

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ricardo Pedro Xavier Pinto de Almeida

Optimização da rede de distribuição  
intermodal de uma empresa industrial

Tese de Mestrado  
2º Ciclo de Estudos em Engenharia Industrial

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor José Manuel Henriques Telhado



## Agradecimentos

O presente estudo foi levado a cabo, entre Novembro de 2009 e Julho de 2010, numa empresa industrial de grande dimensão económica.

Assim, gostaria antes de mais, deixar aqui presentes os meus sinceros agradecimentos às várias pessoas sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível, nomeadamente:

À Sr.<sup>a</sup> Presidente do Grupo Empresarial, ao Sr. Director do Departamento de Compras e ao Sr. Director do Departamento de Distribuição.

Gostaria também de deixar um agradecimento especial ao Sr. Professor José Manuel Telhada pela orientação científica do trabalho, pela amizade e delicadeza sempre demonstradas, e sobretudo pela forma desprendida e sincera com que me auxiliou a dar novos passos além fronteiras no fascinante mundo da logística.

Por fim, queria deixar um forte agradecimento à minha família, e em concreto à minha mulher, pela forma abnegada com que compreendeu os vários momentos em que, por manifesta falta de oportunidade, não pude estar fisicamente presente.



## Resumo

No contexto económico actual, o transporte por via marítima permanece como o meio de transporte dominante no mercado internacional, quer no que se refere a mercadorias transportadas a granel quer a mercadorias transportadas em contentores.

O transporte por via marítima situa-se no centro da distribuição internacional de mercadorias devido à sua inigualável capacidade de carga e à capacidade de as transportar por longas distâncias a custos comparativamente baixos.

A literatura existente, acerca da selecção de portos marítimos, identifica um vasto número de serviços com eles relacionados, coadjuvados por factores económicos, que influenciam as decisões tomadas pelas empresas.

No entanto, o desenvolvimento verificado nas *hinterlands* durante as últimas décadas levou a uma maior eficiência ao nível dos transportes rodo e ferroviários, tornando-os bastante competitivos dentro de determinadas regiões.

O presente trabalho consistiu na modelação de um problema real de optimização da rede de distribuição de uma empresa. Actualmente, a empresa para distribuir as suas mercadorias, utiliza essencialmente dois meios de transporte. O marítimo e o rodoviário. O transporte marítimo efectua-se essencialmente para transportar mercadorias por longas distâncias. Os clientes da empresa, que não estão localizados no raio de acção dos portos, são abastecidos directamente por rodovia a partir da fábrica localizada em Portugal.

Com o intuito de se obter melhorias ao nível dos custos suportados pela distribuição das mercadorias, modelou-se o problema existente de modo a determinar qual a melhor alternativa de distribuição. Face à especificidade do problema, formulou-se o problema com um modelo de Programação Linear Inteira, passível de resolução através de métodos exactos.

Pelo estudo da rede de distribuição da presente empresa concluiu-se que é possível distribuir as mercadorias transformadas pela empresa a custos mais baixos e de um modo ambientalmente mais sustentável, por meio do aprofundamento da opção intermodal.

Também foi possível concluir que a aplicação de metodologias de Investigação Operacional, será bastante pertinente para dotar a empresa de uma ferramenta potencialmente muito útil, quer a nível estratégico quer a nível operacional.



## Abstract

In the actual economic context, the maritime transport remains the dominant mode for international trade both for bulk transport of commodities and containerized break-bulk cargo.

Maritime transportation is at the core of global freight distribution in terms of its unparalleled physical capacity and ability to carry freight over long distances and at low costs.

Academic literature on port selection identifies a multitude of port service-related and cost factors that influence companies' decisions.

The development of the hinterlands in the past few decades conducted to higher levels of efficiency at rail and road transportation that became much more competitive among the others, in several regions.

This work consisted in modeling a company's distribution network. At this moment, to distribute its cargo the maritime and road modes are used. The maritime mode is essentially used to distribute cargo for long distances. The clients that are located nearby the company, receive the cargo, directly, by road from Portugal.

With the aim of finding reductions at costs supported by the company, we pretend that the modeled problem becomes useful to find the best alternatives to distribute the cargo. Particularly, it is also pretended to find if it is a good decision to use just one node to consolidate the cargo. Due to the particularities of the current problem, it was formulated via an Linear Integer Programming that can be solved by exact methods.

By the study of the company's distribution network, it was possible to conclude that the cargo transformed by the company can be distributed by means that consume less financial resources and by modes that are more environmentally sustainable. These results can be achieved by consolidating the use of intermodal alternatives under several conditions.

It was also possible to conclude that the application of several methodologies related to Operational Research, would be of high importance, to give to the company several interesting tools at tactical and operational levels.



## I. Índice

1. Introdução .....	11
1.1 Contexto e motivação.....	11
1.2. Objectivos .....	12
1.3 Metodologia de trabalho .....	12
1.4 Estrutura da dissertação.....	13
2. Revisão da literatura.....	15
2.1 Introdução .....	15
2.2 Mercadorias a granel e contentorizadas .....	18
2.3 Evolução das <i>hinterlands</i> .....	20
2.4 Selecção de portos marítimos .....	22
2.5 Intermodalidade .....	26
2.6 Problemática dos custos de transporte .....	28
2.7 Síntese.....	29
3. Caracterização da rede de distribuição da empresa.....	30
4. Descrição das metodologias de estudo.....	34
4.1 Modelos de regressão.....	34
4.2 Modelo de localização de instalações .....	35
4.3 Fluxos em rede.....	36
4.4 Aplicação computacional .....	39
5. Estimação dos custos unitários de transporte e do centro e gravidade da rede .....	42
5.1 Estimação dos custos de transporte.....	42
5.2 Estimação do centro de gravidade da rede de distribuição .....	43
5.3 Síntese.....	45
6. Estudo e análise de cenários alternativos de distribuição.....	46



---

6.1 Estrutura de custos praticados nos diversos portos.....	46
6.2 Plano de distribuição fornecido pelo modelo de transportes .....	47
6.3 Plano de distribuição do cenário alternativo 1.....	49
6.4 Plano de distribuição do cenário alternativo 2.....	52
6.5 Plano de distribuição do cenário alternativo 3.....	55
6.6 Plano de distribuição do cenário alternativo 4.....	57
7. Discussão dos resultados obtidos.....	61
8. Conclusões e sugestões de trabalho futuro .....	65
8.1 Principais conclusões.....	65
8.2 Sugestões de trabalho futuro .....	66
Referências bibliográficas .....	68



## II. Índice de figuras

Pág.

Figura 1: <i>Hinterlands</i> descontínuas e ilhas formadas nos seus corredores.	20
Figura 2: Influência das rubricas dos custos na análise do <i>breakeven point</i> existente entre o transporte efectuado exclusivamente por rodovia e o transporte efectuado inter-modalmente.	28
Figura 3: Apresentação esquemática da rede de distribuição da empresa.	31
Figura 4: Segmento representativo do modelo de transportes desenvolvido.	40
Figura 5: Localização do Centro de Gravidade da Rede de Distribuição.	44



### III. Índice de tabelas

**Pág.**

Tabela 1: Estrutura dos custos actualmente praticados nos diversos portos marítimos (€/ton).	46
Tabela 2: Estrutura dos custos praticados nos diversos portos marítimos com alteração do custo da mão-de-obra no Porto n.º 1 (€/ton).	50
Tabela 3: Estrutura dos custos praticados no porto marítimo n.º 2 com alteração do custo do Frete (€/ton).	53
Tabela 4: Estrutura dos custos praticados nos porto marítimos n.º 1 e n.º 3 com alteração do custo do frete e com alteração do custo da mão-de-obra no porto n.º 1 (€/ton).	55
Tabela 5: Estrutura dos custos praticados pelas diversas estruturas portuárias e custo de abastecimento do Centro de Distribuição (€/ton).	58
Tabela 6: Quadro resumo do custo total do plano de distribuição alcançado pelos vários cenários.	61





<b>IV. Índice de gráficos</b>	<b>Pág.</b>
Gráfico 1: Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra a empresa.	43
Gráfico 2: Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra o Porto Marítimo n.º 1.	43
Gráfico 3: Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra o Porto Marítimo n.º 2.	43
Gráfico 4: Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra o Porto Marítimo n.º 3.	43
Gráfico 5: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 1.	48
Gráfico 6: Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 1.	48
Gráfico 7: Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 1.	49
Gráfico 8: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 2.	50
Gráfico 9: Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 2.	51
Gráfico 10: Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 2.	51
Gráfico 11: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 3.	53
Gráfico 12: Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 3.	54
Gráfico 13: Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 3.	54



Gráfico 14: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas 55  
caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 4.

Gráfico 15: Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas 56  
caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 4.

Gráfico 16: Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas 56  
caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 4.

Gráfico 17: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas 58  
caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 5.

Gráfico 18: Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas 59  
caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 5.



## 1. Introdução

### 1.1 Contexto e motivação

Ao longo dos séculos, o modo como se tem vindo a efectuar as trocas de bens e de serviços tem sofrido uma ampla transformação. No início dos tempos, a humanidade, tradicionalmente nómada, via-se obrigada a deslocar-se sazonalmente em busca dos bens de subsistência, que eram fornecidos pela natureza ao ritmo imposto pelas condições climatéricas. Desde então, e devido à contínua procura de melhores condições de vida, estas passaram a estabelecer-se em regiões onde os recursos fossem continuamente abundantes ou então onde houvesse uma marcada estação de abundância de recursos que pudessem ser armazenados para serem consumidos em épocas de maior escassez.

Esta é a era em que, pela primeira vez as civilizações se depararam com problemas de natureza logística pois, pela primeira vez foi necessário equacionar o modo como seriam armazenados os produtos e abastecidas as populações.

Com a passagem dos séculos e com a melhoria dos meios técnicos de produção e de transporte, as populações puderam afastar-se dos centros onde os factores de produção dos bens essenciais fossem mais abundantes ou baratos e deslocar-se para locais longínquos onde se pudessem dedicar a outras actividades.

Deste modo, o consumo e a produção de bens separaram-se geograficamente e as diversas regiões puderam especializar-se na produção dos produtos cuja produção fosse mais eficiente. Os excedentes de produção puderam passar a ser transportados para outras regiões de produção ou apenas de consumo e os restantes bens necessários poderiam passar a ser importados.

No nosso quotidiano, este princípio, ajuda a explicar o elevado nível de trocas existente em todo o mundo pois, os actuais sistemas logísticos eficientes permitem ao comércio internacional tirar vantagem do facto de os diversos locais e as suas populações não serem equitativamente produtivos. Consequentemente, pode-se afirmar que a logística está na essência das trocas comerciais e que contribui para se alcançar padrões mais elevados de qualidade de vida.

Nos nossos dias, o desenvolvimento verificado nas *hinterlands*, levou a uma maior eficiência ao nível dos transportes rodo e ferroviários, tornando-os bastante competitivos dentro de determinadas regiões. De qualquer modo, aquando da escolha dos meios de transporte a



utilizar na distribuição de um determinado produto, há que considerar todas as alternativas viáveis, devendo optar-se, caso seja proveitoso, por meios marítimos intermodais, em detrimento dos meios exclusivamente terrestres (e, dentro destes, do meio rodoviário, em particular).

Devido à actual existência de elevadas trocas comerciais efectuadas entre pontos bastante longínquos e ao referido desenvolvimento verificado nas hinterlands, pretendeu-se estudar os factores que, actualmente, condicionam o processo de selecção de um determinado conjunto integrado de meios de transporte e de que modo é que esta decisão, pode influenciar o desempenho económico das empresas, dado que nos dias de hoje se torna crucial desenhar planos de distribuição que sejam ágeis e robustos e que consumam apenas os recursos financeiros considerados estritamente essenciais, com o intuito de as tornar cada vez mais competitivas no mercado mundial.

## 1.2. Objectivos

O presente trabalho visa fundamentalmente estudar soluções alternativas de distribuição de uma empresa industrial conducentes a uma redução efectiva dos custos actualmente suportados, garantindo-se no entanto elevados níveis de serviço nas entregas aos clientes. Em particular, propõe-se atingir os seguintes objectivos gerais:

- Caracterizar o sistema de distribuição de uma empresa, analisando o seu desempenho e identificando os eventuais problemas ou aspectos conducentes a potencial melhoramento;
- Formular os problemas identificados e estabelecer os métodos de resolução mais adequados para os resolver; desenvolver aplicações computacionais adequadas à respectiva implementação das metodologias;
- Aplicar as metodologias para estudar possíveis soluções alternativas que melhorem o actual desempenho.
- Apresentar sinteticamente as possíveis recomendações para implementação das soluções encontradas.

## 1.3 Metodologia de trabalho

Para se alcançarem os objectivos referidos, foram levadas a cabo diversas tarefas. Assim, para que se conseguisse cumprir o primeiro objectivo geral, realizou-se o estudo de uma extensa quantidade de artigos científicos elaborados por autores de referência e com provas dadas ao nível do *design* de redes de distribuição, assim como de artigos publicados por altas instâncias europeias da especialidade que, de um modo geral, têm vindo a delinear quais as alterações que se prevêm efectuar ao nível da rede de transportes no espaço da União, que permitirão agilizar e integrar todo o conjunto de infraestruturas actualmente existentes. Deste modo, viu-



se esclarecida qual a actual tendência do uso de determinados meios de transporte, e sobretudo, em que circunstâncias é que, racionalmente, devem ser utilizados.

Também se estudou, e com o intuito de se cumprir o segundo objectivo geral, vários artigos relacionados com a problemática da Investigação Operacional. Assim, por meio da leitura de diversos autores que se dedicam, a entre outros, ao problema de optimização de redes de transporte intermodais e de da racionalização da distribuição de mercadorias, foi possível formular-se um modelo de programação linear inteira (PLI) representativo do problema geral da determinação dos melhores planos de distribuição para a empresa. Consequentemente, determinou-se quer a função-objectivo quer as várias restrições do modelo. Recolheu-se a informação necessária para modelar o problema, tal como, os nodos existentes na rede, as distâncias a percorrer entre eles, a existência de situações intermodais, os custos fixos suportados para efectuar cada transporte e os custos variáveis associados à quantidade de mercadoria transportada em cada viagem.

O Modelo de Transportes foi programado computacionalmente com a flexibilidade requerida para permitir obter soluções actualizadas em função de potenciais alterações nos parâmetros (ex, custos) e nas restrições do problema, bem como alterações mais estruturais (ex, consideração de nodos portuários). Pretendeu-se assim obter uma ferramenta de apoio contínuo à tomada de decisão ao nível da gestão da distribuição da empresa.

Com o intuito de se alcançar uma rede de distribuição suportada pelos mais baixos custos, também se recorreu a métodos de localização, para se determinar a localização do centro de gravidade da rede de distribuição.

Posteriormente, e com a finalidade de se cumprir o terceiro objectivo geral, efectuou-se a construção de diversos cenários de distribuição, determinando-se o custo de distribuição dos produtos pelos vários clientes, inclusivamente com passagem por um centro de distribuição a edificar.

Por fim, e de modo a se ir de encontro ao quarto objectivo geral, analisaram-se os resultados obtidos e elaboraram-se propostas de melhoria para a rede de distribuição vigente.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Este documento visa apresentar um trabalho de investigação desenvolvido numa empresa industrial relativo à optimização da sua rede de distribuição e está organizado da seguinte forma:

No Capítulo 2, dá-se conta do estado da arte em diversos aspectos e metodologias de relevância para o tema do trabalho, fundamentando-se a pertinência do que é proposto realizar no estudo.



No Capítulo 3 caracteriza-se e descreve-se a rede de distribuição da empresa em estudo e identifica-se os principais aspectos a melhorar.

No Capítulo 4, expõe-se as metodologias usadas com o intuito de se determinar quais os melhores planos alternativos de distribuição.

Seguidamente, no Capítulo 5, descreve-se o modo como se procedeu à estimação dos custos unitários de transporte e do centro e gravidade da rede.

No Capítulo 6, apresentam-se os resultados obtidos por meio da utilização das diversas metodologias.

No Capítulo 7, efectua-se uma discussão dos resultados obtidos, expondo-se as razões que os originaram e as consequências operacionais de os pôr em prática.

Finalmente, no Capítulo 8, apresenta-se em linhas gerais, as conclusões emergidas pela elaboração do presente estudo e algumas sugestões de trabalho futuro.

## 2. Revisão da literatura

Devido ao plano de distribuição da empresa estudada conter uma forte componente de transporte marítimo, apresentar-se-á, no presente capítulo, a sua evolução ao longo das últimas décadas, os factores mais pertinentes a ter em conta aquando da selecção de um determinado porto, o papel que os diversos *players* existentes desempenham neste segmento, a importância que o transporte por via marítima tem ao nível da distribuição internacional e a importância da contentorização na evolução da eficiência deste meio de transporte.

Também se abordará o desenvolvimento que as *hinterlands* têm sofrido nas últimas décadas e a importância que a introdução de várias alternativas de transporte estrategicamente integradas no seu seio tem vindo a tomar. Assim, dar-se-á conta das potencialidades económicas e ambientais que a intermodalidade vem proporcionar às empresas.

Finalmente, e com o intuito de se adoptarem os melhores planos de distribuição, abordar-se-ão diversas metodologias de Investigação Operacional que permitem dar a conhecer o modo mais racional e sustentável de utilização de todos estes meios, assim como revelarem respostas rápidas e fidedignas sobre os resultados obtidos pela simulação dos diversos cenários que vierem a ser elaborados.

### 2.1 Introdução

Nos primórdios da humanidade, os bens que as pessoas desejavam adquirir não eram produzidos no mesmo local onde os queriam consumir, ou então, não eram acessíveis nesses mesmos locais. Os bens alimentares, assim como outros, estavam largamente dispersos e apenas eram acessíveis em abundância em determinadas alturas do ano. Nessa época, as populações tinham que escolher entre consumir um determinado bem no local onde era produzido, bem como nas suas imediações, ou transportá-lo para um local da sua preferência onde o pudessem armazenar para a sua posterior utilização (Ballou, 1999). No entanto, devido ao precário desenvolvimento dos meios de transporte e dos sistemas de armazenagem, a movimentação de bens estava limitada à quantidade que uma pessoa conseguia transportar e a armazenagem de produtos perecíveis apenas era possível por períodos muito curtos de tempo. Estas limitações acabavam por obrigar as populações a residir junto dos locais de produção e a consumir uma gama muito restrita de produtos.

Com a evolução dos sistemas logísticos, o consumo e a produção de bens puderam separar-se geograficamente e as diversas regiões puderam especializar-se na produção dos produtos cuja



produção fosse mais eficiente. Os excedentes de produção puderam passar a ser transportados para outras regiões de produção ou apenas de consumo, e os restantes bens necessários puderam passar a ser importados.

Este princípio, quando aplicado aos mercados internacionais, ajuda a explicar o elevado nível existente de trocas comerciais efectuadas em todo o mundo, e que ocorrem no nosso quotidiano. Os sistemas logísticos eficientes permitem ao comércio internacional tirar vantagem do facto de os diversos locais e as suas populações não serem equitativamente produtivos. Deste modo pode-se afirmar que a logística está na essência das trocas comerciais e que contribui para se alcançar padrões mais elevados de qualidade de vida.

Segundo Ballou (1999), ao nível das empresas, as boas práticas logísticas serão determinantes para o seu sucesso. Sendo os mercados na sua maioria, de âmbito nacional ou internacional, onde as regiões de produção estão concentradas em relativamente poucos locais, as actividades logísticas providenciam a ligação entre a produção e o mercado que estão separados temporal e espacialmente.

Devido à grande dispersão geográfica dos mercados, o transporte por via marítima desenvolveu-se sobremaneira e permanece, hoje em dia, como o meio de transporte dominante no mercado internacional, quer no que se refere a mercadorias transportadas a granel, quer a mercadorias transportadas em contentores.

Segundo Rodrigue e Browne (2007), devido à globalização, poucos sistemas de transporte sofreram um impacto idêntico ao sofrido pelo transporte de mercadorias. Paradoxalmente, num ambiente em que os passageiros marcam a sua presença, o modo como se procede ao transporte de mercadorias permanece desconhecido pelo público em geral embora, os fabricantes e os retalhistas estejam fortemente conscientes dos benefícios provenientes de uma eficiente distribuição e gestão dos recursos existentes. De facto, a margem de lucro obtida por diversos retalhistas e fabricantes está directamente dependente da eficiência das estratégias de distribuição assumidas. Assim, nas últimas décadas as trocas de mercadorias a nível internacional têm-se sistematicamente expandido a uma taxa superior à do crescimento económico, como reflexo da divisão internacional da produção e da massiva acumulação de novas actividades produtivas nos países em vias de desenvolvimento.

O transporte por via marítima situa-se no centro da distribuição internacional de mercadorias devido à sua inigualável capacidade de carga e à capacidade de as transportar por longas distâncias a custos comparativamente baixos. Devido a estas suas bem conhecidas características, a indústria marítima tem vindo a evoluir significativamente nas últimas décadas.

De uma indústria que sempre foi de carácter internacional, o transporte marítimo tem-se tornado uma indústria fortemente globalizada com rotas e ligações ao longo do globo, transportando todo o tipo de produtos. De facto, tornou-se uma das indústrias mais globalizadas do mundo.





O transporte internacional de mercadorias é composto por dois segmentos principais. As linhas marítimas, bastante flexíveis relativamente à sua distribuição espacial e os terminais ou portos que por sua vez são totalmente inflexíveis. Tongzon e Sawant (2007) referem que os portos são pontos de ligação muito importantes na cadeia mundial de trocas comerciais e que o seu desempenho e eficiência normalmente reflectem, em larga medida, a competitividade das regiões onde se inserem. As linhas marítimas têm um elevado nível de flexibilidade no que concerne à selecção de rotas, à frequência com que as operam e ao nível de serviço que disponibilizam. Por sua vez, os terminais portuários, apenas têm uma capacidade fixa instalada que, se não for utilizada, pode implicar sérias consequências a nível financeiro. A conciliação destes dois segmentos permanece um desafio, particularmente desde a altura em que o volume de carga transportada começou a crescer firmemente e em que a distribuição se tornou mais complexa, devido às linhas marítimas estarem a efectuar operações em mais locais de origem (devido à deslocalização dos centros de produção), em mais locais de destino (devido ao crescente poder de compra dos habitantes dos países em vias de desenvolvimento) e a cooperar com o desenvolvimento de novas cadeias de abastecimento.

A logística, como actividade, tem desempenhado um papel importante na conciliação das estratégias dos diversos intervenientes e em muitos casos, as linhas marítimas passaram a efectuar serviços dantes efectuados pelos terminais portuários trazendo para o ceio das suas organizações diversas operações. Para tal, em diversos casos, efectuaram-se fortes investimentos nos terminais portuários quer para incrementar o seu nível de serviço quer para melhor terem acesso à designada *hinterland* (área em que um terminal portuário efectua a maior parte das suas operações). Assim, várias companhias de dimensão mundial estão de momento, a gerir vários terminais localizados em diversos portos espalhados pelo mundo.

Rodrigue e Browne (2007) designam os terminais portuários como locais de encontro de tráfego marítimo e terrestre, de crucial importância na economia mundial. No entanto, dos cerca de 4.500 portos existentes em todo o mundo, apenas uma pequena parte possui uma quantidade significativa de tráfego. Consequentemente, a localização geográfica destes portos condiciona a geografia global das trocas comerciais uma vez que é extremamente difícil, devido a vários factores intrínsecos, deslocalizá-los. Os portos permanecem pontos de convergência e de divergência de tráfego e a sua localização é estrangida por características físicas tais como os acessos existentes tanto por terra como por mar. Ambos os acessos devem ser satisfatórios, uma vez que são cruciais para o desenvolvimento das operações a efectuar no terminal portuário e para a eficiência da interface mar-terra. Assim, a existência de acessos pobres, quer por via marítima quer por via terrestre, podem prejudicar o desenvolvimento do porto ao longo do tempo. No entanto, o acesso marítimo é aquele que menos pode ser mitigado, pois as actividades tais como a dragagem e a construção de docas, são bastante dispendiosas. De qualquer modo, o acesso por terra também é um factor importante para otimizar a distribuição de carga existente no porto.



A produção mundial, o transporte e a distribuição requerem o acerto de estratégias de gestão de mercadorias. De modo a otimizar as operações efectuadas ao nível da cadeia de abastecimento, estas estratégias deverão ser, no limite, totalmente integradas. Assim, de entre as operações mais relevantes, a integração da gestão deve existir, principalmente ao nível da compra dos produtos, do processamento das encomendas, da gestão dos inventários e do transporte. Esta integração será crucial, dado que a expansão da produção no domínio mundial tem forçado os sistemas de transporte a adaptarem-se a um novo ambiente na distribuição de mercadorias, onde a robustez e a precisão das entregas pode ser tão importante como o custo das operações. Consequentemente, e devido a esta pressão actualmente existente nos mercados, a logística tem vindo a desempenhar um papel cada vez mais importante na economia global, ao permitir a existência e o desenvolvimento de um vasto leque de cadeias de abastecimento.

Neste ambiente, as premissas existentes no transporte internacional de mercadorias têm vindo a ser redefinidas quer no transporte de mercadorias a granel quer no de mercadorias contentorizadas. O primeiro tipo engloba todos os tipos de materiais homogêneos não embalados tais como o carvão, petróleo e cereais, e normalmente são destinados a um único cliente, enquanto que, o segundo, consiste numa quase infinita variedade de produtos, normalmente expedidos em menor quantidade do que os primeiros, orientados para um maior número de clientes ou destinos e embalados de múltiplas formas.

## **2.2 Mercadorias a granel e contentorizadas**

Relativamente às mercadorias transportadas a granel, a indústria marítima é uma interveniente essencial no que se refere ao seu comércio internacional, representando as embarcações o meio mais eficiente de as transportar, senão o único de o fazer em grandes quantidades. Segundo Rodrigue e Browne (2007), no ano de 2005, aproximadamente 2,9 biliões de toneladas de materiais secos transportados a granel foram transportados por mar, o que representa mais de um terço de todas as trocas comerciais efectuadas por mar naquele ano. O transporte por mar de mercadorias a granel representa o segmento tradicional deste tipo de transporte. Geograficamente, este tipo de mercadorias demonstra uma notável estabilidade, particularmente ao nível da origem das expedições, uma vez que, a extracção e o embarque de recursos naturais está circunscrito a determinadas formações geológicas naturalmente inalteradas nos últimos séculos, requerem investimentos massivos de capital e decorrem durante décadas. O tráfego marítimo associado a estas actividades é altamente consistente e varia apenas de acordo com flutuações cíclicas da procura. O principal factor que se tem alterado nos últimos anos é o destino deste tipo de produtos, uma vez que este reflecte as mudanças existentes ao nível do desenvolvimento económico e do estabelecimento de novos mercados e de novas regiões industrializadas.

Importa ainda referir que o tipo de mercadoria transportada pode indicar o tipo de actividades desempenhadas num determinado porto. Assim, um porto de mercadorias contentorizadas



poderá ser apenas a sua porta de entrada numa determinada região, ao passo que um porto de mercadorias a granel se comporta normalmente como um terminal de mercadorias, onde a carga pode ser armazenada e processada antes de ser reencaminhada para o seu destino final. Também se refere que um porto de mercadorias contentorizadas pode ser bidireccional, uma vez que pode ser um local por onde entram e saem mercadorias e um porto de mercadorias a granel, é geralmente, um porto unidireccional.

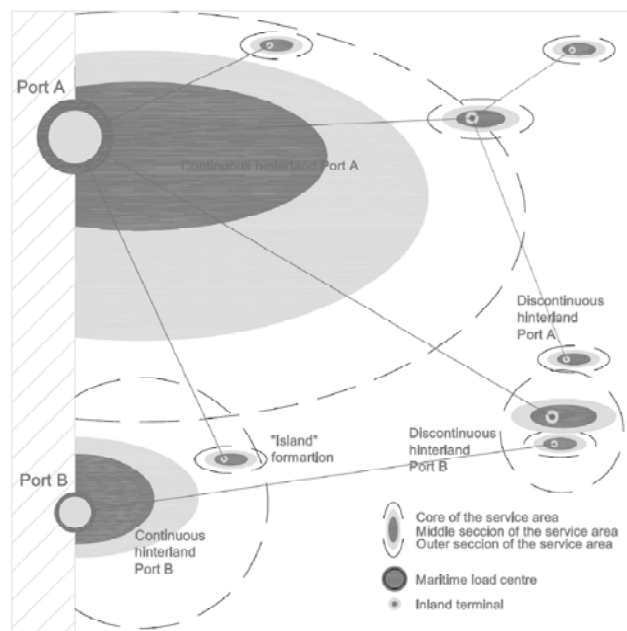
O processo de contentorização de mercadorias levado a cabo durante as últimas cinco décadas e meia transformou, por si só, a indústria marítima. Não será surpreendente constatar que o transporte marítimo foi o principal indutor da contentorização pois, era o mais constrangido do ponto de vista das operações de carregamento e descarregamento de mercadorias. Este processo permitiu a mecanização do manuseamento de mercadorias de diversas formas e dimensões, ao serem colocadas em caixas de tamanho estandardizado. Por consequência, o elevado volume de tráfego não estandardizado que era outrora requerido e as actividades de transbordo baseadas em mão-de-obra intensiva, tornaram-se estandardizadas, permitindo a redução do tempo consumido e dos custos de estiva. Assim, em vez de se demorar vários dias a carregar e a descarregar uma embarcação, actualmente pode-se fazer estas operações num período de tempo bastante mais curto, dado que os meios mecanizados modernos podem efectuar os movimentos necessários com enorme rapidez.

A contentorização foi também levada a cabo devido ao surgimento de novas tecnologias, e teve um impacto significativo no *design* de novas embarcações, cujo melhor reflexo consistiu no surgimento dos porta-contentores. Enquanto que os primeiros porta-contentores eram embarcações convertidas ao transporte de mercadorias, a partir dos anos 60 do século XX, o mercado de transporte de mercadorias contentorizadas cresceu o suficiente para justificar a criação de navios especialmente desenhados para o efeito. Desde essa altura, a construção de porta-contentores acolheu diversas melhorias ao nível do *design* o que proporcionou o surgimento de economias de escala consideráveis, sob o desígnio de que quanto maior (mais larga) fosse a embarcação, menos oneroso seria o transporte por unidade de volume. Claro está que continuam a existir limitações quanto ao desenvolvimento em largura das embarcações actuais, pois não nos podemos esquecer que o transporte por mar se efectua também ao longo de diversos canais importantes, tais como, o do Suez e o do Panamá. Estes canais condicionam a largura das embarcações que por eles passam, o que, sob o princípio de que quanto maior for o calado de uma embarcação, maior terá de ser a sua altura, poderemos ter problemas acerca da navegabilidade em vários locais, pois apenas estarão habilitados a passar por águas profundas. Refere-se igualmente que este problema também terá que se colocar ao nível da escolha dos portos a operar dado que, apenas alguns possibilitam a atracagem de embarcações de grandes dimensões devido à profundidade das suas águas e devido à adequação dos meios mecânicos de manipulação de mercadorias neles existentes. No presente estudo o *design* das embarcações a operar reveste-se de especial importância dado que neste meio de transporte existe uma relação directa entre o *design*, a capacidade de

transporte e a acessibilidade aos portos. Assim, refere-se que para se poder adoptar um dos cenários futuramente apresentados, as embarcações não poderão ter dimensões desmedidas sob pena de não se poder operar um porto privado. Adicionalmente, também se deve considerar a pressão que este tipo de embarcação coloca nos portos que o acolhem, devido ao volume de carga que de uma vez só lhes faz chegar.

### 2.3 Evolução das *hinterlands*

A interação existente entre os portos marítimos e as suas zonas envolventes tem vindo a desempenhar um papel crescente no desenvolvimento das soluções logísticas que podem ser providenciadas aos diversos elos da cadeia de abastecimento. A *hinterland* será a área em que um determinado porto desenvolve a maior parte das suas actividades comerciais. É bastante difícil delimitar a *hinterland* de um porto, dado que esta varia consoante o tipo de produto transportado, com o tempo (dado o carácter sazonal do transporte de alguns produtos) e com as vias e meios de transporte que integra. Para além do mais, o carácter dinâmico dos mercados torna perigoso ter um conceito estático desta área geográfica que envolve os portos. Segundo Starr et Slack (1995), a contentorização das mercadorias fez expandir os limites das *hinterlands* e intensificou a competição existente entre os portos. A expansão das *hinterlands* e a associada alteração de *hinterlands* cativas para *hinterlands* partilhadas (Figura 1) alterou significativamente a percepção, outrora existente, acerca dos portos serem estruturas monopolistas ou oligopolistas para estruturas que competem entre si.



**Figura 1:** *Hinterlands* descontínuas e ilhas formadas nos seus corredores.

Fonte: Notteboom, T.E. e Rodrigue, J.P. (2005).

Relativamente à evolução do poder contido e exercido pelas organizações portuárias, Tongzon e Sawant (2007) referem que, devido à globalização e à crescente competição entre as



diversas regiões, os portos vão tendo cada vez menos controlo sobre o seu próprio destino, quer devido à perda dos monopólios outrora possuídos, quer devido à crescente influência das linhas marítimas no seu desenvolvimento. O novo papel desempenhado pelas linhas marítimas deve-se essencialmente às fusões e aquisições que se têm vindo a dar no sector. Assim, à medida que se foram tornando maiores, passaram a controlar cada vez mais volume de mercadorias a transportar, o que lhes permite afectar a actividade comercial de um porto em muito maior escala. Como resultado, a maior parte dos portos de contentores europeus passaram a actuar como portões de entrada de mercadorias para uma área bastante extensa. Estes portões funcionam com pontos nodais da rede de distribuição, onde os fluxos de transporte intercontinentais estão a ser transbordados quer em direcção às áreas continentais quer em direcção inversa (Van Klink *et al.*, 1998).

Vários factores induziram a competição entre os portos pelo controlo de determinadas *hinterlands*. Em primeiro lugar, Notteboom (2008) refere que a contentorização e o desenvolvimento de porta-contentores cada vez maiores, caminharam lado a lado com a concentração de docas adequadas num número limitado de centros de carga, especialmente nas principais rotas de longo curso, onde o aproveitamento de economias de escala será mais evidente. Por outro lado, os sistemas de fixação de preços asseguravam que a redução do número de docas de embarque ajustadas a grandes embarcações não traria impactos negativos ao nível do custo da mercadoria para o consumidor final. Assim, foram-se desenvolvendo grandes portos que manipulavam grandes quantidades de mercadoria cujo destino continental era cada vez mais longínquo. Note-se que este desenvolvimento terá sido impulsionado quer pela administração dos portos visados quer pelas linhas marítimas pois, os primeiros tentavam atrair embarcações cada vez maiores que lhes trouxesse cada vez maior volume de carga e os segundos, portos cada vez mais sofisticados que lhes permitisse aumentar a eficiência do transporte (Malchow e Kanafani, 2001). Em segundo lugar, o desenvolvimento de corredores intermodais por via-férrea e por barcaças, nos rios navegáveis, permitiu uma maior penetração continental. A plena liberalização do transporte por barcaça na Europa, e o avançado estado de liberalização na via-férrea no mesmo domínio, provaram ser instrumentos que proporcionaram o aumento da eficiência dos serviços de transporte nos corredores terrestres. O aumento da intermodalidade associado aos corredores de transporte teve um grande efeito estruturante no alcance terrestre dos vários portos.

As *hinterlands* também se tornaram mais descontínuas, especialmente para além da *hinterland* imediata do porto. Este processo levou ao surgimento de ilhas na *hinterland* distante em que o porto pode alcançar vantagens comparativas ao nível dos custos e do serviço relativamente aos seus competidores. Assim, as perspectivas tradicionais baseadas na perda de influência de um porto relacionada com a distância a um determinado local estarão desajustadas da actual realidade. Consequentemente, os corredores intermodais de elevado volume de carga oferecem uma relação mais favorável entre o custo do transporte, o prazo de entrega e a distância, do que a cobertura tradicional por meio de transportes rodoviários.

## 2.4 Selecção de portos marítimos

A literatura existente acerca da selecção de portos marítimos, identifica um vasto número de serviços com eles relacionados, coadjuvados por factores económicos, que influenciam quer as decisões tomadas ao nível das companhias que exploram as linhas marítimas quer ao nível das companhias que se dedicam à expedição de mercadorias (Chou *et al.*, 2003; Murphy e Daley, 1994). Segundo Notteboom (2008), a visão tradicional acerca da selecção de portos marítimos considera essencialmente os atributos físicos dos portos tais como as suas infra-estruturas físicas e técnicas (acessibilidade marítima, infra-estruturas e equipamentos existentes nos terminais e acessibilidade aos corredores ferro e rodoviários); a localização geográfica; a eficiência; a conectividade (frequência com que recebe embarcações); a qualidade e custo dos serviços auxiliares prestados; a eficiência, custos de gestão e administrativos (taxas); a disponibilidade, qualidade e custo das actividades logísticas suplementares (armazenamento); a disponibilidade, qualidade e custo das comunidades portuárias; a segurança e o respeito ambiental; a reputação e finalmente parâmetros relacionados com a robustez, capacidade, frequência e custos dos transportes terrestres disponíveis.

Vários estudos apresentam os resultados de inquéritos realizados a pessoas da indústria, responsáveis por determinar as variáveis que tornam um porto atractivo. Slack (1985) sugere que as companhias de expedição de mercadorias são os actores mais importantes na selecção de um porto, considerando que o porto é apenas um dos elementos avaliados pelas companhias marítimas aquando da selecção de uma companhia de expedição de mercadoria e que a selecção do porto passou a ser feita pelas segundas à medida que foram crescendo em termos de número e volume das operações realizadas (Malchow e Kanafani, 2001).

De qualquer modo, importa referir que os parâmetros a avaliar na selecção de um porto marítimo diferem entre si consoante a entidade que procede à selecção se trate de uma companhia marítima ou de uma companhia de expedição de mercadoria. Também é importante referir que existem parâmetros avaliados que são comuns entre ambas, mas que são ponderados de forma diferente pois, no cômputo geral, um dado factor pode ter uma importância relativa no universo de factores a ponderar, bastante diferente quando estão em questão objectivos significativamente diferentes.

Assim, e referentemente às linhas marítimas, Chang *et al.* (2007) estabelecem que dentro desta categoria de companhias ainda existem parâmetros avaliados com ponderações diferentes caso a escolha de um dado terminal portuário seja efectuada por companhias que fazem transportes por longas distâncias, tais como os efectuados entre o Extremo Oriente e a Europa ou por companhias que fazem o transporte de mercadorias por distâncias mais curtas, normalmente circunscritas a uma dada região.



Num estudo efectuado por Chang *et al.* (2007), onde por via de um inquérito se pediu às administrações de várias companhias marítimas que avaliassem, numa dada escala predeterminada, os vários factores que seriam equacionados na selecção de um determinado porto marítimo, concluiu-se que a valorização dos diversos aspectos era diferente consoante a dimensão das empresas. Assim, as empresas de maior dimensão que faziam transportes intercontinentais valorizavam mais, e pela ordem descrita, os factores relacionados com o volume de carga movimentada por esse mesmo porto, as taxas cobradas no desembarque das mercadorias, as ligações terrestres possuídas, a robustez do serviço prestado, a localização do porto, a disponibilidade de cais de desembarque, a navegabilidade das águas (por consequência do tamanho do calado das embarcações), a existência de companhias marítimas mais pequenas que façam o transporte subsequente das suas mercadorias, o volume de transbordo de carga, a rentabilidade da carga e, por fim, as taxas portuárias. Por seu turno, as companhias locais e de menor dimensão tendiam a menosprezar os factores relacionados com a qualidade do serviço e a valorizar, pela ordem de importância apresentada, o volume de carga existente no porto, a disponibilidade de cais de desembarque, as taxas de desembarque das mercadorias, o volume de transbordo de carga e a localização do porto.

Assim, e de um modo agregado, verificou-se que, na realidade do referido estudo, as companhias marítimas de maior dimensão tendem a valorizar mais os aspectos relacionados com a organização, qualidade e robustez dos serviços prestados pelo porto, com a operacionalidade do porto e com as taxas por ele praticadas, enquanto as de pequena dimensão que operam no mercado local tendem a valorizar mais os aspectos relacionados com as condições operacionais disponibilizadas e com a quantidade de carga transportável existente.

No entanto, Tongzon e Sawant (2007) revelam que as respostas veiculadas por inquéritos tendem a gerar conclusões imprecisas pois, na realidade, muitas companhias marítimas não dão tanta importância a vários parâmetros que, quando avaliados por via de um inquérito, afirmam dar. Consequentemente, os mesmos autores referem que os parâmetros de decisão avaliados pelas companhias marítimas devem ser determinados e ponderados não por via da formulação de inquéritos, mas sim por via da observação dos seus comportamentos. Estes, sugerem igualmente que a estratégia a seguir pelos responsáveis portuários no desenvolvimento das suas estruturas deverá passar por observar se existe alguma consistência entre as preferências afirmadas por via de inquéritos e as decisões que vão tomando diariamente. Em concreto, concluiu-se que num ambiente altamente competitivo, tal como o existente em países como a Malásia e Singapura, as companhias marítimas apenas têm em consideração o valor das taxas cobradas pelas autoridades portuárias e a qualidade e robustez dos serviços logísticos disponibilizados, dado que todas as outras variáveis, que continuam a ser dadas como muito importantes na selecção de um porto por parte das linhas marítimas, são já dados adquiridos. Refere-se que, presentemente, as variáveis avaliadas que vão para além destas duas, não serão, de todo, vantagens competitivas mas sim, apenas





elementos que os portos têm que disponibilizar caso pretendam continuar no mapa das principais linhas marítimas.

Relativamente às companhias de expedição de mercadoria, Tongzon (2008), num estudo direccionado a companhias existentes no sudeste asiático, identificou uma série de variáveis importantes na selecção de um determinado porto por parte deste tipo de operadores logísticos. Assim, verificou que a frequência com que uma dada embarcação visita um determinado porto, a eficiência, a existência de infra-estruturas adequadas, a localização geográfica, as taxas praticadas, a qualidade do serviço prestado e a reputação no que concerne ao bom manuseamento da carga são as sete variáveis comumente avaliadas. Será interessante evidenciar que para estes operadores, a eficiência do porto será a variável mais importante enquanto que, a reputação no que concerne ao bom manuseamento da carga se queda pelo último lugar. A importância atribuída às taxas praticadas queda-se apenas no quinto lugar, atrás da frequência com que uma dada embarcação visita o porto, da existência de infra-estruturas adequadas e da localização. As variáveis consideradas mais importantes, e que se situam nos quatro primeiros lugares do *ranking* definido, serão diferentes aspectos de uma mesma variável agregável e que diz respeito à capacidade de movimentação da carga de uma forma rápida e eficiente.

Também sob o ponto de vista deste tipo de empresa, Malchow e Kanafani (2001), num estudo onde se apresenta os resultados de um modelo multinomial usado para explicar o modo como se procede à selecção dos portos, usados para exportar várias mercadorias produzidas nos Estados Unidos da América para oito diferentes destinos, concluem que existem variáveis que, ao serem avaliadas, são mais decisivas do que outras. As variáveis incluídas no modelo são a distância oceânica entre portos, a distância terrestre entre o ponto de origem da mercadoria e o porto de expedição, a frequência do transporte marítimo e o tamanho das embarcações.

No referido estudo, inicialmente esperava-se que quanto maior fossem a distância oceânica e a distância terrestre, menos atractivo seria o porto. Em sentido oposto, esperava-se que quanto maior fosse a frequência do transporte marítimo e o tamanho das embarcações disponibilizadas, mais atractivo este seria. Daqui resultou que, nesse caso concreto, as variáveis que parecem influenciar significativamente a atractividade de cada porto estudado são apenas a distância oceânica e a distância terrestre, ao afectarem directamente os custos e o tempo de trânsito a uma taxa aproximadamente linear. A frequência do transporte marítimo, simplesmente pode nem afectar a decisão dos responsáveis dado que, a partir do momento em que esta for adequada, o seu aumento não trará qualquer mais-valia, assim como o tamanho das embarcações dado que, e apesar de vários autores referirem que embarcações maiores permitem maiores economias de escala que resultam em custos mais baixos de transporte por unidade de volume, a redução de custos por esta via pode ser insignificante quando comparada com os ganhos obtidos na optimização das duas primeiras variáveis apresentadas.





Deste modo, pode-se concluir que, para se tornar mais atractivo, numa primeira instância, os esforços de um porto devem ser direccionados para a “redução” das distâncias oceânicas e terrestres existentes. Uma vez que qualquer aumento da distância deve resultar no aumento dos custos de operação e no aumento do tempo de trânsito e dado que o custo do tempo de trânsito é afectado pelo valor da mercadoria, os portos deverão tentar encurtar todo este tempo quer por meio do aumento da rapidez e da eficiência do transporte das mercadorias desde o seu ponto de produção até ao ponto de destino, que poderá passar por, entre outros, otimizar ou melhorar os meios mecânicos existentes no porto, dedicados ao embarque e desembarque de mercadorias; por agilizar procedimentos burocráticos que passem a permitir um menor tempo de permanência da embarcação no porto e melhoria e diversificação da rede de transportes na *hinterland*.

Wiegmans *et al.* (2008), num estudo levado a cabo com o intuito de se determinarem as causas da escolha, por parte das empresas transportadoras de mercadorias, de portos localizados na região Hamburgo - Le Havre, em detrimento de outras, referem que, em primeiro lugar, e antes de se efectuar a escolha do porto, as empresas têm que assumir algumas considerações estratégicas. Assim, lado a lado com o nível de serviço e com o nível de custos que estas operações representam, a escolha do porto deverá ser também influenciada pelo seu ajustamento ao tipo de produto a comercializar, pelos requerimentos impostos pela estrutura da aliança empresarial a que pertencem, pela localização e pelo relacionamento existente entre as linhas marítimas e os clientes envolvidos, pelas considerações estratégicas das companhias marítimas tais como possíveis contratos previamente existentes e níveis de penetração no mercado e, finalmente, por acordos estabelecidos entre as companhias marítimas e os operadores dos terminais portuários de que, a existência de terminais dedicados, serão o melhor exemplo. Por esta via, verificou-se que, apenas após os factores ao nível da estratégia da empresa serem bem ponderados e avaliados é que são avaliados os factores associados ao porto em si. Assim, as factores físicos, a avaliar durante a selecção de um determinado porto tais como a existência de ligações intermodais, o nível das tarifas praticadas e a existência de consumidores, coadjuvados pela existência de empresas marítimas de menor dimensão que fazem o transporte regional de mercadorias, serão factores de decisão de segunda dimensão face aos anteriormente apresentados.

No presente estudo, foi revelado pela empresa que é ela própria que define qual o porto a ser operado pela companhia marítima que sub-contrata para fazer a distribuição. Neste caso, foi revelado que as variáveis que mais pesam na tomada de decisão de escolha de um porto são a existência de meios mecânicos dedicados à manipulação do tipo de mercadorias que distribui, os preços praticados por esse porto, a existência no porto de área de armazenagem suficiente e a proximidade dos clientes a abastecer.



A escolha do porto de desembarque de mercadorias faz todo o sentido quando se pretende alcançar quer níveis de serviço elevados quer optimizações de custos da cadeia de abastecimento. No entanto, não nos podemos esquecer que o desenvolvimento verificado nas *hinterlands* nas últimas décadas, pelas várias razões descritas em epígrafe, levou a uma maior eficiência ao nível dos transportes rodó e ferroviários, tornando-os bastante competitivos dentro de determinadas regiões, hoje bastante alargadas, quer pela redução de custos que representam quer pelos níveis de serviço que proporcionam. O melhor exemplo, a ambos os níveis, será a entrega capilar efectuada pelos meios de transporte rodoviários. Estes, proporcionarão níveis de serviço elevados, dada a redução do tempo necessário ao transporte, e custos competitivos dada a ausência da necessidade de se recorrer à estiva consecutiva das mercadorias. Assim, aquando da escolha dos meios de transporte a utilizar na distribuição de um determinado produto, há que considerar as várias alternativas, optando-se, caso seja proveitoso, por alternativas intermodais ou, para curtas distâncias e níveis de serviço elevados, apenas por meios terrestres.

## 2.5 Intermodalidade

Ao longo do presente capítulo abordou-se por diversas vezes a importância da intermodalidade como factor, por vezes preponderante, na selecção de um determinado porto marítimo. De facto, quanto mais soluções de transporte existirem numa determinada região, mais simples será a um determinado operador logístico, alcançar os seus objectivos estratégicos. No entanto, não basta que todos meios de transporte existam numa determinada região para que, *per si*, façam emergir significativas vantagens competitivas. Para tal será necessário que existam terminais intermodais de carga onde seja possível efectuar o transbordo de mercadorias entre diferentes meios de transporte. Segundo Salucci (2006), como terminal intermodal de carga, entende-se qualquer ponto equipado com meios que permitam o transbordo e a armazenagem de mercadorias. Segundo o mesmo autor, estes pontos têm como função efectuar a ligação entre pelo menos dois meios de transporte, que usualmente são o ferroviário e o rodoviário, se bem que o marítimo/fluvial e o aéreo também podem e devem, neles ser integrados. Assim, os terminais serão sobretudo pontos nodais da rede intermodal de transportes cuja eficiência afecta sobremaneira toda a cadeia intermodal do transporte de mercadorias.

De qualquer modo, a existência de transportes intermodais eficientes requer o planeamento das suas infra-estruturas em áreas bastante alargadas, sendo necessário para tal, que exista uma plena coordenação entre os diversos espaços económicos. Por esta via, o trabalho conjunto dos responsáveis pelos diversos espaços, pode fazer emergir redes coerentes sob o ponto de vista da sua eficiência, por meio da construção de terminais intermodais estrategicamente distribuídos, contrariando a actual visão de que estes terminais serão os elos mais fracos do actual sistema de transportes intermodais, dado que fazem emergir alguns custos desnecessários. Estes custos têm origem em diversos factores tais como a já referida



ausência de uma coerente rede de meios de transporte e interligações entre estes meios num número significativo de corredores de alta densidade; o actual inadequado acesso ferroviário, rodoviário e fluvial aos locais de transbordo de mercadorias e a baixa inter-operacionalidade das cargas transportadas pelos diversos meios, dado ainda não existir uma plena uniformização ao nível das unidades de volume das cargas transportadas.

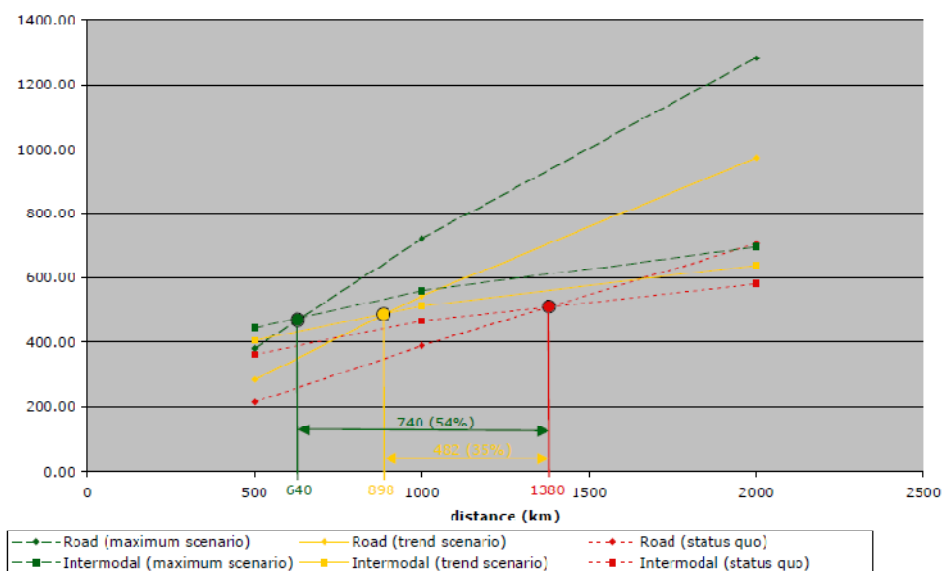
Segundo Wichser *et al.* (2007), os três principais problemas relacionados com o transporte intermodal são a qualidade, o custo e a cobertura, especificando que é normalmente mais lento, menos robusto, mais caro e com menor cobertura geográfica do que as alternativas exclusivamente rodoviárias. Contudo, o mesmo autor refere que é possível por meio de uma nova organização a nível europeu, ultrapassar todas estas vicissitudes, e refere, a título de exemplo, que a recorrência a alianças entre os diversos terminais, de modo a que não haja perda de informação entre os vários interlocutores, seria um bom ponto de partida.

Toda esta problemática em torno da intermodalidade prende-se à necessidade de se encontrar alternativas à movimentação de mercadorias nas *hinterlands* por meios exclusivamente rodoviários. Se bem que é possível utilizar estes meios com elevados níveis de serviço, o custo ambiental de tal atitude é bastante elevado. Segundo a Comunidade das Companhias de Caminho de Ferro e de Infra-Estruturas Europeias e a União Internacional de Caminhos de Ferro (2008), o sector dos transportes é o único na União Europeia em que a emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa tem vindo a aumentar consistentemente desde 1990. Assim, para além de ser um sector que contribui para a alteração do clima, o crescimento dos níveis de congestionamento, os acidentes de viação, a poluição atmosférica e o ruído ambiental contribuem conjuntamente com custos sócio-económicos substanciais, que são suportados pelas populações afectadas e pelas empresas.

Por tudo o mais, uma política europeia bastante importante nos dias de hoje, e que é partilhada por diversos países, fornece as linhas mestras que permitirão impulsionar a mudança do transporte de mercadorias da rodovia para a ferrovia (Comissão Europeia, 2001). Esta política tem como intuito a passagem do transporte das mercadorias por longas distâncias por meio da via-férrea, efectuando-se apenas o transporte por rodovia a partir dos terminais de chegada até à morada dos clientes. Deste modo, pensa-se que o transporte de mercadorias ao longo da União Europeia provocará impactos reduzidos no meio ambiente e proporcionará às empresas expedir mercadorias a custos significativamente mais baixos.

A corroborar tais expectativas, Wichser *et al.* (2007), tendo conhecimento de que o custo do combustível representa cerca de 36% do custo total de uma determinada entrega efectuada exclusivamente por rodovia e que o custo de um transbordo pode chegar a custar 36% do custo total de transporte efectuado inter-modalmente, conduziram um estudo em que elaboraram três cenários, pretendendo-se determinar qual o ponto, em termos de distância, a partir do qual se tornaria vantajoso realizar expedições por meios intermodais ferro-rodoviários ao invés das tradicionais expedições exclusivamente rodoviárias. Num primeiro cenário

testaram as condições actualmente existentes em termos dos custos do combustível, dos salários e das taxas rodoviárias. Num segundo cenário, assumiram que a tendência ao nível dos custos destas variáveis se iria manter. Finalmente, num terceiro cenário partiram do princípio de que esta tendência se iria intensificar. Na Figura 2, pode-se observar os resultados obtidos no referido estudo.



**Figura 2: Breakeven point existente entre o transporte efectuado exclusivamente por rodovia e o transporte efectuado inter-modalmente, nos três cenários estudados por Wichser *et al.* (2007).**

Fonte: Wichser *et al.* (2007).

A partir desta figura pode-se facilmente constatar que, com a estrutura de custos existente em 2007, ano em que foi realizado o estudo, o ponto crítico em que passa a compensar transportar as mercadorias por ferrovia situa-se nos 1380 km. Contudo, este raio de acção rodoviário desce drasticamente para os 898 km caso a tendência de então se mantivesse e para os 640 Km caso aquela tendência se intensificasse.

Deste modo, e com o actual nível do preço dos combustíveis fósseis, refere-se que é de todo o interesse as empresas começarem a pensar sobre o modo como poderão diversificar as suas estratégias de distribuição, utilizando o meio ferroviário, pois pensa-se que, brevemente, os preços do barril do petróleo atinjam valores consideravelmente acima dos praticados actualmente, tal como aconteceu recentemente, no primeiro semestre do ano de 2008.

## 2.6 Problemática dos custos de transporte

Em diversas áreas de negócio, o custo do transporte das mercadorias, representa uma elevada percentagem do custo do produto suportado pelo consumidor final. De facto, numa economia em que, globalmente, a inovação tecnológica tem permitido incrementos substanciais de produtividade e em que os mercados procuram as zonas de produção mais competitivas, onde os factores endógenos de produção, tais como os custos da mão-de-obra e da energia, entre



outros, sejam o mais baixo possível, torna-se crucial desenvolver estratégias de distribuição que consumam apenas os recursos essenciais, para fazer chegar os diversos produtos aos respectivos destinatários. Consequentemente, vários estudos têm-se debruçado sobre este tema, baseando-se em vários modelos de distribuição cujo intuito será reduzir os recursos consumidos pela distribuição das mercadorias

Assim, pela realização do presente estudo pode-se referir que, por meio de metodologias de Investigação Operacional, é possível determinar qual a melhor alternativa para transportar uma determinada mercadoria de um local para outro, intermodalmente. Para tal, e a título de exemplo, pode-se utilizar o modelo de selecção intermodal de *Reddy and Kasilingam* (Kasilingam, 1998), onde, com o objectivo de reduzir os custos de transporte, se pode determinar uma solução óptima desde que se assuma que uma determinada carga não é dividida entre a utilização de dois meios de transporte distintos, que a totalidade da mercadoria transportada passa apenas por um nodo intermodal localizado entre duas cidades distintas, e que os custos de transporte aumentam linearmente com a distância. Também a título de exemplo, evidencia-se o Modelo de Transportes como uma ferramenta eficaz e robusta no alcance de soluções óptimas em problemas onde se coloca a questão de definir quais as origens e/ou depósitos intermédios que devem ser utilizadas, e em que quantidade de carga, para satisfazer a procura nos diversos destinos. Relativamente a este modelo, sublinha-se que a sua aplicabilidade é grande a testar pelos estudos de diversos autores, tais como Nunkaew (2009) e Romo *et al.* (2009), entre diversos outros, usaram-no para otimizar redes de transporte de matérias-primas tais como petróleo e gás natural. De referir ainda que este modelo pode ser utilizado em múltiplas circunstâncias desde que se obedeça a determinadas restrições que serão objecto de descrição no Capítulo 4.

## 2.7 Síntese

Ao longo deste Capítulo expuseram-se os aspectos mais relevantes a ter em conta aquando da avaliação e selecção das opções alternativas de transporte, em especial aquelas que estão relacionadas com a opção intermodal marítima-rodoviária. Deu-se igualmente conta da importância da procura de alternativas à distribuição exclusivamente rodoviária devido à actual tendência de subida do custo dos combustíveis fósseis e ao impacto que a utilização massiva deste meio de transporte causa no meio ambiente. Também se referiram algumas metodologias aplicadas na modelação da referida intermodalidade. Se bem que nem todos os modelos referenciados serão aplicáveis directamente no estudo que seguidamente será apresentado, mostrar-se-á no entanto que este tipo de metodologia será a mais adequada para formular e resolver o problema em questão.

Seguidamente, descrever-se-á o modo como tem vindo a ser efectuada a distribuição dos produtos que a empresa em estudo produz, com o intuito de fazer compreender quais as premissas em que ela assenta as suas decisões e as alternativas de distribuição estudadas que, no âmbito do presente estudo, serão apresentadas nos capítulos subsequentes.



### 3. Caracterização da rede de distribuição da empresa

A rede de distribuição da empresa objecto de estudo é constituída pela empresa propriamente dita, pela localização dos seus clientes, por um porto marítimo que se encontra a pouca distância da empresa e por três portos marítimos que se encontram distribuídos por países do norte da Europa. A localização dos clientes dispersa-se por países tais como Portugal, Espanha, Itália, França, Bélgica, Holanda, Alemanha e Suíça.

Para levar a cabo a tarefa de distribuir os seus produtos, a empresa, tradicionalmente adopta dois meios de transporte. O primeiro é o meio rodoviário, transporte especialmente concebido para efectuar viagens de pequeno e médio curso, que pela sua flexibilidade, rapidez e custo é usado para abastecer todos os clientes que se encontram num raio de distância mais reduzido, isto é, por toda a área não pertencente à zona de penetração dos portos utilizados no norte da Europa. No presente caso de estudo, este meio de transporte é utilizado para abastecer os clientes que se encontram na Península Ibérica, Itália, Suíça e Sul de França.

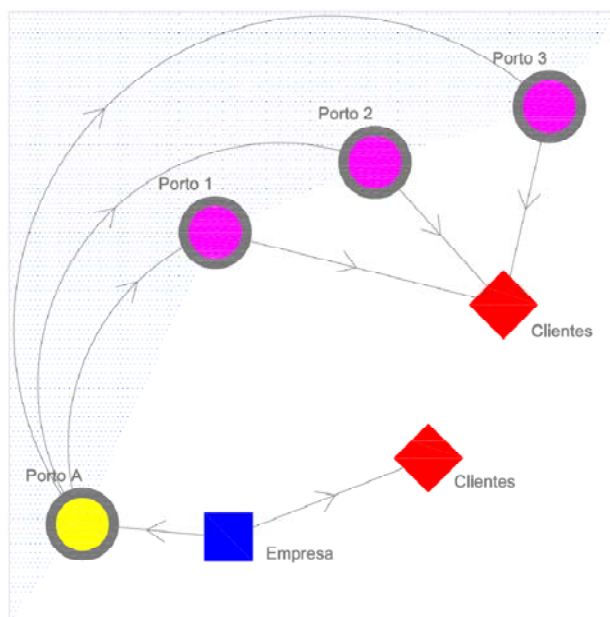
Para efectuar a distribuição por este meio, a empresa está dotada de equipamentos mecânicos dedicados de elevação e manipulação de carga. Por meio destes equipamentos, os camiões são carregados individualmente com, sensivelmente 24 toneladas de produto acabado. Estes camiões destinam-se sempre a um e apenas um cliente. Assim, lidamos com uma situação em que apenas se expedem cargas completas. Esta situação é particularmente importante, dado que, com base nesta premissa, e no que se refere ao estudo presentemente elaborado, foi possível proceder a uma simplificação em termos da modelação da rede de distribuição.

O segundo meio de transporte utilizado é, tal como se pôde deduzir, o meio marítimo. Este meio de transporte, pelas características que apresenta, é especialmente concebido para transportar cargas por distâncias médias e longas e apresenta vantagens face ao primeiro, quer a nível económico, quer a nível ambiental. No presente caso de estudo, as mercadorias transportadas por esta via destinam-se aos mercados do norte de França, Bélgica, Holanda e Alemanha.

Refere-se que após ser produzida, a mercadoria a expedir por via marítima é depositada num armazém que está presente no perímetro industrial da empresa e lá permanece enquanto a embarcação não chega ao porto de origem. Aquando da altura do carregamento das embarcações, estabelecem-se ligações terrestres entre os dois pontos, efectuadas por camião.

Assim, para expedir o produto acabado por este meio, a empresa tem que, em primeira instância, utilizar o meio rodoviário para transportar as mercadorias desde o local de produção

até ao porto marítimo. Nesse local, os camiões são descarregados e a carga que contém é introduzida em navios com capacidade de carga de cerca de 2 mil toneladas. O carregamento completo de uma embarcação desta categoria demora sensivelmente 2 dias a ser efectuado. De seguida as mercadorias seguem até ao porto de destino. A viagem marítima tem a duração de 4 a 5 dias caso a embarcação se dirija ao porto de destino geograficamente mais próximo ou 5 a 6 dias caso se dirija ao porto mais longínquo. Aí, as mercadorias são descarregadas (tarefa que para um navio completo demora sensivelmente 1 dia) e depositadas num armazém. Refere-se neste ponto que, a partir do momento em que são depositadas neste local, as mercadorias podem aí permanecer até a um período máximo de 30 dias. Por fim, e de novo pelo meio rodoviário, e também em cargas completas, as mercadorias são expedidas desde os portos marítimos até aos clientes da empresa. Refere-se que, tradicionalmente, os clientes que são abastecidos por intermédio dos portos localizados no norte europeu distam destes, no máximo, 500 km, isto é, a um dia de distância. Esquemáticamente, a rede de distribuição pode ser representada da forma em que consta na Figura 3.



**Figura 3:** Apresentação esquemática da rede de distribuição da empresa.

Relativamente à frequência com que se operam estas entregas, indica-se que, mensalmente, partem dois navios com destino a um dos portos e outros dois, cada um deles, com destino aos portos restantes. As entregas que são efectuadas com recurso exclusivo aos meios terrestres são efectuadas diariamente.

Finalmente indica-se que, tradicionalmente, a selecção do meio de transporte a utilizar depende essencialmente de dois factores. O primeiro está relacionado com o custo de transporte, pois na maioria dos casos o meio que for menos oneroso é aquele que será seleccionado. O segundo está relacionado com o nível de serviço que se pretende fornecer aos





clientes pois, não são raras as vezes, em que se adopta uma alternativa de distribuição que está longe de ser a economicamente mais vantajosa com o intuito de agradar os clientes da empresa. De qualquer modo, refere-se que, o meio de transporte a utilizar nas entregas está pré-estabelecido pela empresa, mantendo-se inalterado o modo como os clientes são servidos.

Depois de caracterizada a rede de distribuição da empresa, refere-se que o presente estudo tem como um dos objectivos fazer a análise do seu desempenho. Assim, pretende-se encontrar uma alternativa de distribuição que para além de manter o nível de serviço pretendido permita racionalizar os custos que esta consome, dado que, aquando da apresentação por parte da empresa, do modo como se efectua a distribuição, foi possível evidenciar-se situações em que a distribuição não é efectuada do modo, teoricamente, mais racional por via de uma deficiente escolha da melhor alternativa de transporte, por via de eventuais ajustes urgentes de encomendas não entregues, por excessos pontuais de procura ou por via da exigência de determinados clientes em serem abastecidos de determinado modo.

Estes desajustamentos ao modo mais racional de se efectuar a distribuição sugerem que será interessante formular-se o problema da distribuição como um problema de optimização, tendo em conta a existência de diferentes alternativas intermodais e de alterações a nível da localização de infraestruturas.

Assim, e dado que apenas são conhecidos os custos para expedir as mercadorias por via marítima e os custos rodoviários para abastecer os clientes que tradicionalmente são abastecidos por este meio, ter-se-á que, em primeiro lugar estimar os custos de transporte rodoviário desconhecidos, entre diversas origens e destinos, para se identificar as situações em que é possível utilizar meios alternativos de transporte.

Estas estimativas serão determinadas por meio de modelos de regressão, que baseados nos custos de transporte conhecidos e nas distâncias reais existentes entre as diversas origens e clientes, resultarão numa expressão a partir da qual será possível determinar novos custos para um novo destino.

Salienta-se que as distâncias reais existentes terão que ser obtidas por meio da utilização de Sistemas de Informação Geográficos, de operacionalidade bastante intuitiva, que por meio da introdução das coordenadas geográficas de dois pontos, fornecem a distância rodoviária existente entre ambos.

Depois de conhecidos todos os custos de transporte, ter-se-á que construir, numa folha de cálculo, um programa que resolva o bem conhecido problema de transportes. Por meio desta ferramenta informática poder-se-á conhecer, de um modo bastante rápido e preciso, qual o melhor plano de distribuição que a empresa pode adoptar com as restrições actualmente existentes, quer ao nível do custo de operação das diversas estruturas portuárias quer ao nível dos custos e limitações existentes no meio de transporte rodoviário, assim como simular





diversos planos de distribuição que tenham outro género de restrições tais como a capacidade de transporte das embarcações a utilizar ou o custo da mão-de-obra utilizada nos portos.

Por fim, por meio da aplicação de um algoritmo de encontro do local onde os custos de transporte rodoviários são minimizados, poder-se-á saber se a introdução de um Centro de Distribuição, onde as mercadorias possam ser armazenadas e consolidadas, permitirá reduzir significativamente os custos de transporte e proporcionar poupanças devido a economias de escala que venham a surgir.

Seguidamente, apresentar-se-á a metodologia utilizada no presente estudo. Assim, serão apresentados vários métodos que permitem resolver as várias questões presentemente levantadas, com o objectivo de se conseguir determinar qual ou quais serão os melhores planos de distribuição que a empresa pode adoptar, com vista a se proporcionar aos clientes um nível de serviço elevado, sem que com isso tenha que despende recursos financeiros desproporcionados.

## 4. Descrição das metodologias de estudo

Neste capítulo descrevem-se as metodologias de formulação e de solução que vão ser usadas no presente estudo. Decorrente da especificidade da distribuição da empresa, foi possível simplificar os métodos de resolução. Em particular, trata-se de de um caso em que são operadas cargas completas para cada cliente e em que é possível quantificar todos os custos de transporte como custos variáveis (por tonelada), o que permite a resolução do problema através do tradicional algoritmo do Problema ou Modelo dos Transportes.

### 4.1 Modelos de regressão

A regressão é uma técnica que permite estabelecer relações entre variáveis de forma a prever uma delas (variável dependente) a partir do conhecimento das restantes (variáveis independentes ou explicativas). Uma dada regressão pode ser designada por *simples* caso exista apenas uma variável explicativa e a relação entre as variáveis seja linear ou por *múltipla*. Uma regressão múltipla é simplesmente uma extensão do modelo linear sendo que a diferença face à regressão *simples* está no número presente de variáveis explicativas. Quando temos presente uma regressão simples, do tipo  $y = \alpha + \beta \cdot x$  podemos medir o grau de relacionamento (linear) entre as variáveis através do coeficiente de correlação  $\rho$ , por meio da seguinte expressão:

$$\rho = \frac{\sum X_t Y_t - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{\sum X_t^2 - n \bar{X}^2} \sqrt{\sum Y_t^2 - n \bar{Y}^2}}$$

No caso em que  $\rho = 0$ , o conhecimento da variável independente  $x$  é irrelevante para prever a variável  $y$ . No caso em que  $\rho$  tome os valores de  $-1$  ou  $+1$ , existe um relacionamento perfeito entre  $x$  e  $y$ , sendo possível, conhecendo o valor de  $x$ , determinar o de  $y$  sem qualquer erro. Para valores de  $\rho$  compreendidos entre  $-1$  e  $1$  a variável independente  $x$  contém alguma informação sobre a variável dependente  $y$ . Neste caso, podemos usar a variável independente para fazer previsões sobre a variável dependente mas, essas previsões não são perfeitas pois, estão sujeitas a erros. Assim, a equação inicial tomaria a forma de  $y = \alpha + \beta \cdot x + \varepsilon$ . Estes erros, presentemente designados por  $\varepsilon$ , têm como características principais a nulidade do seu valor médio, serem independentes e de variância constante e seguem uma distribuição normal.

Para se estimarem os parâmetros o modelo, a partir de um determinado número de observações, é habitual usar o método dos mínimos quadrados, que consiste na aplicação do critério da minimização da soma do quadrado dos erros.



Conhecidas as distribuições de  $\alpha$  e de  $\beta$ , é possível construir intervalos de confiança e testar hipóteses respeitantes aos parâmetros da regressão. Estes intervalos, proporcionam uma gama de valores que provavelmente contém os verdadeiros parâmetros da regressão. A cada intervalo de confiança associa-se um nível de significância estatística. Assim, os intervalos de confiança, devem ser construídos de forma a que, a probabilidade de que o intervalo contenha o verdadeiro valor do parâmetro seja  $(1 - \text{Nível de Significância})$ .

A avaliação do modelo de regressão pode ser avaliada por diversos parâmetros estatísticos que nos dão conhecimento sobre a qualidade do seu desempenho. De entre os vários existentes, indicam-se os seguintes: MAPE (Mean Absolute Percentage Error), R – quadrado (grau de explicação do modelo),  $t$  tests e  $F$  tests (significância dos coeficientes).

O parâmetro R – quadrado, apenas representa a fracção da variação total que é explicada pela regressão. Deste modo, quanto mais elevado for este parâmetro maior será a fidedignidade dos dados apresentados. O teste  $t$ , testa a hipótese de uma variável ser irrelevante. Assim, testa individualmente cada uma das variáveis e tem associado um valor de probabilidade ( $p$ ), o nível de significância ao qual se rejeita a hipótese nula. Analogamente, o teste  $F$ , testa a hipótese de todas as variáveis, no seu conjunto, terem um valor explicativo irrelevante.

## 4.2 Modelo de localização de instalações

O problema de localização de instalações logísticas coloca-se quando se pretende reduzir ao máximo os custos de transportes efectuados e o tempo de circulação dos produtos quer a montante quer a jusante das instalações. Assim, localização das instalações produtivas, assim como dos diversos intervenientes na cadeia de abastecimento poderá ser, em diversas situações, crucial para o alcance de um bom desempenho económico. Segundo Ballou (2010), a localização das instalações ao longo da rede logística é uma decisão importante que lhe confere a forma e a estrutura. Assim, a forma que a rede logística toma devido à localização das instalações, define as alternativas (e os seus custos associados), que podem ser utilizadas para operar todo o sistema, e que o podem tornar mais ou menos eficiente. As decisões acerca da localização envolvem a determinação do número, localização, e o tamanho das instalações a serem utilizadas. Estas instalações incluem diversos pontos nodais da rede tais como, entre outros, fábricas, portos e armazéns, isto é, os pontos da rede logística onde os bens podem, temporariamente, deixar de circular, no seu percurso até aos consumidores.

Uma metodologia, bastante popular, usada para se encontrar um único local onde se pretenda edificar qualquer instalação logística, que racionalize os custos de transportes a suportar bem como os prazos de entrega a cumprir, designa-se por aproximação ao centro de gravidade da rede, por método de grelha ou, finalmente, por método centroide. Ao longo deste trabalho designá-lo-emos por método do centro de gravidade.



Dados um conjunto de pontos que representam quer pontos de origem quer pontos de destino de uma rede, assim como a quantidade (volume) de produtos que deverá circular entre eles em qualquer dos sentidos, será pertinente encontrar-se a localização que minimiza quer os custos de transporte quer o tempo de circulação das mercadorias, dado que este representa igualmente um custo, neste caso um custo de posse de inventário. A função objectivo que traduz esta problemática traduz-se em:

$$\min C = \sum_{j=1}^n w_j d_j$$

Para se alcançar tal objectivo dever-se-á, inicialmente, encontrar as localizações de todas as infra-estruturas logísticas que deverão servir ou ser servidas pela nova instalação a edificar. De seguida, deverá ser encontrada uma primeira localização para as instalações por meio das seguintes expressões, em que  $w$  representa a quantidade de carga a transportar,  $x$  representa a distância horizontal à origem e  $y$  representa a distância vertical à origem:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^n w_j x_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad Y = \frac{\sum_{j=1}^n w_j y_j}{\sum_{j=1}^n w_j}$$

De seguida, dever-se-á determinar a distância entre o local encontrado inicialmente e os restantes pontos da rede, através da seguinte expressão:

$$D_j = [(X - x_j)^2 + (Y - y_j)^2]^{1/2}$$

Tomando as derivadas parciais de  $C$  e igualando a zero obtém-se as fórmulas de recorrência:

$$X = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{w_j x_j}{d_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{d_j}} \quad e \quad Y = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{w_j y_j}{d_j}}{\sum_{j=1}^n \frac{w_j}{d_j}}$$

Seguidamente deve-se estimar o custo de implementar o novo local e comparar esse custo com o custo da solução anterior. Se se verificar uma redução significativa nesse custo, deve-se voltar a utilizar as fórmulas de recorrência. Eventualmente, se após uma série de iterações nos passos anteriores, a solução continua a melhorar sucessivamente mas apenas em muito pequenos incrementos, pode-se considerar essa solução como óptima.

### 4.3 Fluxos em rede

Em situações reais em que estão presentes múltiplas fontes de abastecimento e múltiplos destinos a serem servidos emerge o problema de afectação das origens aos destinos assim como de procura das melhores rotas entre eles (Ballou, 1999). Este problema surge normalmente quando existe mais do que um vendedor, armazém ou empresa para servir mais do que um cliente num mesmo produto e poderá ser tanto ou mais complexo quanto maior for a restrição de quantidade que um determinado destino impõe aos seus fornecedores. Este tipo de problema é, segundo o mesmo autor, frequentemente resolvido pela aplicação de um algoritmo particular de programação linear conhecido por modelo de transportes.



Um problema de programação linear pode ser definido como um problema de maximização ou de minimização de uma função linear sujeita a restrições também elas lineares. As restrições poderão ser traduzidas por equações ou por inequações. Segundo Valério de Carvalho (2010), a metodologia a seguir para a resolução de um problema de programação linear passará pela identificação do problema, pela observação do sistema em que este se integra, pela recolha de dados necessários à sua formulação, pela formulação de um modelo matemático, pela verificação e validação do modelo formulado, pela selecção de uma alternativa adequada, pela apresentação de resultados e, por fim, pela implementação e avaliação dos resultados obtidos. Segundo o mesmo autor, a estrutura destes modelos passará por conter variáveis de decisão que são as incógnitas do problema, restrições que mais não são do que as limitações existentes e por parâmetros.

Um problema que tradicionalmente é solucionado por meio de modelos de programação inteira é o problema de transportes. Este problema consiste em determinar a forma como devem ser distribuídos produtos, pessoas ou outras entidades desde locais de origem até determinados destinos de modo a minimizar ou maximizar uma função objectivo linear. O problema de transportes é definido por um conjunto de  $n$  origens em que cada uma delas pode enviar até  $d_i$  unidades até um ou mais destinos da rede, por um conjunto de  $m$  destinos, cada um deles com a procura de  $p_j$  unidades e por custos unitários de transporte  $c_{ij}$ .

O problema consistirá assim, na determinação da quantidade que deverá ser enviada por cada um dos arcos existentes entre as origens e os destinos, de modo a minimizar o custo total de transporte. Esse custo total é directamente proporcional às quantidades enviadas dado que quanto maior for o fluxo observado num determinado arco maior será o custo final alcançado. As quantidades enviadas entre uma origem  $i$  e um destino  $j$  correspondem ao fluxo no respectivo arco  $(i,j)$  dessa rede. O objectivo do problema será a determinação dos fluxos que minimizem o custo total de transporte.

Para que exista uma solução válida para o problema de transportes, a oferta total nas origens terá de ser igual à procura total nos destinos:

$$\sum_{i=1}^n d_i = \sum_{j=1}^m p_j$$

Um problema em que a oferta total é diferente da procura total é facilmente convertido num problema que cumpra essa condição. Assim, quando  $\sum_{i=1}^n d_i > \sum_{j=1}^m p_j$  adiciona-se um destino fictício ao problema com uma procura igual ao excesso de oferta  $(\sum_{i=1}^n d_i - \sum_{j=1}^m p_j)$ . Quando  $\sum_{i=1}^n d_i < \sum_{j=1}^m p_j$  efectua-se o caso inverso que consiste na adição de uma origem fictícia com uma oferta igual ao excesso da procura verificada  $(\sum_{j=1}^m p_j - \sum_{i=1}^n d_i)$ .

O problema de transportes pode ser formulado através de um modelo de programação linear em que as variáveis de decisão  $x_{ij}$  representam as quantidades que são transportadas entre uma origem  $i$  e um destino  $j$ . O modelo é composto por dois grupos de restrições, um

associado às origens do problema, e outro aos destinos. O primeiro conjunto de restrições obriga a que a quantidade que sai de cada origem seja exactamente igual à oferta nessa origem. O segundo conjunto de restrições força as quantidades transportadas até um destino a serem iguais à procura nesse mesmo destino. O modelo é definido formalmente da seguinte forma:

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} ,$$

$$\text{s.a.} \sum_{j=1}^m x_{ij} = d_i, i = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = p_j, j = 1, \dots, m,$$

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$$

A oferta total deve ser igual à procura total e que por tal, uma das restrições do modelo é necessariamente redundante pois pode ser obtida por combinação linear das restantes. Por outro lado, se não for possível transportar mercadorias desde uma origem  $i$  até um destino  $j$ , a variável  $x_{ij}$  associada ao arco poderá ser simplesmente removida do modelo ou então poder-se-á atribuir um custo muito elevado ao respectivo arco de modo a se garantir que este não venha a ser utilizado.

Para além do modelo apresentado, refere-se que em algumas circunstâncias torna-se oportuno utilizar um outro que possibilita utilizar depósitos intermédios. Este modelo permite determinar os melhores planos de distribuição em circunstâncias em que se torna rentável expedir mercadorias, que antes de serem entregues no cliente, passem por um determinado ponto onde possam ser consolidadas ou unicamente transbordadas. Em termos de resolução, os depósitos intermédios funcionam como destinos em relação às origens e simultaneamente como origens em relação aos destinos finais reais do problema. Para resolver o presente problema, refere-se que em cada depósito intermédio, a oferta tem que igualar a procura, que por sua vez deverá ser igual à capacidade máxima operacional do depósito, ou então igual a um limite superior para o fluxo máximo que efectivamente pode por este passar. O limite superior mínimo,  $k$ , é então, igual à quantidade enviada pelas diversas origens e recebida pelos vários destinos.

$$K = \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Devido ao problema de transportes poder ser formulado através de um modelo de programação linear poderá ser igualmente resolvido através do uso do método simplex. No entanto, a estrutura particular do modelo faz com que ele possa ser resolvido de forma ainda mais eficiente com uma versão adaptada desse método. O método resultante é também designado na literatura por método simplex para transportes. No entanto, neste caso particular optou-se por programar e utilizar o tradicional algoritmo do “quadro dos transportes”.



A utilização do modelo de transportes para resolver o presente problema foi possível, devido essencialmente a dois factores. O primeiro é o conhecimento dos custos unitários de transporte entre todos os nodos da rede de distribuição, e o segundo é o facto de se efectuarem cargas completas dos veículos para se fazer as entregas. Caso estas duas premissas não se verificassem então, o problema teria que ser provavelmente solucionado por via de métodos resolventes de programação linear inteira.

Para se considerar válido este modelo, considerou-se que os portos localizados no norte da Europa seriam igualmente origens do problema, isto é, teriam as mesmas características, em termos de modelação, da empresa sediada em Portugal. Assim, para dotar estes portos da tal característica, apenas se teve que imputar ao custo unitário de transporte terrestre efectuado a partir destes portos até ao cliente final, todos os outros custos unitários resultantes do transporte das mercadorias desde a empresa até ao local.

Assim, por meio deste artifício, o modelo de transportes poderia ser formulado e utilizado sem qualquer problema dado que a solução que iria apresentar passaria sempre por indicar a alternativa que apresentasse o custo mais baixo.

#### **4.4 Aplicação computacional**

De modo a determinar, de um modo rápido, preciso e intuitivo, os melhores planos de distribuição da empresa, desenvolveu-se uma ferramenta informática cuja programação passou por fazê-la assumir as metodologias de solução supracitadas. Deste modo, pretendeu-se dotar a ferramenta de potencialidades interessantes para a empresa de modo a que, constituísse uma mais-valia no auxílio à tomada de decisão.

Assim, depois de conhecidos todos os nodos da rede de distribuição, os nodos suplementares que poderia importar estabelecer, assim como todos os custos de transporte entre todos os nodos da rede, tornou-se claro que, dada a elevada quantidade de clientes de que a empresa dispunha, a determinação por meios tradicionais das melhores alternativas de distribuição seria uma tarefa bastante custosa e demorada. Por consequência, efectuou-se com recurso à programação em linguagem Visual Basic, tecnologia VBA, um programa que utilizasse o algoritmo tradicional do Modelo de Transportes, que, de forma célere, permitisse obter a solução óptima do problema.

Esta ferramenta veio permitir ultrapassar as limitações existentes do suplemento *Solver* do *Excel*, dado que esta folha de cálculo, mundialmente conhecida, apresenta limitações quanto à dimensão dos problemas a resolver. Em particular, o suplemento *Solver* só permite manipular um máximo de 100 variáveis de decisão. No caso da empresa em estudo, devido ao número de clientes que são necessários abastecer, ultrapassava estas limitações largamente. Consequentemente, a referida ferramenta revelou-se uma mais-valia considerável dado que assim, a empresa passaria a evitar o dispêndio de custos adicionais na aquisição de novo

software. Dado que o problema a ser resolvido ser bastante extenso, pode observar-se na Figura 4, um segmento do programa desenvolvido.

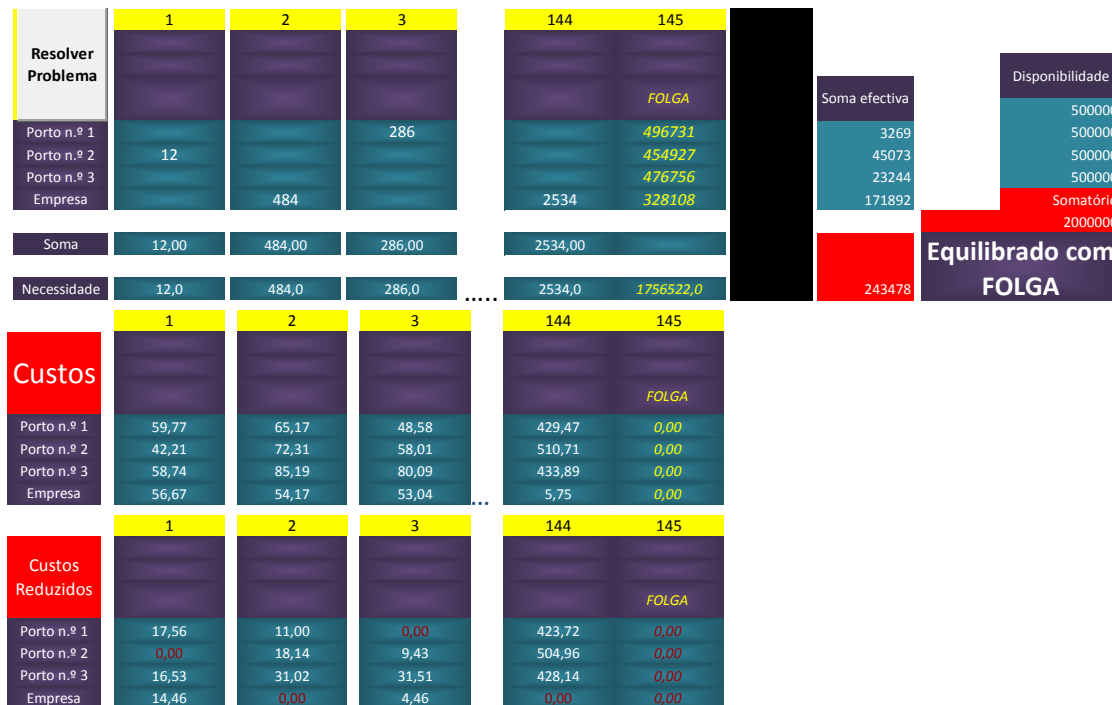


Figura 4: Segmento representativo do modelo de transportes desenvolvido.

Para além do modelo de transportes e do método do centro de gravidade, a aplicação tem ainda outras funcionalidades de interesse, tais como a estimação automática da distância rodoviária entre pares de locais. Esta funcionalidade permite, por exemplo, estimar rapidamente a distância entre uma determinada origem por meio do seu endereço, código postal ou coordenadas geográficas e todos os destinos que a empresa deseje abastecer, desde que, também estejam referenciados por qualquer um dos três dados referidos. Estas distâncias são estimadas a partir dos serviços *Web* do *Google Maps*, requerendo pois uma ligação à rede. Os dados obtidos, em conjugação com os métodos de regressão, permitem estimar custos entre as ligações. Esta aplicação integrada permite igualmente, efectuar o mapeamento dos diversos elementos da rede de distribuição seleccionados assim como a implementação de um método de selecção de localizações conhecidas.

Este método permite seleccionar, de entre um conjunto de armazéns existentes, aqueles que devem ser mantidos e aqueles que devem ser encerrados, se for caso disso. O método admite a incorporação de custos fixos (ex, de abertura e/ou fecho dos armazéns), através da respectiva unitarização ao longo de um processo iterativo convergente. Em cada iteração, faz





uso do Modelo dos Transportes, tendo em conta os sucessivos reajustamentos desses custos unitarizados. O seu método de resolução pode ser descrito da seguinte forma (Ballou 1999):

1. Determinar o plano óptimo de transportes, incluindo todos os armazéns, e considerando apenas os custos dos transportes;
2. A partir da solução obtida, dever-se-á determinar a quantidade total de artigos que passam via cada um dos armazéns, e determinar os respectivos custos marginais de operação desses armazéns;
3. Para cada armazém deve-se somar o respectivo custo marginal de operação aos custos unitários relativos ao transporte do produto do armazém para os seus clientes;
4. Por último, dever-se-á resolver o problema de transportes para a nova matriz de custos. Se a solução óptima resultante for diferente da anterior então dever-se-á voltar a determinar a quantidade total de artigos que passam via cada um dos armazéns e calcular os custos marginais de operação desses armazéns e fazê-lo sucessivamente até que, a quantidade que passa via cada um dos armazéns não varie entre duas iterações consecutivas;
5. O custo total de operação dos armazéns e do transporte será o produto entre o custo unitário e a respectiva quantidade alocada;
6. O custo total de distribuição do sistema será a soma do custo total obtido anteriormente e os custos fixos de armazenamento.

#### **4.5 Síntese**

Neste capítulo, deu-se conta das metodologias que foram utilizadas aquando do estudo das melhores estratégias de distribuição da empresa assim como das potencialidades da ferramenta informática desenvolvida. Nos capítulos seguintes, observar-se-á então, em que circunstâncias é que foram utilizadas.

## 5. Estimação dos custos unitários de transporte e do centro e gravidade da rede

No presente capítulo, expor-se-á o modo como se solucionou a ausência do conhecimento inicial dos custos de transporte entre todas as origens e destinos assim como se determinou o centro de gravidade da rede de distribuição com base nas metodologias apresentadas no capítulo anterior. Assim, e tendo em consideração a caracterização da rede de distribuição apresentada no Capítulo 3 e as metodologias apresentadas no Capítulo 4, refere-se que a presente abordagem tem como fim primordial, a tentativa de obtenção dos melhores planos de distribuição que permitam quer a redução dos custos de distribuição suportados até à data, pela empresa, quer a manutenção do nível de serviço prestado aos seus clientes.

### 5.1 Estimação dos custos de transporte

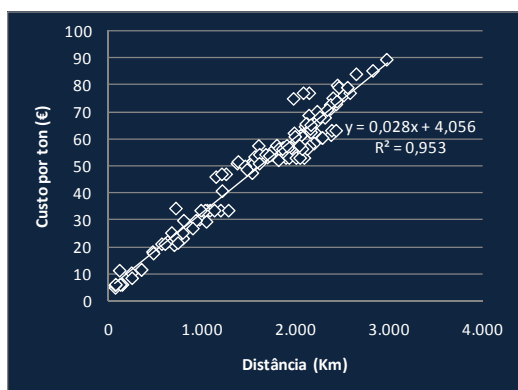
O primeiro problema que surgiu foi o desconhecimento dos custos de transporte terrestre, que teriam que ser suportados para abastecer os clientes que a empresa pretende conquistar assim como os clientes que se perderam ao longo dos últimos anos, assim como o custo de transporte desde um determinado porto marítimo até um determinado cliente que não estivesse a ser abastecido por essa origem, devido à inexistência de dados referentes a este assunto. Assim, e com o intuito de os poder estimar, dado que uma consulta ao mercado que se evidenciasse fidedigna, consumiria uma elevada quantidade de tempo e de recursos, recorreu-se a sistemas de informação geográfica (SIG) que nos fornecessem, de um modo rápido e expedito, quer as distâncias existentes entre a empresa e os seus clientes quer a existente entre estes e os portos marítimos operados no norte da Europa.

Estas ferramentas mostraram-se bastante úteis, não só pela rapidez com que disponibilizaram a informação pretendida mas também, pelo rigor e actualidade da informação que forneceram assim como pelo modo bastante intuitivo de com elas trabalhar.

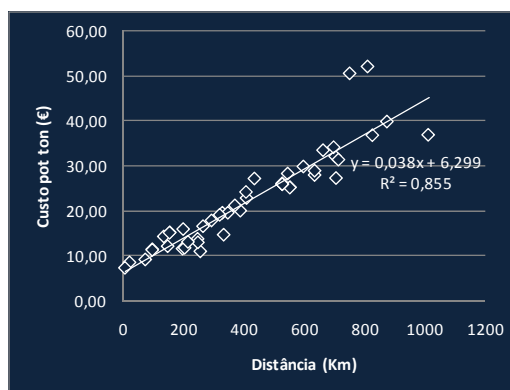
Assim, e depois de ter sido recolhida a informação acerca das distâncias a percorrer entre a empresa (ponto de origem da rede de distribuição) e os seus clientes (pontos de destino da rede) assim como entre os portos marítimos (pontos intermédios) e os seus clientes, recorreu-se a modelos de regressão para determinar o custo de transporte rodoviário entre os pontos referidos.

Relembre-se de momento que inicialmente foram fornecidos valores reais sobre o custo unitário de transporte, neste caso de uma tonelada de mercadoria, de vários vectores (origem -

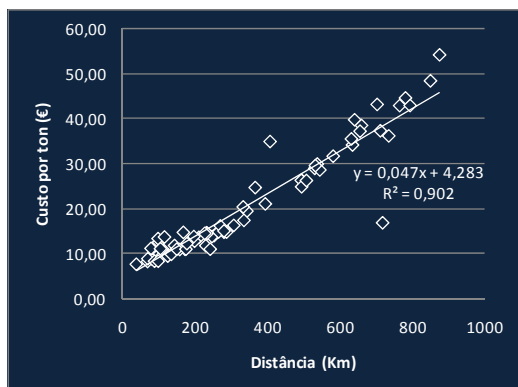
destino) desde as diversas origens (empresa e portos marítimos) até a diversos clientes, logo foi possível estimar a correlação existente entre a distância a percorrer e o custo de transporte.



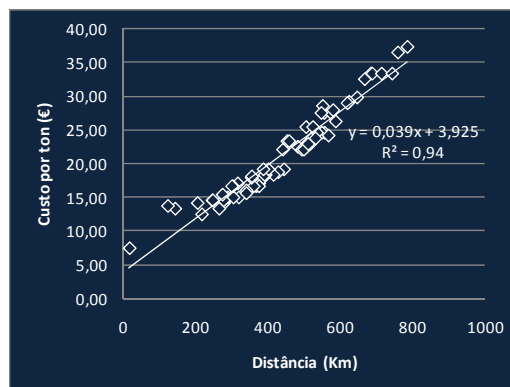
**Gráfico 1:** Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra a empresa.



**Gráfico 2:** Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra o Porto Marítimo n.º 1.



**Gráfico 3:** Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra o Porto Marítimo n.º 2.



**Gráfico 4:** Correlação Custo de Transporte – Distância verificada na região onde se encontra o Porto Marítimo n.º 3.

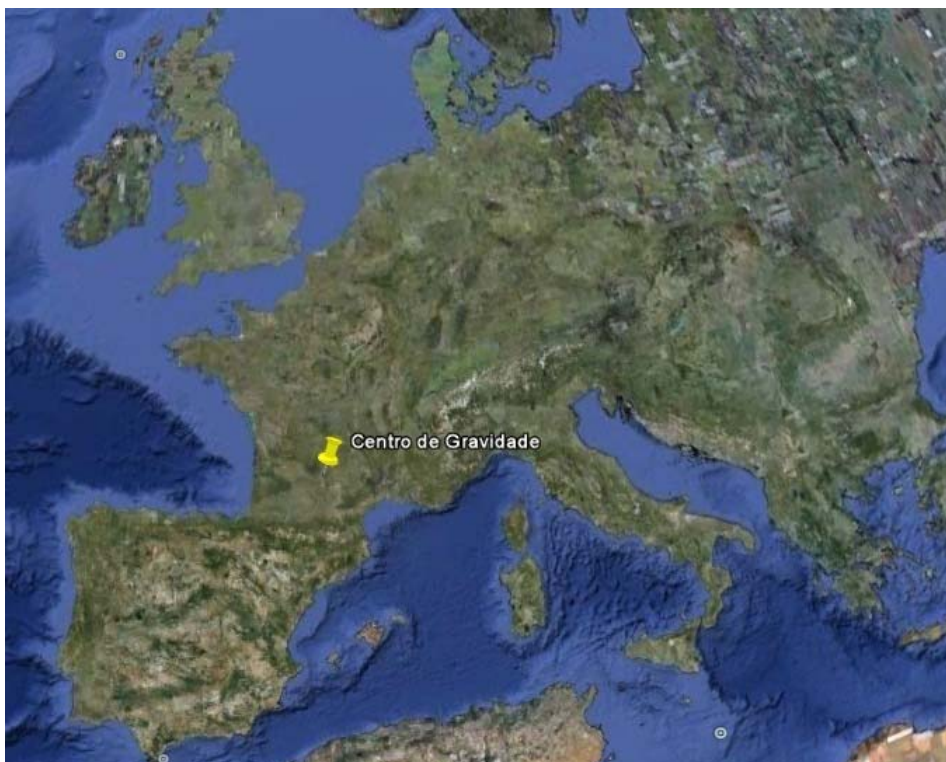
Estimou-se assim a correlação distância-custo de transporte, para cada uma das situações existentes, isto é, a correlação existente entre a distância e o custo para transportar mercadoria a partir de cada uma das origens. Esta tarefa foi efectuada devido à grande disparidade de preços praticados pelas empresas transportadoras sediadas nos diversos mercados. Depois de determinadas as correlações, verificou-se que para as várias regiões, os valores de  $R^2$  (fracção da variação total que é explicada pela regressão) eram sempre elevados, entre 85,5 e 95,3%, decidindo-se assim, determinar os custos desconhecidos por meio da equação da recta formada pelo modelo de regressão, uma vez que à partida, os dados seriam de boa qualidade. As correlações e os seus dados estatísticos podem ser observados nos Gráficos 1 a 4.

## 5.2 Estimação do centro de gravidade da rede de distribuição

Depois de conhecidos os custos de transporte entre todas as origens e destinos, assim como a localização dos diversos pontos que constituem a rede de distribuição, tornou-se claro que, seria de elevado interesse determinar o centro de gravidade da rede de modo a passar-se a

conhecer se as distâncias rodoviárias a percorrer poderiam ser minimizadas e se com isso se reduziria o custo de distribuição.

Claro está que, nesse local teria que ser edificado um centro de distribuição onde as mercadorias pudessem ser consolidadas e depois expedidas, e que esse centro representaria *per si*, novos custos que posteriormente deveriam ser estimados. Recorreu-se ao método do centro de gravidade e por consequência às suas expressões de recorrência para que, ao fim de um determinado número de iterações se pudesse saber a localização exacta do centro da rede. Relembramos que este método entra em consideração com as distâncias e com o volume de carga transportada. Assim, o centro de gravidade não será o centro geográfico mas sim, o local que minimiza a distância total percorrida para fazer todas as entregas de mercadoria. Este local foi determinado, e situa-se no sul de França tal como se pode observar na Figura 5.



**Figura 5:** Localização do Centro de Gravidade da Rede de Distribuição.

Depois de obter as coordenadas deste local, tornou-se claro que se teria que estimar os custos de transporte que teriam que ser suportados quer para o abastecer quer para abastecer a partir dele, os diversos clientes. Assim, e dado que um dos portos utilizados se situa neste território e dado que os custos de transporte nele operados eram conhecidos, utilizou-se a expressão da recta obtida pela regressão linear utilizada para estimar o custo de transporte a partir do porto marítimo até aos clientes para estimar o custo de transporte a suportar desde o centro de distribuição até aos clientes. O mesmo método foi utilizado para estimar o custo rodoviário para abastecer este centro a partir da empresa.



### 5.3 Síntese

No presente capítulo demonstrou-se o modo como se determinaram os custos de transporte entre os diversos pontos da rede de distribuição que importava conhecer. Também se apresentou o local onde se situa o centro de gravidade da rede de distribuição. No capítulo seguinte, apresentar-se-ão os resultados obtidos por via da utilização da ferramenta informática desenvolvida, que implementa o algoritmo tradicional do Modelo de Transportes, assumindo os custos unitários determinados e as quantidades de mercadoria a transferir para os diversos locais.

## 6. Estudo e análise de cenários alternativos de distribuição

Nesta secção apresentar-se-ão os resultados obtidos quer pela aplicação do plano de distribuição mais económico aplicável às premissas actualmente existentes quer por meio da experimentação de vários cenários que reflectem diferentes alternativas de distribuição.

Para levar a cabo tal tarefa, no início do estudo, foram estudados os planos existentes relativos à distribuição das mercadorias desde a empresa até aos seus clientes. Para tal, a empresa forneceu informação referente ao segundo semestre do ano de 2009, ao nível dos meios de transporte seleccionados, dos custos de transporte praticados por esses meios, e da quantidade de mercadoria enviada para cada um dos seus clientes.

### 6.1 Estrutura de custos praticados nos diversos portos

Tal como foi anteriormente referido, a distribuição na empresa efectua-se com recurso a quatro portos marítimos, sendo um deles de origem e os restantes de destino, e ao meio rodoviário. Assim, importa desde já divulgar que, actualmente, existe uma assimetria considerável nos custos por operar estas estruturas e que podem ser observados na Tabela 1.

**Tabela 2: Estrutura dos custos actualmente praticados nos diversos portos marítimos (€/ton).**

Estrutura dos custos praticados nos diversos portos marítimos			
	Porto n.º 1	Porto n.º 2	Porto n.º 3
Estiva + Transferência	7,67	7,67	7,67
Frete	16	16	18,17
Desestiva	13,5	2,22	5,65
Movimentação	0	5,62	8,5
Total	37,17	31,51	39,99

Na referida tabela pode-se verificar que o custo total é composto por quatro rubricas. De seguida, far-se-á a sua apresentação e explicar-se-ão as razões das oscilações verificadas.

A rubrica Estiva + Transferência apresenta um valor igual em todos os portos pois representa o custo que a empresa incorre ao transportar a mercadoria desde as suas instalações até ao porto de origem e em colocá-la dentro da embarcação. Assim, facilmente se constata que esta parcela do custo é independente e não depende da estrutura portuária de destino que se venha a utilizar.



O custo referente ao Frete é igual caso se operem os Portos n.º 1 e n.º 2 pois o tempo de viagem até estes destinos é sensivelmente o mesmo, oscilando entre os 4 e os 5 dias, consoante o estado das condições climatéricas. O custo do Frete caso a embarcação se destine ao Porto n.º 3 é superior e representa um acréscimo de 13,5% face aos restantes, que se justifica pelo maior tempo de viagem efectuado para lá se chegar, pois oscila entre os 5 e os 6 dias.

A desestiva da mercadoria no porto de destino apresenta valores bastante díspares e reflecte a flexibilidade das relações laborais existentes nos diversos países. Assim, enquanto que, no país onde se situa o Porto n.º 1 o custo da mão de obra se situa nos 13,5 € ton<sup>-1</sup> retirada da embarcação, no País onde se situa o Porto n.º 2 esta é apenas de 2,22 € ton<sup>-1</sup>, representando o valor mais baixo praticado. No Porto n.º 3 o custo da desestiva situa-se nos 5,65 € ton<sup>-1</sup>. Consequentemente, podemos constatar que existem oscilações da ordem 508% no que se refere ao custo da desestiva praticado pelas diversas estruturas portuárias.

A movimentação das mercadorias dentro do porto, isto é, o percurso que elas percorrem desde a embarcação até ao local onde ficarão armazenadas e depois transferidas também apresenta grandes oscilações ao nível do custo praticado. Assim, enquanto que no Porto n.º 1, este serviço não representa qualquer custo, o que indicia que o custo cobrado pela mão-de-obra será suficientemente elevado para o suportar, nos restantes é cobrada uma taxa extra que oscila entre os 5,62 e os 8,5 € ton<sup>-1</sup> movimentada.

Assim, e analisando os diversos custos conjuntamente, refere-se que a distribuição das mercadorias desde a empresa até à saída do Porto n.º 1 custa à empresa 37,17 € por tonelada e que este custo é de 31,51 e de 39,99 € por tonelada se, respectivamente, forem utilizados os portos n.ºs 2 e 3.

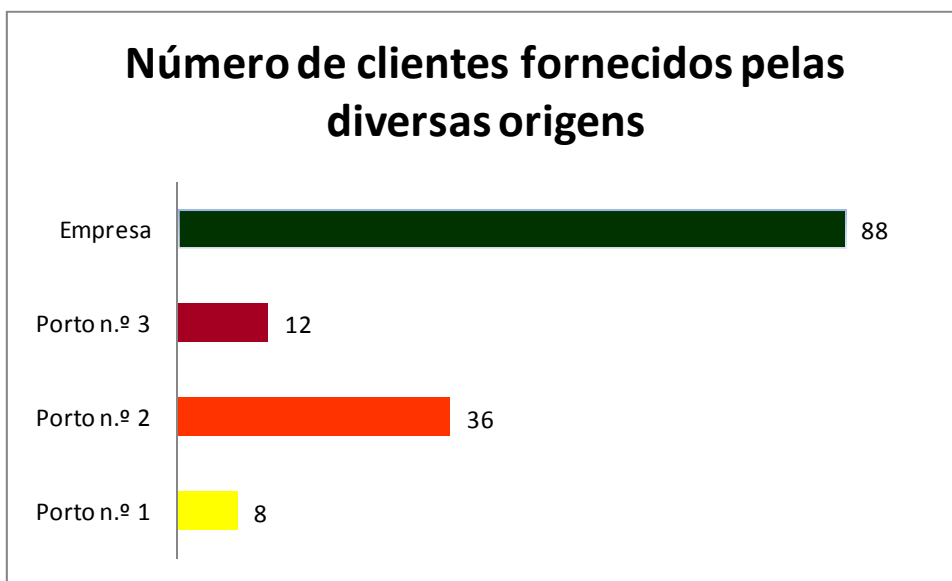
## 6.2 Plano de distribuição fornecido pelo modelo de transportes

Para a estrutura de custos actualmente praticada, estabeleceu-se um plano de distribuição que passaria sempre por escolher as alternativas que apresentassem o custo mais baixo.

Assim, e para que a resolução do problema fosse célere, aplicou-se o modelo de transportes que de imediato nos forneceu resultados que passavam por abastecer 88 dos 144 clientes estudados directamente da empresa pela via rodoviária, 8 clientes por intermédio do Porto n.º 1, 36 clientes por intermédio do Porto n.º 2 e 12 clientes por intermédio do Porto n.º 3. Esta informação pode ser observada no Gráfico 5.

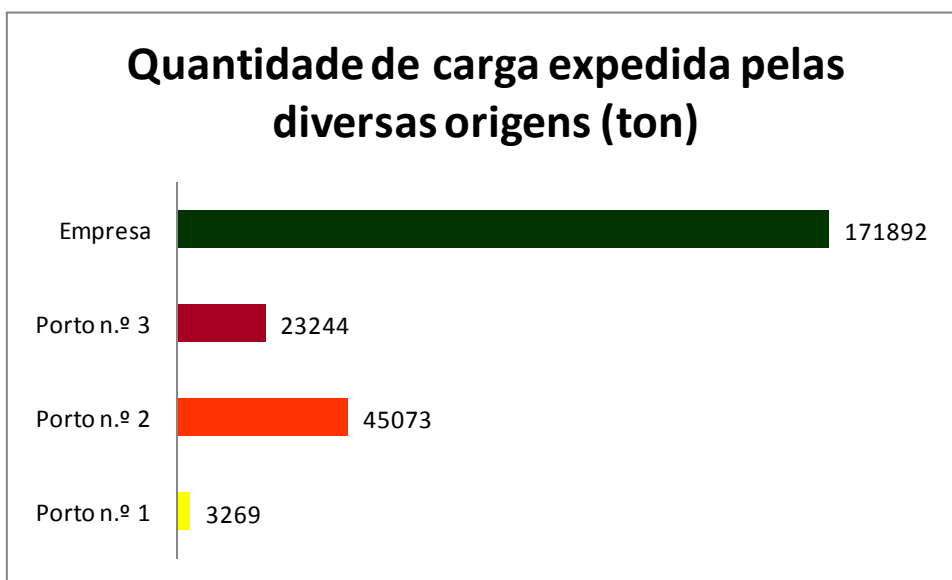
Relativamente à quantidade de mercadoria que este plano de distribuição representa, refere-se que do total de 243.478 ton, 171.892 partiriam directamente para os clientes por via rodoviária, 3269 ton passariam pelo Porto n.º 1, 45.073 ton passariam pelo Porto n.º 2 e, finalmente 23.244 ton passariam pelo Porto n.º 3. Deste modo pode-se facilmente constatar que a via exclusivamente rodoviária representa 71% do volume de mercadoria a distribuir, que o Porto

n.º 1 teria uma utilização residual face aos restantes (apenas 1% do volume total das mercadorias), e que pelos Portos n.ºs 2 e 3 passariam respectivamente 18 e 10% do volume total de mercadorias.



**Gráfico 5:** Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 1.

De momento, importa referir que o plano de distribuição que a empresa actualmente põe em prática representa anualmente 9.986.497,18 €, e que o plano de distribuição apresentado em epígrafe representa 9.228.282,46 € daí, existirem 758.214,72 € de diferença. De qualquer modo, refere-se que este montante pode ser reflexo de alguma impossibilidade de se efectuar a distribuição pela via menos onerosa apresentada, tal como algum desajustamento entre a produção e a distribuição, ou nível de serviço aos clientes que se pretenda manter.

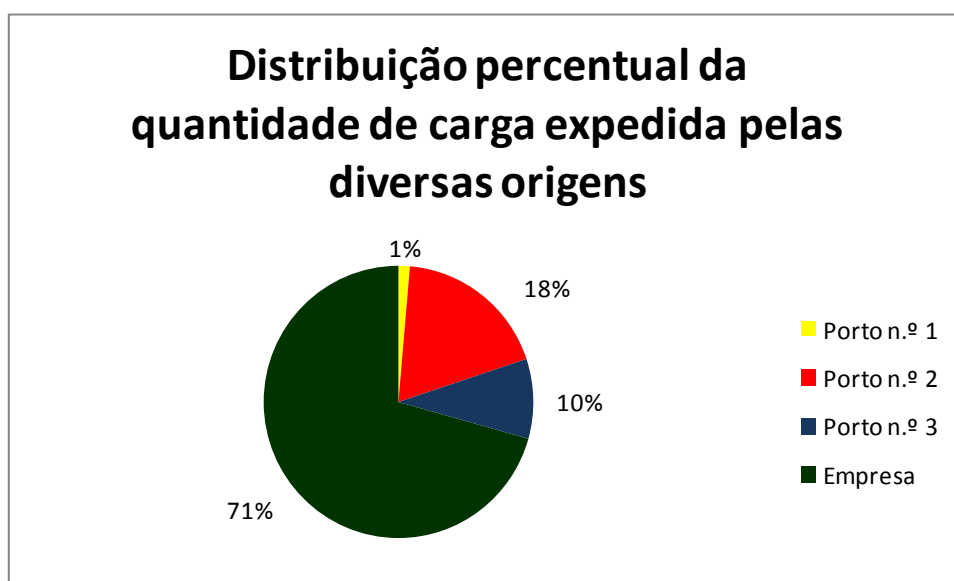


**Gráfico 6:** Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 1.



Por nível de serviço entende-se qualquer factor que agrade ao cliente e pode ser tão díspar tal como a preferência de ser abastecido por um determinado porto em detrimento do que seria mais vantajoso, por preferir ser abastecido directamente da fábrica, de entre outros. No entanto, refere-se que este valor deverá estar sempre presente pois quantifica esse serviço prestado aos clientes.

Assim, e com o intuito de se descobrir possíveis reduções de custos ao nível da distribuição das mercadorias, resolveu-se, depois de se conhecer o modo mais económico de o realizar pelas estruturas de custos actualmente vigentes nos diversos portos, testar o comportamento ao nível dos custos, de diversos cenários que pudessem ser implementados, e que se tornassem economicamente vantajosos.



**Gráfico 7:** Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 1.

### 6.3 Plano de distribuição do cenário alternativo 1

Devido à empresa conter uma filial muito próxima do Porto n.º 1 que está dotada de uma estrutura antiga onde outrora se efectuou o desembarque de mercadorias, testou-se a possibilidade de enviar as mercadorias por esse local.

A utilização desta estrutura traria, à partida, vantagens a vários níveis pois, deste modo, a empresa passaria a gerir a sua própria estrutura portuária, deixando assim de estar dependente da gestão que estivesse a ser efectuada no Porto n.º 1. Contudo, seria necessário efectuar alguns investimentos para que esta se tornasse operacional. De qualquer modo, caso a empresa optasse por utilizá-la, o ganho imediato que obteria seria a redução do custo da mão-de-obra cobrada para efectuar a desestiva das embarcações pois, no porto que actualmente tem vindo a ser usado, esta representa um custo bastante elevado. Assim, de

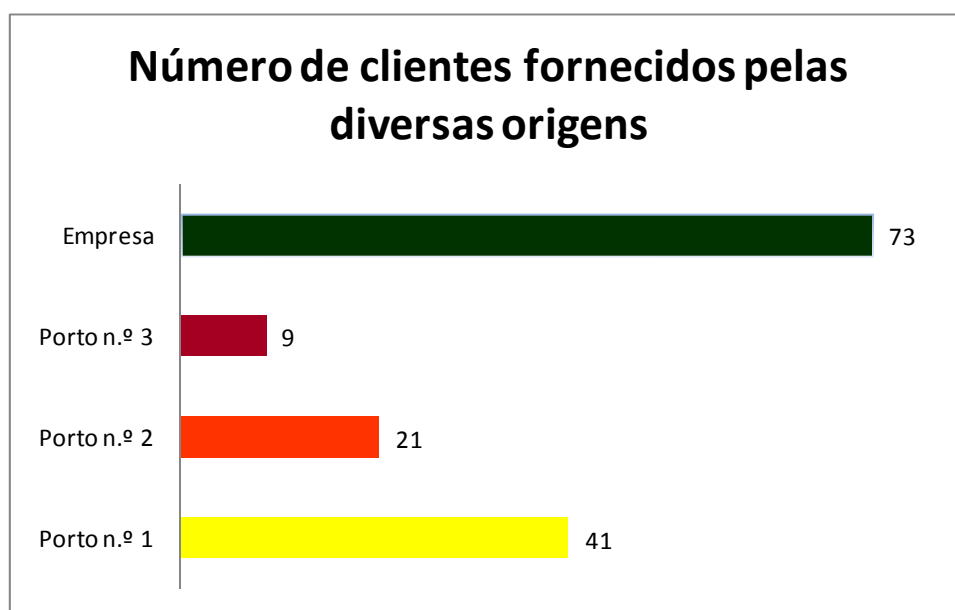
modo a racionalizar os custos, a empresa poderia passar a efectuar a desestiva por meio de mão-de-obra própria, que seria afectada a esta operação apenas nas alturas em que houvesse chegada de navios às instalações. Durante o restante tempo, poderia ser afectada a qualquer outra tarefa que se demonstrasse necessária.

Para além do referido, salienta-se que a presente filial também contém uma linha ferroviária dentro de portas, o que permitiria considerar outras alternativas de distribuição das suas mercadorias para além das presentes. De qualquer modo, por falta de informação ao nível dos custos de operação desta estrutura, não foram testadas alternativas de distribuição por via-férrea a partir deste ponto. Assim, apenas se considerou a redução de custos ao nível da mão-de-obra, tal como se pode observar na Tabela 2 e que representa o cenário alternativo n.º 1.

**Tabela 2: Estrutura dos custos praticados nos diversos portos marítimos com alteração do custo da mão-de-obra no Porto n.º 1 (€/ton).**

Cenário 1 (Porto n.º 1 com custo de mão-de-obra igual à verificada no Porto n.º 2)			
	Porto n.º 1	Porto n.º 2	Porto n.º 3
Estiva + Transferência	7,67	7,67	7,67
Frete	16	16	18,17
Desestiva	2,22	2,22	5,65
Movimentação	0	5,62	8,5
Total	25,89	31,51	39,99

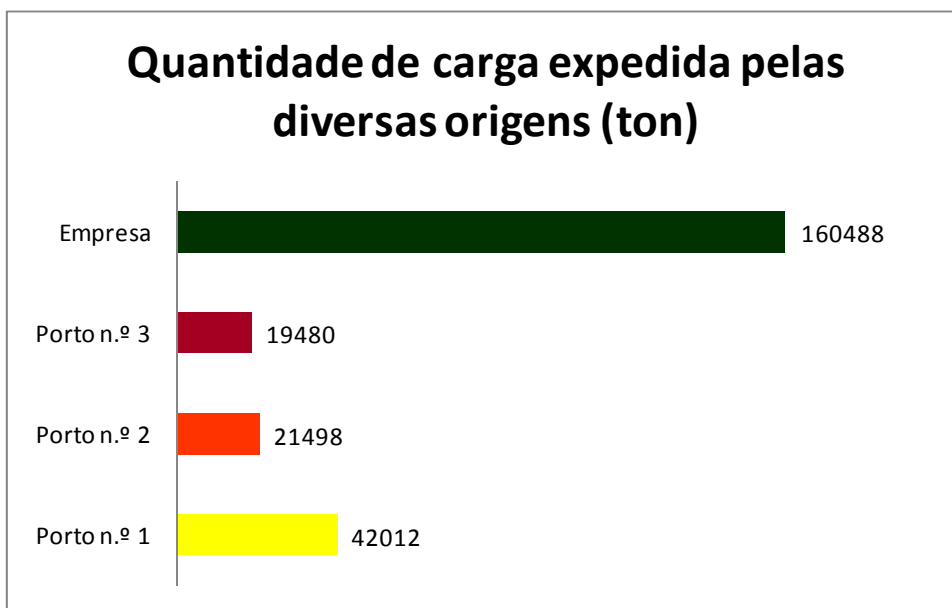
Para estas condições, determinou-se o melhor plano de distribuição, para o caso de o custo da mão-de-obra para efectuar a desestiva no Porto n.º 1 ser igual à praticada no Porto n.º 2. Este valor pareceu-nos apropriado dado os portos estarem localizados em regiões com um custo do nível de vida bastante aproximado. Consequentemente, pode-se observar, na Tabela 2, que apenas pela via da redução do custo da mão-de-obra, o Porto n.º 1 passou a ser claramente mais competitivo do que os restantes, podendo passar a praticar custos no mínimo 22% mais baixos em cada tonelada de mercadoria transportada.



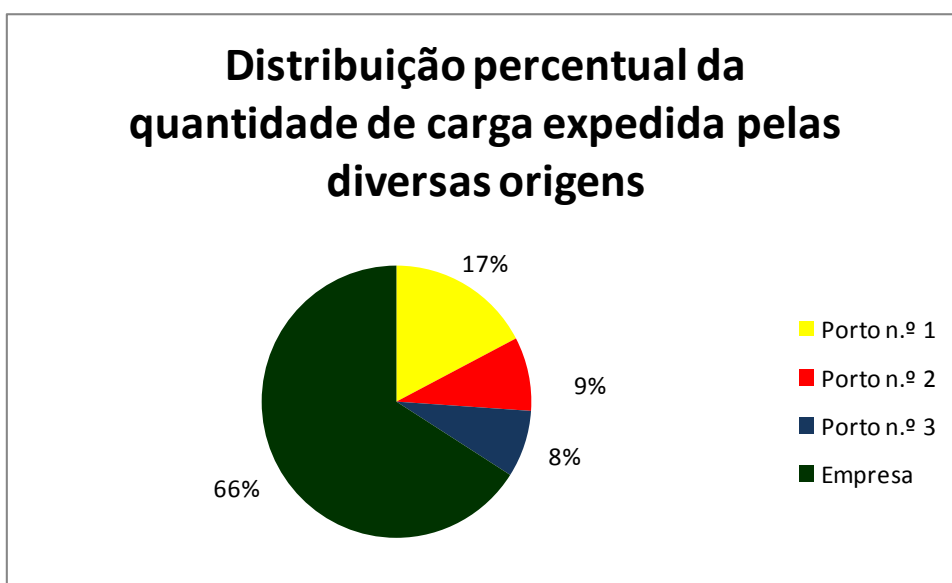
**Gráfico 8: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 2.**

Aplicando a ferramenta desenvolvida do modelo de transportes, à estrutura de custos deste cenário obteve-se um plano de distribuição substancialmente diferente do anterior.

Através do Gráfico 8, pode-se observar que por esta via se verifica uma redistribuição ao nível dos clientes abastecidos pelas diversas estruturas. Assim, em primeiro lugar, refere-se que o Porto n.º 1 passaria a ser utilizado para abastecer 45 clientes ao invés dos 8 que deveriam ser abastecidos caso esta premissa não se verificasse e que este acréscimo se deve à captação de clientes que anteriormente deveriam ser abastecidos por rodovia directamente da empresa e pelos restantes portos marítimos.



**Gráfico 9:** Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 2.



**Gráfico 10:** Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 2.



No presente cenário, e relativamente às estruturas portuárias, a que mais deixaria de ser utilizada para abastecer os clientes da empresa seria o Porto n.º 2, por se encontrar geograficamente mais próximo do primeiro. Assim, economicamente, a zona de penetração do Porto n.º 1 seria bastante alargada, entrando na zona tradicionalmente dominada pelo Porto n.º 2 e na zona que tem vindo a ser abastecida exclusivamente por meios rodoviários. Refere-se igualmente que, surpreendentemente, o Porto n.º 3 também deixaria de abastecer alguns clientes, que passariam a ser abastecido pelo Porto n.º 1. Este facto deve-se à preferência que a empresa deveria dar em abastecer alguns clientes situados no sul do país onde se encontra o Porto n.º 3.

Também se refere que, por consequência da captação de novos clientes, ao invés das 3.269 toneladas anuais que anteriormente iriam passar pelo Porto n.º 1, passariam a circular por esta estrutura 42.012 toneladas. Este aumento, superior a 1000% deve-se à transferência de 23.575 toneladas de mercadorias do Porto n.º 2, de 3.764 toneladas do Porto n.º 3 e de 11.404 toneladas que anteriormente seriam distribuídas por rodovia directamente da empresa sediada em Portugal.

Por consequência deste plano de distribuição, a distribuição capilar efectuada directamente a partir de Portugal continuaria a ser dominante face às outras alternativas, representando 66% de todas as mercadorias transportadas para os presentes mercados. Contudo é importante referir que por esta via se consegue uma redução significativa do uso do meio de transporte terrestre.

Refere-se que ao nível do custo total de operação deste cenário, será possível transferir as mercadorias até aos clientes por 9.000.293,91 €, valor inferior ao apresentado anteriormente em cerca de 2,5% e inferior em cerca de 11% relativamente ao plano de distribuição que a empresa presentemente desenvolve.

Por fim, salienta-se que este cenário será favorável à manutenção do nível de serviço que a empresa pretende manter para alguns clientes distantes de Portugal, que preferem ser servidos directamente a partir da estrutura portuária n.º 1. Com esta estrutura, para além de se conseguir uma redução significativa ao nível dos custos de transporte consegue-se abastecer os clientes com maior flexibilidade nas entregas.

#### **6.4 Plano de distribuição do cenário alternativo 2**

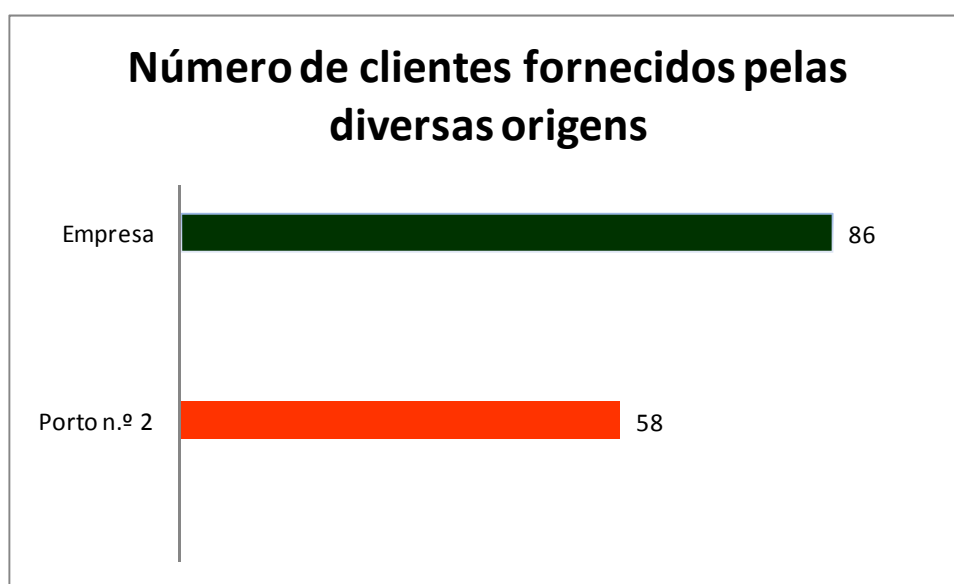
Outra questão que se levantou durante a realização do estudo foi a pertinência de se concentrar as operações no Porto n.º 2 e abandonar a utilização dos restantes. Relembramos que este porto está localizado entre os restantes, daí, hipoteticamente poder servir os clientes satisfatoriamente, salvo algumas excepções, mantendo-se praticamente inalterado o prazo de entrega das mercadorias. Deste modo, a distribuição apenas seria possível através desta estrutura ou pela utilização exclusiva da rodovia.

**Tabela 3: Estrutura dos custos praticados no porto marítimo n.º 2 com alteração do custo do Frete (€/ton).**

Cenário 2 (Concentração das actividades no Porto n.º 2)	
	Porto n.º 2
Estiva + Transferência	7,67
Frete	12
Desestiva	2,22
Movimentação	5,62
Total	27,51

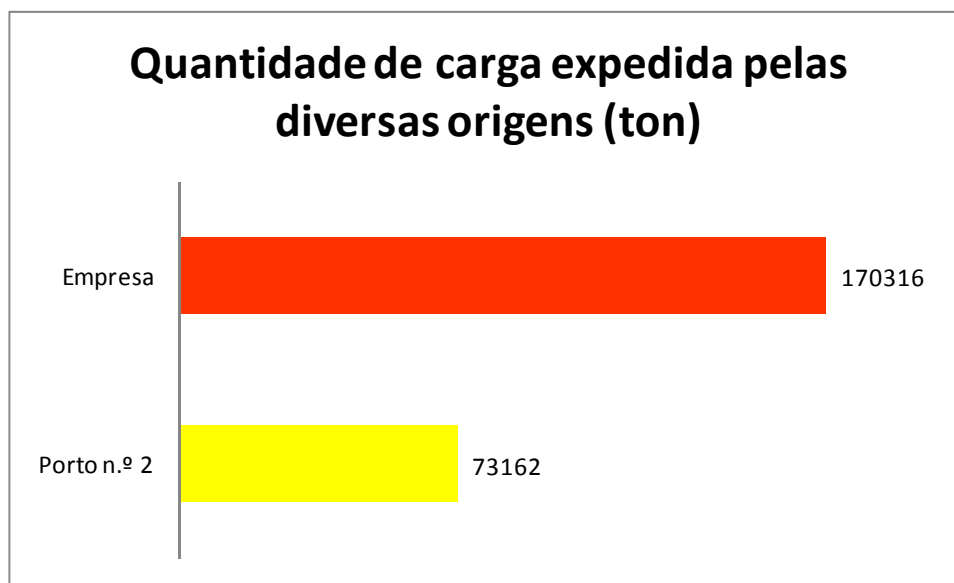
Este cenário, designado cenário n.º 2, colocou-se devido ao conhecimento antecipado que o custo do frete é directamente proporcional ao tamanho da embarcação. Quanto maior for a embarcação mais dispendioso será o seu frete. No entanto, o custo unitário do volume transportado cresce na razão inversa do primeiro. Consequentemente, e de modo a alcançar-se economias de escala, pensou-se que utilizando embarcações de maior porte o custo unitário de transporte sairia beneficiado. Tradicionalmente, à medida que a capacidade de transporte das embarcações é incrementada em 1000 toneladas, o custo de transporte por cada tonelada decresce em um euro.

Na Tabela 3 pode observar-se que face à situação presentemente existente (Tabela 1), o custo do frete em transportar uma tonelada, utilizado no presente cenário, é inferior em 4euros. Note-se de momento que, mensalmente são enviadas 4 embarcações com destino aos portos estudados daí que, seja perfeitamente possível, ao invés de se utilizarem embarcações de 1950 ton de capacidade, se utilizarem embarcações com capacidade de transporte bastante superior, reduzindo-se o número de viagens, até ao limite de uma.

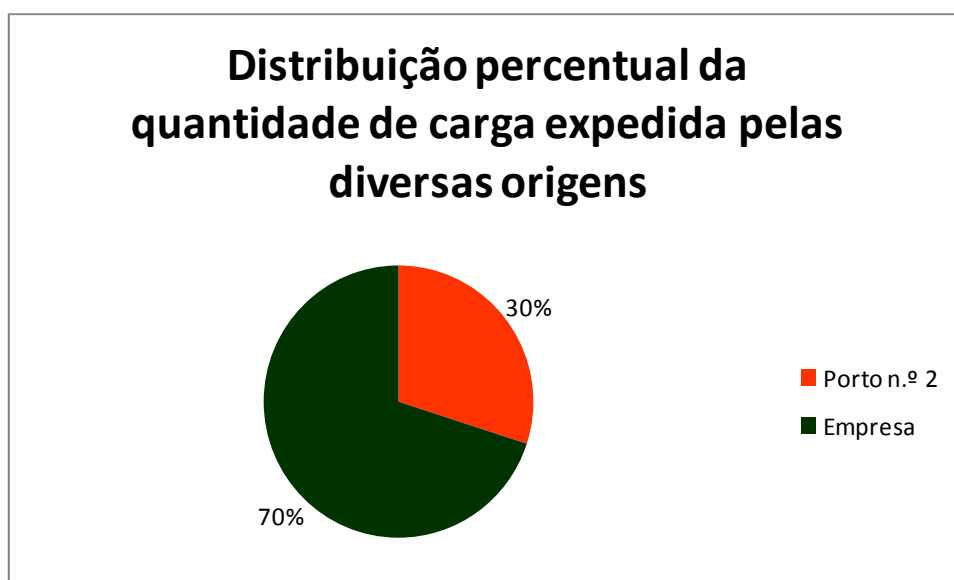


**Gráfico 11: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 3.**

Utilizando este plano de distribuição, registou-se que o número de clientes que passariam a ser abastecidos exclusivamente por meios terrestres era bastante aproximado do verificado na situação inicial em que se operavam os três portos, sem manipulação de nenhuma das componentes dos custos, e que a quantidade de mercadoria que passaria a ser expedida por via marítima seria também bastante aproximada da verificada naquela situação. Assim, a vantagem que, à partida este plano faria emergir seria a capacidade de negociação com a administração do porto das diversas componentes de custo por ele praticadas pois o volume de mercadorias que por ele passaria anualmente seria superior em cerca de 62%.



**Gráfico 12:** Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 3.



**Gráfico 13:** Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 3.

Se tal fosse possível, então o custo de distribuição utilizando apenas esta estrutura portuária, poderia eventualmente ser mais baixo do que aquele que nos foi fornecido pela aplicação do modelo de transportes e que foi de 9.174.893,36 €, valor superior ao apresentado caso fosse possível utilizar o porto marítimo que se encontra na filial da empresa, com a consequente redução do custo da mão-de-obra, conjuntamente com os restantes portos.

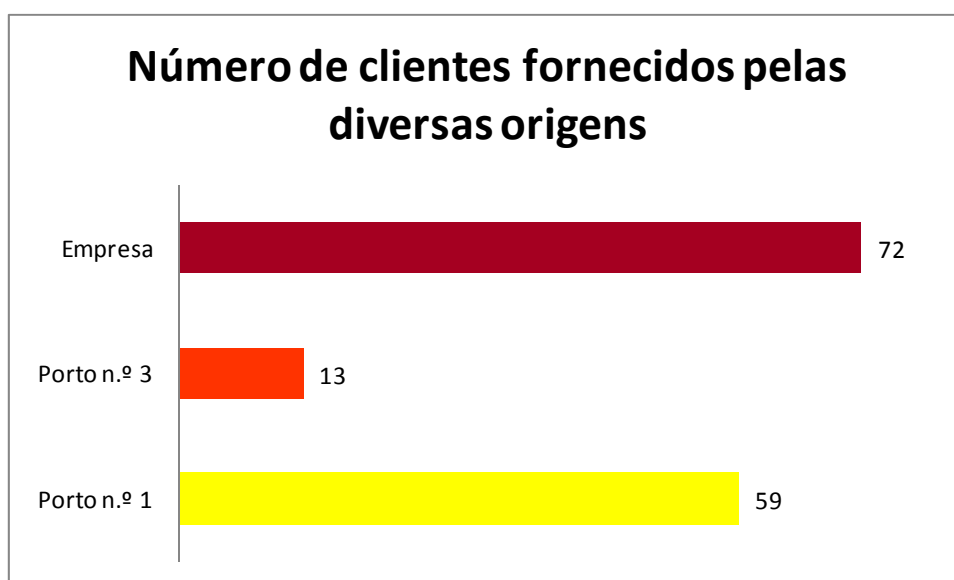
De qualquer modo, relativamente a este cenário também será importante referir que, para que fosse praticável, teria que existir uma elevada coordenação entre a produção e a distribuição dado que o número de viagens marítimas efectuadas seria bastante inferior ao actualmente praticado.

### 6.5 Plano de distribuição do cenário alternativo 3

Analogamente, e também pelos motivos relacionados com a ambição de se concentrar mercadorias num determinado porto para que com isso se alcancem economias de escala, decidiu-se simular o cenário n.º 3, em que apenas seriam operados os Portos n.º 1 e n.º 3 e a via exclusivamente rodoviária.

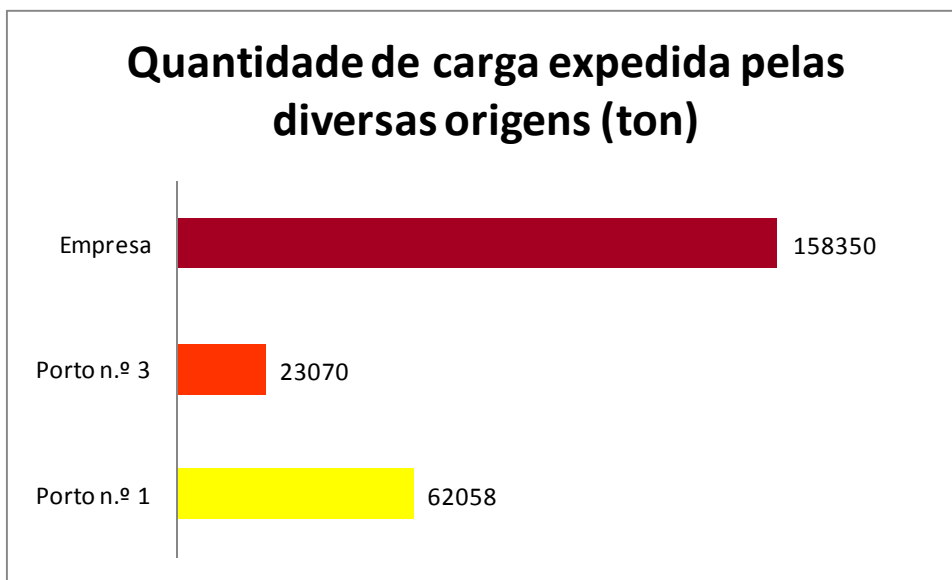
**Tabela 4:** Estrutura dos custos praticados nos porto marítimos n.º 1 e n.º 3 com alteração do custo do frete e com alteração do custo da mão-de-obra no porto n.º 1 (€/ton).

Cenário 3 (Porto n.º 1 com custo da mão-de-obra igual à verificada no Porto n.º 2 e Porto n.º 3)		
	Porto n.º 1	Porto n.º 3
Estiva + Transferência	7,67	7,67
Frete	14	16,17
Desestiva	2,22	5,65
Movimentação	0	8,5
<b>Total</b>	<b>23,89</b>	<b>37,99</b>



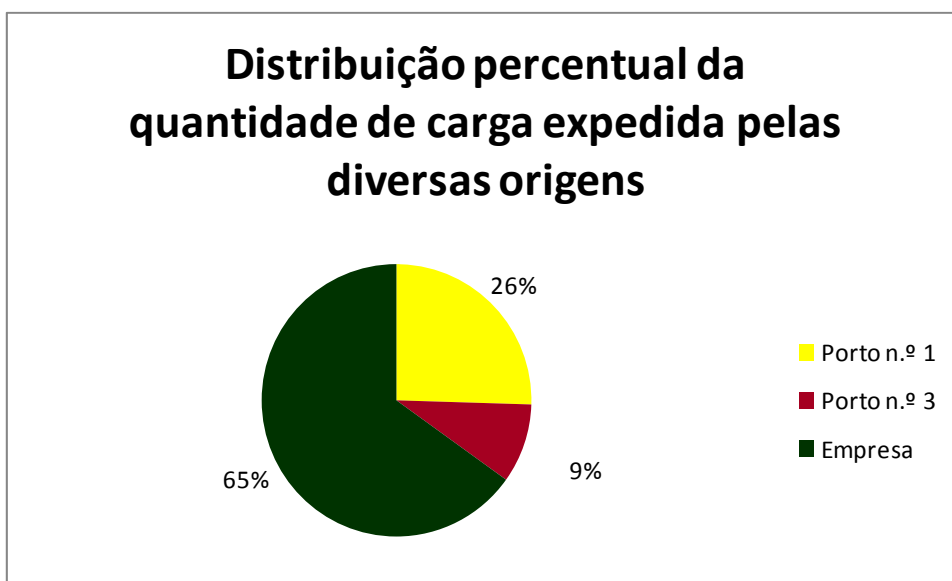
**Gráfico 14:** Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 4.

Nesta situação, o custo relativamente ao frete sofreria um decréscimo de dois euros por tonelada transportada, em ambos os portos pois, facilmente se recorreria a embarcações com o dobro de capacidade de carga. No presente cenário também se manteve as premissas apresentadas anteriormente face à utilização do porto marítimo existente na filial da empresa residente no norte da Europa, pelos motivos já abordados.



**Gráfico 15:** Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 4.

Nestas circunstâncias, o número de clientes que passariam a ser abastecidos por intermédio do Porto n.º 1 teria a sua expressão máxima, fixando-se em 59. Em sentido oposto, os clientes que passariam a ser abastecidos por via exclusivamente terrestre seriam reduzidos a 72 unidades.



**Gráfico 16:** Distribuição percentual da mercadoria pelas diversas estruturas utilizadas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 4.





De qualquer modo, e relativamente à quantidade de carga que seria transportada pelos diversos meios, refere-se que seria economicamente aconselhável distribuir 158.350 toneladas por ano por via exclusivamente terrestre, 62.058 toneladas por intermédio do Porto n.º 1 e, finalmente 23.070 toneladas por ano com o recurso do Porto n.º 3.

Deste modo, conseguir-se-ia distribuir as mercadorias despendendo-se apenas de 8.955.572,48 euros anuais o que representa um decréscimo face ao plano de distribuição actualmente em vigor da ordem dos 11,5%.

Referimos igualmente que, desta forma, a empresa também conseguiria reduzir a sua pegada ecológica pois, apenas 65% da sua produção destinada aos mercados em estudo seria transportada por meios exclusivamente terrestres, tal como pode ser observado no Gráfico 16.

### **6.6 Plano de distribuição do cenário alternativo 4**

Por fim, pretendeu-se estudar o cenário n.º 4 que consiste em utilizar os nodos da rede já apresentados e um Centro de Distribuição. Assim, por meio da utilização do método do centro de gravidade encontrou-se o local da rede que minimiza as distâncias a percorrer para fazer as entregas de mercadoria. Lembra-se neste ponto que este local se situano sul de França.

Também se refere que neste cenário a única alteração introduzida é assim a introdução do Centro de Distribuição, mantendo-se constante a estrutura de custos das estruturas portuárias apresentada na Tabela 1.

Após ter sido encontrada a localização onde, idealmente, o Centro de Distribuição deveria ser edificado, deparamo-nos com o problema relacionado com a selecção do meio de transporte que deveria ser utilizado para o abastecer. Por meio do estudo de diversos artigos científicos da especialidade, concluiu-se que, à partida, o meio de transporte mais eficiente e menos oneroso seria o ferroviário. Contudo, não foi possível, no espaço temporal em que se realizou o presente trabalho aceder a informação fidedigna acerca dos custos que surgiriam em utilizá-lo.

De qualquer modo, refere-se que caso se pretendesse abastecer este Centro de Distribuição por rodovia, o custo de transporte por tonelada de mercadoria transportada situar-se-ia nos 39,34 €, custo, à partida, bastante elevado. Este foi determinado por meio da utilização da expressão da recta gerada pela determinação da correlação entre o custo de transporte e a distância a percorrer para a situação em que a origem do transporte era Portugal. Por este meio, concluiu-se que o custo para abastecer a presente estrutura seria aproximado ao valor acima apresentado, dado que o valor de  $R^2$  desta regressão era bastante elevado, cerca de 95,3%.

Assim, no tratamento dos dados do cenário em que existiria o Centro de Distribuição, efectuou-se um processo iterativo, que nos devolvesse o valor mínimo do custo de transporte ferroviário a suportar para se abastecer o Centro de Distribuição, que igualasse o cenário mais vantajoso

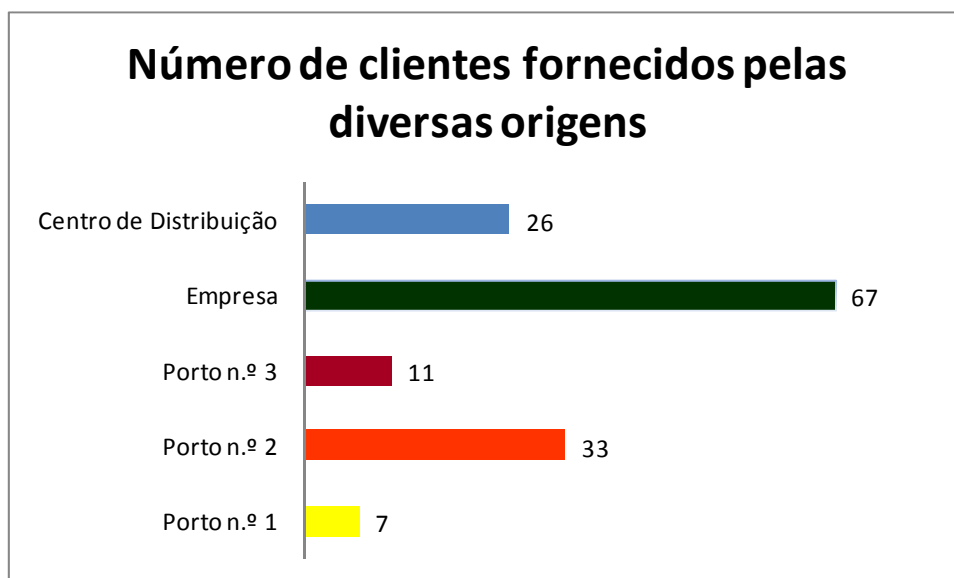
testado até então. O valor encontrado pelo referido processo é de 18,40 € por tonelada tal como se pode observar na Tabela 5.

**Tabela 5: Estrutura dos custos praticados pelas diversas estruturas portuárias e custo de abastecimento do Centro de Distribuição (€/ton).**

Cenário 4 (Utilização de um Centro de Distribuição)				
	Porto n.º 1	Porto n.º 2	Porto n.º 3	Cent. de Distribuição
Estiva + Transferência	7,67	7,67	7,67	-
Frete	16	16	18,17	-
Desestiva	13,5	2,22	5,65	-
Movimentação	0	5,62	8,5	-
<b>Total</b>	<b>37,17</b>	<b>31,51</b>	<b>39,99</b>	<b>18,40</b>

De qualquer modo, a existência deste novo Centro de Distribuição, para além de permitir minimizar as distâncias a percorrer para efectuar a distribuição, também proporcionaria uma maior consolidação de mercadorias num só local. Consequentemente poder-se-iam gerar economias de escala que proporcionassem maior vantagem em negociar com os operadores locais de transporte rodoviário preços unitários mais baixos devido ao grande volume de mercadoria que teria que ser movimentado. Por esta via, seria espectável que o custo de transporte ferroviário pudesse situar-se ligeiramente acima do apresentado sem que com isso surgissem perdas.

No entanto, também se refere que apenas seria vantajoso consolidar as mercadorias neste local caso os seus custos de operação não ultrapassassem o possível ganho gerado pela nova escala.



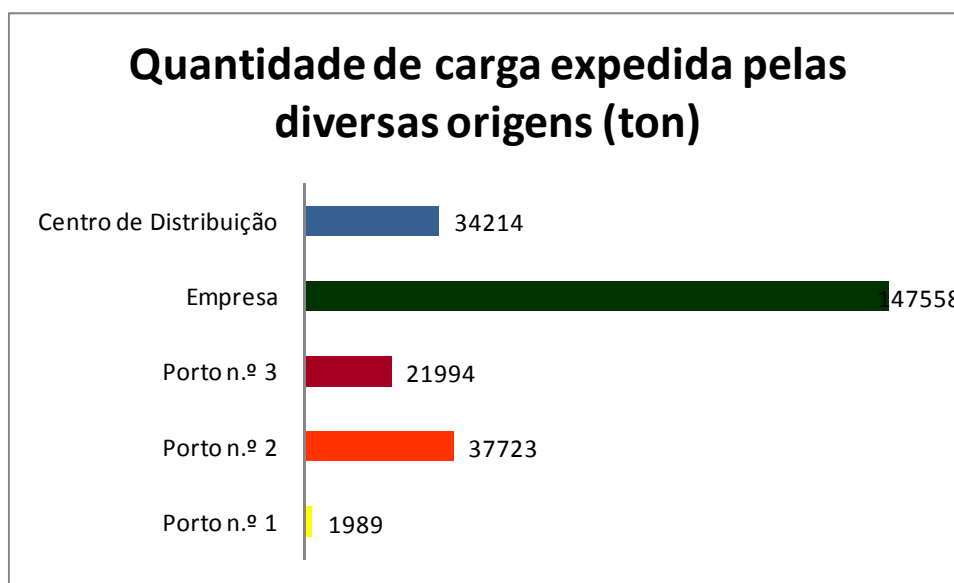
**Gráfico 17: Número de clientes abastecidos por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 5.**

Pela observação do Gráfico 17, pode-se verificar que com a estrutura de custos simulada, o Centro de Distribuição passaria a ser um posto intermédio de mercadorias destinadas a 26

clientes. No entanto, também no mesmo Gráfico pode observar-se que a maioria continuaria a ser alimentada exclusivamente por rodovia directamente de Portugal. Este facto deve-se ao elevado número de clientes se situar na Península Ibérica, e a curta distância da empresa.

Também será interessante referir que a introdução deste centro na rede não afecta significativamente o número de clientes que deveriam ser abastecidos por intermédio das diversas estruturas portuárias dado que, face ao cenário apresentado em primeiro lugar, apenas 5 clientes transitariam, e passariam a ser abastecidos por intermédio do Centro de Distribuição. Assim, e relativamente ao número de clientes, conclui-se que a utilização do Centro de distribuição alimentado por ferrovia apenas iria resgatar em número significativo, clientes que de outro modo iriam ser abastecidos por meios exclusivamente rodoviários.

Pela observação do Gráfico 18, pode constatar-se que os 26 clientes que passariam a ser abastecidos por intermédio da nova estrutura representam 34.214 toneladas anuais de mercadoria, cerca de 16,5 % da totalidade. Refere-se que a maior parte das mercadorias que passariam a ser expedidas por intermédio deste posto, seriam anteriormente expedidas exclusivamente pela via rodoviária, cerca de 24.334 toneladas. Será assim importante referir que a redução da pegada ecológica provocada por esta via seria significativa.



**Gráfico 18:** Quantidade de mercadoria expedida por intermédio das diversas estruturas caso se verifiquem as premissas apresentadas na Tabela 5.

Será também interessante reflectir, na eventualidade de se adoptarem as condições introduzidas por este cenário, sobre a importância da utilização do Porto n.º 1. Tal como se pode observar no referido Gráfico, a sua utilização seria residual, passando a passar por ele apenas 1989 toneladas anualmente, o que representa, aproximadamente, a capacidade mínima de transporte de uma embarcação. Assim, dado que em termos operacionais não faria sentido utilizar, anualmente, apenas uma embarcação para abastecer mensalmente os clientes



localizados no seu raio de acção, pois o custo de posse de inventário no referido porto seria elevado, seria importante redistribuir essas mercadorias por outras estruturas.

Por fim, refere-se que os portos n.º 2 e 3 também veriam reduzida a sua operacionalidade em respectivamente 19,5 e 5,6% dado que o Porto n.º 2 perderia um volume de mercadorias de 7350 toneladas e o Porto n.º 3 de 1250 toneladas.

No presente capítulo apresentaram-se os dados obtidos por meio da simulação de diversos planos de distribuição alternativos ao plano levado a cabo pela empresa. No capítulo seguinte, discutir-se-ão os resultados mais pertinentes oriundos da presente apresentação.

## 7. Discussão dos resultados obtidos

Por meio da apresentação dos resultados, efectuada no Capítulo anterior, tem-se agora presente que a tarefa de distribuir as mercadorias pelos diversos clientes da empresa, pode representar custos, por vezes significativamente diferentes. Note-se contudo que não é intenção deste trabalho indicar inequivocamente a melhor alternativa de distribuição, pois assumiu-se que podem existir restrições operacionais, que não foram tidas em conta, se bem que, tenha sido exercido um grande esforço para aceder a toda a informação existente. De qualquer modo, pensa-se que a construção dos cenários apresentados anteriormente fornecem as linhas mestras que devem ser tidas em consideração quando se pretende desenvolver um plano de distribuição que consuma o mínimo de recursos, que seja ágil e robusto, e que permita fornecer aos clientes o nível de serviço pretendido. Assim, foram tidas em conta, várias alternativas que, visando-se obter ganhos operacionais, passavam pela requalificação de estruturas existentes, pela concentração de mercadorias com o intuito de se obterem economias de escala e pela escolha de meios de transporte alternativos.

Na Tabela 6, pode observar-se os custos dos diversos planos de distribuição estudados, assim como a diferença absoluta e percentual existente entre os custos resultantes do plano de distribuição levado a cabo pela empresa e os resultantes de planos de distribuição alternativos.

**Tabela 6:** Quadro resumo do custo total do plano de distribuição alcançado pelos vários cenários.

	Custo Total (€)	Diferença em (€) face ao plano de distribuição efectuado	Alteração percentual face ao plano de distribuição efectuado
Plano de Distribuição efectuado pela empresa	9.986.497,18	--	--
Solução óptima operando as estruturas com os custos de operação actualmente existentes	9.228.282,46	758.214,72	8,22
Cenário 1	9.000.293,91	986.203,27	10,96
Cenário 2	9.174.893,36	811.603,82	8,85
Cenário 3	8.955.572,48	1.030.924,70	11,51
Cenário 4	8.955.966,74	1.030.530,44	11,51

Tal como foi referido anteriormente, a solução óptima resultante da aplicação do modelo de transportes ao problema fornecido pela empresa difere em cerca de 8% (758 mil euros) do plano actualmente em vigor. No entanto, também se realça que a empresa poderá não estar a aplicá-la devido a exigências de determinados clientes. Contudo, pensa-se ser de elevado



interesse o conhecimento do valor do custo do nível de serviço pois, a qualquer altura, e porventura noutra enquadramento económico, pode interessar à empresa, não disponibilizar um nível de serviço tão oneroso.

Relativamente aos cenários apresentados, refere-se que, a solução mais atraente passaria por requalificar as instalações portuárias existentes na filial da empresa e distribuir as mercadorias por três vias. Directamente de Portugal, e por meios exclusivamente rodoviários, para os clientes mais próximos, por via marítima por intermédio da filial da empresa e por intermédio do Porto n.º 3, situação abrangida pelo cenário n.º 3. Neste quadro, alcançar-se-ia o custo de transportes mais baixo de entre as diversas situações estudadas, por via do alcance de economias de escala na operação das estruturas portuárias, por via da redução do custo da mão-de-obra para efectuar a desestiva nas imediações do Porto n.º 1 e pela penetração dos portos marítimos em zonas que tradicionalmente seriam abastecidas por meios exclusivamente terrestres. Este cenário permitiria reduzir os custos anuais de transporte em cerca de 11,5%, o que representa cerca de 1.03 milhões de euros. Também se torna importante referir que por meio desta alternativa a empresa poderia reduzir a sua pegada ecológica, preocupação cada vez mais presente e pertinente, pois é a que menos se suporta nos meios de transporte terrestres.

Outro cenário interessante seria o designado por cenário n.º 1 em que seriam utilizados os três portos no norte da Europa. Para que este cenário fosse interessante ter-se-ia igualmente que efectuar a requalificação das estruturas referidas. Segundo o nosso ponto de vista, uma das razões que provoca a existência de tão grande desfasamento ao nível dos custos entre o plano de distribuição levado a cabo pela empresa e a solução óptima para as mesmas condições fornecida pela aplicação do modelo de transportes, é o actual uso abusivo do porto marítimo localizado junto da filial da empresa, devido a restrições introduzidas por parte dos clientes, que insistem em serem fornecidos por via dele. Assim, com os ganhos obtidos como consequência da requalificação das estruturas, que permitiriam utilizar mão-de-obra a custos economicamente interessantes, a utilização deste local passaria a ser mais racional sob o ponto de vista financeiro e o nível de serviço aos clientes seria mantido à custa de menos recursos.

Também queríamos deixar uma apreciação relativa ao cenário n.º 2, em que se propunha concentrar todas as actividades marítimas no Porto n.º 2. Nestas circunstâncias poder-se-ia alcançar uma redução de 8,85% ao nível dos custos de distribuição o que representa uma poupança anual de cerca de 812 mil euros. No entanto, neste cenário seria provável que o nível de serviço fosse ligeiramente penalizado dado a distância a percorrer desde o porto até ao cliente por vezes ser aumentada. De qualquer modo, nestas circunstâncias, é teoricamente possível que se consiga alcançar uma redução de custos ainda maior devido ao alcance de economias de escala pois, seria possível negociar-se com a administração da estrutura portuária, reduções de custos ao nível da desestiva e movimentação das mercadorias. Realça-se que este cenário obrigaria a um significativo aumento dos custos de posse de inventário



devido à maior concentração de mercadorias na empresa após serem produzidas dado que o número de embarcações a serem utilizadas para se alcançar o maior decréscimo de custos de distribuição seria amplamente reduzido. Também devido a este factor, refere-se que teria que ser equacionado o aumento da área de armazenagem no perímetro industrial da empresa e determinados os respectivos custos de implementação.

Relativamente ao cenário n.º 4, em que se tentou introduzir um Centro de Distribuição no Centro de Gravidade da Rede, refere-se que, apenas importa considerá-lo caso se consiga abastecer o Centro de distribuição a um custo igual ou inferior a 18,40 € por tonelada, o que a ser possível, o será apenas com recurso ao meio ferroviário. Contudo, também se refere que este valor apenas permite igualar os ganhos possíveis por meio da adopção do cenário n.º 3 e que tem desvantagens face a este pois neste caso o Porto n.º 1, apesar de idealmente ser ponto de passagem anual de 1989 toneladas, teria que não o ser devido a dificuldades operacionais. Consequentemente, esta transferência de mercadoria para um outro porto traria sempre custos acrescidos. Também se refere que a edificação do Centro de distribuição faria emergir novos custos operacionais, apesar de com ele também ser possível alcançar economias de escala que permitiriam reduzir custos de transporte unitários. Relativamente ao impacte ambiental que a adopção deste cenário provocaria, estima-se que seria consideravelmente superior ao do cenário n.º 3 dado que mais mercadorias seriam expedidas por meios exclusivamente terrestres.

Após terem sido discutidos os resultados obtidos por meio da adopção dos diversos planos de distribuição, apresenta-se uma breve análise económica que nos permite ter uma ideia bastante sólida do montante financeiro que poderá ser dispendido pela empresa com o fim de garantir um nível de serviço elevado aos seus clientes suportado pelos mais baixos recursos financeiros.

Assim, determinou-se o montante máximo que a empresa poderia investir para que pudesse adoptar as premissas do cenário n.º 3, o mais vantajoso de entre os vários estudados ao nível dos custos de transporte, sem que com isso visse inflacionados os seus custos de distribuição. Relembre-se que face ao plano de distribuição actualmente em vigor, o plano de distribuição apresentado no cenário n.º 3 permite reduzir em 1.03 milhões de euros os custos anuais de transporte. Deste modo, determinou-se, por meio do método do valor presente, que a empresa pode investir no máximo cerca de 8.8 milhões de euros na recuperação das estruturas portuárias existentes na sua filial localizada nas imediações do Porto n.º 1 assim como na edificação de um armazém dedicado, para que no fim de um prazo de 20 anos a uma taxa de juro anual de 10%, os valores assumidos com o transporte de mercadorias sejam a preços de hoje de cerca de 85 milhões de euros, valor idêntico ao que terá que ser assumido caso se venha a manter o actual plano de distribuição no mesmo período de tempo.

Pelo método do custo anual, também num período de tempo de 20 anos e a igual taxa de juro anual, determinou-se que a preços de 2010, o montante dispendido anualmente com a



distribuição das mercadorias seria de cerca de 10 milhões de euros, caso se investisse o montante referido no parágrafo anterior e se assumisse as premissas do cenário n.º 3 ou se se mantivesse o plano de distribuição vigente.

De qualquer modo, e como a assunção das premissas do cenário n.º 3, permite uma significativa redução do consumo de combustível, matéria-prima que se prevê cada vez mais escassa e por consequência mais onerosa, seria recomendável considerá-lo seriamente, pois interessa nos dias de hoje que os planos de distribuição sejam, o mais possível, ecológica e economicamente sustentáveis.



## 8. Conclusões e sugestões de trabalho futuro

Neste capítulo, apresentar-se-ão as conclusões retiradas quer por meio do estudo do estado da arte quer por meio do estudo do presente caso. Apresentar-se-á ainda um pequeno conjunto de sugestões de trabalho para futuro desenvolvimento e aprofundamento do estudo agora finalizado.

### 8.1 Principais conclusões

A interacção existente entre os portos marítimos e as suas zonas envolventes tem vindo a desempenhar um papel crescente no desenvolvimento das soluções logísticas que podem ser providenciadas aos diversos elos da cadeia de abastecimento;

Vários factores facilitaram o surgimento de portos que competem pelo controlo de determinadas *hinterlands*, tais como, a contentorização e o desenvolvimento de porta-contentores cada vez maiores; a concentração de docas adequadas num número limitado de centros de carga e os sistemas de fixação de preços;

As perspectivas tradicionais baseadas na perda de influência de um porto relacionada com a distância a um determinado local estarão desajustadas da actual realidade devido à existência de corredores intermodais de elevado volume de carga que oferecem uma relação mais favorável entre o custo do transporte, o prazo de entrega e a distância do que a cobertura tradicional por meio de transportes;

Os parâmetros a avaliar na selecção de um porto marítimo, diferem na sua maioria entre si, consoante a entidade que procede à selecção se trate de uma companhia marítima ou de uma companhia de expedição de mercadoria, apesar de, existirem alguns que são comuns entre ambas, mas que são ponderados de forma diferente;

Aquando da escolha dos meios de transporte a utilizar na distribuição de um determinado produto, há que considerar as várias alternativas, optando-se, caso seja proveitoso por alternativas intermodais, ou para curtas distâncias e níveis de serviço elevados, apenas por meios terrestres.

O plano de distribuição levado a cabo pela empresa nem sempre utiliza as melhores alternativas de transporte pois, para manter um nível de serviço elevado, acaba por optar por alternativas por vezes mais dispendiosas;



É possível, por meio da recuperação de infra-estruturas marítimas existentes numa filial da empresa, por um novo design do plano de distribuição, e por surgimento de novas economias de escala, manter o nível de serviço desejado e reduzir os custos de transporte dispendidos anualmente em 1.030.924,7 €;

Poder-se-á despendar no máximo de 8.776.843 € na recuperação das infra-estruturas existentes na filial do norte da Europa para que se consiga num prazo de 20 anos a uma taxa de juro de 10% ao ano igualar o montante despendido na distribuição caso não se venha a adoptar nenhuma alteração ao plano actual;

É possível optar por um novo plano de distribuição menos dependente dos combustíveis fósseis, logo mais sustentável ecológica e financeiramente, a longo prazo;

Com a actual estrutura de custos dos portos marítimos, não é justificável a introdução de um centro de distribuição a ser abastecido por meios de transporte terrestre.

Conclui-se que, de forma geral, é possível, por meio de metodologias de programação linear inteira, determinar qual a melhor alternativa para transportar uma determinada mercadoria de um local para outro inter-modalmente desde que se assumam determinadas restrições.

Por fim refere-se que a aplicação de metodologias de Investigação Operacional, em particular de Modelos de Transportes, será bastante pertinente para dotar a empresa de uma ferramenta potencialmente muito útil, quer a nível estratégico (redesenhando uma rede base mais eficiente) quer a nível operacional (na obtenção das melhores alternativas nos casos “fronteira” ou em casos que suscitem dúvidas, por exemplo, uma encomenda para um novo cliente situado um pouco fora do território habitual).

## 8.2 Sugestões de trabalho futuro

Devido a limitações de ordem temporal, não foi possível no período de elaboração do presente estudo ir além dos objectivos previamente estabelecidos. Contudo, será pertinente em estudos a realizar de futuro, considerar outros aspectos de elevado interesse, de entre os quais, se destacam os seguintes:

Aprofundar o conhecimento sobre as condições essenciais à eventual reactivação do porto marítimo situado na filial da empresa situada nas imediações do porto n.º 1;

Integrar os problemas relacionados com a gestão de inventários de modo a que se pudesse conhecer qual o stock de segurança a operacionalizar em cada um dos portos marítimos, em função do nível de serviço a implementar e dos níveis da procura por parte dos clientes situados nas suas imediações;

Estudar sistemas que permitissem melhorar o planeamento da produção em função dos referidos stocks de segurança dos centros de distribuição intermodais;



Desenvolver e implementar uma base de dados mais robusta (ex, Access ou SQL) para guardar a informação relativa a todas as transacções fluxionais da rede de distribuição efectuadas ao longo do tempo, e a integração de um sistema do tipo *Business Intelligence*, no intuito de melhor estruturar e mostrar toda a informação (ex, estatísticas, tendências, padrões, etc) relevante sobre esse histórico, de forma automatizada, rápida e de fácil interpretação para os gestores da empresa.

## Referências bibliográficas

Ballou, R.H., *Business Logistics Management – Planning, Organizing, and Controlling the Supply Chain*. Prentice Hall, 1999.

Carvalho, J.M.V., *Apontamentos de Investigação Operacional*, Universidade do Minho, 2010.

Chang, Y., Lee, S. and Tongzon, J.L. (2007), *Port selection factors by shipping lines: Different perspectives between trunk liners and feeder service providers*, *Marine Policy* 32 pp. 877–885.

Chou, C., Chu, W. and Liang, G.S. (2003), *Comparison of two models for port choice*, *Journal of Maritime Quarterly*, 12, pp. 45-61.

Community of European Railway and Infrastructure Companies and the International Union of Railways, *Rail Transport and Environment: Facts and Figures*, June 2008.

European Commission (2001), *European transport policy for 2010: time to decide*, White Paper, Luxemburg.

Kasilingan, R., *Logistics and Transportation Design and Planning*, Kluwer Academic Publishers, 1998.

Malchow, M., Kanafi, Adib (2001), *A disaggregate analysis of factors influencing port selection*, *Maritime Policy Management*, 28(3), pp. 265-277.

Murphy, P. and Daley, J. (1994), *A comparative analysis of port selection factors*, *Transportation Journal*, 3, pp.15-21.

Notteboom, T.E. (2008), *The relationship between seaports and the intermodal hinterland in light of global supply chains: European Challenges*. Research Round Table, Paris, 10-11 April 2008.

Notteboom T.E., Rodrigue, J.P., (2005), *Port regionalization: towards a new phase in port development*, *Maritime Policy and Management*, 32 (3), pp. 297-313.

Nunkaew, W., and Phruksaphanrat, B. (2009), *A multiobjective programming for transportation problem with the consideration of both depot to customer and customer to customer relationships*, *Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists*, Vol. II, 2009.



Rodrigue, J.P. and Browne, M., *International Maritime Freight Transport and Logistics*. Transport Geographies: An introduction, Blackwell Publishing, 2007.

Romo, F., Tomasgard, A., Hellemo, L., Fodstad, M., Eidesen, B. and Pedersen, B. (2009), *Optimization the Norwegian natural gas production and transport*, Interfaces, 39 (1), pp.46-56.

Salucci, M. V. (2006), *Intermodal Freight Terminals*. In Search of efficiency to support intermodality growth. Directorate-General for Energy and Transport. European Commission.

Slack, B. (1985), *Containerization, inter-port competition and port selection*, Maritime Policy and Management, 12, pp. 293-303.

Starr, J.T. and Slack, B. (1995), *Ports as gateways: a traditional concept revisited*. Proceedings of the 5<sup>th</sup>Conférence International Villeset Ports, Dakar, AIVP, pp. 89-96.

Tavares *et al.*, *Investigação Operacional*. McGraw Hill, 1996.

Tongzon, J.L. (2008), *Port choice and freight forwarders*, Transportation Research - E, 45, pp. 186-195.

Tongzon, J.L. and Sawant L. (2007), *Port choice in a competitive environment: from the shipping lines' perspective*. Applied Economics, 39, pp. 477-492.

Van Klink, A. and Van Den Berg, G.C. (1998), *Gateways and intermodalism*, Journal of Transport Geography, 6, pp. 1-9.

Wichser, J., Weidmann, U. and Fries, N. (2007), *Strategies for Increasing Intermodal Freight Transport Between Eastern and Western Europe*. Institute of Transportation Planning and systems. ETH Zurich. Switzerland.

Wiegmans, B.W., Der Hoest, A.V. and Notteboom, T.E. (2008), *Port and terminal selection by deep-sea container operators*, Maritime Policy Management, 35 (6), pp. 517-534.