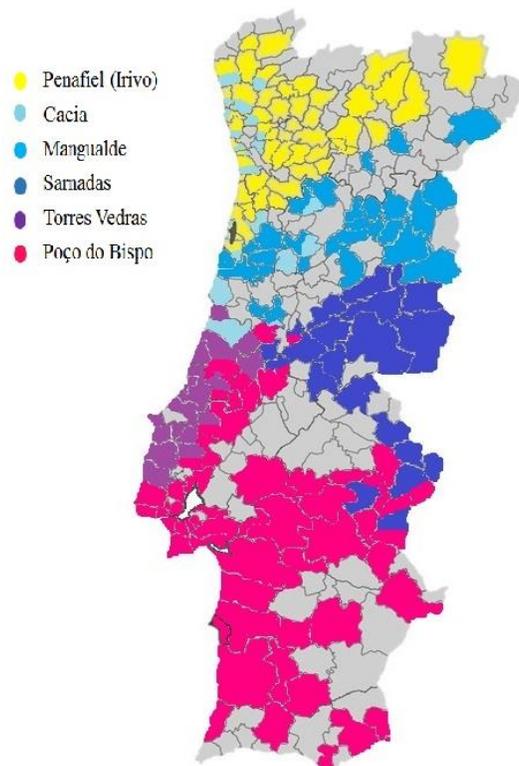
<b>Entrepostos</b>	<b>% utilização</b>	<b>Entrepostos</b>	<b>% utilização</b>
Braga	0,00	Poço do Bispo	100,00
Cacia	13,96	Santo André	0,00
Estremoz	0,00	Sarnadas	15,53
Fundão	0,00	Torres Vedras	44,47
Leixões	0,00	Trofa	0,00
Linhó	0,00	Viana do Castelo	0,00
Mangualde	14,73	Vila da Feira	0,00
Penafiel (Irivo)	100,00	Vila R. St. António	0,00
Pinhão	0,00	Vila Real	0,00

**Tabela 6 - Percentagem de utilização por entreposto (cenário 1)**

Fonte: Elaboração própria

Como se pode observar na Tabela 6, neste cenário a percentagem de utilização dos entrepostos já é mais consistente, embora os entrepostos de Cacia, Mangualde e Sarnadas tenham uma percentagem mais baixa. Os entrepostos de Penafiel e Poço do Bispo continuam a ser utilizados na totalidade, o que teriam o mesmo problema que no modelo base relativamente aos clientes que se abastecem diretamente no entreposto (ver Figura 4).

Tendo em conta todos os custos associados ao transporte e de infraestruturas, este cenário decidiu que toda a procura pode ser satisfeita apenas com seis entrepostos abertos, como se pode observar na Tabela 6. Os entrepostos com uma percentagem de utilização nula seriam fechados.



**Figura 4 - Abastecimento dos clientes, por concelho, por entreposto (cenário 1)**

Fonte: Elaboração própria

Tendo em conta a Figura 4, o modelo mostra que com apenas seis entrepostos abertos é possível satisfazer todos os clientes. Assim, cada entreposto operacional passa a abastecer uma quantidade maior de clientes, nomeadamente o entreposto do Poço do Bispo que abastece grande parte do Alentejo e Algarve. Consta-se também que, neste cenário os entrepostos abastecem os clientes mais próximos, com exceção de Cacia, que abastece clientes mais dispersos, ou seja, visualmente parece não haver um padrão de distribuição.

Note-se também, que à semelhança do que acontece no modelo base, continuam a haver concelhos que são abastecidos por dois ou mais entrepostos. Embora, a quantidade de concelhos “divididos” seja menor que no modelo base.

<b>Cenário 1</b>	
<b>Custos de Transporte</b>	
Fábrica - Entrepasto	2 464 138 €
Entrepasto - Cliente	785 704 €
<b>Total</b>	<b>3 249 842 €</b>
<b>Custos Fixos e Operacionais</b>	<b>282 478 €</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>3 532 320 €</b>

Tabela 7 - Custos da rede de distribuição (cenário 1)

Fonte: Elaboração própria

Na análise dos custos (Tabela 7), observa-se novamente que os custos de transporte prevalecem sobre os restantes custos. O custo de abastecer o cliente aumenta (tendo em conta o modelo base), pois ao fechar entrepostos, a distância do entreposto para os clientes irá aumentar, logo os custos de transporte aumentam.

Comparando o custo total com o do modelo base, a maior diferença é na descida dos custos fixos e operacionais, o que faz sentido, devido à redução dos entrepostos operacionais, ou seja, o número de entrepostos é menor, logo os custos em manter um entreposto em funcionamento é menor. Assim, levará a uma descida considerável dos custos totais da rede de distribuição.

Observa-se também, que os entrepostos de Braga, Leixões, Viana do Castelo e Vila Real, continuam a apresentar resultados muito diferentes do esperado. Assim, criou-se um cenário onde se fixou como operacionais estes entrepostos, com o intuito de perceber o porque do seu comportamento, e também os entrepostos de Penafiel e Linhó, que têm um volume elevado de vendas, e que se pode observar nos resultados obtidos pelo modelo e do cenário 1.

## 6.2. Cenário 2

Agora será apresentado um cenário em que se fixa alguns entrepostos, que de acordo com a empresa apresentam um elevado volume de vendas e, por isso, será interessante verificar qual será a sua utilização, tendo em conta que no modelo base e também no cenário 1, os entrepostos de Braga, Leixões, Viana do Castelo e Vila Real apresentam uma percentagem de utilização muito baixa. Assim serão fixados estes entrepostos, e também o do Linhó e Penafiel, por apresentarem um elevado volume de vendas, e os restantes o próprio modelo irá decidir quais se manterão abertos.

Este cenário será formulado de forma igual ao cenário 2, mas com o acrescento das seguintes restrições:

$$W_1 = 1 \quad (20)$$

$$W_5 = 1 \quad (21)$$

$$W_6 = 1 \quad (22)$$

$$W_8 = 1 \quad (23)$$

$$W_{15} = 1 \quad (24)$$

$$W_{18} = 1 \quad (25)$$

As restrições (20) a (25) garantem que os entrepostos 1, 5, 6, 8, 15 e 18 estão abertos.

**Análise da solução**

Este cenário aparece com o intuito de analisar o comportamento dos entrepostos de Braga, Leixões, Linhó, Penafiel, Viana do Castelo e Vila Real, fixando-os como operacionais, devido ao facto de apresentarem um elevado volume de vendas e, tendo em conta, que nos resultados do modelo base nem no cenário 1, a percentagem de utilização do entreposto de Braga, Leixões, Viana do Castelo e Vila Real é muito baixa e em alguns entrepostos nula.

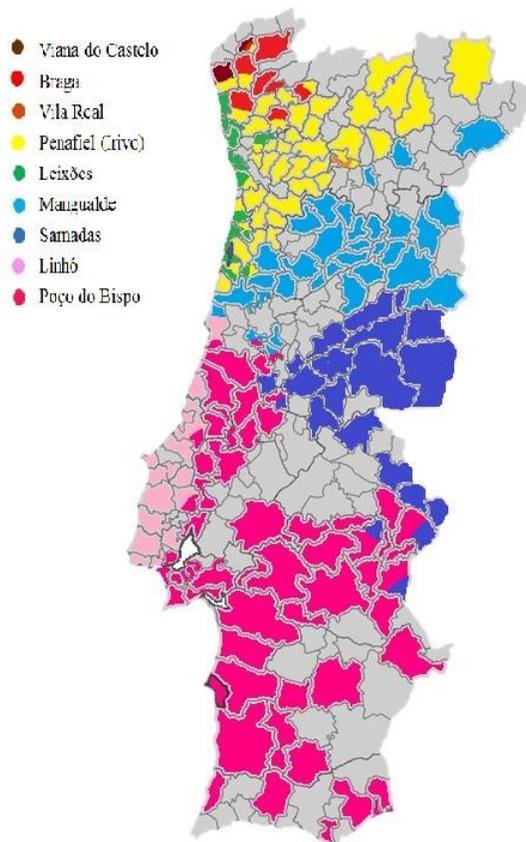
<b>Entrepostos</b>	<b>% utilização</b>	<b>Entrepostos</b>	<b>% utilização</b>
Braga	5,23	Poço do Bispo	100,00
Cacia	0,00	Santo André	0,00
Estremoz	0,00	Sarnadas	16,25
Fundão	0,00	Torres Vedras	0,00
Leixões	3,35	Trofa	0,00
Linhó	44,10	Viana do Castelo	2,27
Mangualde	14,16	Vila da Feira	0,00
Penafiel (Irivo)	100,00	Vila R. St. António	0,00
Pinhão	0,00	Vila Real	0,00

**Tabela 8 - Percentagem de utilização por entreposto (cenário 2)**

Fonte: Elaboração própria

Tendo em conta a Tabela 8, conclui-se que embora se tenha fixado como operacionais estes entrepostos, o entreposto de Braga, Leixões, Viana do Castelo e Vila Real têm uma utilização muito baixa, o que se pode concluir é que estes entrepostos têm uma grande percentagem de clientes que compram cimento diretamente no entreposto, o que se tem observado na análise do modelo e no cenário 1. Pode observar-se que embora se tenha fixado o entreposto de Vila Real como aberto, a sua utilização é nula, o que poderá significar que talvez este entreposto está operacional devido aos clientes que se abastecem diretamente no entreposto.

Para além dos seis entrepostos fixos, o programa escolheu mais três entrepostos que deveriam estar abertos, como Mangualde, Poço do Bispo e Sarnadas.



**Figura 5 - Abastecimento dos clientes, por concelho, por entreposto (cenário 2)**

Fonte: Elaboração própria

Tendo em conta a Figura 5, pode observar-se que o entreposto de Penafiel e Poço do Bispo continuam a ser os entrepostos que têm uma maior parcela no abastecimento aos clientes. Note-se também, que embora se tenha fixado os entrepostos de Vila Real, Viana do Castelo, Leixões e Braga como operacionais, estes continuam a abastecer uma quantidade muito pequena de clientes. Este resultado poderá ser originário do facto de não se estar a considerar a procura dos clientes que compram diretamente nos entrepostos.

É também de realçar que, como acontece no modelo base, o entreposto de Vila Real aparece com uma percentagem nula de utilização, mas existe fluxo para clientes, embora em quantidade muito reduzida, com cerca de 2 toneladas.

<b>Cenário 2</b>	
<b>Custos de Transporte</b>	
Fábrica - Entrepasto	2 440 157 €
Entrepasto - Cliente	800 683 €
<b>Total</b>	<b>3 240 839 €</b>
<b>Custos Fixos e Operacionais</b>	<b>416 217 €</b>
<b>Custos Totais</b>	<b>3 657 056 €</b>

**Tabela 9 – Custos da rede de distribuição (cenário 2)**

Fonte: Elaboração própria

Relativamente aos custos totais da rede, os custos de transporte continuam a ter uma parcela muito elevada no somatório dos custos (como se pode observar na Tabela 9). É de notar, que os custos de abastecer os entrepostos a partir das fábricas neste cenário são mais baixos que o modelo base e cenário 1, embora tenha mais entrepostos operacionais que no cenário anterior. No que diz respeito aos custos de transporte de entreposto para cliente, observa-se um valor superior ao modelo base, o que faz sentido por a distância até aos clientes ser maior. Os custos fixos e operacionais têm um comportamento esperado, devido ao número de entrepostos operacionais. Em suma, os custos totais da rede continuam a se inferiores aos do panorama real.

## Capítulo 7 - Conclusões

A análise da cadeia de abastecimento de uma empresa tem de ser eficaz e tem de criar vantagem competitiva, assim cada rede tem as suas características e necessidades. No entanto, existe um conjunto de características comuns a cada rede, como restrições de produção, armazenagem e meios de transporte. Este projeto limita-se ao estudo da rede de distribuição da Secil, sendo que as suas conclusões não são extensíveis a qualquer outra.

Este projeto centra-se numa análise da localização atual dos dezoito entrepostos comerciais da empresa e face a esses entrepostos analisa-se qual a melhor distribuição dos produtos no abastecimento dos clientes, tentando sempre minimizar os custos da rede. No que diz respeito à localização da procura, a empresa tem os seus entrepostos posicionados nos grandes centros populacionais (litoral norte e centro).

Na análise do panorama atual da empresa, criou-se um modelo com as restrições inerentes à própria rede. Através dos resultados obtidos, é notório que existem muitos entrepostos com uma percentagem de utilização muito baixa e alguns quase nulos.

De modo a completar a análise, foram criados dois cenários para uma melhor compreensão do comportamento da rede. No primeiro cenário, os resultados mostram que é possível satisfazer a procura apenas com seis entrepostos operacionais. No segundo cenário, embora se tenha fixado como abertos alguns entrepostos, grande parte apresenta uma percentagem de utilização muito baixa, face ao que era esperado. Ou seja, os entrepostos de Braga, Leixões, Viana do Castelo e Vila Real apresentam uma percentagem de utilização muito baixa nos dois cenários.

Este resultado poderá vir do facto de não serem considerados no estudo os clientes que compram cimento diretamente no entreposto, o que será uma limitação à análise da rede de distribuição da Secil.

No que diz respeito aos custos, a maior parcela vem dos custos de transporte e, nomeadamente, do transporte das fábricas para os entrepostos. Os custos fixos e operacionais representam uma

pequena percentagem do custo total, embora como se vê no cenário 1 os custos fixos e operacionais são mais baixos, dado ao número de entrepostos operacionais. Um aspeto importante desta análise passa pelos custos de transporte dos entrepostos para os clientes, que embora nos cenários o número de entrepostos seja menor, este custo aumentará. Isto acontece, porque em alguns casos, por mais que a distância e o custo de abastecer um cliente seja muito elevado, o custo de abastecer o entreposto é muito menor que outro entreposto mais perto do cliente.

Note-se que os custos apresentados no modelo base não são os custos reais da rede de distribuição da empresa, mas sim a solução ótima dado os entrepostos existentes na rede.

Esta análise não pode ser conclusiva, devido à falta de informação relativamente aos clientes que se abastecem diretamente no entreposto. Assim sendo, os entrepostos do Poço do Bispo e Penafiel apresentam uma percentagem de utilização de 100%, ou seja, se essa informação tivesse sido disponibilizada teríamos que a retirar à capacidade dos entrepostos, o que levaria a um aumento da utilização de outros entrepostos. No entanto, conclui-se que estes entrepostos são muito importantes na rede de distribuição da empresa.

De modo a concluir o estudo serão colocadas questões necessárias para a sua melhor compreensão:

- Porque é que alguns dos entrepostos com maior volume de vendas, não está a ser utilizado devidamente?
- Será que esses entrepostos abastecem apenas clientes que compram diretamente no entreposto?
- Será que o seu funcionamento é apenas uma questão histórica?
- Será o seu funcionamento uma opção estratégica?

Por fim, embora a análise dos resultados não seja conclusiva, este projeto será útil para a Secil, de modo a que pode utilizar o modelo matemático criado e aplicá-lo, como uma forma de se tornar mais competitivo no mercado, e principalmente para redução de custos da rede. Este projeto também será vantajoso para outras empresas, pois pode servir de modelo para otimizarem a sua rede de distribuição.

## Referências Bibliográficas

- Alumur, S. & Kara, B. Y., 2008. Network hub location problems: the state of the art. *European Journal of Operational Research*, Volume 190, pp. 1-21.
- Ballou, R., 2004. *Business Logistics / Supply Chain Management*. 5th ed. New Jersey: Pearson.
- Bazaraa, M., Jarvis, J. & Sherali, H., 2010. *Linear Programming and Network Flows*. 3rd edition ed. New Jersey: Wiley.
- Campbell, A. M., Lowe, T. & Zhang, L., 2005. The p-hub center allocation problem. *European Journal of Operational Research*, Issue Discrete Optimization.
- Carvalho, J. C. d., 2010. *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*, 40. Lisboa: Edições Sílabo.
- Christopher, M., 2011. *Logistics & Supply Chain Management, 4th Edition*, 2-11. London: Prentice Hall.
- Daskin, M., 1995. *Network and Discrete Location: Models, Algorithms and Applications*. New York: Wiley-Interscience Publication.
- Elhansia, T., Noche, B. & Zhao, C., 2013. Simulation of a sustainable cement Supply Chain; Proposal Model Review. *International Science Index*, 28 Março, p. Vol: 7.
- Farahani, R., Rezapour, S., Drezner, T. & Fallah, S., 2014. Competitive Supply Chain Network Design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. *Omega*, Volume 45, pp. 92-118.
- Hamacher, H. N. S., 1998. Classification of location models. *Location Science*, pp. 229-242.
- Harrison, A. H. R., 2008. *Logistics Management and Strategy: competing through the supply chain*. 3rd ed. s.l.:Prentice Hall.
- Higginson, J. & Bookbinder, J., 2005. Distribution Centers in Supply Chain Operations. Em: *Logistics Systems: Design and Optimization*. s.l.:Springer US, pp. 67-91.
- Huang, E. G. M., 2004. Strategic robust Supply Chain design based on the Pareto-optimal tradeoff between efficiency and risk. *European Journal of Operational Research*, pp. 508-518.

- Jovi, K., 2009. *Logistics between cement plants and distribution centers is automated - at least sometimes*, Buford: Orbit Logistics Americas.
- Klose, A. & Drexl, A., 2005. Facility Location Models for Distribution System Design. *European Journal of Operational Research*, Volume 162, pp. 4-29.
- Noche, B. & Elhasia, T., 2013. *Approach to innovative Supply Chain strategies in cement industry; Analysis and Model Simulation*. Buisburg - Germany, s.n., pp. 359-369.
- Owen, S. & Daskin, M., 1998. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*, Volume 111, pp. 423-447.
- Ribeiro, J. & Roldão, V., 2009. *Gestão das Operações - Uma Abordagem Integrada*. s.l.:Monitor.
- Rushton, A., Oxley, J. & Croucher, P., 2000. *The Handbook of Logistics and Distribution Management, 2nd Edition*. London: Rushton, Oxley and Croucher.
- Segetlija, Z., Mesaric, J. & Dujak, D., s.d. Importance of Distribution Channels - Marketing Channels.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E., 2008. *Designing & Managing the Supply Chain: concepts, strategic & case studies*. s.l.:McGraw-Hill International Editions.