



Rui Jorge Ferreira **Apoio à Decisão em Problemas de Localização-**
Soares Borges Lopes **Distribuição: uma proposta**



**Rui Jorge Ferreira
Soares Borges Lopes**

**Apoio à Decisão em Problemas de Localização-
Distribuição: uma proposta**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão de Operações, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira, Professor Associado do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro e da Doutora Maria Beatriz Alves de Sousa Santos, Professora Associada com Agregação do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais

o júri

presidente

Professor Doutor Joaquim José Borges Gouveia
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Maria Beatriz Alves de Sousa Santos
professora associada com agregação da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira
professor associado da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Luís Miguel Cândido Dias
professor auxiliar da Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

agradecimentos

Este trabalho não seria possível sem as valiosas sugestões dos Professores Carlos Ferreira e Beatriz Sousa Santos, respectivamente meu orientador e co-orientadora. A ambos agradeço o empenho, interesse e valiosas sugestões que permitiram o correcto encaminhamento e conclusão deste trabalho.

Um agradecimento muito especial ao Professor Sérgio Barreto pelos preciosos esclarecimentos e apoio no desenvolvimento do protótipo, assim como pelo extraordinário contributo ao nível da heurística.

Por fim agradeço aos meus pais e irmãos pela preocupação, auxílio e motivação que prestaram durante a elaboração desta dissertação, à semelhança do que sempre fizeram em muitas outras ocasiões.

palavras-chave

problemas de localização-distribuição, apoio à decisão, sistemas de apoio à decisão

resumo

A presente dissertação apresenta uma proposta de um sistema de apoio à decisão para problemas de localização-distribuição. Esta proposta é orientada essencialmente para decisores, tendo por esse motivo grandes preocupações ao nível da interface com o utilizador.

Os problemas de localização e distribuição estão cada vez mais presentes no quotidiano das empresas e instituições, exigindo cada vez mais tomadas de decisão que, se forem mal fundamentadas, podem comprometer o seu futuro. Neste trabalho é feito um enquadramento deste tipo de problemas na logística, apresentando uma evolução histórica da sua percepção e abrangência para, com base nesse estudo, apresentar uma proposta de aproximação a um sistema de apoio à decisão.

Em primeiro lugar é feita uma introdução aos sistemas logísticos e às questões relacionadas com a localização e com a distribuição. De seguida, é feita a interligação entre estas duas vertentes logísticas, apresentando os motivos para o seu estudo ser realizado de uma forma integrada. Com base nessa necessidade de um estudo integrado surge então uma revisão bibliográfica aos problemas de localização-distribuição e, mais especificamente, aos problemas de localização-distribuição com capacidade.

Após a introdução e classificação dos problemas de localização-distribuição com capacidade é descrita a evolução histórica dos sistemas de apoio à decisão, apresentando-se também como se processa, tipicamente, uma tomada de decisão.

Uma vez realizada a fundamentação de ambos os temas é descrita a metodologia adoptada para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão, sendo posteriormente apresentado o sistema desenvolvido e as suas funcionalidades principais. Dentro desta descrição é também apresentada a heurística utilizada no sistema de apoio à decisão, com a respectiva formulação matemática. Finalmente, é apresentada uma ilustração do sistema de apoio à decisão, recorrendo-se a um problema da literatura.

keywords

Location-routing problems, decision support, decision support systems

abstract

This thesis presents a proposal of a decision support system for location-routing problems. This proposal is essentially oriented to decision-makers, hence having a considerable concern regarding the user interface.

Location and routing problems are nowadays, more than ever, present in the quotidian of companies and institutions, increasingly demanding decisions that, if not correctly supported, may compromise their future. In this study an approach to this type of problems in logistics is presented, as well as its historical evolution and scope, in order to underpin the proposal of a decision support system in this area.

First an introduction to logistic systems is made and the main issues concerning location and routing are briefly addressed. Subsequently, the associations between these two areas are tackled and the interest of their integrated study is clarified. This interest leads to a bibliographic review of location-routing problems in general and, more specifically, of capacitated-location routing problems.

The historical evolution of decision support systems is addressed, as well as how the decision process is typically made.

The methodology used to develop a prototype of the decision support system as well as its main functionality are presented. Moreover, the heuristics used to solve the location-routing problem, and their mathematical formulations, are also described. Finally, the application of the decision support system to a problem in the literature is shown.

ÍNDICE GERAL

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Considerações gerais	3
1.2 – Enquadramento	3
1.3 – Objectivos	4
1.4 – Metodologia geral	5
1.5 – Estruturação da dissertação	5

Capítulo 2 – Caracterização dos problemas na logística da localização – distribuição

2.1 – Considerações gerais	9
2.2 – Perspectiva geral da localização – distribuição	10
2.2.1 – Decisões logísticas	11
2.2.1.1 – Enquadramento da decisão logística	14
2.2.2 – Decisões de localização	16
2.2.2.1 – Factores que influenciam as decisões de localização	16
2.2.3 – Decisões de distribuição	18
2.2.4 – Decisões de localização – distribuição	23
2.3 – Problemas de localização – distribuição e sua classificação	26
2.3.1 – Classificação quanto à natureza	28
2.3.2 – Classificação quanto às restrições	30
2.3.3 – Classificação quanto às funções objectivo	31
2.3.4 – Classificação quanto a outras características	32
2.4 – Problemas de localização – distribuição com capacidade	33
2.4.1 – Características dos problemas de localização – distribuição com capacidade	35
2.5 – Síntese	38

Capítulo 3 – Metodologia de criação do sistema de apoio à decisão

3.1 – Considerações gerais.....	43
3.2 – Apoio à decisão na localização – distribuição	44
3.2.1 – Sistemas de apoio à decisão.....	46
3.2.2 – O processo da tomada de decisão.....	48
3.2.3 – Conceito de sistema de apoio à decisão.....	49
3.2.4 – Problemas de decisão e apoio à decisão.....	51
3.2.5 – Interação humano – computador	53
3.3 – Metodologia para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.....	55
3.3.1 – Análise de requisitos	56
3.3.2 – Modelação do problema	58
3.3.3 – Implementação.....	63
3.3.4 – Teste do sistema	64
3.4 – Síntese	65

Capítulo 4 – Caracterização do sistema de apoio à decisão

4.1 – Considerações gerais.....	69
4.2 – Sistema de apoio à decisão de problemas de localização – distribuição.....	69
4.2.1 – Recolha de dados.....	72
4.2.2 – Representação gráfica.....	74
4.2.3 – Saída de dados.....	79
4.2.4 – Interação com o utilizador	80
4.2.5 – Outras características	83
4.3 – Algoritmo de resolução	86
4.3.1 – Agrupamento dos clientes	90
4.3.2 – Problema do caixeiro viajante	100
4.3.3 – Melhoramento dos grupos de clientes.....	103
4.3.4 – Problema de localização – afectação com capacidade.....	104
4.4 – Ilustração de um caso usando o sistema de apoio à decisão.....	105
4.5 – Síntese	113

Capítulo 5 – Conclusões

5.1 – Comentário ao sistema de apoio à decisão proposto	117
5.2 – Limitações do estudo	117
5.3 – Desenvolvimento futuro.....	118
5.4 – Síntese.....	119

Referências Bibliográficas	121
---	------------

Anexos	129
---------------------	------------

Anexo A – Ficheiro de dados dos clientes	131
Anexo B – Ficheiro de dados dos depósitos	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2 – Caracterização dos problemas na logística da localização – distribuição

Figura 2.1: Sistema logístico no âmbito externo de uma organização	13
Figura 2.2: <i>Trade-off</i> entre as decisões de transporte, armazenamento e localização.	19
Figura 2.3: Sistema de distribuição empresarial mais comum, na tipologia de 3 níveis	20
Figura 2.4: Custos do <i>trade-off</i> no desenho do sistema de distribuição	21
Figura 2.5: Relação entre o número de centros de distribuição e o nível de serviço ao cliente	22
Figura 2.6: Processo de desenvolvimento de um PLD.....	27
Figura 2.7: Sistema de Localização-Distribuição com 4 níveis.....	29
Figura 2.8: Classificação dos PLD consoante as suas características principais.	31

Capítulo 3 – Metodologia de criação do sistema de apoio à decisão

Figura 3.1: Fases do processo de tomada de decisão segundo Simon	48
Figura 3.2: Estrutura do grau de problemas de decisão segundo Simon	50
Figura 3.3: Tipos de problemas de decisão e sistemas e actividades de resolução de problemas	52
Figura 3.4: Diagrama de <i>use cases</i> das funcionalidades base do SAD.....	60
Figura 3.5: Diagrama de actividades do <i>use case</i> obter solução.....	62
Figura 3.6: Representação do processo iterativo entre as diferentes fases do projecto.	65

Capítulo 4 – Caracterização do sistema de apoio à decisão

Figura 4.1: Organização das funcionalidades oferecidas pelo SAD.	71
Figura 4.2: Importação e exportação dos dados referentes aos clientes e aos depósitos.	73
Figura 4.3: Grelha de dados dos clientes (com a hipótese de apagar activada).....	73
Figura 4.4: Introdução de dados no mapa.	74
Figura 4.5: Barra de Ferramentas com as opções referentes ao mapa.....	75
Figura 4.6: Mapa com imagem importada e a manter a escala com os objectos (escala 1:1098).....	76
Figura 4.7: Mapa com imagem importada e a manter a escala com os objectos (escala 1:450).....	77

Figura 4.8: Mapa visualizado com base na procura dos clientes.....	78
Figura 4.9: Interface do Sistema de Apoio à Decisão.....	81
Figura 4.10: SAD com o idioma definido como Inglês (Reino Unido).	84
Figura 4.11: Ficheiro de ajuda da aplicação.	85
Figura 4.12: Janela de opções do SAD.....	86
Figura 4.13: Classificação dos métodos heurísticos para a resolução do PLD.....	88
Figura 4.14: Esquema representativo dos passos do algoritmo, assim como os dados de entrada e saída de cada uma das diferentes fases.	89
Figura 4.15: Janela de escolha do método de agrupamento de clientes.	91
Figura 4.16: Definição da distância entre dois pontos no mapa apresentado.	106
Figura 4.17: Importação dos dados referentes aos clientes e aos depósitos.	107
Figura 4.18: Vista do mapa com base na procura dos clientes.....	108
Figura 4.19: Janela de escolha do método de agrupamento e medida de proximidade.....	109
Figura 4.20: Aplicação com solução encontrada.....	110
Figura 4.21: Visualização da solução encontrada.....	111
Figura 4.22: Dados da solução apresentada (rotas e custo total).....	112

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo 2 – Caracterização dos problemas na logística da localização – distribuição

Tabela 2.1: Decisões Logísticas de acordo com o seu nível hierárquico.....	15
Tabela 2.2: Considerações inerentes às tomadas de decisão de localização.....	18
Tabela 2.3: Características explícitas e implícitas dos PLD.....	33
Tabela 2.4: Variação do número de CA consoante os custos de distribuição.....	38

Capítulo 3 – Metodologia de criação do sistema de apoio à decisão

Tabela 3.1: Metodologia de desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.....	55
---	----

Capítulo 4 – Caracterização do sistema de apoio à decisão

Tabela 4.1: Representação gráfica dos objectos no mapa.....	79
Tabela 4.2: Representação gráfica e analítica das medidas de proximidade entre grupos.....	93

ACRÓNIMOS

CA – Centro de Acção

CD – Centro de Distribuição

IHC – Interacção Humano-Computador

OO – Orientado a Objectos

PA – Problema de Afectação

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

PD – Problema de Distribuição

PL – Problema de Localização

PLA – Problema de Localização – Afectação

PLAC – Problema de Localização – Afectação com Capacidade

PLD – Problema de Localização – Distribuição

PLDC – Problema de Localização – Distribuição com Capacidade

PRV – Problema de Rotas de Veículos

ROMC – *Representations, Operations, Memory-Aids and Mechanism Control*

SAD – Sistema de Apoio à Decisão

SIE / EIS – Sistema de Informação para Executivos / *Executive Information System*

SIG / MIS – Sistema de Informação para Gestão / *Management Information System*

SP – Sistemas Periciais

SPD – Sistema de Processamento de Dados

SPAD – Sistemas Periciais de Apoio à Decisão

UML – *Unified Modeling Language*

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Considerações gerais

1.2 – Enquadramento

1.3 – Objectivos

1.4 – Metodologia geral

1.5 – Estruturação da dissertação

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações gerais

Com a crescente competitividade entre as empresas, governos, cidades e instituições torna-se essencial, nos dias de hoje, gerir todos os aspectos das organizações. Tanto nas empresas de produtos como de serviços existe sempre um custo associado à manutenção, manipulação e distribuição dos diferentes bens. Apesar de não se conseguir eliminar este custo, a sua optimização poderá resultar num forte argumento competitivo. No entanto, para que se possa gerir eficazmente estes aspectos logísticos, é necessário que os gestores possuam ferramentas que lhes permitam obter boas soluções de partida, sobre as quais eles possam desenhar um sistema logístico.

Apesar de haver ferramentas para otimizar problemas de localização-distribuição, grande parte destas ferramentas foram desenhadas de e para técnicos, reduzindo a sua gama de possíveis utilizadores (e conseqüentemente a sua utilidade), restringindo-os mesmo a especialistas da área.

Com esta dissertação pretende-se fazer uma proposta para um Sistema de Apoio à Decisão (SAD), que permita que os decisores (pessoas que têm que tomar as decisões no âmbito do sistema logístico) possam tomar decisões suportadas, sem que para isso tenham que adquirir conhecimentos específicos deste tipo de problemas. Para esse efeito é proposto um SAD com grandes preocupações no que diz respeito à interface de utilizador, por forma a que o decisor possa de uma maneira fácil, rápida e intuitiva obter um conjunto de boas soluções possíveis (com base científica). Será depois com base nestas propostas de soluções e tendo em consideração o custo estimado, o nível de serviço ou mesmo as estratégias e motivações da empresa ou instituição que o decisor irá basear a sua decisão.

1.2 – Enquadramento

Por todo o mundo tem havido um esforço na melhoria dos sistemas logísticos. Se grande parte desse esforço tem partido do mundo empresarial, começa-se a verificar cada vez mais uma tentativa de melhoramento, dos vários componentes da logística, também por parte das instituições públicas e até mesmo dos governos.

Um dos problemas no projecto de um sistema logístico reside, desde logo, na localização dos centros de armazenamento ou distribuição. Na verdade, não se pode fazer um estudo da temática da

localização sem se realizar um estudo também da distribuição, visto que ambos estão interligados e influenciam-se mutuamente.

Como resultado desta constatação nasceram os chamados Problemas de Localização-Distribuição (PLD). Estes problemas têm como principal objectivo obter as soluções óptimas de localização e distribuição para um determinado sistema logístico. No entanto, grande parte destes problemas são desenvolvidos por, e para especialistas desta temática, pelo que, para que o decisor possa recorrer a este tipo de problemas para suportar a sua decisão terá que adquirir conhecimentos na matéria.

No presente trabalho, pretende-se propor um SAD que, utilizando uma heurística que obtém bons resultados, oferece uma interface de fácil uso e compreensão, permitindo desta forma que os decisores possam facilmente apoiar as decisões de localização e distribuição sem recurso a opinião de especialistas da área.

1.3 – Objectivos

Torna-se necessário otimizar a problemática da localização distribuição. No entanto esta temática é abordada muitas vezes com uma vertente matemática ou científica muito forte, baseando-se em programas específicos com uma óptica de desenvolvimento vocacionada não para os possíveis decisores mas antes para os investigadores que iriam desenvolver e otimizar os algoritmos.

A presente dissertação tem como principal objectivo apresentar uma proposta de interface de utilizador de um SAD. Essa proposta é de um sistema direccionado para os utilizadores pouco experientes, sem grandes conhecimentos dos algoritmos, e cujo principal objectivo é obter uma solução, ou conjunto de soluções possíveis, em tempo útil e que seja de fácil visualização e compreensão, por forma a que possa fundamentar a sua decisão. Pretende-se que a aplicação proposta seja de fácil utilização e possua apenas as funcionalidades necessárias para dar resposta a um problema específico, pelo que não constitui uma solução para os especialistas na utilização de SAD; pretende-se, assim, abranger um leque mais variado de pessoas, não necessariamente especialistas na utilização deste tipo de ferramentas.

Esta dissertação tem ainda como objectivos gerais:

- ? revisão do estado actual do conhecimento em relação aos modelos para os problemas de localização-distribuição;
- ? proposta de modelos e aproximações para a resolução deste tipo de problemas;

- ? desenvolvimento de uma metodologia que permita a integração de diferentes heurísticas no protótipo a desenvolver;
- ? estudo e desenvolvimento de soluções para os problemas de visualização e interacção envolvidos no protótipo do SAD;
- ? integração e armazenamento de informação relativa a um problema específico (no protótipo do SAD), com a possibilidade de obtenção de soluções referentes a esse mesmo problema;
- ? integração do protótipo do SAD com outras aplicações semelhantes.

1.4 – Metodologia geral

Em termos gerais, a metodologia adoptada foi a seguinte:

- ? caracterização dos problemas na temática da localização-distribuição na logística;
- ? caracterização dos SAD e do processo de tomada de decisão;
- ? definição da metodologia a adoptar no desenvolvimento do SAD;
- ? desenvolvimento de uma interface que permita ao utilizador interagir facilmente com a aplicação e obter um bom conjunto de soluções para um determinado problema proposto;
- ? caracterização da heurística adoptada na aplicação;
- ? aplicação do protótipo do SAD a um problema da literatura.

O desenvolvimento da aplicação foi levado a cabo com recurso ao Visual Basic®, versão 6.0 da Microsoft. No que diz respeito à resolução dos problemas de programação inteira recorreu-se ao *software* WinMPL com o pacote de *software* CPLEX imbuído.

1.5 – Estruturação da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos.

Em primeiro lugar, apresentam-se as razões da escolha do tema, os objectivos que se pretendem atingir, os pressupostos assumidos e a metodologia seguida em termos globais (Capítulo 1).

Seguidamente, apresenta-se uma breve revisão bibliográfica versando a logística e mais especificamente os problemas de localização-distribuição apresentando uma caracterização e algumas classificações dos PLD (Capítulo 2).

No capítulo 3 começa-se por fazer uma breve referência aos SAD e ainda ao processo de decisão neste tipo de problemas. De seguida, efectua-se uma descrição dos aspectos metodológicos que estiveram subjacentes ao desenvolvimento da aplicação de apoio à localização-distribuição, salientando aspectos relacionados com o desenvolvimento aplicacional e a implementação. É também apresentada a metodologia usada no desenho e definição desta ferramenta de apoio à decisão. Neste capítulo são também apresentados os *use cases* definidos para o SAD sendo posteriormente decompostos em caminhos principais e secundários.

No capítulo 4 é feita a caracterização da aplicação desenvolvida com vista a satisfazer os requisitos definidos anteriormente. Nesta fase é apresentado o protótipo (e as suas funcionalidades base) com recurso a imagens e exemplos. Por último, é feita a apresentação da heurística adoptada na aplicação, realizando-se posteriormente a aplicação do protótipo do SAD a um caso da literatura.

As conclusões, englobando a apreciação geral dos resultados obtidos, a avaliação das limitações da aplicação e uma indicação dos desenvolvimentos posteriores a este estudo, constituem o capítulo 5.

Foram utilizadas, sempre que possível, expressões em português; exceptuam-se os casos em que a utilização dos vocábulos na língua inglesa seja de tradução imperceptível e susceptível de interpretação menos precisa, ou em que a sua utilização já se tenha vulgarizado na língua portuguesa.

**CAPÍTULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS NA LOGÍSTICA
DA LOCALIZAÇÃO – DISTRIBUIÇÃO**

Capítulo 2 – Caracterização dos problemas na logística da localização – distribuição

2.1 – Considerações gerais

2.2 – Perspectiva geral da localização – distribuição

2.2.1 – Decisões logísticas

2.2.1.1 – Enquadramento da decisão logística

2.2.2 – Decisões de localização

2.2.2.1 – Factores que influencia m as decisões de localização

2.2.3 – Decisões de distribuição

2.2.4 – Decisões de localização – distribuição

2.3 – Problemas de localização – distribuição e sua classificação

2.3.1 – Classificação quanto à natureza

2.3.2 – Classificação quanto às restrições

2.3.3 – Classificação quanto às funções objectivo

2.3.4 – Classificação quanto a outras características

2.4 – Problemas de localização – distribuição com capacidade

2.4.1 – Características dos problemas de localização – distribuição com capacidade

2.5 – Síntese

CAPITULO 2 – CARACTERIZAÇÃO DOS PROBLEMAS NA LOGÍSTICA DA LOCALIZAÇÃO – DISTRIBUIÇÃO

2.1 – Considerações gerais

Como já foi referido, existe sempre um custo associado à manutenção, manipulação e distribuição dos diferentes bens. Não sendo possível eliminar esse custo, os gestores deverão tentar reduzi-lo ao mínimo possível. Para o conseguir, o gestor deverá otimizar a rede logística, tentando melhorar a distribuição. No entanto, convém referir que não se deve olhar para essa dimensão descurando as restantes. Se a localização dos Centros de Distribuição (CD) for deficiente, a otimização da distribuição estará sempre condicionada pela localização inicial. Por esse motivo torna-se necessário estudar a política de localização e distribuição de uma forma integrada, por forma a potenciar e otimizar os recursos disponíveis.

É pois sobre estes temas que se debruça a logística. Nesta dissertação irá ser abordado um tema específico, dentro da vasta área que é a logística, que é o da logística na localização-distribuição.

Um dos custos mais importantes nas empresas é o custo associado à deslocação dos bens. Independentemente da estratégia da empresa passar por um tempo mais curto ou mais longo de entrega dos seus produtos, existe uma realidade que é incontornável: quanto mais otimizado estiver o sistema de localização e distribuição da empresa, menor vai ser o custo associado aos seus bens. Enquanto que, no que diz respeito à distribuição, é sempre possível (até um certo grau) melhorar os processos, no que diz respeito à localização, a sua alteração é mais complicada, se não mesmo irreversível, daí ser necessário olhar para esta temática de forma integrada.

Neste capítulo irá ser feita uma revisão bibliográfica a alguns estudos realizados sobre a localização-distribuição na área da logística por forma a enquadrar esta temática. Irá partir-se da generalidade dos problemas logísticos para, por fim, se debruçar sobre os Problemas de Localização-Distribuição com Capacidade (PLDC), realizando-se também, uma breve caracterização deste tipo de problemas.

2.2 – Perspectiva geral da localização – distribuição

Por todo o mundo tem havido um esforço na melhoria dos sistemas logísticos. Apesar de grande parte desse esforço ter partido do mundo empresarial, existe cada vez mais uma tentativa de melhoramento também por parte das instituições públicas e até mesmo dos governos.

Um exemplo claro para essa tentativa tem partido da União Europeia, em que, ao assumir o objectivo de ser a economia mais competitiva do mundo até 2010, lançou um conjunto de medidas por forma a atingir esse objectivo. Entre estas medidas está o lançamento do Livro Branco intitulado “A Política Europeia de Transportes no Horizonte 2010”. Neste documento, apresentado pela Comissão Europeia em Setembro de 2001, são reconhecidas as fragilidades da União Europeia em termos de vias de comunicação, e é claramente assumido como objectivo estratégico a criação de uma rede logística intermodal com a finalidade de aumentar a sua competitividade face aos restantes grandes blocos económicos.

Com o desaparecimento dos controlos fronteiriços, tornou-se possível deslocarmo-nos livremente dentro do espaço da União Europeia. A remoção das fronteiras, dentro da União Europeia, e a criação de um mercado único significam que os produtos que compramos podem ser transportados através da Europa em cada vez maior variedade e número, e a uma rapidez cada vez maior.

O mercado único baseia-se em quatro grandes princípios básicos: a livre circulação de bens, serviços, pessoas e capital. Para suportar esses princípios, a União Europeia aboliu os controlos fronteiriços para pessoas e bens que vão de um país da União Europeia para outro. Também foram abertos mercados nacionais, anteriormente fechados, para os transportes rodoviários, aéreos e, em menor grau, para os transportes ferroviários. A quantidade de pessoas e bens transportados, especialmente por transporte rodoviário e aéreo aumentou exponencialmente.

No entanto a mobilidade tem um preço. Ironicamente, a nossa crescente procura por transportes tem criado problemas que ameaçam a nossa mobilidade. Todos os dias 7.500 quilómetros de auto-estradas europeias são bloqueadas por problemas de tráfego. O congestionamento nas estradas e aeroportos acrescenta 6 % aos gastos de combustível na União Europeia, com o correspondente aumento nos níveis de poluição. Resumindo, a União Europeia chegou à conclusão que os padrões actuais de crescimento dos transportes não são sustentáveis.

É cada vez mais imperioso chegar depressa, dentro do prazo e bem. Neste contexto, os países e as empresas que mais rapidamente souberem tirar partido das novas redes transeuropeias poderão aumentar a sua competitividade, sendo que, para isso terão que ter uma estrutura eficaz de localização-distribuição.

As empresas de maior sucesso de hoje são as que conseguiram construir uma rede eficaz de distribuição dos seus produtos, diminuindo os prazos de entrega. Muitas delas, actualmente conseguem fazer a entrega das suas encomendas no espaço de um dia, com acompanhamento *on-line* da situação da encomenda, mesmo em espaços tão vastos como a União Europeia. Os clientes optam, cada vez mais, por produtos que não necessitem de manutenção de *stock*, adiando, para cada vez mais tarde, a manutenção dos mesmos (como é o caso da filosofia JIT – *Just in Time*).

Assim, nos dias de hoje, uma vantagem competitiva fortíssima para as empresas é a capacidade de entrega de produtos, no mais curto espaço de tempo. Para que se consiga alcançar esta eficiência e mantê-la, é necessária a implementação de uma correcta política de localização-distribuição e efectuar estudos permanentes à eficácia das medidas que influenciam essa política. Só assim é possível às empresas acompanharem as tendências de mercado e ao mesmo tempo corrigirem e aperfeiçoarem um dos pontos mais críticos para a sua sobrevivência, que é a sua estratégia de localização-distribuição.

2.2.1 – Decisões logísticas

A história da logística começou a tomar forma a partir da segunda guerra mundial, quando os países aliados usaram o planeamento logístico para gerir o transporte de equipamentos e alimentos. No entanto, este conceito é anterior ao século XX.

O termo foi usado pela primeira vez no século XIX, pelo exército francês, por forma a identificar a administração das provisões às tropas, tendo sido empregue o termo *logistique*, que mais tarde foi adaptado para o inglês como *logistics*. Apesar de o conceito já existir há algum tempo, somente no início do século XX é que foi examinado, sob o prisma académico, pela primeira vez, sendo que o autor fazia referência aos custos e factores que afectavam a distribuição dos produtos agrícolas, definindo desde logo a distribuição como factor fulcral e incontornável na logística moderna¹.

É pois a partir da segunda guerra mundial, em que os países aliados usaram o planeamento logístico para gerir o transporte de equipamentos e alimentos, que se verifica o grande aumento do enfoque na logística.

A partir da década de 50 a logística foi adaptada com sucesso às organizações civis, tanto públicas como privadas. Pode-se pois dizer que a logística empresarial teve a sua génese nesta década, sendo no entanto considerada apenas como um simples movimento de fluxos.

¹ Obtido em 10/05/2005 do site <http://www.tigerlog.com.br/logistica/historia.asp>.

Gepfert (1968) alarga este conceito, referindo não só a distribuição mas antes considerando a logística como uma área funcional que integra áreas distintas como a criação e gestão de *stocks*, o transporte, a programação de rotas e ainda a gestão e manutenção do equipamento.

Apesar de se tornar claro para muitas empresas a importância da distribuição, estas revelam muitas dificuldades na obtenção de ganhos de eficiência. Neuschel (1967) aponta como causas para esse insucesso o desconhecimento do custo de distribuição, o deficiente domínio do processo de distribuição e o desconhecimento das técnicas a aplicar, concluindo que estas seriam ainda áreas a aprofundar.

Com o objectivo de desenvolver essa temática é criada em 1963 a primeira organização a congrega profissionais de logística de todas as áreas de negócio, com o propósito claro de aumentar o desenvolvimento e formação em logística. Essa organização tinha o nome de *National Council of Physical Distribution Management*, tendo mais tarde mudado para *Council of Logistics Management*, organização que ainda hoje se debruça sobre esta temática.

É a partir da década de 70 que Heskett (1977) e Shapiro (1984) começam a associar a logística à estratégia, rompendo com a visão anterior meramente operacional.

Em 1984, Sharman traz para a logística os sistemas de informação, alertando para os perigos de continuar a encarar a logística meramente como sinónimo de distribuição física.

Como se pode ver, ao longo da história o conceito e as áreas referentes à logística têm sido ampliados. A logística deixou de ser um mero movimento de fluxos para se ocupar posteriormente da cadeia de abastecimento, passando em seguida à distribuição, para por último se centrar no seu principal objectivo, o serviço ao cliente/consumidor.

Existem pois várias definições de logística, sendo que algumas, ainda que simples e de fácil compreensão, não traduzem todas as funções e competências que deverão estar ligadas à logística.

Evans (1993) refere a logística como sendo o estudo sistemático de todo o processo de aprovisionamento de bens e serviços a partir de um ponto de oferta para um ponto de procura, assim como de todo o fluxo de informação que lhe está relacionado. A Figura 2.1 ilustra os componentes que, segundo Evans, se englobam no conceito de logística.

O *Council of Logistics Management* define logística como “...the process of planning, implementing, and controlling the efficient, effective flow and storage of goods, services, and related information from point of origin to point of consumption for the purpose of conforming to customer requirements.”² De notar que esta definição tem já por objectivo incluir movimentos internos e externos da empresa, assim como o retorno dos materiais por motivos ambientais.

² Definição obtida em 15/02/2005 do site <http://www.clm1.org/>. Este endereço é o site oficial do CLM (*Council of Logistics Management*).

No entanto como se pode ver por estas definições, ainda não é claro o contributo da localização na logística, lacuna essa colmatada por Carvalho (1996) que coloca definitivamente a localização como factor sob a esfera das competências logísticas. Carvalho define a logística como

“...um sistema de actividades integradas pelo qual flúem produtos e informação, desde a origem ao ponto de consumo, sustentado por factores que determinam a vertente de disponibilização da organização, isto é, um sistema que responda em tempo certo, com a quantidade correcta e que se conecte aos locais mais apropriados. E, muito embora seja esta a óptica de serviço total, deve estar implícita a busca de um ponto de equilíbrio óptimo para a organização em termos de custo.”

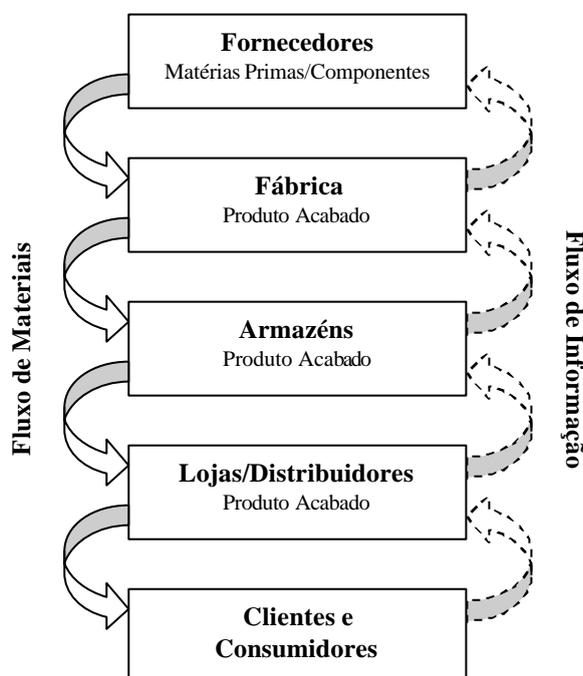


Figura 2.1: Sistema logístico no âmbito externo de uma organização
(adaptado de Evans, 1993, p. 223).

Hoje em dia tornou-se claro que, se uma empresa pretende ter sucesso na sua área de negócio, terá incontornavelmente que otimizar todos os aspectos relacionados com a logística. As empresas tem a consciência que só recorrendo às mais avançadas técnicas e metodologias logísticas é que conseguem alcançar a qualidade total e servir eficazmente os seus clientes.

A maior parte das grandes empresas actuais têm na base do seu sucesso uma correcta interpretação e implementação logística. Entre estas empresas estão casos como a Dell, McDonalds, Wal-Mart, Benetton, Zara, Hewlett-Packard e Tesco que vêm confirmar que uma

correcta gestão empresarial deve assentar, também, numa correcta gestão logística. Essa gestão passa incontornavelmente por uma correcta optimização do sistema de distribuição da empresa, que é claramente indissociável da localização.

Como se constata, as decisões no âmbito da logística são diversas, sendo todas de igual importância. No entanto, para cada um dos níveis de decisão deverá ter-se em conta vários níveis hierárquicos. Não existem decisões nem mais nem menos importantes. Para que a gestão logística funcione correctamente é necessário que todas as dimensões da mesma estejam optimizadas. Existe um conjunto de decisões que têm, pois, um enquadramento próprio tanto no tempo como na estratégia a adoptar pela empresa.

2.2.1.1 – Enquadramento da decisão logística

Como já se viu anteriormente, para que se obtenha uma gestão logística eficiente, é necessário um planeamento cuidadoso de todas as componentes do sistema logístico. Interessa pois enquadrar as decisões que decorrem do planeamento logístico.

Um dos objectivos da logística empresarial é disponibilizar os produtos aos clientes no local e momento em que estes são procurados. Assim, decidir onde o produto é produzido, armazenado e colocado à venda é um factor de primordial importância num mercado onde tudo se passa cada vez mais depressa e ninguém pode ou quer esperar pelo bem ou serviço que pretende adquirir.

Perl e Sirisoponilp (1988) classificaram as decisões relativas à logística em três níveis hierárquicos.

- ? **decisões estratégicas** : este tipo de decisões está relacionado com os aspectos de maior dimensão e mais dispendiosos. Têm a ver com uma eficiente afectação de recursos às várias componentes das operações logísticas durante longos períodos de tempo. Estas decisões comportam grandes investimentos e são dificilmente reversíveis, sendo tipicamente de longo prazo;
- ? **decisões táticas** : as decisões táticas estão ligadas aos investimentos de capital moderado que envolvem planos anuais, semestrais ou trimestrais (médio prazo) que podem ser revertidas a custo moderado;
- ? **decisões operacionais** : estas decisões são tomadas diariamente, sendo caracterizadas por baixos investimentos, podendo ser alteradas a baixo custo. Estas decisões têm um prazo temporal reduzido, podendo-se enquadrar nas decisões de curto prazo.

Tabela 2.1: Decisões Logísticas de acordo com o seu nível hierárquico
(adaptado de Perl *et al.*, 1988).

	Decisões Logísticas		
	Estratégicas	Táticas	Operacionais
Localização das Instalações	Número de CA Localização dos CA Afectação dos CA aos fornecedores Alocação das encomendas aos CA	Equipamento para manuseamento das mercadorias e materiais	
Transporte	Meio de transporte Tipo de veículo	Transportador Dimensão da carga	Afectação das cargas aos veículos Rotas/Escalonamento Afectação da tripulação
Inventário	Inventário total do sistema Localização dos Inventários	Dimensão dos inventários nas várias localizações Níveis dos <i>stocks</i> de segurança nas várias localizações	Disciplina de controlo nas várias localizações

Como se pode deprender, as decisões em cada nível hierárquico são fortemente condicionadas pelas decisões de nível superior. Por exemplo, se a localização de um Centro de Acção (CA)³ é feita num ponto distante dos seus Clientes⁴, existe um custo associado à deslocação de e para o CA que dificilmente pode ser minorado pelas decisões táticas e/ou operacionais.

Quando se projecta uma rede logística as decisões têm que ser tomadas numa perspectiva integrada, relacionando três aspectos:

- ? localização dos Centros de Acção;
- ? transporte entre os CA e os Clientes;
- ? inventário ao longo da cadeia de fornecimento.

O objectivo do processo de desenho da rede logística é, resumidamente, a determinação do *trade-off* óptimo entre os custos do serviço, de transporte e de armazenamento. Ao se procurar atingir este compromisso deve-se sempre ter em linha de conta que a decisão deve sempre ser integrada, englobando estas três vertentes da logística.

³ Barreto (2004) usa a designação Centro de Acção para fazer referência aos equipamentos que servem de ponto de partida e/ou chegada dos percursos de visita pelos “Clientes”. Esta designação genérica representa tanto fábricas como centros de distribuição, armazéns, hospitais, aterros, etc.

⁴ A designação Cliente é usada por Barreto (2004) para classificar um ponto a visitar. Esse ponto pode ser uma empresa, uma cidade, um hospital, uma loja, etc.

2.2.2 – Decisões de localização

Localizar Centros de Acção (CA) e proceder à distribuição dos bens e/ou serviços, que saem desses centros para os vários Clientes, são problemas comuns e dos mais importantes para as empresas. Essa importância decorre de dois factores.

O primeiro tem a ver com o facto de a localização estar associada a um compromisso de longo prazo, que torna os possíveis erros mais difíceis de serem ultrapassados. O segundo factor deriva do impacto que as decisões de localização têm no investimento, custos de transporte e operações. Uma má escolha de localização pode resultar num custo excessivo de transporte, na falta de pessoal qualificado, na perda de vantagem competitiva, fornecimento inadequado de matéria prima ou condições semelhantes que afectam o funcionamento da empresa ou instituição.

O lugar geográfico das instalações, pontos de armazenamento e os locais dos recursos, são o primeiro passo na criação de uma cadeia de fornecimento. A localização envolve um compromisso com os recursos disponíveis no plano de longo prazo. Só depois de a dimensão, o número de CA e a sua localização estarem determinados, é que se torna possível criar o fluxo até ao consumidor final.

Estas decisões são de elevada importância para as empresas uma vez que elas representam a estratégia básica de acesso aos Clientes e aos mercados, tendo um impacto nas vendas, custos e qualidade dos serviços prestados aos Clientes. Por este motivo todos os equipamentos cujo investimento e/ou repercussão da sua localização seja significativa, devem ser alvo de um estudo cuidadoso que sirva de apoio e fundamentação às decisões a serem tomadas.

Existe pois um conjunto de factores e objectivos que influenciam e são essenciais para se proceder à tomada de decisão na localização dos CA. Na secção que se segue irão ser enumerados alguns desses factores.

2.2.2.1 – Factores que influenciam as decisões de localização

Quais são então os factores que influenciam a decisão de localização? As motivações que levam a tomar uma decisão de ampliação ou readaptação e conseqüentemente de localização podem ser várias e é com base nesses motivos que mais tarde se irá dar maior peso a um factor em detrimento de outro.

Alguns exemplos de motivações que levam à tomada de decisão são:

- ? necessidade de expansão;
- ? necessidade de aumentar a competitividade;

- ? necessidade de estar próximo dos clientes de forma a criar laços de confiança, segurança e baixar os custos de distribuição;
- ? necessidade de estar próximo dos fornecedores de forma a manter baixos níveis de *stock* e prazos mais reduzidos de recepção de matérias primas e componentes;
- ? procura de baixos custos, baixos impostos e baixos salários;
- ? disponibilidade de mão de obra e serviços;
- ? etc.

Ou seja, existe um conjunto diverso de motivações que muitas vezes decorrem de decisões estratégicas e que podem afectar a produtividade, qualidade e funcionalidade do sistema logístico da empresa.

São vários os factores económicos e não económicos que podem influenciar a escolha de localização de um serviço mas, em geral, as decisões relativas à localização devem ter em consideração a estratégia de desenvolvimento da empresa, sistema empresarial ou organização em geral.

Existe ainda um conjunto de factores que hoje em dia assume uma especial importância, que são os aspectos relacionados com o impacto ambiental, a preservação de recursos e o ordenamento do território. Nota-se uma valorização crescente destes factores por parte da opinião pública e ignorar essa vertente seria prejudicial, se não crítico, para a imagem de uma empresa ou organização.

Stevenson (1999) agrupa os diferentes factores tendo em conta o nível de decisão, diferenciando-os consoante a localização seja regional, ao nível da comunidade ou relativa a uma localização específica.

A Tabela 2.2 mostra um conjunto de factores, e as respectivas considerações, inerentes à decisão de localização.

Pode então dizer-se que, quando se pretende tomar uma decisão no âmbito da localização ou futuras localizações de um equipamento, existe um vasto conjunto de factores, que vão desde restrições a meras políticas estratégicas ou vontade do decisor. No entanto, muitas vezes acontece que um pequeno conjunto de factores é tão importante que acaba por dominar a decisão final.

Do ponto de vista do desenho de um sistema de apoio à decisão existe um sem número de factores cuja influência ou peso não são facilmente mensuráveis, daí que o Sistema de Apoio à Decisão (SAD) a ser usado, deverá propor não uma, mas várias soluções possíveis, dando a indicação dos custos associados a cada decisão. O decisor deverá depois, com base nos dados fornecidos, tomar uma decisão tendo em conta os factores que ele considera mais interessantes ou relevantes para o equipamento que pretende localizar e para a distribuição que pretende satisfazer.

Tabela 2.2: Considerações inerentes às tomadas de decisão de localização
(adaptado de Stevenson, 1999, p. 369).

Nível	Factores	Considerações
Regional	Localização de matérias primas e componentes	Proximidade Meios e custos de transporte Quantidade disponível
	Localização de mercados	Proximidade Custos de Distribuição Mercado alvo Práticas e restrições de mercado
	Laborais	Disponibilidade Sindicatos Produtividade Gama de salários Leis laborais
Comunidade	Qualidade de vida	Escolas Habitação Transporte Custo de vida
	Serviços	Médicos Bombeiros Polícia
	Atitude	Atitudes a favor e contra dentro da comunidade
	Impostos	Estatais Locais Directos e Indirectos
	Legislação ambiental	Estatal Local
	Apoio ao desenvolvimento	Estatal/Local Benefícios fiscais Facilidade na obtenção de empréstimos
	Localização Específica	Terreno
Transporte		Meios de transporte Acessos
Ambientais/Legais		Restrições de Zona

2.2.3 – Decisões de distribuição

Como já vimos anteriormente, a distribuição é também uma das pedras de toque essenciais para o sucesso de uma organização. Estima-se que, de uma maneira geral, o transporte representa cerca de 30% dos custos logísticos. Por esse motivo, e apesar de admitirmos que a distribuição não

está dissociada da localização, devemos também tomar precauções no desenho da rede de distribuição.

No entanto, como já vimos anteriormente, todas as decisões relativas ao sistema logístico de uma empresa estão interligadas e o melhoramento de uma pode dar origem a piores resultados noutra. Existe pois um *trade-off* que terá que ser ponderado para otimizar todas as vertentes do sistema logístico. Por exemplo, enquanto que o transporte aéreo é mais rápido e fiável, não sendo necessário grandes *stocks* de segurança, é um transporte extremamente caro. Por seu lado, o transporte marítimo é mais barato, mas será necessário manter *stocks* de segurança mais elevados para fazer face ao maior grau de incerteza associado a este tipo de transporte.

Neste *trade-off* é também necessário ter em conta o nível de serviço pretendido pela empresa. Existem casos em que, apesar de a empresa incorrer em custos acrescidos, a estratégia passa por um determinado nível de serviço. Muitas empresas estão dispostas a acarretar custos adicionais, derivados de um nível de serviço elevado, para obter daí uma melhoria da sua imagem institucional.

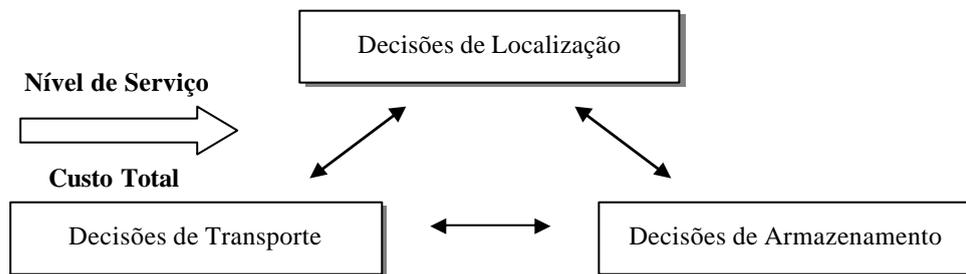


Figura 2.2: *Trade-off* entre as decisões de transporte, armazenamento e localização.

A distribuição tem pois um papel importante na eficiência de uma empresa ou instituição. Se a decisão estratégica de localização for acompanhada de uma boa decisão tática, de curto prazo, relativa à distribuição de bens e serviços, a partir dos Centros de Acção, então tudo se conjuga para um aumento da eficácia e competitividade da empresa ou até da qualidade de vida das pessoas no caso de instituições.

Existe um conjunto de elementos cuja determinação se insere no âmbito das decisões a tomar no desenho de uma rede de distribuição. Entre esses elementos contam-se os seguintes:

- ? afectação dos clientes aos CA;
- ? planeamento dos fluxos dos fornecedores para os CA;
- ? selecção dos serviços de transporte entre as fábricas e os CA;

? nível dos inventários nos CA.

Em geral as empresas optam por transportes de grandes dimensões a partir das fábricas para os armazéns, situados o mais próximo possível dos postos de venda, para depois efectuar a distribuição em veículos mais pequenos pelas lojas de venda a retalho. A Figura 2.3 ilustra esse sistema de distribuição.

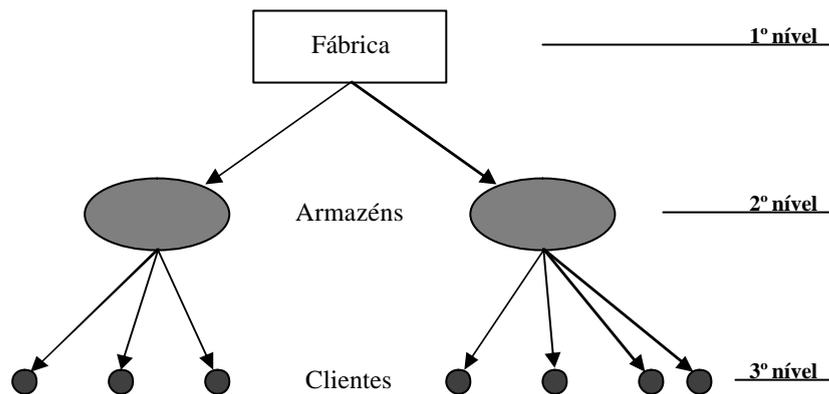


Figura 2.3: Sistema de distribuição empresarial mais comum, na tipologia de 3 níveis (adaptado de Laporte, 1988).

Esta estratégia faz com que grande parte dos custos de transporte esteja relacionada com a distribuição pelas lojas (3º nível). Por esse motivo, quantos mais centros de acção forem utilizados na rede de distribuição, menor será o custo total de transporte, aumentando os custos de inventário, de processamento de encomendas, administrativos, de manutenção ou de arrendamento de imóveis. Esta relação de custos é ilustrada na Figura 2.4, onde também se representa a função que traduz o custo total e que resulta da soma das outras duas funções custo anteriormente referidas. Como se pode ver pela figura o número ideal de centros de distribuição é aquele que minimiza o custo total.

Como já foi referido anteriormente, outro factor que é fortemente influenciado pelo número de centros de distribuição é o nível de serviço aos clientes. Muitas medidas de produtividade podem ser usadas para avaliar o nível do serviço aos clientes. Entre essas medidas podem-se identificar as seguintes:

? o tempo médio de processamento das encomendas, ou seja, o tempo entre a recepção de uma encomenda e a sua expedição;

- ? a percentagem de encomendas enviadas no prazo de x dias após a recepção da nota de encomenda;
- ? a percentagem de encomendas que são satisfeitas dentro da data de entrega prevista;
- ? o número de danos e/ou perdas causados.

Enquanto que as primeiras duas medidas referidas dependem do controlo interno, as duas restantes dependem da localização dos armazéns face aos clientes. A Figura 2.5 ilustra a variação do nível de satisfação dos clientes relativamente ao número de centros de distribuição.

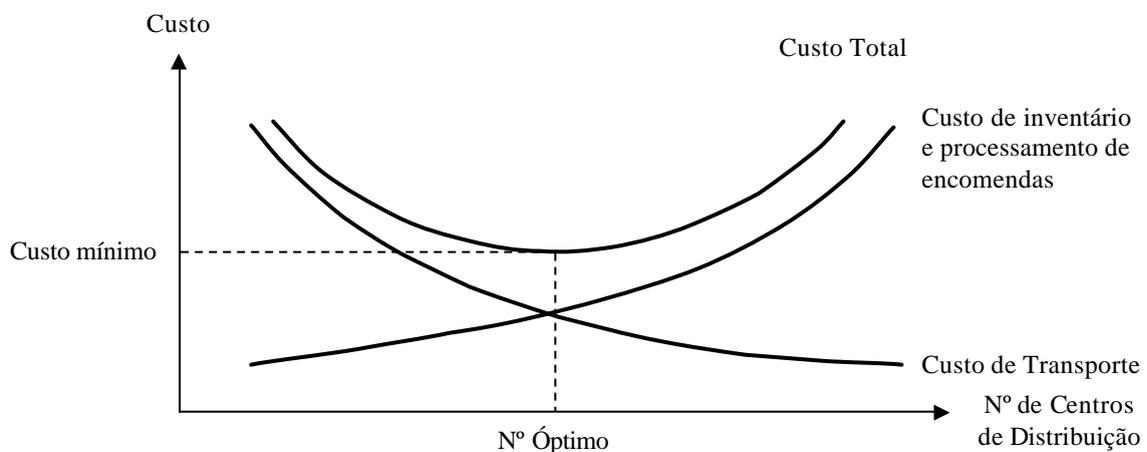


Figura 2.4: Custos do *trade-off* no desenho do sistema de distribuição
(adaptado de Evans, 1993, p. 231).

Ao confrontarmos a Figura 2.4 com a Figura 2.5 podemos concluir que baixos custos de distribuição não são compatíveis com altos níveis de satisfação dos clientes. O número óptimo de centros de distribuição pode não corresponder a um nível aceitável de serviço aos clientes.

Ao projectar o processo de distribuição deve-se também ter em conta que quanto maior for a distância ao cliente mais difícil será manter a quota de mercado. Para que se consiga conjugar ambos os factores é necessário que a distribuição seja eficaz, fazendo sentir ao cliente que a empresa está próxima e atenta às suas necessidades, não podendo por isso falhar os prazos de entrega e o nível de qualidade exigido. Aos decisores e investigadores cabe a tarefa de encontrar os necessários equilíbrios de acordo com os objectivos da empresa ou instituição.

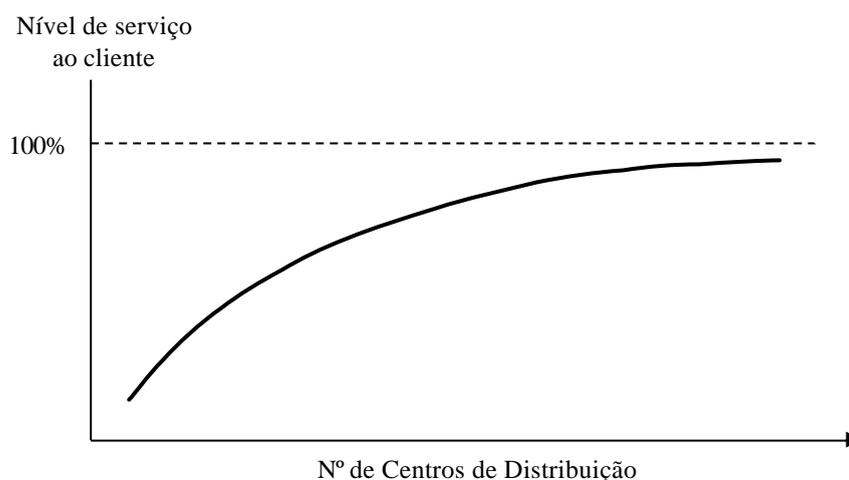


Figura 2.5: Relação entre o número de centros de distribuição e o nível de serviço ao cliente
(adaptado de Evans, 1993, p. 232)

Segundo Mercer e Rand (1977), um estudo sobre distribuição deve seguir três etapas.

Em primeiro lugar, deve-se estabelecer um modelo geográfico que possa servir de base à localização dos clientes. No entanto Mercer *et al.* (1977) chamam a atenção para o critério a usar na partição geográfica, desaconselhando uma partição com base em áreas quadrangulares com dez ou cem quilómetros de lado. Esta opinião tem a ver com a distribuição dos clientes, visto que, com esta separação, certas zonas, menos povoadas do que outras, podem possuir um número irrisório de clientes enquanto que outras, que incluam aglomerados urbanos, poderão conter centenas ou milhares de clientes. Por este motivo, o autor defende e aconselha a divisão em regiões administrativas.

De seguida, é necessário modelar os mecanismos de mercado, isto é, estimar as vendas numa determinada área, a quota de mercado a atingir e os meios para a conseguir alcançar. A fase de recolha de dados é encerrada com a determinação dos custos de operação, dos veículos, de armazenagem e manuseamento.

A terceira etapa a seguir num estudo sobre distribuição está relacionada com a composição e dimensão da frota de veículos, as suas rotas, o seu escalonamento e procedimentos de carga. Esta etapa diz respeito a acções a tomar numa base diária.

Entre a primeira etapa de enquadramento do problema e recolha de dados e a altura da tomada de decisões é necessário efectuar um estudo sistemático e apoiado do problema, procurando criar modelos matemáticos que permitam obter boas soluções (ou mesmo soluções óptimas), em tempo aceitável. Estas soluções poderão assim servir de suporte às decisões no âmbito da distribuição.

2.2.4 – Decisões de localização – distribuição

Após o estudo das decisões de localização e distribuição, e dos factores que influenciam ambas, vai ser exposto um estudo mais abrangente e integrado dessas duas vertentes.

Como já foi referido, esta temática deverá ser abordada de uma forma integrada, e apesar de haverem decisões que podem ser tomadas e analisadas à luz de apenas uma das dimensões (localização ou distribuição), para que a rede logística funcione correctamente, o estudo deverá prever ambas.

Quando se projectam sistemas logísticos tem que se ter em atenção que os sistemas de localização e/ou distribuição são complexos e podem integrar um grande número de variáveis. Por esse motivo cada sistema em estudo é um caso particular, com características próprias, sendo algumas dificilmente mensuráveis.

Sendo os sistemas reais, em geral, bastante complexos, a tarefa de os modelar matematicamente não tem sido fácil. Com esse objectivo têm existido duas correntes de investigação que, embora partindo de pressupostos distintos, têm apontado para o objectivo comum de investigação dos sistemas de localização-distribuição.

Uma dessas vertentes diz respeito a estudos que adaptam, o mais possível, os modelos matemáticos aos problemas reais, tentando a integração minuciosa do máximo de informação respeitante ao problema real no modelo matemático, com o objectivo de retratar o mais fielmente possível a realidade. Como facilmente se percebe, os modelos assim obtidos são complexos e quase sempre de muito difícil resolução, tendo muitas vezes que se recorrer a heurísticas por forma a se poder obter uma solução (ou conjunto de soluções) em tempo útil.

A outra vertente desenvolve os estudos com base numa abordagem teórica suficientemente desenvolvida e viável, que represente as características comuns a uma classe de problemas, tentando depois desenvolver adaptações às especificidades próprias de cada caso real. Neste sentido, a definição e investigação de problemas específicos, como sejam os Problemas de Localização (PL), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) ou os problemas de Rotas de Veículos (PRV) muito têm contribuído para uma forte aproximação entre o real e o teórico.

Apesar de haver alguma diversidade das variáveis e características dos problemas logísticos, todos os problemas têm por base as decisões relacionadas com a localização e a distribuição, podendo-se resumir em dois os objectivos principais para a maior parte destes problemas:

- ? definição do número e localização dos depósitos a instalar;

? desenho das rotas de distribuição dos depósitos para os clientes.

Enquanto que nas decisões de localização se procura localizar armazéns assumindo que a distribuição é directa e individual a cada cliente, nas decisões de distribuição pretende-se definir as rotas de distribuição a partir de armazéns com localização fixa (Eilon, Watson-Gandy e Christofides, 1971).

Ao analisar um sistema de distribuição, rapidamente se torna óbvio que os objectivos de localização e distribuição devem ser encarados numa perspectiva integrada. É imediata a percepção que eles se encontram fortemente ligados, ou seja, alcançar um desprezando o outro impossibilita a obtenção de boas soluções. Sussams (1969) deixou clara esta dependência ao afirmar que o melhor conjunto de rotas de veículos que servem uma dada área não é necessariamente o que minimiza a distância percorrida. O autor reforça ainda a ideia, afirmando que o desenho de rotas eficientes está intimamente relacionado com a localização de depósitos.

Rand (1976) reforça este raciocínio ao afirmar: *“Many practitioners are aware of the danger of suboptimizing by separating depot location from vehicle routing”*.

Marks e Stricter (1971) realçam o facto de que os modelos de rotas devem fazer parte integrante de um sistema completo de modelos para problemas de distribuição e localização para os quais é necessário desenvolver técnicas eficientes.

Em 1984, Perl e Daskin referem que a estimação dos custos de distribuição com vista à resolução de um problema de localização requer o conhecimento das rotas de veículos, enquanto que o traçado das rotas de distribuição depende da localização dos depósitos. Por esse motivo os autores consideram que a interdependência entre localização e distribuição é evidente.

Mais recentemente, Wu, Low e Bai (2002) deixam claro que, a partir do momento em que vários clientes podem ser servidos na mesma rota, surge de imediato a necessidade de unificação da localização com a distribuição.

Salhi e Rand (1989) dedicam mesmo um artigo com vista a reforçar a ideia da forte dependência que existe entre localização e distribuição.

Com base nesta sucessão de conclusões, surge um novo tipo de problemas em que é feita a integração da localização com a distribuição. Esta nova classe de problemas tem como objectivo fazer uma abordagem integrada de ambas as dimensões. Estes problemas foram designados por Problemas de Localização-Distribuição (PLD) cujo objectivo é definir o número e localização dos depósitos a instalar e ao mesmo tempo definir as rotas de distribuição dos depósitos para os clientes.

Min, Jayaraman e Srivastava (1998) introduzem os problemas de localização-distribuição da seguinte forma: *“Os ambientes logísticos modernos são caracterizados pela desregulação e*

globalização que vieram colocar aos gestores fortes problemas, mas também desafios, relacionados com a localização, alocação e transporte. No cruzamento destes problemas surgem os problemas de localização-distribuição.”

Estes autores referem ainda que, mesmo que não tivesse sido possível encontrar modelos eficientes para este tipo de problemas, pelo menos a sua discussão tinha servido para realçar a necessidade de uma visão integrada.

Laporte, Louveaux e Mercure (1989) definem PLDs como sendo *“Problemas de Rotas de Veículos em que a localização dos depósitos não é conhecida à priori.”*

Madsen (1983) dá uma definição resumida e explícita sobre o que são os PLD aproveitando e ampliando a definição de PLs. Segundo Madsen, *“são problemas de localização de CA a partir dos quais são servidos clientes segundo rotas em vez de visitas individuais de ida e volta.”*

Para Srivastava e Benton (1990) os PLDs podem ser definidos da seguinte forma: *“Dado um conjunto admissível de potenciais localizações de depósitos e a localização dos clientes, encontrar a localização dos depósitos e as rotas para os clientes a partir dos depósitos de tal forma que o “custo” total seja minimizado. O “custo” total é a soma dos custos de localização e de distribuição.”*

Em 1988, Laporte em vez de definir PLDs, sistematiza as suas características. Segundo o autor, para que se possa considerar um Problema como de Localização-Distribuição deve existir decisão sobre a localização em pelo menos um nível, senão o problema reduz-se a um puro Problema de Distribuição (PD). O autor considera ainda que deve existir pelo menos um percurso de distribuição múltiplo, caso contrário o problema reduz-se a um puro Problema de Localização (PL).

Mais recentemente Barreto (2004) apresenta a seguinte definição: *“Conhecida a localização de um conjunto de clientes, pretende-se encontrar a localização dos CA e os percursos de ligação entre os CA e os clientes, de tal forma que o custo total da instalação dos CA e da sua ligação aos clientes seja mínimo”*. O autor acrescenta ainda que, apesar de esta definição apenas fazer referência a PLDs com dois níveis, pode igualmente considerar-se PLDs com múltiplos níveis, integrando fornecedores, fábricas, etc.

Podemos pois concluir que os PLDs são problemas cujo objectivo é determinar a localização dos Centros de Acção ao mesmo tempo que se definem os percursos (tanto de ida como de volta) entre os CA e os Clientes para os diversos níveis da cadeia de fornecimento, sendo CA o nível superior e Cliente o nível inferior⁵.

⁵ Para um PLD com 3 níveis (Fábrica – Armazém – Loja), entre o 1º e o 2º nível o CA seria a Fábrica e o Cliente o Armazém e entre o 2º e o 3º nível o CA seria o Armazém e a Loja o Cliente.

2.3 – Problemas de localização – distribuição e sua classificação

Agora que já sabemos o que se entende por problemas de localização-distribuição, interessa classificá-los por forma a se conhecer quais os vários tipos de PLD existentes.

Inicialmente os PLD eram considerados como sendo apenas a união entre os Problemas de Localização (PL) e os Problemas de Rotas de Veículos (PRV). No entanto Webb (1968) e Salhi e Rand (1989) demonstram que existem vantagens em olhar para estes problemas de uma forma integrada. Salhi *et al.* (1989) chegam mesmo a demonstrar que por vezes a pior solução de localização do(s) Centro(s) de Acção permite obter a melhor solução após a obtenção das rotas. O contributo destes autores fez realçar a necessidade e importância de se realizar o estudo dos problemas de localização-distribuição como uma diferente classe de problemas.

Como já foi referido anteriormente, os PLD têm como objectivo determinar a localização dos CA ao mesmo tempo que se definem os percursos (tanto de ida como volta), entre os CA e os Clientes, para os diversos níveis da cadeia de fornecimento. Se esses percursos forem directos, CA – Cliente – CA, tratam-se de Problemas de Localização-Afectação (PLA). Se a localização dos CA é fixa (definida à partida), o PLD transforma-se num Problema de Rotas de Veículos (PRV).

Uma vez que se tornam evidentes as vantagens do estudo deste novo tipo de problemas, convém agora proceder à classificação e ordenação dos mesmos, sendo que, para esta classificação, apenas serão contemplados PLD com representação no plano. Ou seja, cada cliente ou CA pode ser identificado pelas suas coordenadas num referencial cartesiano bidimensional.

Desde o momento em que são pensados até ao do desenvolvimento e implementação dos resultados, os PLD seguem um caminho no qual são ultrapassadas várias etapas. A Figura 2.6 destaca as principais etapas deste processo: recolha de dados, formulação matemática, resolução e interpretação de resultados. Uma vez que todos os PLD têm necessariamente que seguir este processo, não é neste ponto que reside a diferença entre eles. Existirá um ou vários factores que, acrescentado(s) em determinado momento a estas etapas de desenvolvimento, conduz a um PLD específico.

Após a recolha de dados necessários à construção do PLD, não é possível passar à formulação matemática sem recorrer ao que se designa por características intrínsecas do problema, isto é, a sua natureza, as restrições impostas e os objectivos a alcançar. São estas características que permitem a transformação de um conjunto de dados ou elementos numa formulação matemática que representa por si só um determinado PLD. Entre estas características intrínsecas estão a

percepção da sua natureza, dos seus objectivos e das restrições que condicionam a obtenção dos objectivos.

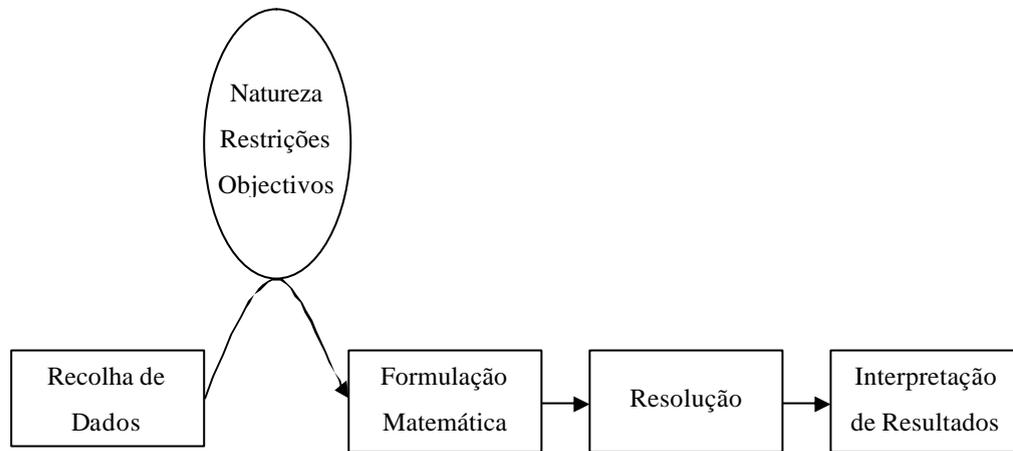


Figura 2.6: Processo de desenvolvimento de um PLD
(adaptado de Barreto, 2004, p. 75).

Estas características nada têm a ver com a metodologia de tratamento do PLD. As características intrínsecas estão sempre presentes e dependem unicamente do PLD em estudo. É com base nestas características que Barreto (2004) procede à classificação dos PLD.

O autor afirma também que os condicionalismos que antecedem o momento em que se recorre às características intrínsecas do problema, não podem, nem devem servir de suporte à caracterização de um PLD. Entre esses condicionalismos encontram-se: a fonte geradora dos dados; a forma de os obter (teóricos, reais, aleatórios ou empíricos) e as questões subsequentes, tais como a formulação matemática (linear, não linear, inteira, binária ou mista); a resolução com recurso aos mais variados processos (exactos ou heurísticos) e a interpretação de resultados. Segundo o autor, este tipo de informação, quanto muito, completa o enquadramento e a percepção do problema estudado, não fundamentando, no entanto, a sua classificação.

Com base nestes pressupostos, Barreto procede a uma classificação dos diferentes PLD, com base nas referidas características intrínsecas, classificando-os quanto à sua natureza, restrições e funções objectivo.

Por sua vez, Sambola (2003) faz uma pequena revisão dos vários estudos, classificando os diferentes PLD em três conjuntos de problemas:

- ? Problemas de Afectação (PA);

- ? Problemas de Localização (PL);
- ? Problemas de Rotas de Veículos (PRV).

Dentro desta classificação a autora separa também os problemas consoante a natureza dos dados: modelos de programação estocásticos e modelos de programação determinísticos, chamando também a atenção para o reduzido número de trabalhos baseados em modelos estocásticos, em contraposição com os determinísticos.

Por forma a classificar os diferentes PLD vai ser usada como referência a classificação usada por Barreto (2004).

2.3.1 – Classificação quanto à natureza

No que diz respeito às características intrínsecas do PLD, logo na recolha de dados surgem diferenças entre os diversos tipos de problemas. Se os dados de origem não são determinísticos ou não são conhecidos com rigor *a priori*, recorre-se a processos probabilísticos, por forma a obterem-se estimativas. Relativamente à recolha de dados pode-se então classificar os problemas em **PLD estocásticos** (um exemplo para um PLD estocástico encontra-se em Harrison, 1979) ou **PLD determinísticos**.

Outra característica de distinção entre os PLD tem a ver com o horizonte temporal a que eles se reportam. Uma vez que os PLD tratam tanto de decisões de localização, tipicamente de longo prazo, como de decisões de distribuição, normalmente de curto prazo, o horizonte temporal dos PLD pode variar. Quando ambas as decisões dizem respeito ao mesmo espaço temporal designam-se por **PLD estáticos**. Quando são considerados vários períodos de tempo, com alterações dos diversos dados do problema de um período para o outro, designam-se por **PLD dinâmicos** (Laporte e Dejax, 1989, fazem uma análise dos PLD dinâmicos, apresentando uma rede especialmente construída para incluir as particularidades deste tipo de problemas, assim como dois algoritmos para a sua resolução).

No que diz respeito à localização, podemos separar os PLD em dois tipos de problemas. Se o CA pode ser localizado em qualquer ponto designa-se por **PLD contínuo ou no plano**. Se a localização do CA está restrita a um conjunto de potenciais localizações, então o problema é designado de **PLD discreto**.

Quanto ao tipo de rota, se o sistema de localização-distribuição pode ser representado por um grafo (no caso de um sistema com 2 níveis o grafo indica os potenciais CA, clientes e possíveis ligações entre eles) então o problema designa-se por **PLD em rede**.

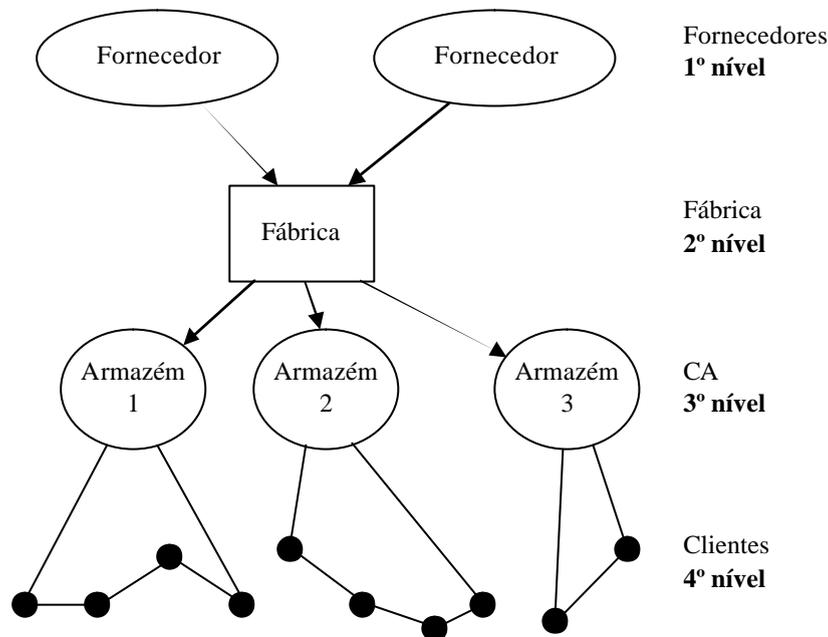


Figura 2.7: Sistema de Localização-Distribuição com 4 níveis.

Outra forma de classificar os PLD é através da sua estrutura. Se um PLD tem 2 níveis de distribuição (CA e clientes) designa-se por **PLD com dois níveis**. Se o PLD para além destes níveis tiver outros, como se vê na Figura 2.7 (PLD com quatro níveis), a classificação é feita consoante o número de níveis até termos os **PLD multi-nível**. É também possível ter um PLD com apenas um nível, no caso de os CA estarem localizados nos próprios clientes.

Barreto (2004) considera esta classificação algo vaga e opta por separar também consoante o tipo de distribuição.

Se as rotas partem dos CA, visitam os clientes e regressam ao mesmo CA, ou se partem dos CA, visitam um único cliente e regressam ao mesmo CA são designados por **PLD com rotas**.

Se são caminhos que partem dos CA, visitam os clientes mas não regressam ao CA (ou regressam a outro CA), ou se são caminhos entre um cliente e um CA (ou vice-versa), designam-se por **PLD com caminhos**.

Existem também problemas em que os clientes não são os nodos do sistema mas sim os seus arcos. Alguns destes problemas podem-se encontrar em áreas ligadas à distribuição de correio,

recolha de lixo, etc. Estes problemas designam-se por **PLD orientados para arcos** (Ghiani e Laporte, 2001, fazem um levantamento da investigação deste tipo de problemas, enumerando as áreas em que a sua aplicação é mais frequente).

Quando existe uma oferta e uma procura associada a cada cliente, obrigando os veículos a efectuar cargas e descargas em cada ponto de paragem, o problema é chamado de **PLD de muitos-para-muitos**. Nagy e Salhi (1998) apresentam um estudo de um PLD com dois níveis em que todos os clientes recebem e enviam encomendas a outros clientes, atribuindo a esse problema a referida designação (PLD de muitos-para-muitos).

2.3.2 – Classificação quanto às restrições

Quando se modeliza a situação através do PLD, desde logo se verifica que o problema vai estar condicionado pelas encomendas dos clientes. Para que o problema tenha solução admissível, é necessário que os veículos tenham uma capacidade mínima capaz de satisfazer a procura dos clientes. Foi com base nestas premissas que nasceram os **PLD com capacidade**. No entanto, nem sempre a existência de encomendas por parte dos clientes é sinónimo de que nos encontramos perante um PLD com capacidade. Em certos casos, esses dados servem apenas como critério de ponderação dos percursos, não levando a que haja restrições de capacidade nos veículos. Nambiar, Gelders e Van Wassenhove (1981) apresentam um trabalho com recurso a múltiplos CA e veículos com capacidade.

Relativamente ao número de veículos, Barreto (2004) deixa em aberto essa opção, considerando que na maior parte dos problemas o custo dos veículos (fixo e variável) ou a sua capacidade limitada, acabam por limitar o número de veículos. O autor considera também que não é necessário estabelecer um limite à distância a percorrer pelos veículos visto que, esta será condicionada pela capacidade limitada dos veículos, pelas encomendas dos clientes ou pela função objectivo que, em grande parte dos casos, já minimiza a distância ou um custo associado à distância.

Pelo mesmo motivo não se torna necessário estabelecer à partida o número de CA, dado que o custo de instalação do CA, a sua capacidade e a satisfação das encomendas dos clientes vai delimitar o número de CA para que a solução seja admissível.

Pode ainda haver problemas cuja satisfação das encomendas dos clientes é feita ao longo do tempo, dando origem aos **PLD com janelas de tempo**. Se a amplitude da janela de tempo for nula, o serviço é realizado num dado instante. Se essa amplitude for positiva, existe um determinado

espaço de tempo para realizar o serviço. Caso não exista janela de tempo, o tempo necessário para a satisfação das encomendas é infinito. Sambola (2003) faz referência à adição destas restrições classificando-as como “*duration or time-windows constrains*”.

2.3.3 – Classificação quanto às funções objectivo

A maioria dos PLD tem como objectivo minimizar os custos associados à localização dos CA e aos percursos de distribuição, atribuindo-se pesos ponderados a cada um deles, por forma a se obter uma função objectivo única. Esses problemas são classificados de **PLD mono-objectivo ou monocritério**.

	?	?Determinísticos
	?Recolha de dados	?Estocásticos
	?	
	?Horizonte Temporal	?Estáticos
	?	?Dinâmicos
	?	
	?Localização	?Contínuo
Natureza	?	?Discreto
	?	
	?Tipo de Rota	?Com Rotas
	?	?Com Caminhos
	?	
	?Estrutura - Número de Níveis	
	?	
	?Oferta / Procura	?Orientados para Arcos
	?	?De muitos - para - muitos
	?	
	?Com Capacidade	
Restrições	?	
	?Com Janelas de Tempo	
	?	
	?Monocritério	
Funções Objectivo	?	
	?Multicritério	

Figura 2.8: Classificação dos PLD consoante as suas características principais.

Existem no entanto problemas em que ambos os objectivos não são integráveis, como é o caso de problemas relacionados com a localização e distribuição de equipamentos obnóxios

(estações de tratamento de resíduos perigosos, incineradoras, aterros sanitários, etc.). Estes tipos de problemas são classificados de **PLD multi-objectivo ou multicritério**. Ferreira (1997) apresenta um estudo detalhado da localização e distribuição multicritério de equipamentos com impactos ambientais, apresentando propostas de novos modelos multicritério.

A Figura 2.8 resume as características principais dos PLD, agrupando-as consoante a sua estrutura (natureza, restrições e função objectivo).

2.3.4 – Classificação quanto a outras características

Muitas das vezes os PLD nascem de uma necessidade de formulação, ou têm por base um problema real. Por esse motivo cada PLD acaba por adquirir um conjunto de características próprias. Olhando para a literatura, existe um conjunto de características adquiridas pelos PLD que importa referir.

Laporte, Norbert e Pelletier (1983) falam de um problema em que os clientes podem ser visitados mais do que uma vez.

Outra característica que importa referir é a de distribuição de múltiplos produtos, apresentada por Bookbinder e Reece (1988).

Wu, Low e Bai (2002) apresentam um PLD em que são contemplados veículos de diferentes dimensões.

No entanto, estas características são apresentadas com um carácter muito próprio e esporádico, daí que Barreto (2004) tenha considerado que não constituem por si só uma base sólida sobre a qual se desenvolvam classes de PLD. Estas características devem acompanhar a definição dos problemas, mas não ocupam, para já, espaço próprio na classificação.

Quando se pretende definir um PLD nem todas as características referidas anteriormente são necessárias. Entre essas características existem algumas que são essenciais à criação do PLD como o facto de ser contínuo ou discreto, o número de níveis, o tipo de rota ou caminho e a existência de capacidade limitada.

Para além dessas características básicas existem outras que, quando não referidas, se assumem por omissão. Por exemplo, quando não é dito nada em contrário, um PLD considera-se sempre determinístico, mono-objectivo e estático. Se o problema é estocástico, multi-objectivo ou dinâmico, essa característica deve ser expressa na designação do problema.

Existe ainda um outro grupo de características, tais como a existência de janelas de tempo, orientação para arcos ou de muitos-para-muitos que só são referidas na caracterização do problema caso se verifiquem, caso contrário considera-se a sua inexistência.

Tabela 2.3: Características explícitas e implícitas dos PLD
(adaptado de Barreto, 2004, p. 80).

Características		Diversos tipos de PLD						
		A	B	C	D	E	F	G
Devem acompanhar a definição	Contínuo/Discreto							
	Número de níveis							
	Rotas/Caminhos							
Assumidas quando ausentes	Determinístico/Estocástico	Det.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.	Est.
	Mono/Multi objectivo	Mon.	Mon.	Mul.	Mul.	Mul.	Mul.	Mul.
	Estático/Dinâmico	Est.	Est.	Est.	Din.	Din.	Din.	Din.
Não consideradas quanto ausentes	Capacidade							
	Janelas de tempo							
	Orientados para arcos							
	Muitos-para-muitos							

A Tabela 2.3 ilustra vários tipos de PLD (A,...,G). Para cada coluna, as células escuras indicam que a respectiva característica está presente no problema. As células em branco com texto sobreposto indicam as características implícitas do problema caso não sejam referidas enquanto que as células em branco indicam características ausentes. Por exemplo, um PLD do tipo A, por definição, terá as seguintes características: contínuo ou discreto, n níveis e rotas ou caminhos. O mesmo PLD assume também implicitamente as seguintes características: determinístico, mono-objectivo e estático. O PLD do tipo A não possui características como capacidade limitada, janelas de tempo, orientação para arcos ou de muitos-para-muitos.

2.4 – Problemas de localização – distribuição com capacidade

As formulações clássicas para o PLD são apresentadas como modelos de Programação Linear Inteira (ou binária). Estas formulações apresentam modelos compostos por uma função objectivo restringida por um conjunto de restrições. Todas as funções são lineares e as variáveis são inteiras ou binárias.

O primeiro modelo matemático que integra simultaneamente decisões relativas à localização e à distribuição, através de rotas que visitam mais do que um cliente, deve-se a Or (1976). Este modelo surge na sequência de um estudo sobre a localização de bancos de sangue na área

metropolitana de Chicago. Nesse estudo a função objectivo é composta pela soma dos custos de distribuição periódica com os custos de distribuição de emergência e os custos de sistema (localização).

Nambiar *et al.* (1981) constroem uma função de custo que integra os custos de distribuição, os custos das horas extraordinárias e os custos fixos por cada CA e veículo. Relativamente à forma como os autores obtiveram os custos de localização e a sua ordem de grandeza não é feita qualquer referência. No entanto, os autores apontam para um pressuposto que é: "*...só é instalado um novo CA se a poupança na distribuição o compensar*". Com esta afirmação os autores tentam transmitir uma forte interligação existente entre a localização e a distribuição, chamando a atenção para o compromisso que deve existir entre os dois tipos de custos.

Perl (1983) usa uma função composta por custos de distribuição e custos de localização, fixos e variáveis, sendo os custos de localização traduzidos pela distância euclidiana. Neste estudo não é dada qualquer explicação sobre a forma como são obtidos os custos de localização nos problemas teóricos. No que diz respeito à aplicação prática, os custos fixos dos CA correspondem aos custos por semana estimados a partir de CA existentes. Relativamente aos custos variáveis, estes são calculados com base no custo de manuseamento por unidade de carga.

Tuzun e Burke (1999) definem uma função de custo semelhante à apresentada por Perl, optando por atribuir um custo fixo aos CA de apenas uma unidade. Desta forma os autores tentam forçar a instalação de mais CA e uma melhor distribuição das rotas. Com esta alteração o modelo fica com liberdade para escolher o melhor CA para cada rota, sem ser condicionado por custos de localização elevados.

Berger (1997) apresenta uma função objectivo que conjuga custos de distribuição e de localização com uma enorme diferença de grandeza. Neste estudo o custo de cada serviço representa entre 50 e 75 % do custo total de distribuição. Por forma a evitar que apenas seja instalado um único CA é aconselhada a indicação de um limite à capacidade dos serviços.

Nagy e Salhi (1996b) também recorrem a uma função de custo simples integrando custos de distribuição e de localização. No entanto, os autores nada acrescentam sobre a quantificação dos custos de localização.

Como se pode observar, todos os autores referidos usam funções de custo em que é feita a interligação entre custos de distribuição e de localização. Os custos de distribuição unitários são determinados com base na distância euclidiana, enquanto que os custos de localização surgem de uma análise do problema em estudo ou então são gerados, nalguns casos, aleatoriamente, sem ser feito grande esforço na justificação dos valores usados. Em nenhum dos estudos referenciados é no

entanto estudada a relação entre estes dois tipos de custos, nem a influência que cada um possa ter na obtenção da solução final.

Tendo por base esta lacuna, Barreto (2004) propõe uma formulação matemática para o que considera ser um PLD simples. No entanto, ao aplicar a formulação proposta a casos práticos, o autor realça que “a ausência de restrições que limitem a dimensão das rotas, conjugada com o facto de o custo de transporte ser proporcional à distância, conduz inevitavelmente à construção de uma única rota”. Para ultrapassar este problema o autor propõe várias alternativas, considerando que a aquela que consegue ser mais geral é a de acrescentar medidas que limitem a capacidade, com vista a limitar o tamanho das rotas.

Com base nestes pressupostos Barreto apresenta uma proposta de um PLD com Capacidade (PLDC) com o objectivo de “alcançar a definição de um PLD que integre as bases essenciais à sua aplicação aos casos reais”.

Barreto define da seguinte forma o PLDC:

“Considere-se um conjunto de clientes e um conjunto de potenciais CA representados por pontos no plano.

A cada cliente corresponde uma encomenda, em unidades de carga.

Os veículos (rotas) e os potenciais CA admitem capacidade limitada, em unidades de carga.

Pretende-se:

- ? determinar quais os CA que são efectivamente instalados;*
- ? desenhar as rotas a partir dos CA instalados pelos clientes;*
- ? minimizar o custo total (de localização e distribuição).”*

Após a definição dos PLDC e de uma pequena introdução aos estudos realizados nesta temática, será feita, na secção que se segue, a caracterização deste tipo de problemas.

2.4.1 – Características dos problemas de localização – distribuição com capacidade

À semelhança do PLD simples também a função objectivo dos PLDC é constituída por dois tipos de custos: os custos de localização dos CA e os custos de distribuição. Devido à natureza distinta destes tipos de custos, em que um se reporta ao curto prazo (distribuição) e o outro ao longo prazo (localização), tem sido difícil realizar um estudo aprofundado às implicações de cada um deles na solução final.

Apesar dessa dificuldade, têm surgido algumas propostas sobre a quantificação destes custos, feitas, na sua grande maioria, de uma forma separada. De seguida vai ser apresentada uma pequena revisão bibliográfica de alguns desses estudos, começando pelos custos de localização.

Os custos de localização, como já foi referido anteriormente, referem-se ao longo prazo, sendo muito difíceis de alterar após a instalação de um CA. Esta decisão depende pois de muitos factores dificilmente mensuráveis, sendo que, muitas vezes, o peso que se atribui a esses factores é baseado apenas na vontade do decisor.

Por esse motivo e pela quase inexistência de estudos tornados públicos, torna-se muito difícil averiguar com algum fundamento os custos de localização dos CA a nível de país, região ou sector de actividade. Estes custos são muitas vezes obtidos através do histórico das empresas ou das opiniões dos gestores, permitindo desta forma obter um valor mais próximo do custo real de instalação do CA.

No que diz respeito aos custos de distribuição já se encontram alguns estudos relevantes:

Neuschel (1967) baseia-se em dados relativos à gestão da distribuição, em 26 grandes companhias, para afirmar que na indústria de extracção de metais e petróleo os custos de distribuição situavam-se em 25%, enquanto que na indústria alimentar ascendiam a 30%. O autor refere ainda que estes são custos enormes comparados com o quase inexistente investimento na melhoria dos sistemas de distribuição. Neuschel realça ainda a importância dos custos de transporte nos sistemas de distribuição e relativiza os diversos tipos de custos.

Nambiar *et al.* (1981) afirmam que os custos de distribuição contribuem entre 20 a 30% para os custos totais do sistema de Localização-Distribuição. Os autores baseiam estes dados num problema relacionado com a indústria de borracha na Malásia.

Por sua vez, Srivastava (1993) refere estudos que indicam que, nos Estados Unidos, os custos de distribuição, no final da década de 80, representam mais de 7,5% das vendas e que continuam a aumentar a um ritmo de 12% entre 1980 e 1988. O autor refere ainda que os custos de transporte e armazenamento contribuíam em 60% para o total dos custos logísticos, apresentando de seguida alguns valores que traduzem a razão entre os custos de localização e de distribuição em vários sectores de actividade.

Segundo Srivastava *et al.* (1990), os custos totais de transporte e armazenagem chegam a atingir 20% do Produto Interno Bruto dos Estados Unidos, logo uma pequena melhoria no uso e racionalização desses sistemas logísticos levaria a uma enorme poupança.

Na década de 90, Thomas (1997) apresenta um estudo semelhante, afirmando que os custos logísticos totais (armazenamento e transporte) americanos diminuiram de 13% do GDP (*Gross*

Domestic Product) em 1985 para 10,5% em 1993. O autor fundamenta esta redução, em grande parte, com o rigoroso controlo de inventário ao longo das cadeias de distribuição. No entanto, desde 1993 que este custo se tem mantido inalterado. Por este motivo Thomas considera que são necessárias ferramentas mais eficazes, que analisem de forma integrada os custos de inventário e de distribuição.

Relativamente à relação entre estas duas áreas, localização e distribuição, o número de estudos dos respectivos custos também tem sido algo escasso. De entre esses estudos destacam-se os seguintes.

Harrison (1979) apresentou um estudo relacionado com um PLD numa empresa farmacêutica Irlandesa. Neste estudo o autor indica custos médios de localização de 1,591 libras por unidade de carga e custos médios de distribuição de 0,147 libras por milha.

Perl (1983) também apresentou dados sobre um PLD real com 318 clientes e 4 potenciais CA. Neste caso, relacionado com uma companhia de distribuição americana. Considera-se que os CA instalados são plenamente utilizados, permitindo desta forma a contabilização conjunta de custos fixos e variáveis. Os valores obtidos para os custos de localização e de distribuição são de 43% e 57% respectivamente.

Só mais tarde, é que surgiram os primeiros resultados baseados em testes computacionais. Srivastava *et al.* (1990) afirmam que a relação entre os custos de distribuição e de localização na indústria americana é de 200 para 125 (62% para a distribuição e 38% para a localização). Nestes estudos os autores mostram que a razão entre custos de localização e de distribuição pode variar entre 0,26 e 1,56, avançando ainda que baixos custos de localização e altos custos de distribuição poderão dar origem a um número elevado de CA, enquanto que será de instalar um número reduzido de CA quando o seu custo de localização é superior ao da distribuição.

Um dos poucos estudos específicos desta temática foi apresentado por Serra (2003). Este estudo é uma investigação sobre a relação entre os custos da logística no caso da distribuição industrial na Europa. Segundo o autor, os custos de distribuição e localização, representam 57% do total, dos quais 43% são dos custos de localização e 57% dos custos de distribuição. Estes valores são idênticos aos obtidos por Perl no seu exemplo prático referido anteriormente. Neste caso os custos de localização estão muito abaixo do que é comum observar.

Daskin (1995), por sua vez, apresenta um estudo em que relaciona os custos de localização com os custos de distribuição e o número de CA instalados. Nesse estudo o autor parte de uma instância do PLD composta por 49 cidades americanas fazendo variar os custos de distribuição e avaliando o número de CA instalados. A Tabela 2.4 foi adaptada a partir dos custos por milha

indicados por Daskin, considerando uma distância média entre cidades de 1302 milhas (uma unidade de distância corresponde a 66,45 milhas) e uma encomenda média por cliente (cidade) de 509552.

Como se pode ver ao observar a Tabela 2.4, o número de CA varia com a alteração da relação entre os custos de localização e os custos de distribuição.

Tabela 2.4: Variação do número de CA consoante os custos de distribuição
(adaptado de Daskin, 1995).

Custos de Localização	Custos de Distribuição	Nº de CA Instalados
500 000	6 634	1
500 000	66 344	3
500 000	663 437	10
500 000	6 634 367	38
500 000	66 343 670	72

Como se pode ver por este conjunto de estudos, existe uma relação algo equilibrada entre os custos de localização e de distribuição. Por esse motivo tem todo o sentido a realização de estudos que olhem para ambas as vertentes de uma forma integrada.

2.5 – Síntese

As actividades logísticas relacionadas com localização-distribuição assumem cada vez mais uma importância decisiva. A procura da satisfação total dos clientes, da qualidade total das empresas e produtos e as grandes alterações nos mercados colocam permanentemente como tópico central a integração de uma correcta política de localização e distribuição. No entanto, nem só as empresas se deparam com este tipo de problemas; cada vez mais os países, regiões e municípios, esgrimem os seus argumentos no que toca à localização e distribuição, tentando captar para a sua área de influência o investimento em termos de localização de centros de distribuição.

Conscientes de que muitas das decisões sobre a localização só podem ser tomadas após uma cuidadosa análise dos processos de distribuição, os organismos promocionais relacionam quase sempre estas duas variáveis. Neste capítulo realça-se o carácter de interligação entre as áreas de localização e distribuição, integrando-as no capítulo mais vasto da logística. Surge, desta forma, uma nova classe de problemas integrados designados por Problemas de Localização-Distribuição com um objectivo único e definição própria. Paralelamente, apoiando-se no estudo teórico, têm sido dados passos concretos no sentido de encontrar formulações matemáticas que permitam

modelar os problemas reais sem os desvirtuar e, ao mesmo tempo, sem tornar demasiado penosa a sua resolução.

**CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE CRIAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À
DECISÃO**

Capítulo 3 – Metodologia de criação do sistema de apoio à decisão na localização-distribuição

3.1 – Considerações gerais

3.2 – Apoio à decisão na localização – distribuição

3.2.1 – Sistemas de apoio à decisão

3.2.2 – O processo da tomada de decisão

3.2.3 – Conceito de sistema de apoio à decisão

3.2.4 – Problemas de decisão e apoio à decisão

3.2.5 – Interação humano – computador

3.3 – Metodologia para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão

3.3.1 – Análise de requisitos

3.3.2 – Modelação do problema

3.3.3 – Implementação

3.3.4 – Teste do sistema

3.4 – Síntese

CAPITULO 3 – METODOLOGIA DE CRIAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

3.1 – Considerações gerais

Neste capítulo da dissertação irá ser apresentada uma abordagem, a estudos de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), por forma a fazer um enquadramento dos SAD nos problemas de localização-distribuição. Inicialmente irá ser feito um levantamento da evolução histórica dos SAD para, posteriormente, ser feita uma referência ao processo de tomada de decisão que, tipicamente, se deve adoptar.

De seguida, será explanada a metodologia adoptada para a criação do Sistema de Apoio à Decisão (SAD). A metodologia para a criação do SAD teve por base uma aproximação iterativa, desenvolvida para problemas de localização-distribuição com capacidade, com o objectivo fundamental de ser intuitiva e de não ser demasiado exigente no que respeita à informação solicitada ao utilizador.

De facto, o cálculo dos problemas de localização-distribuição é um processo complexo, podendo conduzir a estudos que exigem um esforço excessivo para a aplicação em vista. É neste contexto que se propõe a utilização do SAD, cujo objectivo é suportar a decisão nos problemas considerados nesta dissertação, com a convicção de que a utilização de ferramentas desta natureza pode facilitar a produção de estudos, por parte do utilizador, que, de outro modo, muito provavelmente não seriam realizados.

Outro dos objectivos deste sistema de apoio à decisão é permitir uma interface intuitiva e ao mesmo tempo completa, por forma a que um utilizador, sem que tenha de despende grande tempo, possa facilmente aprender a trabalhar (ou usar numa base frequente) com o sistema.

Inicialmente será feito um breve resumo das várias fases percorridas para definir a metodologia usada na criação do SAD, para depois serem explanadas com maior profundidade cada uma dessas fases. Essa descrição será feita nos sub capítulos 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 e 3.3.4 em que será feita uma caracterização mais detalhada destas fases assim como a justificação da escolha das metodologias adoptadas.

3.2 – Apoio à decisão na localização – distribuição

Do ponto de vista de um sistema de apoio à decisão existem um sem número de factores cuja influência ou peso não são facilmente mensuráveis, daí que o SAD (Sistema de Apoio à Decisão) deverá propor não uma mas várias soluções possíveis, dando a indicação dos custos associados a cada decisão. O decisor deverá depois, com base nos dados fornecidos, tomar uma decisão, tendo em conta os factores que ele considera mais interessantes ou relevantes para o equipamento que pretende localizar e para a distribuição que pretende satisfazer.

É neste contexto que se propõe a utilização de Sistemas de Apoio à Decisão com o objectivo de suportar a decisão nos problemas considerados nesta dissertação, com a convicção de que a utilização de ferramentas desta natureza pode tornar de fácil uso a produção e conclusão deste tipo de estudos.

Se até há poucas décadas a logística fazia parte das preocupações apenas das grandes multinacionais, actualmente, mesmo as pequenas empresas usam, quase diariamente, algumas das boas práticas da logística. É uma aplicação, umas vezes empírica, outras apoiada por uma sistematização dos procedimentos logísticos mais aconselháveis, mas, em geral, não é suficientemente sustentada por métodos científicos.

Encontrar um desejado compromisso entre mercado e produção é o grande objectivo da maioria das empresas, ainda que algumas o procurem alcançar de forma pouco consciente. Este objectivo, aparentemente simples, revela-se quase sempre difícil de alcançar. Um produto não pode somente satisfazer os objectivos de mercado descurando a produção. Por outro lado, decisões que consideram exclusivamente a produção podem ter custos incontroláveis de distribuição. É necessário responder a estas questões com equilíbrio e em tempo útil, ao mesmo tempo que se mantém altos níveis de produtividade, baixos custos e se integram e optimizam todos os factores que podem contribuir para o sucesso da empresa ou instituição. É uma tarefa abrangente, complexa, que cada vez mais é suportada por métodos científicos de apoio à decisão.

Neste sentido, o papel dos modelos de sistemas logísticos é apoiar os decisores na escolha do sistema que permita a melhor combinação custo/serviço, de entre todas as configurações alternativas possíveis. A grande complexidade dos sistemas logísticos tem contribuído para um grande esforço de modelação. O grande número de variáveis em jogo, muitas vezes com inter-relações complexas entre as várias componentes do sistema sugere que uma aproximação teórica do sistema é talvez a via mais lógica para o desenvolvimento de um modelo logístico (House e Karrenbauer, 1982).

As principais metodologias que têm sido empregues no desenvolvimento de modelos em grande escala são a simulação e a optimização (House *et al.*, 1982). Os sistemas de simulação são habitualmente muito detalhados, muito caros, consomem muito tempo computacional e obrigam os utilizadores a especificar o sistema, em vez de informar o decisor de qual o sistema mais apropriado. Neste sentido, têm a capacidade de informar o decisor sobre o comportamento de um determinado sistema, mas não permitem a sua optimização. Por outro lado, os modelos de optimização permitem, a partir de um conjunto de dados e restrições, determinar optimamente as variáveis em estudo. Devido à sua inaptidão para incorporar a dinâmica das acções logísticas, os modelos de optimização sacrificam algum realismo. House *et al.* (1982) vaticinam uma forte interligação entre os dois sistemas de modelação aproveitando as vantagens inerentes a cada um deles.

Esta funcionalidade caracteriza-se pelo uso de aplicações informáticas para apoiar actividades operacionais, táticas e estratégicas que possuem elevado grau de complexidade. Sem o uso de tais ferramentas, muitas decisões são tomadas baseadas apenas no *feeling*, o que em muitos casos aponta para um resultado distante do óptimo. Por outro lado, se elas forem usadas, existe a possibilidade de se efectuar uma melhoria significativa na eficiência das operações logísticas, permitindo, além do incremento do nível de serviço, reduções de custos que venham a justificar os investimentos realizados.

Existem diferenças entre as aplicações de ferramentas de apoio à decisão. Algumas são operacionais, pois estão voltadas para operações mais rotineiras, tais como: programação e definição de rotas de veículos, gestão de *stocks*, etc. Por outro lado, existem ferramentas que actuam no âmbito das decisões táticas e estratégicas, tais como: localização de instalações, análise da rentabilidade de clientes, etc. A aplicação destas ferramentas vai depender principalmente da complexidade existente nas actividades logísticas e do seu custo/benefício.

Ferramentas que tendem a ser mais operacionais, devem estar inteiramente conectadas com o sistema da empresa, de tal forma que os *inputs* sejam informações actualizadas e no formato adequado. Em geral, as empresas que não possuem um sistema integrado enfrentam problemas na implementação destas ferramentas no que diz respeito à conectividade com o sistema utilizado.

Em ambos os tipos de ferramentas de apoio à decisão, exige-se que o nível de experiência dos utilizadores seja elevado para poder lidar com as dificuldades na implementação e utilização. Caso contrário, existe a necessidade de formação específica, o que ocorre na maioria dos casos.

3.2.1 – Sistemas de apoio à decisão

No final dos anos 60 aparecem os primeiros Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), tendo-se iniciado a introdução na literatura desta temática, progressivamente a partir desta data, coincidindo com o abandono do conceito de Sistemas de Informação para Gestão (SIG/MIS – *Management Information Systems*). Os SIG/MIS eram sistemas de informação totais, que suportavam todas as necessidades de informação da organização, enquanto que os SAD consistem em pequenos sistemas vocacionados para uma decisão específica, a ser tomada por um único decisor.

O aparecimento dos SAD foi, de acordo com Sprague e Watson (1989), resultado de vários factores, de entre os quais se salientam: a evolução tecnológica ao nível do *hardware* e do *software*; os avanços na investigação nas principais universidades; uma crescente preocupação com o apoio ao processo de tomada de decisão; um crescente ambiente económico turbulento e um aumento das pressões competitivas.

Foi no início década de 70 que o termo SAD foi utilizado pela primeira vez, numa comunicação da autoria de Gorry e Scott-Morton (1971), onde se explicava este conceito como operando sobre domínios semi-estruturados, em que os humanos (e não os sistemas) tomavam as decisões. Ainda segundo estes autores, o sistema interagia com o decisor no que respeitava aos aspectos estruturáveis do problema.

Durante os anos que se seguiram, o desenvolvimento deste tipo de sistemas tornou-se muito popular e os conhecimentos e a experiência no desenvolvimento deste tipo de sistemas evoluiu significativamente, culminado com a primeira publicação específica sobre SAD por Keen e Scott-Morton (1978).

Um dos modelos mais importantes foi publicado por Keen (1980), que considera os SAD como o resultado de um processo conhecido por desenho adaptativo, em que os elementos-chave são o sistema, o utilizador e a pessoa que constrói o sistema, sendo a compreensão da interacção entre estes três elementos fundamental no processo de desenvolvimento do SAD. Segundo este autor, é através da evolução do sistema (que, de certa forma, representa a compreensão do mesmo por parte dos decisores do problema), que é realmente fornecido o suporte à decisão. Os sistemas desenvolvidos são normalmente de reduzida dimensão e podem ser dispensados assim que se dê resposta ao objectivo específico para o qual foram desenvolvidos.

Sprague e Carlson (1982), desenvolveram a abordagem ROMC (*Representations, Operations, Memory-Aids and Mechanism Control*) para os SAD, que é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de SAD em grande escala e, especialmente, de interfaces para o utilizador. Trata-se de uma abordagem orientada para o utilizador, sendo este quem define os requisitos que o sistema deve incluir. Estes dois autores desenvolveram também uma importante

infra-estrutura para os SAD, conhecida como a arquitectura DDM (*Data, Dialog and Models*). Esta arquitectura consiste, basicamente, numa especificação de requisitos que um *software* deverá possuir para desenvolver SAD, ou seja, a capacidade de gestão de dados, diálogos e de modelos.

Em meados dos anos 80, com a adesão maciça à utilização de computadores e a disponibilização de ferramentas de modelação, a natureza dos SAD alterou-se significativamente. A progressiva diminuição dos preços do *hardware* e do *software* permitiu que se criassem as condições para que os gestores tivessem ao seu dispor computadores nos seus postos de trabalho, podendo criar os seus SAD personalizados. Os departamentos de informática passam a ensinar os gestores a criar os seus próprios SAD em vez de os desenvolverem para eles, sendo este tipo de suporte denominado apoio passivo (Keen, 1987). No entanto, apenas sistemas bastante simplificados poderiam ser desenvolvidos deste modo, o que se revelou claramente insuficiente para dar resposta às necessidades crescentes de gestão de informação devido, principalmente, à redução dos níveis organizacionais.

Esta situação levou ao surgimento, no final da década de 80, dos Sistemas de Informação para Executivos (SIE/EIS – *Executive Information Systems*) que, como o próprio nome indica, são sistemas vocacionados para fornecer informação aos gestores de uma organização.

As aplicações SIE disponibilizam as seguintes funções básicas:

- ? apresentam informação interna e externa, de acordo com o modelo de negócio da organização, integrando a informação de várias fontes e efectuando a sua distribuição;
- ? funcionalidades para análise da informação, proporcionando formas de questionar, apresentar e formatar os dados organizados em termos de modelos, permitindo ainda visualizá-los em termos gráficos;
- ? facilidades de acesso aos dados e navegação pela informação através da interface, apresentando os dados na forma textual ou gráfica, permitindo ao utilizador interagir com o sistema através do rato ou do teclado; a agregação e a abstracção são funcionalidades-chave para tornar a informação acessível e utilizável e para alimentar de um modo mais fácil os SIE.

Por outro lado, os SAD, incluindo um especialista participante activo no seu desenvolvimento juntamente com o decisor, entretanto abandonados, voltaram a ser populares.

Ao longo dos últimos anos, a investigação no domínio dos SAD tem-se concentrado mais no desenvolvimento de ferramentas do que propriamente nos métodos.

Actualmente já se começa a encontrar um conjunto vasto de programas a serem comercializados com objectivo de fornecer apoio na decisão de localização e distribuição, aliás

uma rápida consulta na Internet possibilita verificar um vasto mercado em expansão de *software* que tem como objectivo fornecer elementos e propostas (cada vez de consulta e compreensão mais acessíveis) aos decisores destas temáticas logísticas.

3.2.2 – O processo da tomada de decisão

Simon (1960) desenvolveu um modelo descritivo para a tomada de decisão, dividido em 3 fases interactivas e iterativas (Figura 3.1):

- ? **reconhecimento:** consiste na identificação do problema ou de uma oportunidade de mudança;
- ? **desenho**⁶: consiste na verificação e na estruturação das decisões alternativas;
- ? **escolha:** está relacionado com a avaliação e com a escolha da melhor alternativa.

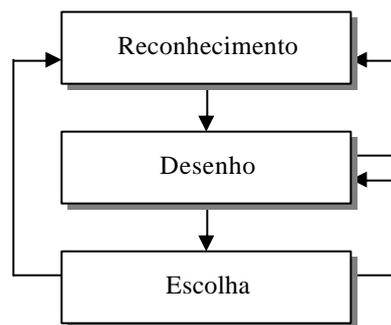


Figura 3.1: Fases do processo de tomada de decisão segundo Simon
(adaptado de Malczewski, 1997).

Simon (1960) defende ainda que os seres humanos são racionais na concepção de um certo número de alternativas escolhendo, seguidamente, a melhor alternativa, e que têm tendência para tomar decisões satisfatórias em detrimento de decisões óptimas. Estas três fases da decisão não têm necessariamente de seguir um caminho linear desde o conhecimento à escolha, passando pela fase de desenho. A qualquer momento do processo de tomada de decisão poderá ser necessário regressar a uma fase anterior. Cada uma das três fases do processo de tomada de decisão exige um tipo de informação diferente.

O mesmo autor introduz o conceito de heurística⁷ como sendo regras que os humanos utilizam para simplificar a tarefa de tomada de decisão. As heurísticas constituem uma ajuda para a tomada de uma decisão satisfatória, rapidamente e com eficiência e estão, frequentemente, associadas ao uso de conhecimento empírico sobre o domínio em causa que, por se basear em experiência, permite encurtar o caminho para a tomada de decisão.

3.2.3 – Conceito de sistema de apoio à decisão

Os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) são sistemas interactivos, baseados em computadores, que têm como objectivo principal ajudar os decisores a utilizar dados e modelos para identificar e resolver problemas, assim como a tomar decisões.

Os SAD ajudam os decisores a utilizar e manipular dados, a aplicar listas de verificação e heurísticas, e a construir e utilizar modelos matemáticos.

Teixeira (2002), caracteriza os SAD considerando que estes constituem um conjunto de meios postos à disposição de quem tem de tomar decisões a qualquer nível da empresa, optimizando os resultados obtidos e melhorando, por sua vez, a qualidade das decisões. A autora considera ainda que as necessidades do SAD podem ser irregulares, sendo desenhadas basicamente para facilitar a obtenção de soluções de problemas, sem ser necessário ter grandes conhecimentos técnicos das ferramentas empregues na obtenção dessa mesma solução. Por esse motivo os SAD são pois vocacionados para o suporte da gestão a um nível estratégico.

Turban e Liebowitz (1990) sugerem que os SAD têm quatro características principais:

- ? Incorporam dados e modelos;
- ? São sistemas desenhados para ajudar os gestores nos seus processos de tomada de decisão, no que se refere a problemas semi-estruturados (ou não estruturados);
- ? Auxiliam, mas não substituem, a avaliações de gestão;
- ? Têm como objectivo melhorar a eficácia das decisões e não a eficiência com que as decisões são tomadas.

O sistema deverá ajudar o decisor a resolver problemas não estruturados, não programáveis (ou semi-estruturados) e deverá possuir um mecanismo de interrogação interactivo que utilize uma linguagem de fácil utilização e aprendizagem (Bonczek, Holsapple e Whinston, 1980).

⁶ Herbert Simon, considerado um dos pais da Inteligência Artificial, utiliza o termo *design* com o significado de projecto. Contudo, é frequente o uso de “desenho” de sistemas de informação com o significado de “projecto” de sistemas de informação.

Eom, Lee, Somarajan e Kim (1997) fazem um levantamento dos vários SAD por áreas de aplicação, onde é possível verificar a ausência de SAD nesta temática específica (PLD).

Os conceitos de problemas semi-estruturados, eficácia e apoio à decisão resumem a essência do conceito de SAD:

Decisão de problemas semi-estruturados

Todos os problemas de decisão recaem sobre um intervalo de variação contínuo (Figura 3.2), entre decisões estruturadas e decisões não estruturadas (Simon, 1960):

- ? As decisões estruturadas ocorrem quando a tomada de decisão pode ser estruturada pelo decisor ou com base em teoria relevante;
- ? As decisões não estruturadas ocorrem quando o decisor se revela incapaz de estruturar o problema, ou o problema não é estruturável com base em teoria relevante.

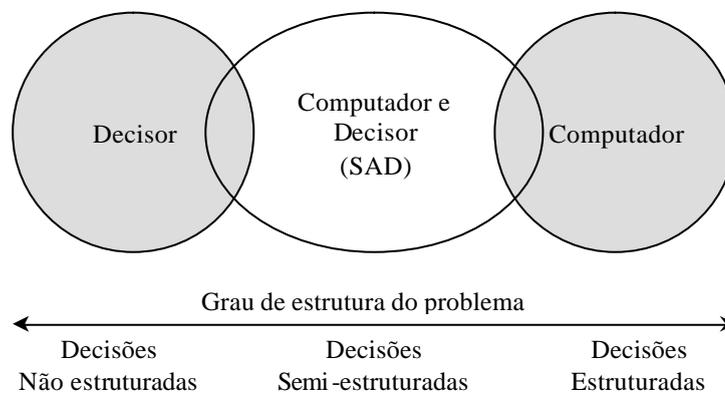


Figura 3.2: Estrutura do grau de problemas de decisão segundo Simon (adaptado de Malczewski, 1997).

As decisões estruturadas são programáveis e podem ser resolvidas por meios computacionais, ao contrário das decisões não estruturadas, que não são programáveis e devem ser resolvidas pelo decisor, com um recurso limitado a computadores.

⁷ A palavra heurística vem da palavra Grega *heuriskein* e significa o acto de descobrir.

Todos os problemas de localização-distribuição se situam algures entre estes dois casos extremos sendo, portanto, chamados problemas semi-estruturados. A parte estruturável (programável) do problema pode ser solucionada automaticamente por um computador, enquanto que a parte não estruturável terá que ser resolvida pelo decisor sozinho, ou em interacção com o sistema.

Eficácia no processo de decisão

O objectivo do sistema é o de melhorar a eficácia, em detrimento da eficiência, do processo de tomada de decisão. A eficácia máxima é atingida quando se conseguem incorporar conhecimentos do decisor e programas baseados em computador, no processo de tomada de decisão. Para ser eficaz, o sistema deverá ser de fácil utilização, de modo a evitar uma separação funcional dos papéis do analista e da pessoa encarregada de tomar a decisão (Goodchild, 1993).

Apoio à decisão

O sistema ajuda o utilizador a explorar o problema de decisão, de um modo interactivo e recursivo, em todas as fases do processo de tomada de decisão. Os SAD, em caso algum, deverão substituir o decisor (ou decisores), apenas deverão fornecer elementos para apoiar e fundamentar a sua decisão.

3.2.4 – Problemas de decisão e apoio à decisão

Um dos aspectos críticos na implementação de um SAD reside na escolha do tipo de sistema que reflecta o grau de complexidade da estrutura do problema. Tendo em conta este objectivo, revela-se de grande utilidade a distinção entre decisões estruturadas e não-estruturadas, incorporando-se nesta classificação quatro elementos respeitantes às actividades de resolução de problemas (Sprague e Watson, 1996):

- ? **dados:** representam o estado do problema que retrata a realidade e é relevante para o problema;
- ? **procedimentos:** representam a sequência de operações utilizadas na resolução do problema;

- ? **objectivos e condicionantes:** representam os resultados desejados da resolução do problema e as limitações impostas pelo espaço de decisão;
- ? **estratégias:** indicam os procedimentos a aplicar para se atingirem os objectivos.

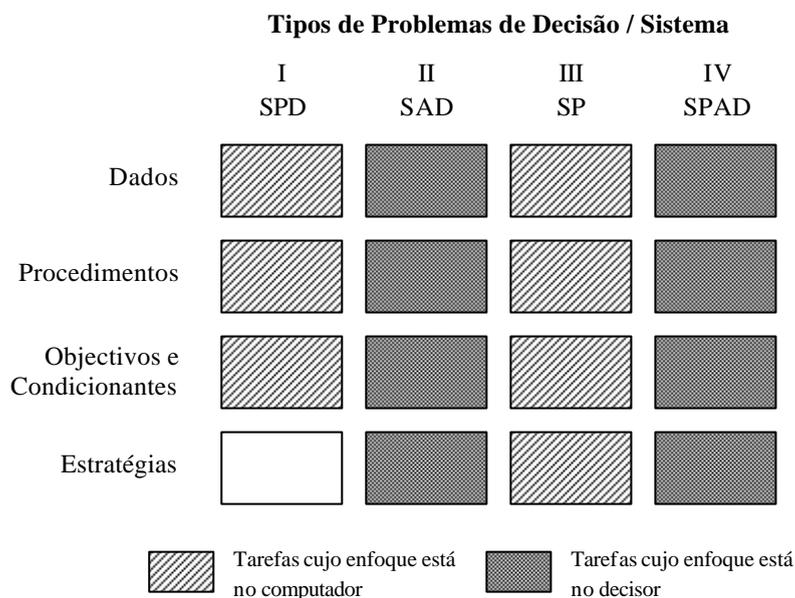


Figura 3.3: Tipos de problemas de decisão e sistemas e actividades de resolução de problemas (adaptado de Sprague et al., 1996).

Dados os elementos de decisão de problemas e a distinção entre problemas estruturados e não-estruturados, podem evidenciar-se quatro tipos de problemas de decisão, com os respectivos tipos de sistemas (Figura 3.3):

- ? **problemas do tipo I:** são problemas totalmente estruturados, uma vez que os quatro elementos se encontram bem definidos; estes podem ser resolvidos por meio de Sistemas de Processamento de Dados (SPD);
- ? **problemas do tipo II:** são problemas semi-estruturados que podem ser resolvidos utilizando SAD;
- ? **problemas do tipo III:** os problemas de decisão enquadram-se nesta categoria se todo o conhecimento relevante puder ser incluído numa base de conhecimentos; os sistemas que resolvem este tipo de problemas designam-se por Sistemas Periciais (SP) ou baseados em conhecimento;
- ? **problemas do tipo IV:** os problemas de decisão enquadram-se nesta categoria se todo o conhecimento relevante não puder ser incluído numa base de conhecimentos;

os sistemas que resolvem este tipo de problemas designam-se por Sistemas Periciais de Apoio à Decisão (SPAD).

3.2.5 – Interação humano – computador

Após o estudo dos SAD e de quais os tipos problemas em que se podem aplicar estes sistemas, assim como o processo de decisão a adoptar, convém agora referir alguns tópicos importantes na interação entre os utilizadores e os computadores. Esta temática é designada de Interação Humano-Computador (IHC).

Carroll (2001) classifica a IHC como o estudo e a prática da usabilidade. Trata-se de perceber e criar *software* e outra tecnologia que as pessoas irão querer usar, ser capazes de usar e ser considerada efectiva quando usada. O autor considera ainda que o conceito de usabilidade e os métodos e ferramentas para a encorajar, atingir e medir são hoje pedras fundamentais na cultura da computação.

Nas últimas duas décadas, a IHC tem emergido como uma área fulcral, tanto para a investigação e desenvolvimento da computação, como para a aplicação das ciências sociais e comportamentais. Algumas das razões para o seu sucesso derivam tanto de questões técnicas como culturais ou mesmo económicas.

Do ponto de vista técnico a IHC evidenciou muitos problemas difíceis e soluções elegantes na história recente da computação, como por exemplo: ajuda e instruções orientadas para as tarefas e melhoramento da interface com o utilizador.

Do ponto de vista cultural, tem a ver com a visão que as pessoas não especialistas têm dos computadores e da tecnologia de informação e do impacto que a tecnologia tem nas suas vidas, na medida em que se trata da parte visível da tecnologia e da ciência da computação.

No entanto, as razões mais recentes têm a ver com aspectos comercial. Na medida em que as funcionalidades de *software* são cada vez mais vastas e acessíveis, o valor dos serviços e produtos de computação reside actualmente na aplicação e na sua interface de utilizador.

Carroll (2001) aponta como o começo da IHC a conferência da *National Bureau of Standards* sobre “*Human Factors in Computer Systems*” em Março de 1982. O autor considera que apesar de haver idênticas conferências e *workshops* por todo o mundo, foi com esta conferência que a IHC experimentou um crescimento meteórico. No entanto, o autor refere ainda quatro (claramente independentes) temas desenvolvidos entre as décadas de 60 e 70 que providenciaram as bases que

permitiram que esta temática interdisciplinar pudesse crescer tão rapidamente no início dos anos 80 do século passado.

Esses quatro temas são: desenvolvimento iterativo e criação de protótipos da engenharia de *software*; psicologia e factores humanos dos sistemas computacionais; *software* de interface de utilizador e ainda modelos, teorias e *frameworks* da ciência cognitiva.

Desenvolvimento iterativo e criação de protótipos – Muitos programadores tipicamente trabalham para uma solução parcial para subconjuntos de requisitos, usando protótipos para gerar novos requisitos e para reformular os objectivos e restrições do problema. Por fornecer técnicas para rapidamente construir, avaliar e alterar soluções parciais, a criação de protótipos tem sido fulcral para o desenvolvimento de *software* interactivo.

Psicologia e factores humanos – Esta temática surgiu com o reconhecimento da programação como uma área da psicologia que envolve a resolução de problemas e a manipulação de símbolos (Weinberg, 1971). Desde logo surgiram um conjunto de questões sobre a forma como as pessoas utilizam e como se comportam quando interagem com computadores. Algumas dessas questões podem desde já ser enumeradas: como é que os programadores especificam e refinam os *query*; qual a vantagem de utilização dos nomes das variáveis como mnemónicas e ainda qual a utilidade de utilização de comentários inseridos no código. (Shneiderman, 1980).

Software de interface de utilizador – No início dos anos 60 a noção de interface de utilizador era completamente inarticulada. O enfoque da programação era essencialmente na computação e não numa apresentação inteligível dos resultados obtidos. Por esse motivo surgiu um crescente interesse nesta temática, com o desenvolvimento de novos ambientes de trabalho, acompanhados pelo avanço da tecnologia que permitia o uso de imagens e a sua incorporação nesses ambientes.

Modelos, teorias e frameworks – No final da década de 70 a ciência cognitiva tinha-se já tornado num projecto multidisciplinar, incluindo a língua, a antropologia, a filosofia, a psicologia e a ciência da computação. Um dos princípios da ciência cognitiva era que uma ciência multidisciplinar efectiva deveria ser capaz de suportar a aplicação a problemas reais e beneficiar dessa aplicação. A visão inicial da IHC como ciência aplicada tinha o objectivo de trazer para o desenvolvimento de *software* métodos e teorias da ciência cognitiva. Tinha-se como pretensão que as teorias da ciência cognitiva pudessem fornecer claras linhas mestras nos primeiros passos do processo de desenvolvimento de *software*. Esta conduta viria dos princípios gerais de percepção,

actividade motora, solução de problemas, linguagem, comunicação, comportamento de grupo, etc. Ainda hoje se continua a expandir o enfoque disciplinar e relevância dos modelos, teorias e *frameworks* da IHC para os que a praticam.

Com o aparecimento da IHC todas estas vertentes se uniram num único e grande tema de estudo. Apesar de ainda existir a preponderância por parte de alguns autores por um ou outro tema, a generalidade dos temas são tratados como um todo, visto que, todas as vertentes são essenciais para o desenvolvimento das aplicações.

3.3 – Metodologia para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão

A metodologia define o caminho padrão a ser percorrido por forma a cumprir cada etapa do desenvolvimento da aplicação. Quando se adopta um método formalmente definido, é necessário adequá-lo à realidade em questão uma vez que, cada situação exige um caminho específico. Por esse motivo, neste caso irá ser seguida uma linha de raciocínio, que não deve ser encarada como a apresentação de um método, mas antes como uma adaptação de um ou mais métodos a uma determinada situação.

A metodologia seguida para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão congrega um conjunto de actividades como se pode ver na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Metodologia de desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.

Fase	Objectivos	Ferramentas
Análise de Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> - Testar a aceitação do sistema por parte dos potenciais utilizadores; - Captar as intenções dos utilizadores (conteúdo informativo e serviços a incluir); - Captar cenários. 	<ul style="list-style-type: none"> - Levantamento de necessidades junto de utilizadores de sistemas semelhantes.
Modelação do Problema	<ul style="list-style-type: none"> - Desenhar a aplicação ao longo das suas diferentes fases de desenvolvimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Metodologia UML - Definição dos <i>Use Cases</i>.
Implementação	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolver a aplicação, utilizando para isso as tecnologias e métodos que melhor solucionam o problema. 	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento do protótipo.
Teste do Sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Teste da aplicação desenvolvida; - Levantamento das necessidades que surgem com a utilização sistemática da aplicação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Recurso a parecer de especialistas e dos futuros utilizadores.

Este conjunto de actividades, apesar da ordenação no tempo, é um processo iterativo, em que se pretende melhorar os resultados obtidos e tornar a utilização do sistema mais intuitiva, ao mesmo tempo em que se introduzem novas funcionalidades.

De seguida vão ser explanados os vários passos seguidos para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.

3.3.1 – Análise de requisitos

A chave para o sucesso ou fracasso de um projecto de *software*, independentemente do tipo, depende fortemente da solução do problema adequadamente identificado, ou seja, da apreensão das necessidades dos utilizadores (identificação do problema) e da posterior confirmação de que as mesmas foram satisfeitas (solução do problema). Quando se desenvolve um sistema, para além de se considerar o meio no qual o sistema se vai inserir, é necessário ter em atenção a necessidade dos potenciais utilizadores sendo, portanto, fundamental que estes participem no seu desenvolvimento.

Com a análise de requisitos, pretende-se captar cenários que, numa fase posterior, ajudarão a definir as tarefas que irão ser suportadas pela aplicação. Portanto, através de um estudo junto dos potenciais utilizadores do sistema em causa, conseguem-se obter informações cruciais relativamente ao tipo de informação e tarefas a incluir. Os principais objectivos de estudo são os seguintes:

- ? **testar a necessidade do sistema por parte dos potenciais utilizadores:** atitude e motivação para a utilização do sistema e para a execução das tarefas que o sistema irá suportar;
- ? **moldar o sistema de acordo com as necessidades dos potenciais utilizadores:** identificar as necessidades de informação e tarefas a serem suportadas pelo sistema de maneira a desenvolver o mesmo, de acordo com os interesses dos utilizadores.

A partir deste estudo foram extraídas as informações necessárias ao projecto do sistema.

Com o objectivo de realizar a análise de requisitos é preciso, antes de mais, definir quais os tipos de requisitos que se pretendem e como irão ser obtidos. Um requisito é definido como uma condição ou capacidade que o sistema deve verificar para que se possa considerar que está em conformidade. Desde logo existem diferentes tipos de requisitos:

- ? **funcionais:** características de funcionalidades e capacidades;
- ? **usabilidade:** factores humanos, estética, consistência de interface, ajuda do sistema, documentação de utilizador e manuais;

- ? **desempenho**: rapidez, eficiência, tempo de resposta e tempo de recuperação;
- ? **suporte**: expansibilidade, adaptabilidade, configuração e instalação.

No que diz respeito aos **requisitos funcionais** e visto que se trata de um sistema para um tipo muito específico de utilizador-alvo não se torna viável a utilização de um questionário para averiguar as necessidades e funcionalidades pretendidas na aplicação. Por este motivo o levantamento dos requisitos funcionais foi elaborado envolvendo os futuros utilizadores e ainda especialistas na área dos problemas de localização-distribuição.

Para os **requisitos de usabilidade** foi feito um estudo dos métodos e representação usados actualmente, tendo como referência gráfica os programas da Microsoft (Windows, Office, etc.) garantindo desta forma a consistência da interface. Foi também definido como requisito a criação de um ficheiro de ajuda, por forma a facilitar a aprendizagem e funcionamento do sistema. Tendo em consideração que se trata de um *software* relativamente simples (com poucas funcionalidades) não terá grande utilidade o desenvolvimento de um manual de utilizador e/ou de técnico, bastando para esse efeito a ajuda do sistema.

Do ponto de vista dos **requisitos de desempenho** convinha definir um processo de resolução que fosse o mais rápido possível, ainda que, grande parte do tempo de processamento esteja directamente relacionado com o estado de arte do *software* de resolução de problemas de programação inteira. No que diz respeito ao pacote de *software* de resolução deste tipo de problemas foi adoptado o pacote de *software* CPLEX® (apesar de ser possível a integração com outros *softwares*) devido à rápida capacidade de obtenção de soluções e ainda pela sua maior provada fiabilidade e robustez. Do ponto de vista de obtenção da solução optou-se por um método de cálculo directo da solução, ou seja, não será necessário sair da aplicação para correr o *software* de obtenção da solução e posteriormente realizar a sua importação. Este requisito permite uma maior rapidez de obtenção da solução uma vez que permite que o utilizador possa, em poucos segundos, alterar dados do problema e voltar a correr o algoritmo, obtendo de seguida a nova solução.

No que aos **requisitos de suporte** diz respeito, o programa deverá ser subdividido por vários módulos ou sub-programas, por forma a permitir que seja possível inserir novas funcionalidades (ou alterar existentes) sem ter que se despende muito tempo a analisar a estrutura do programa. Do ponto de vista da configuração, o programa deverá permitir a configuração de um vasto conjunto de características, tanto ao nível funcional como de interface com o utilizador. O programa deverá ainda ser apresentado como um ficheiro único de instalação (ainda que possa depender de outros *softwares* para a obtenção de soluções).

Após a realização da análise dos diferentes tipos de requisitos foi feita a modelação (projecto) do sistema tendo por base o estudo realizado. Essa etapa será descrita na secção seguinte.

3.3.2 – Modelação do problema

Por forma a realizar a modelação do SAD foi adoptada uma linguagem orientada aos objectos (*Object-Oriented* – OO). Apesar de existirem diversas técnicas de projecto de sistemas de *software* (ex: OMT – *Object Modelling Technique*) a técnica mais utilizada e que melhor se adapta ao projecto da aplicação em vista é a *Unified Modeling Language* (UML), Teixeira, Ferreira e Santos (2005).

A UML é uma linguagem de modelação para visualizar, especificar, construir e documentar sistemas de *software*. A UML é uma linguagem de modelação visual, baseada em diagramas, que se tornou *standard* do OMG (*Object Management Group*) em 1997. A UML unifica as contribuições de três autores internacionalmente reconhecidos no contexto das metodologias de suporte ao desenvolvimento de *software*: Grady Booch, James Rumbaugh e Ivar Jacobson (Booch, Rumbaugh e Jacobson, 1999), tendo esta linguagem surgido como um corolário dos diversos métodos de análise e projecto orientados a objectos.

A linguagem é constituída por um vocabulário e um conjunto de regras que permitem interpretar modelos. No entanto a linguagem não contém informação de quais os modelos, nem de quando determinados modelos devem ser criados, durante o projecto de um sistema informático.

A utilização de UML permite a criação de modelos, correspondentes a descrições completas de um sistema. Cada modelo é constituído por um conjunto de diagramas, correspondentes a perspectivas ou pontos de vista específicos desse modelo. Estes diagramas constituem, portanto, representações parciais do sistema, cuja coerência semântica com os restantes diagramas de um mesmo modelo tem de ser assegurada.

Existem nove diagramas *standard* na UML, divididos em 2 tipos:

- ? **estáticos:** diagrama de *use case*, diagrama de classes, diagrama de objectos, diagrama de componentes e diagrama de arquitectura;
- ? **dinâmicos:** diagrama de sequência, diagrama de colaboração, diagrama de estados e diagrama de actividades.

Os objectivos essenciais da utilização da linguagem UML para visualizar o sistema são:

- ? **comunicar os conceitos a terceiros:** a UML é constituída por um conjunto de símbolos, a que está associada uma semântica, que permite escrever um modelo que pode ser interpretado por terceiros sem ambiguidade;
- ? **compreender situações que dificilmente seriam perceptíveis por inspecção directa do código (Ex: hierarquia duma classe):** a UML combina a utilização de símbolos gráficos com texto, o que facilita a expressão dos conceitos para além do que é conseguido por uma linguagem de programação;
- ? **escrever os modelos por forma a facilitar a comunicação:** se quem pensa determinado sistema nunca expressa as suas ideias através de modelos, a informação de que é detentor perde-se, total ou parcialmente, quando essa pessoa abandona o projecto. Assim, o recurso a linguagem UML permite documentar todos os passos de uma forma facilmente compreensível, facilitando a transmissão de conhecimento.

Dos diagramas *standard* em UML, para esta dissertação, foram adoptados os diagramas de *use case* (estático) e o diagrama de actividades (dinâmico). Para cada uma das funcionalidades fornecidas pelo sistema foram modelados os *use cases* e definidos os diagramas de actividade, fornecendo desta forma a definição do caminho a seguir na fase de implementação.

Sempre que se pretenda introduzir uma nova funcionalidade (visto tratar-se de um método iterativo), tal deverá ser feito com recurso a um *use case*, com a respectiva descrição, cenários e diagramas de actividade. De seguida irão ser apresentados alguns exemplos de *use cases* usados na modelação do SAD.

Diagrama de Use Case

Nenhum sistema existe isolado. Para ter algum interesse, o sistema deve interactivar com utilizadores humanos ou outros sistemas (ou actores). Para representar e visualizar as funcionalidades da aplicação e a sua interacção com os actores foi adoptado o diagrama de *use case*.

A modelação de um diagrama *use case* é uma técnica usada para descrever e definir os requisitos funcionais de um sistema. Eles são escritos em termos de actores externos, *use cases* e sistema modelado.

Os actores representam o papel de uma entidade externa ao sistema como: um utilizador, um *hardware*, ou outro sistema que interaja com o sistema modelado. Os actores iniciam a comunicação com o sistema através dos *use cases*.

O *use case* representa uma sequência de ações, executadas pelo sistema e que recebe do actor que o utiliza dados tangíveis de um tipo ou formato já conhecido. O valor de resposta da execução de um *use case* (conteúdo) também já é de um tipo conhecido. Tudo isso é definido juntamente com o *use case* através de texto de documentação.

A definição de um *use case* especifica o comportamento de um sistema ou parte de um sistema. O *use case* consiste numa descrição de um conjunto de sequências de ações, incluindo variantes, que o sistema desempenha para atingir um resultado observável, com valor para um dado actor. Deste modo, os *use cases* permitem descrever as funcionalidades de um sistema, do ponto de vista do utilizador.

O diagrama de *use cases* da Figura 3.4 demonstra as funções de três actores externos (utilizador, algoritmo e impressora) assim como as funcionalidades base (obedecendo aos requisitos funcionais e de usabilidade) do SAD.

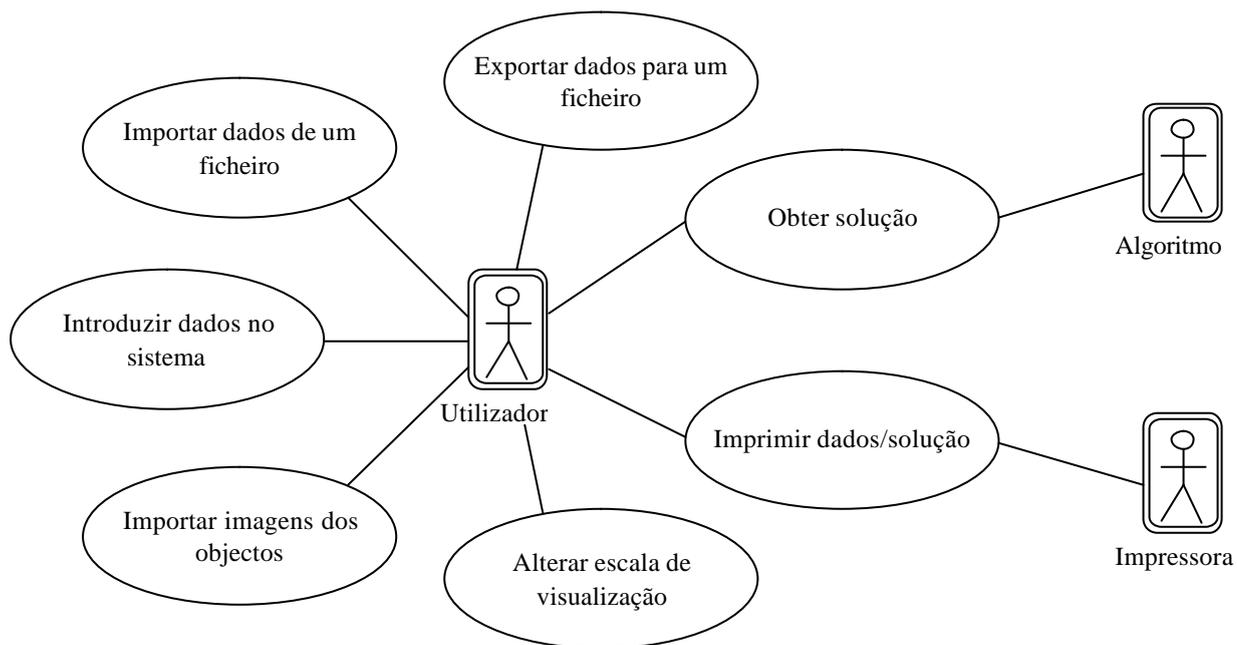


Figura 3.4: Diagrama de *use cases* das funcionalidades base do SAD.

Foi feito o recurso a esta metodologia de modelação do problema visto que: captura o comportamento desejado sem entrar em especificações de implementação; permite estabelecer uma plataforma de entendimento entre a pessoa que vai desenvolver e os utilizadores finais e peritos do domínio; valida a arquitectura e ainda verifica a correcta evolução do sistema.

Os actores e os *use cases* são as classes. Um actor é conectado com um ou mais *use cases* através de associações, sendo que tanto os actores como os *use cases* podem possuir relacionamentos.

O uso de *use cases* em colaborações é muito importante, visto que as colaborações são a descrição de um contexto, mostrando classes/objectos, os seus relacionamentos e a sua interacção, exemplificando como as classes/objectos interagem para executar uma actividade específica no sistema. Uma colaboração é descrita por diagramas de actividades.

Cenários

Quando um *use case* é implementado, a responsabilidade de cada passo da execução deve ser associada às classes que participam na colaboração, tipicamente especificando as operações necessárias dentro destas classes, juntamente com a definição de como elas irão interagir. Um cenário é uma instância de um *use case*, ou de uma colaboração, mostrando o caminho específico de cada acção. Por isso, o cenário é um importante exemplo de um *use case* ou de uma colaboração. Quando se vê o cenário a nível de um *use case*, apenas a interacção entre o actor externo e o *use case* é vista, mas quando se observa o cenário a nível de uma colaboração, toda as interacções e passos de execução implementados no sistema são descritos e especificados.

Diagramas de Actividade

Os diagramas de actividade capturam as acções realizadas assim como os seus resultados. Eles focam o trabalho executado na implementação de uma operação (método), e as suas actividades numa instância de um objecto. O diagrama de actividade possui o propósito de capturar acções (trabalhos e actividades que serão executados) e os seus resultados em termos das mudanças de estado dos objectos.

Quando uma acção é executada os estados no diagrama de actividade mudam para o estágio seguinte (sem ser necessário especificar nenhum evento como no diagrama de estado). O diagrama de actividade permite ainda agrupar actividades, com referência ao responsável (pelas actividades) e onde elas residem na organização. O diagrama é representado por rectângulos que englobam todos os objectos que lhe estão ligados.

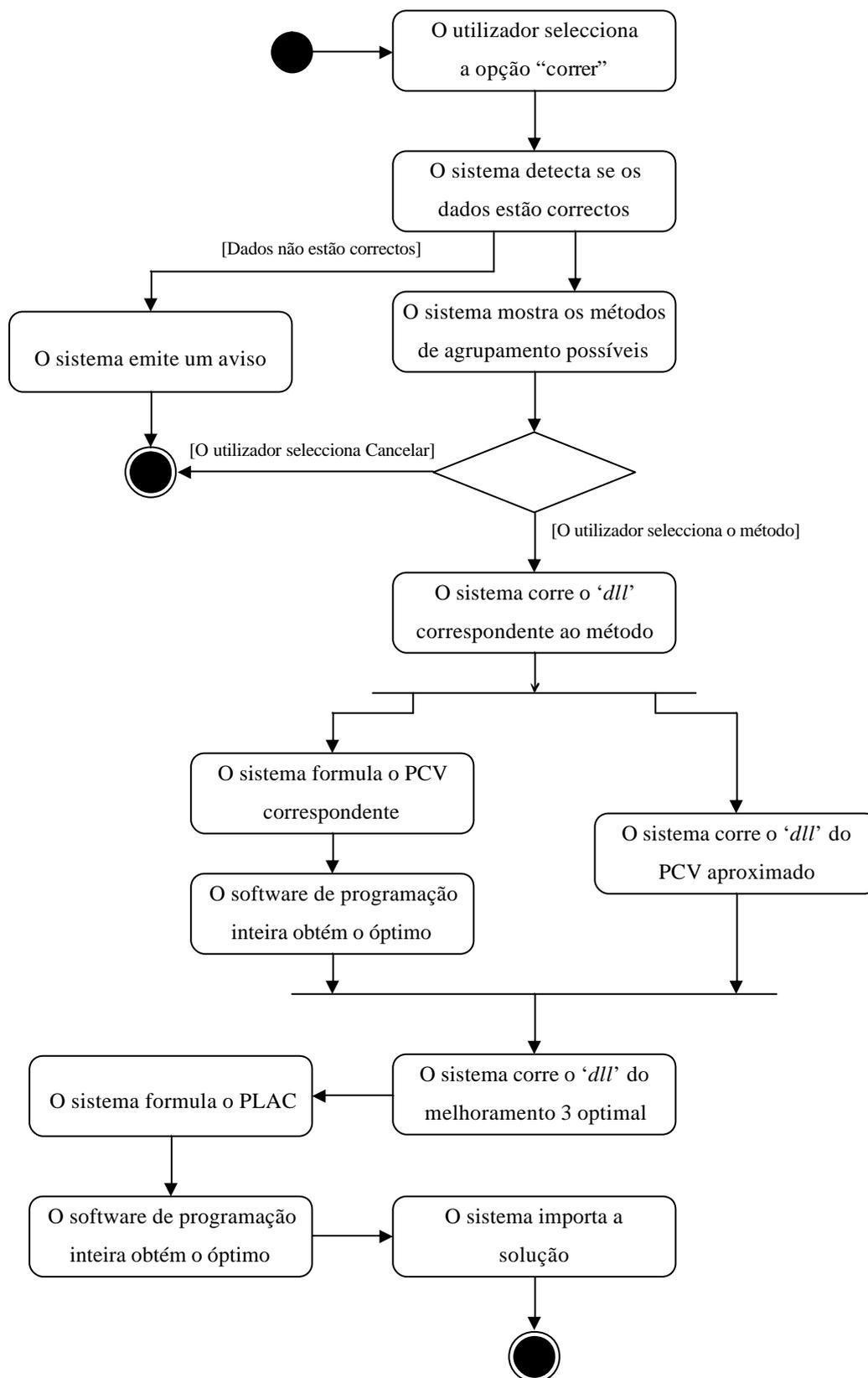


Figura 3.5: Diagrama de actividades do *use case* obter solução.

Um diagrama de actividade é uma maneira alternativa de se mostrar interações, com a possibilidade de expressar como as acções são executadas, o que fazem (mudanças dos estados dos objectos), quando são executadas (sequência das acções) e onde acontecem.

Um diagrama de actividade pode ser usado com diferentes propósitos inclusive:

- ? para capturar os trabalhos que serão executados quando uma operação é desencadeada (acções), sendo este o uso mais comum para o diagrama de actividade;
- ? para capturar o trabalho interno de um objecto;
- ? para mostrar como um grupo de acções relacionadas podem ser executadas, e como elas vão afectar os objectos em torno delas;
- ? para mostrar como uma instância pode ser executada em termos de acções e objectos;
- ? para mostrar como um negócio funciona em termos de trabalhadores (actores), fluxos de trabalho, organização, e objectos (factores físicos e intelectuais usados no negócio).

O diagrama de actividade mostra o fluxo sequencial das actividades. Este diagrama é normalmente utilizado para demonstrar as actividades executadas por uma operação específica do sistema. Os diagramas de actividade consistem em estados de acção, que contêm a especificação de uma actividade a ser desempenhada por uma operação do sistema. Decisões e condições, como execução paralela, também podem ser mostradas no diagrama de actividade. Por último o diagrama pode também conter especificações de mensagens enviadas e recebidas como partes de acções executadas.

3.3.3 – Implementação

Após a modelação e projecto da aplicação, segue-se a fase de desenvolvimento da aplicação (implementação da modelação desenvolvida), que implica a codificação dos diagramas de *use cases*. Para este sistema, a linguagem de programação adoptada foi o Visual Basic®, versão 6.0 da Microsoft.

Foi escolhida esta linguagem de programação visto tratar-se de uma linguagem de programação orientada para objectos, de alto nível e ainda devido ao facto de ser uma linguagem de programação muito utilizada, facilitando a sua posterior análise e desenvolvimento. Ou seja,

trata-se de uma linguagem de programação que preenche os requisitos definidos (requisitos de suporte).

A implementação ou construção é a fase em que as classes são codificadas. Nesta fase foi codificada cada classe do pacote de objectos do sistema, a interface e o pacote de utilidades. A codificação foi baseada nos modelos desenvolvidos nas fases de análise de requisitos, análise e *design*, mais precisamente nas especificações de classes, diagramas de *use cases*, cenários e diagramas de actividades.

A fase de implementação implica ainda, tipicamente, um conjunto de actividades:

- ? definir a organização do código, subsistemas e camadas;
- ? implementar as classes e objectos em componentes (arquivos fonte, binários e executáveis);
- ? testar os componentes como unidades (testes unitários);
- ? integrar os resultados obtidos pelos implementadores no sistema final.

Normalmente existem algumas deficiências durante a fase de codificação. A necessidade da criação de novas operações e modificações em operações já existentes foram identificadas nesta fase, significando que o programador teve que mudar os seus modelos da fase de modelação. Isto ocorre em todos os projectos. Nestes casos, o mais importante é que a modelação do problema e a codificação sejam sincronizados, para que, desta forma, os modelos possam ser usados como documentação final do sistema.

3.3.4 – Teste do sistema

Nesta fase foi realizada a validação do sistema desenvolvido. Essa validação foi feita através da execução de um conjunto de testes, em diálogo permanente com o(s) utilizador(es) final(finais), capitalizando eventuais melhoramentos. Estes melhoramentos foram recolhidos relativamente a funcionalidades já existentes, assim como a novas funcionalidades.

Após o projecto e implementação do SAD torna-se necessário fazer um exercício iterativo constante, por forma a aumentar as funcionalidades fornecidas pelo sistema e melhorar a sua interacção com o utilizador.

Por este motivo, após terem sido desenvolvidas as funcionalidades, foi feita uma ascultação junto de potenciais utilizadores com vista a fazer um levantamento das necessidades, tanto do ponto de vista funcional como de interface de utilizador.

Este processo permitiu um constante melhoramento do SAD desenvolvido, possibilitando também um acompanhamento mais fácil dos problemas levantados pelo uso sistemático do mesmo. Sempre que foi detectada uma necessidade do sistema foi feita uma proposta de alteração ao sistema. Este processo será igualmente válido para futuros desenvolvimentos.

Na Figura 3.6 está representado o percurso a seguir sempre que surgiu uma proposta de alteração ao sistema. Com base nessa proposta foi feita uma análise aos requisitos, tendo-se passado posteriormente para a fase de modelação (com a elaboração do diagrama de *use cases* e diagrama de actividades correspondente). Após a modelação do problema avançou-se para a implementação para, por último, se realizarem os testes do sistema (referentes à proposta de alteração).

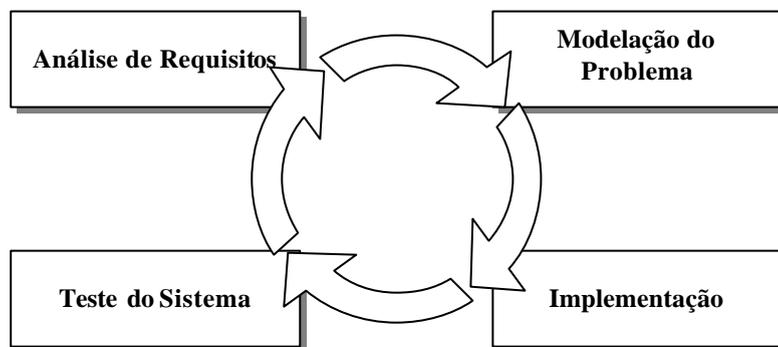


Figura 3.6: Representação do processo iterativo entre as diferentes fases do projecto.

A fase de teste do sistema permitiu ainda identificar defeitos, assegurando que esses mesmos defeitos são mapeados, para melhoramento do sistema. Por forma a fazer o levantamento desses defeitos a aplicação foi testada com recurso a testes unitários. Na realização dos testes foi verificado se o programa suportava todas as funcionalidades que lhe foram especificadas na fase de análise de requisitos e de modelação do problema, com o diagrama de *use cases* e os diagrama de actividades. Numa fase posterior, a aplicação deverá também ser testada de uma forma mais informal, colocando-se o sistema nas mãos dos utilizadores finais.

3.4 – Síntese

Apesar da localização-distribuição ser uma área que, do ponto de vista matemático, vai conhecendo alguns progressos convém também aplicar esses progressos nos casos reais do dia a

dia. Tendo como último objectivo possibilitar a interpretação e conhecimento fáceis deste tipo de problemas procura-se nesta dissertação apresentar uma proposta viável e atendível para a aplicação de sistemas de apoio à decisão nesta área.

Neste capítulo foi feita uma introdução aos SAD, sendo de seguida apresentada a metodologia adoptada na criação e desenvolvimento do protótipo. Apesar de não haver uma metodologia tipo para o desenvolvimento deste tipo de sistemas, foi adoptada uma linguagem orientada para objectos (UML) cuja utilização tem sido cada vez mais comum, visto tratar-se de uma linguagem de fácil visualização e que ao mesmo tempo permite uma correcta estruturação do sistema a ser desenvolvido.

Apesar de reconhecer a importância de cada uma das fases da metodologia foi dado um especial relevo à fase de análise de requisitos e modelação do problema. Esse destaque deve-se ao facto do sucesso de desenvolvimento e implementação de uma aplicação estar intimamente relacionado com o correcto desenho destas duas fases.

Na fase de análise de requisitos, fez-se referência à forma como foi efectuado o levantamento dos requisitos funcionais, de usabilidade, de desempenho e de suporte. Foi ainda realizada uma primeira abordagem aos requisitos que o sistema terá que cumprir.

Na fase de modelação do problema foi feita a modelação do sistema com recurso a UML. Essa modelação foi realizada com recurso a diagramas de *use cases*, cenários e ainda diagramas de actividades. Nesta secção é ainda justificado o motivo da escolha desta linguagem de modelação, sendo ainda dada uma breve explicação dos diferentes diagramas.

Posteriormente, foi feita uma descrição das restantes fases (implementação e teste), descrevendo os passos que foram tomados na implementação da modelação do problema e no teste da aplicação.

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

Capítulo 4 – Caracterização do sistema de apoio à decisão

4.1 – Considerações gerais

4.2 – Sistema de apoio à decisão de problemas de localização – distribuição

4.2.1 – Recolha de dados

4.2.2 – Representação gráfica

4.2.3 – Saída de dados

4.2.4 – Interação com o utilizador

4.2.5 – Outras características

4.3 – Algoritmo de resolução

4.3.1 – Agrupamento dos clientes

4.3.2 – Problema do caixeiro viajante

4.3.3 – Melhoramento dos grupos de clientes

4.3.4 – Problema de localização – afectação com capacidade

4.4 – Ilustração de um caso usando o sistema de apoio à decisão

4.5 – Síntese

CAPITULO 4 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE APOIO À DECISÃO

4.1 – Considerações gerais

A aproximação interactiva foi desenvolvida, para problemas de localização-distribuição com capacidade, com o objectivo fundamental de não ser demasiado exigente no que respeita à informação solicitada ao utilizador e ao mesmo tempo ser intuitiva ao ponto de o utilizador facilmente aprender a trabalhar com o SAD.

De facto, o cálculo dos problemas de localização-distribuição é um processo complexo, podendo conduzir a estudos que exigem um esforço excessivo para a aplicação em vista. É neste contexto que se propõe a utilização do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) apresentado, com o objectivo de suportar a decisão nos problemas considerados nesta dissertação. Esta proposta é feita com a convicção de que a utilização de ferramentas desta natureza pode tornar viável a produção de estudos relativos a problemas de localização-distribuição que, de outro modo, muito provavelmente só estaria ao alcance de técnicos especializados na temática.

Neste capítulo irão ser apresentadas as soluções encontradas com vista a dar resposta aos requisitos do SAD. Inicialmente será dado destaque à interface com o utilizador, sendo de seguida feita a caracterização do(s) algoritmo(s) de resolução adoptado(s). Por último será feita a aplicação do protótipo do SAD a um caso, sendo usado um problema conhecido da literatura dos problemas de localização-distribuição.

4.2 – Sistema de apoio à decisão de problemas de localização – distribuição

Como já foi referido anteriormente, para que se possa aplicar novas tecnologias é necessário torná-las inteligíveis e de fácil utilização. Por esse motivo é proposta uma aproximação a uma interface de um sistema de apoio à decisão nos problemas de localização-distribuição. Esta proposta tem por objectivo apoiar o utilizador⁸ na localização de centros de acção e na sua distribuição. Para esse fim o SAD oferece a possibilidade de:

- ? introduzir (ou editar) dados novos (já existentes) por forma a caracterizar um problema;

- ? determinar soluções;
- ? visualizar os resultados de uma forma numérica ou gráfica;
- ? exportar os dados criados para outras aplicações;
- ? exportar a solução de uma forma gráfica;
- ? imprimir a solução numérica ou gráfica;
- ? permitir a mudança do idioma da aplicação;
- ? obter ajuda sobre a forma de utilização.

Este sistema foi desenvolvido para plataformas Windows® com uma arquitectura aberta, que torna possível a integração de novas funcionalidades, e é constituído por duas grandes partes: a interface de utilizador e os algoritmos de resolução.

Os procedimentos de obtenção das soluções são utilizados com base em dois tipos de programas. Esses programas implementam os algoritmos de agrupamento de clientes, um algoritmo para o problema do caixeiro viajante e a optimização dos grupos de clientes que se encontram integrados na aplicação através do uso de *dlls* e o CPLEX imbuído no programa Mpl para Windows, que permite o cálculo do problema de localização-afectação com capacidade.

Apesar do uso destes programas a aplicação foi desenvolvida de forma a utilizar qualquer outro pacote de *software* desde que verifique os requisitos de comunicação necessários. Por este motivo a rapidez de cálculo do programa está directamente dependente da capacidade de resolução dos pacotes de *software* (para programação inteira) utilizados.

Uma das grandes vantagens de incorporar a heurística⁹ na aplicação tem a ver com o facto de permitir que o utilizador possa efectuar alterações (eventualmente testes a dados introduzidos) podendo, em poucos segundos, voltar a correr o algoritmo e obter uma nova solução. Esta capacidade representa uma vantagem relativamente a outros SAD desenvolvidos para problemas semelhantes, na medida em que não é necessário sair da aplicação para obter a solução e de seguida a importar, tornando o processo de efectuar alterações algo penoso para o utilizador (sendo muitas vezes o principal motivo de abandono de um SAD deste tipo).

⁸ No que diz respeito a esta dissertação, a expressão utilizador pretende caracterizar o utilizador / decisor que irá usar este sistema.

⁹ Caso não seja possível obter uma solução exacta, o algoritmo recorre a uma resolução heurística. Mais à frente serão explicadas as situações em que o algoritmo recorre à resolução heurística, sendo também apresentada a heurística.

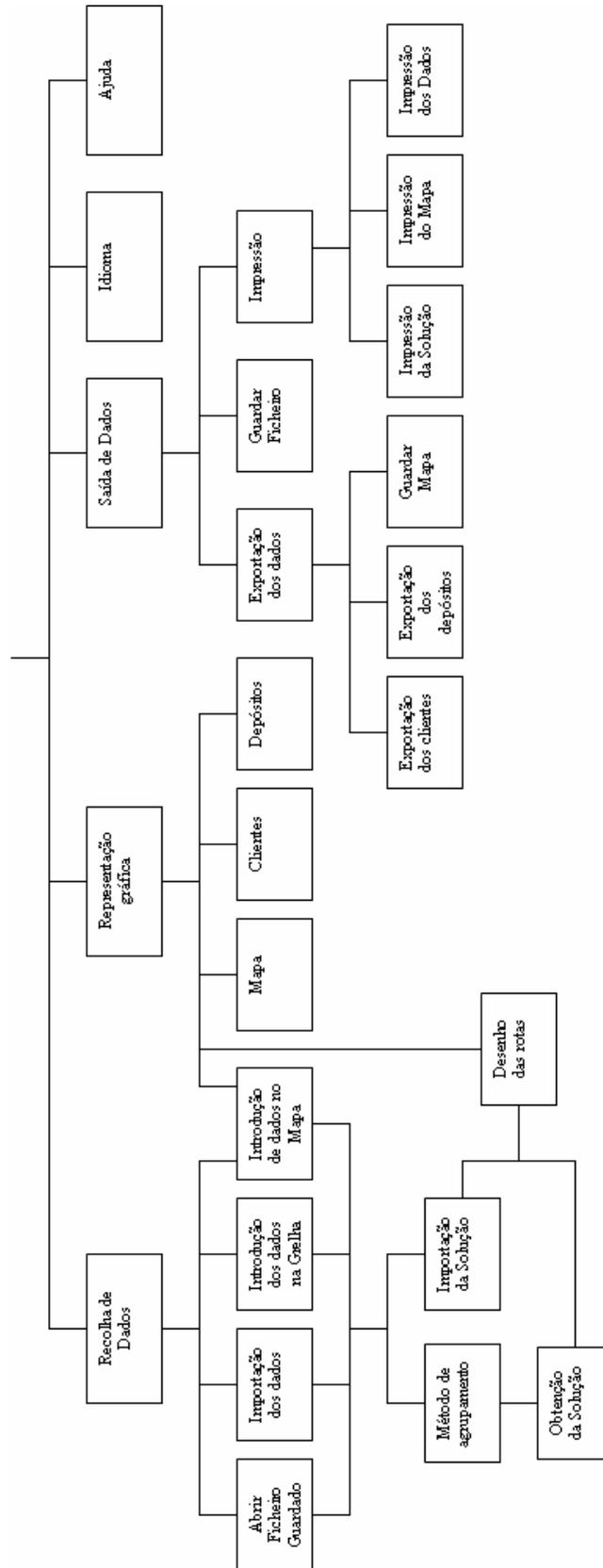


Figura 4.1: Organização das funcionalidades oferecidas pelo SAD.

A interface com o utilizador, foi desenvolvido com o objectivo de produzir um sistema intuitivo, ou seja, que seja de fácil aprendizagem e utilização. Com este objectivo foi tido em consideração o perfil dos utilizadores alvo¹⁰, a tarefa que pretendem realizar com a ajuda do SAD, assim como os principais princípios e directivas que se referem às questões fundamentais do projecto de interfaces (como consistência, compatibilidade, familiaridade, *feedback*, protecção, robustez, etc.), Mayhew (1992), Dix, Finlay, Abowd e Beale (1993).

As funcionalidades oferecidas ao utilizador estão organizadas de acordo com a Figura 4.1¹¹. De seguida irá ser feita uma caracterização de cada um dos principais grupos de funcionalidades.

4.2.1 – Recolha de dados

A recolha dos dados pode ser feita de várias maneiras:

- ? abrir ficheiro guardado;
- ? importação dos dados;
- ? introdução dos dados na grelha;
- ? introdução de dados no mapa.

Do ponto de vista de obtenção de dados, desde logo a opção de abrir um ficheiro gravado, assim como a opção de importação de dados representa a maneira clássica de obtenção dos dados. O utilizador pode desta forma importar rapidamente grande quantidade de dados, mesmo que esses dados provenham de outra aplicação.

¹⁰ Neste contexto o utilizador alvo é tipicamente uma pessoa com moderados conhecimentos informáticos, mas com uma forte experiência na temática (experiência profissional em situações reais de instalação de CA e desenho da distribuição). Este utilizador terá como característica principal a utilização do sistema por iniciativa própria (ou seja não lhe é imposta a utilização deste ou outro sistema, como sucede geralmente a, por exemplo, funcionários bancários que têm que utilizar diariamente o sistema computacional da instituição).

¹¹ Esta representação assim como as restantes têm como língua referência o Português, apesar de ser possível alterar o idioma da aplicação. Nesta dissertação, sempre que se fizer referência a funcionalidades da aplicação irá ser usada como língua de referência o Português.



Figura 4.2: Importação e exportação dos dados referentes aos clientes e aos depósitos.

No que diz respeito à introdução (ou manutenção) de dados novos (ou já existentes) terá que se recorrer às grelhas de dados ou à edição de dados no mapa.

O funcionamento das grelhas é semelhante ao de uma folha de cálculo, tornando desta forma mais fácil e intuitiva a introdução e/ou edição dos dados. Outra forma de inserir os dados é através da introdução de dados no mapa, facilitando ao utilizador a identificação da posição no mapa (coordenadas cartesianas) aonde pretende inserir o cliente e/ou o depósito (CA)¹². Existe também a opção de se “arrastar” os clientes e/ou os depósitos através do mapa.

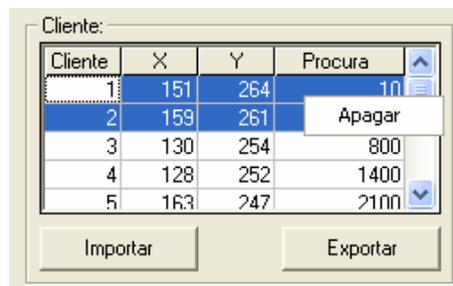


Figura 4.3: Grelha de dados dos clientes (com a hipótese de apagar activada).

¹² No sistema o CA foi caracterizado como depósito.

Outra forma de introdução de dados é fazendo-o directamente no mapa. Por forma a aparecer a janela de introdução de novos dados é necessário carregar no botão esquerdo do rato¹³ no mapa, por cima do ponto onde se pretende adicionar o cliente ou depósito.

Para se editar os dados no mapa (coordenadas) terá que estar activada a opção de permitir mover os clientes ou os depósitos no mapa (menu Ferramentas > Opções). Caso a opção esteja activada será possível “arrastar” o cliente ou o depósito através do mapa (com a actualização simultânea na grelha de dados), editando desta forma os valores das coordenadas.



Figura 4.4: Introdução de dados no mapa.

Após a recolha de dados estar completa torna-se possível correr o algoritmo, mediante a escolha do método de agrupamento a utilizar. Tendo o algoritmo corrido com sucesso, tornam-se visíveis as rotas. Os dados referentes a estas rotas podem ser visualizados tanto pela representação gráfica como pela opção de menu Solução, onde se encontram os dados referentes às rotas, quais os depósitos a instalar, qual a capacidade de cada rota, qual o custo total, etc..

Do ponto de vista da importação de dados também é possível realizar a importação do ficheiro de solução, permitindo desta forma haver uma fácil interacção com outros sistemas e ainda a obtenção de soluções de outros algoritmos que não estejam contemplados neste SAD.

4.2.2 – Representação gráfica

Do ponto de vista da representação gráfica grande parte das funcionalidades giram em torno do mapa e da sua interacção com os restantes objectos (clientes, depósitos e rotas).

¹³ No SAD é possível inverter os botões por forma a facilitar a introdução de dados; no entanto, nesta dissertação sempre que se fizer referência à interacção com o rato irá assumir-se que a opção de mudança de botão está desactivada.

No mapa existe um conjunto de funcionalidades por forma a permitir a introdução, edição e até mesmo visualização dos dados. Desde logo, no que diz respeito à visualização de dados, um dos requisitos era que fosse sempre possível a visualização dos dados (ou desenhos). Para esse efeito foram introduzidas um conjunto de funcionalidades que permite que sempre que um objecto se encontra num dos cantos, a sua posição seja alterada, garantindo desta forma que os objectos (e informação associada) não deixem de ser visíveis.

A representação gráfica está centrada nas seguintes opções:

- ? introdução de dados no mapa;
- ? desenho das rotas;
- ? mapa;
- ? clientes / depósitos.

Desenho das rotas

No que diz respeito ao desenho das rotas, este é efectuado pelo programa quando se calcula ou quando se importa a solução. Quando uma das opções referidas é executada aparece uma linha a unir os clientes aos depósitos (ou a outros clientes). Esta representação diz respeito às rotas a realizar propostas pelo sistema (obtidas do algoritmo).

Mapa

No mapa existe um conjunto de opções que torna possível uma melhor visualização e manipulação do mapa e dos objectos associados, tendo sempre em conta a escala de representação.



Figura 4.5: Barra de Ferramentas com as opções referentes ao mapa.

Desde logo, é possível importar as imagem referentes ao mapa, clientes ou depósitos sobre os quais se pretende trabalhar. Entre outras opções de representação gráfica, é também possível esconder o mapa para facilitar a visualização dos restantes objectos, a mudança da escala de representação (e conseqüente mudança de escala da imagem do mapa) e ainda mudar a cor de

representação dos clientes e dos depósitos. Estas funcionalidades foram incrementadas com o objectivo de permitir uma melhor visualização por parte do utilizador de todos os dados presentes no mapa e ainda permitir ler mais facilmente a solução obtida.

Do ponto de vista da representação é também possível visualizar facilmente se as rotas visíveis no mapa são óptimas (ou aproximadas) ou não. Para esse efeito basta visualizar uma imagem presente na barra de estado. Se as rotas forem óptimas aparece também um texto a informar o utilizador qual o método de proximidade e hierárquico utilizados.

Outra das opções presentes no mapa é a possibilidade de alterar a escala de visualização. O sistema permite que o utilizador aumente ou diminua a escala de visualização por forma a melhor visualizar os dados contidos no mapa. Acoplada a esta opção está a opção de manter a escala entre mapa e objectos que permite distinguir ambas as escalas, ou seja, torna possível alterar a escala dos objectos sem que seja necessário alterar a escala do mapa.

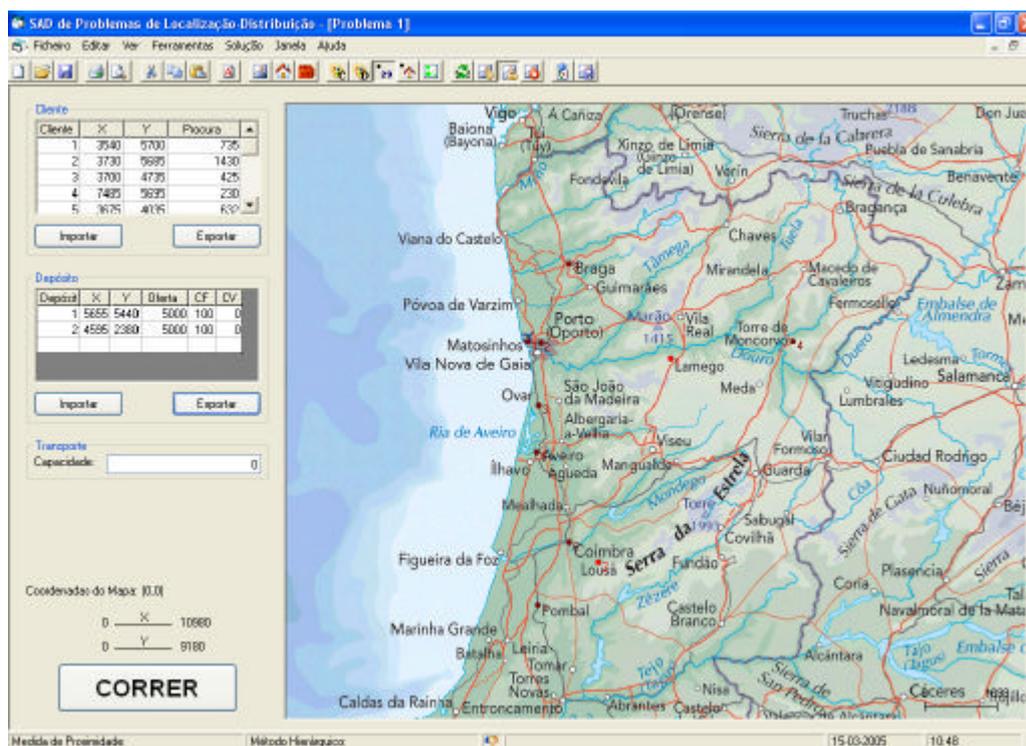


Figura 4.6: Mapa com imagem importada e a manter a escala com os objectos (escala 1:1098).

Para se definir a escala uma das hipóteses é, com base numa distância conhecida do mapa, definir essa distância, sendo que o mapa automaticamente ajusta os restantes valores a essa escala. Por exemplo, se o utilizador introduzir os dois primeiros pontos em Lisboa e no Porto, sobre o

mapa de Portugal, definindo essa distância como de 250 unidades de medida (uma unidade de medida corresponde a um quilómetro), a aplicação assume automaticamente essa escala.

A outra hipótese de definição da escala é através da definição do máximo de altura e de largura do mapa em que, mediante a introdução desses valores, o mapa vai assumir essa escala para o restante problema.

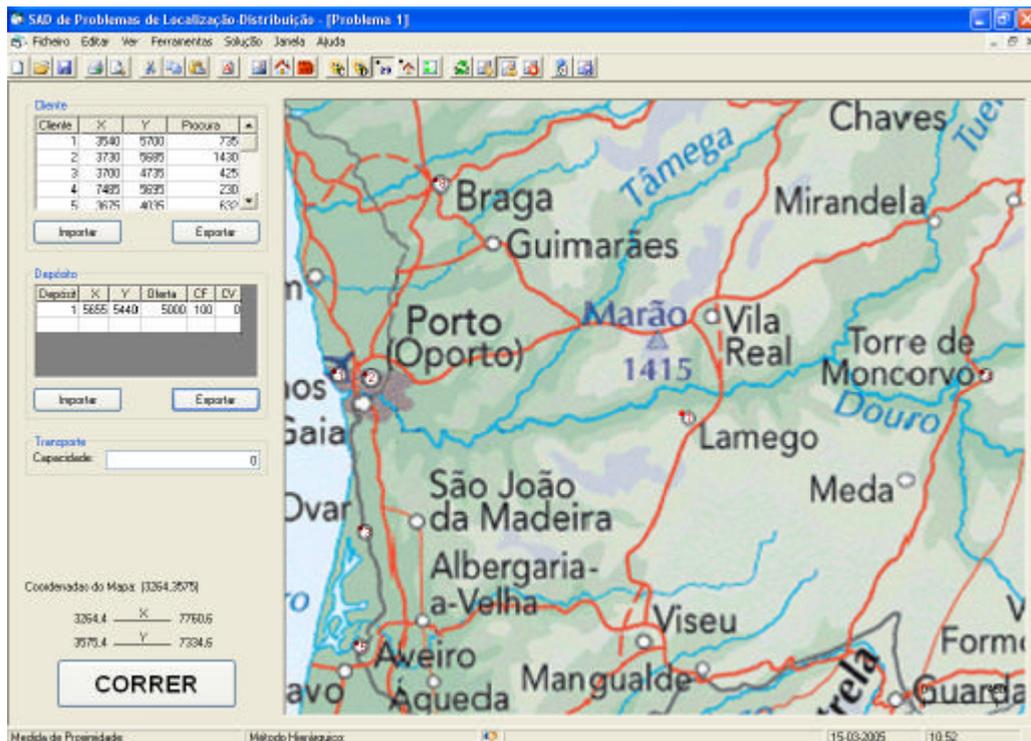


Figura 4.7: Mapa com imagem importada e a manter a escala com os objectos (escala 1:450).

Como se pode ver pela Figura 4.6 e Figura 4.7 o SAD permite ainda fazer *zoom* sobre uma determinada área do mapa, mantendo os objectos nas sua posições iniciais (caso a opção de Manter Relação entre Mapa e Objectos esteja activada).

Por último, a aplicação permite ainda visualizar o mapa tendo como referência a procura dos clientes, ou seja, mediante a procura dos clientes o círculo do cliente aparece maior ou menor. Com esta funcionalidade o utilizador pode facilmente visualizar quais os clientes com maior procura, fornecendo uma visão útil do mapa.

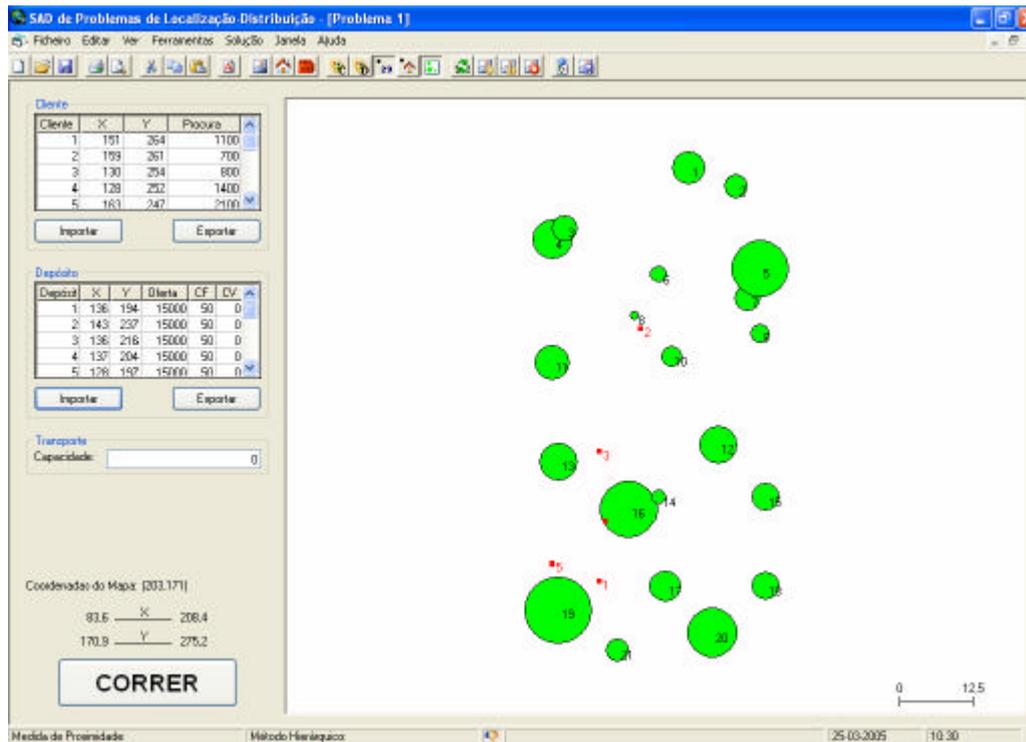


Figura 4.8: Mapa visualizado com base na procura dos clientes.

Clientes / Depósitos

Do ponto de vista dos Clientes e Depósitos foi tida em consideração (na sua representação gráfica) a sua posição no mapa. Na Tabela 4.1 é mostrada a representação gráfica adoptada para cada uma das situações (em cada um dos cantos do mapa). Esta representação dos diversos objectos vai permitir com que seja sempre possível a sua visualização no mapa (Melo, Santos, Ferreira e Pinto, 1999).

No que diz respeito à representação gráfica dos clientes e depósitos foi também introduzida a opção de importação da imagem do cliente ou do depósito. Esta opção, que está disponível tanto na barra de ferramentas como no menu ferramentas (opção: Importar Imagem do Cliente), permite ao utilizador importar a imagem com a qual pretende que seja caracterizado no mapa o cliente e/ou depósito.

Esta imagem (que é importada) não é alterada com a alteração de escala, tendo sempre a mesma dimensão, podendo ser qualquer tipo de imagem com formato *standard* (exemplo: *.ico; *.bmp; *.jpg; etc...).

Tabela 4.1: Representação gráfica dos objectos no mapa.

	Canto superior esquerdo	Canto superior direito	Canto inferior esquerdo	Canto inferior direito
Janela de dados				
Cientes/Depósitos com identificação				
Cientes/Depósitos com imagem				
Cientes/Depósitos com identificação e imagem				

4.2.3 – Saída de dados

Relativamente à saída de dados do SAD existem as seguintes funcionalidades:

- ? exportar dados;
- ? guardar ficheiro;
- ? imprimir.

No que à exportação de dados diz respeito, existe a opção de exportar os dados referentes aos clientes e aos depósitos para ficheiros de formato texto (txt), por forma a facilitar a integração com outras aplicações informáticas. Outra opção disponível é a opção de gravar o mapa em que é dada a oportunidade ao utilizador de gravar o mapa que se encontra a visualizar.

Outra hipótese de saída de dados é a hipótese de gravar o ficheiro que permite ao utilizador guardar todos os dados do problema num ficheiro com um formato específico do programa. Desta

forma torna-se possível ao utilizador recuperar facilmente problemas que tenha guardado. Os ficheiros guardados têm a extensão 'lrp'.

Por último, existe a hipótese de saída de dados através da impressão. Com esta opção torna-se possível ao utilizador imprimir (ou pré-visualizar) três tipos de listagens:

- ? **impressão da Solução:** permite imprimir todos os dados referentes à solução encontrada (proposta);
- ? **impressão do Mapa:** através desta opção o utilizador pode imprimir a representação gráfica do mapa;
- ? **impressão dos Dados:** esta impressão permite ao utilizador a impressão dos dados referentes aos clientes, depósitos e capacidade dos transportes.

4.2.4 – Interacção com o utilizador

O principal objectivo subjacente ao desenvolvimento da interface foi o de permitir de um modo rápido, fácil e eficaz, o acesso às soluções dos problemas levantados ao nível da localização-distribuição.

Os princípios que estiveram na base do desenho da interface foram os seguintes (adaptado de Malczewski, 1999):

- ? **acessibilidade:** permitir que qualquer utilizador, mesmo não conhecendo o sistema, o possa utilizar intuitivamente;
- ? **flexibilidade:** permitir que o utilizador recupere de situações não intencionais;
- ? **interactividade:** permitir que a informação circule eficientemente entre o utilizador e o sistema e vice-versa;
- ? **ergonomia:** permitir que o utilizador comunique eficientemente e eficazmente com o sistema;
- ? **baseado em eventos:** permitir que o utilizador esteja consciente das tarefas que está a executar.

Foram efectuados testes informais, de adaptação dos utilizadores reais à interface que foi desenvolvida, tendo em conta os princípios aqui enumerados. Não constitui, no entanto, objectivo desta dissertação efectuar uma análise rigorosa relativamente a métodos utilizados na avaliação das interfaces de utilizador que poderiam passar pela avaliação por peritos e gravação de percursos.

Outra das grandes preocupações no projecto do sistema foi a de permitir que qualquer pessoa, independentemente dos seus conhecimentos informáticos, utilizasse a aplicação sem dificuldades de maior.

Assim sendo, e para cumprir estes objectivos, foi desenhada e testada uma interface (Figura 4.9) constituída por quatro partes distintas:

- ? uma área de visualização onde é possível visualizar informação relativa a mapas;
- ? uma barra de ferramentas com botões com diversas funcionalidades;
- ? uma componente alfanumérica onde consta a informação respeitante aos problemas, como os clientes, os depósitos e a capacidade dos transportes;
- ? uma barra de estado onde é possível visualizar a medida de proximidade e o método de agrupamento utilizados, uma imagem a indicar se a disposição dos objectos visualizados no mapa é a fornecida pela aplicação (Sim: 👍; Não: 👎) e ainda se a solução obtida é óptima ou aproximada.

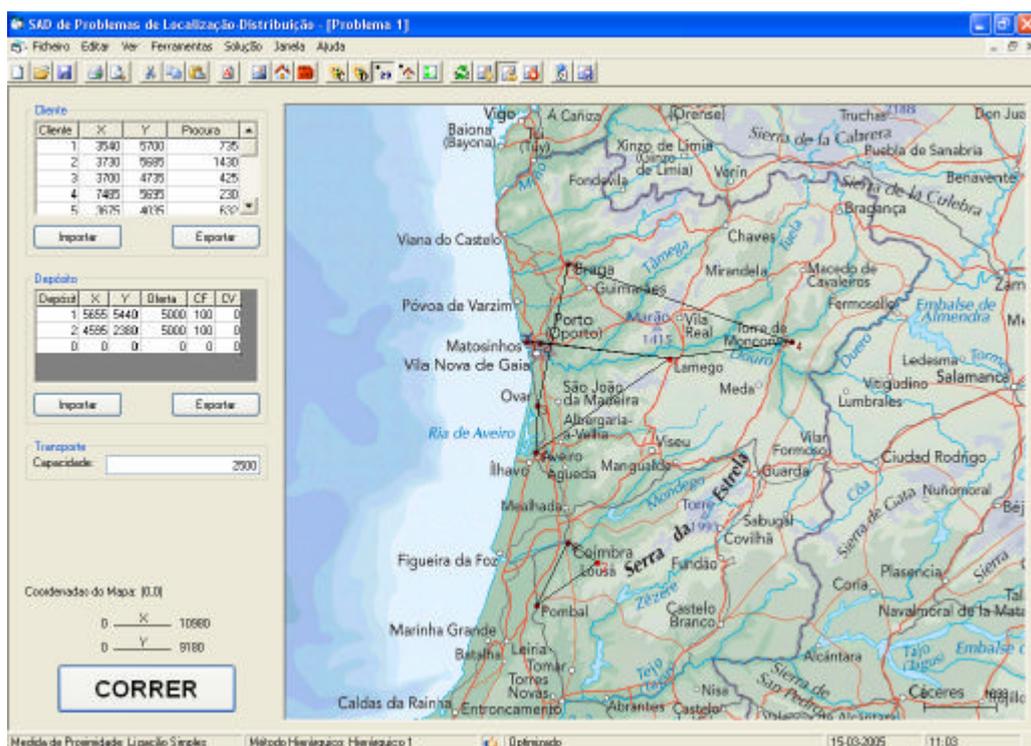


Figura 4.9: Interface do Sistema de Apoio à Decisão.

Esta interface contém uma barra de ferramentas com botões com diversas funcionalidades, para além daquelas habituais tais como: Novo, Abrir, Gravar, Imprimir, etc.. A maior parte destas

funcionalidades é acessível ao utilizador não só através do menu, como também através da barra de ferramentas, permitindo uma maior flexibilidade para o utilizador. De seguida serão apresentadas essas funcionalidades.

 **Idioma:** permite alterar o idioma da aplicação. Esta funcionalidade é acessível através do menu Ferramentas / Idioma;

 **Importar mapa:** permite importar a imagem do mapa. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Importar / Importar Mapa;

 **Importar imagem do cliente:** permite importar as imagens dos clientes. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Importar / Importar Imagem do Cliente;

 **Importar imagem do depósito:** permite importar as imagens dos depósitos. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Importar / Importar Imagem do Depósito;

 **Cor do cliente:** permite alterar a cor dos objectos dos clientes no mapa. Esta funcionalidade é acessível através do menu Ferramentas / Cores / Cor do Cliente;

 **Cor do depósito:** permite alterar a cor dos objectos dos depósitos no mapa. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Cores / Cor do Depósito;

 **Mostrar etiquetas:** permite que se possa visualizar ou não as etiquetas dos clientes e dos depósitos. Esta funcionalidade é acessível através do menu Ferramentas / Opções, opção Mostrar Etiquetas;

 **Mostrar imagens:** permite que se possa activar ou desactivar a opção de visualizar as imagens dos clientes e dos depósitos. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Opções, opção Mostrar Imagens;

 **Mostrar mapa de procura:** permite que o utilizador possa ver o mapa baseado na procura dos clientes. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Opções, opção Mostrar Mapa de Procura;

 **Recalcular escala:** permite recalculer a escala de visualização por forma a que seja possível visualizar todos os objectos ajustados ao tamanho do mapa;

 **Mover mapa:** permite mover o mapa dentro da área de visualização. Através desta opção é possível ajustar a posição do mapa;

 **Manter relação entre mapa e objectos:** permite manter a relação entre o mapa e os objectos. Através desta opção é permitido ao utilizador ter diferentes escalas de visualização para o

mapa e os objectos. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Opções, opção Manter Relação Mapa-Objecto;

 **Esconder mapa:** permite esconder a imagem inserida no mapa por forma a permitir uma melhor visualização dos objectos. Esta funcionalidade é, também, acessível através do menu Ferramentas / Opções, opção Esconder Mapa;

 **Importar solução:** permite importar um ficheiro de solução (com os valores óptimos obtidos) de outro *software*;

 **Guardar mapa:** permite guardar para um ficheiro a imagem do mapa e dos objectos que se encontra visível.

Através da interface é também possível saber a escala a que se está a visualizar o mapa e as coordenadas de localização do rato em relação ao mapa.

4.2.5 – Outras características

Para além das características já referenciadas, existe um conjunto de características que foram acrescentadas à aplicação por forma a facilitar a sua utilização.

Entre essas características encontram-se:

- ? idioma;
- ? ajuda;
- ? janela de opções.

Hoje em dia, e com a crescente globalização, tem havido uma tendência para a uniformização de um conjunto vasto de programas, normas, etc. Com essa globalização crescente a língua que tem assumido um papel mais universal (ainda que não a mais falada) é o Inglês. No entanto, e apesar dessa globalização também da língua, tem havido uma corrente crescente no sentido de preservar e fomentar os idiomas existentes, tendo como fundamento a constatação que o idioma não é apenas uma forma de comunicarmos mas também um repositório de cultura, forma de vida e características de um povo.

Desde logo a criação de organizações como a CPLP (Comunidade de Países de Língua oficial Portuguesa) e o reconhecimento e fomento, por parte de vários países, de idiomas menos utilizados (muitas vezes próprios de uma região) tem cada vez mais sentido. Com o objectivo de ir ao encontro desta necessidade crescente, de criar uma maior adaptação e sinergia do SAD e visto

que a oferta supera a procura (mesmo no mercado de *software*) não tem mais sentido ser o programa a fixar o idioma que o utilizador irá escolher / usar no seu dia-a-dia.

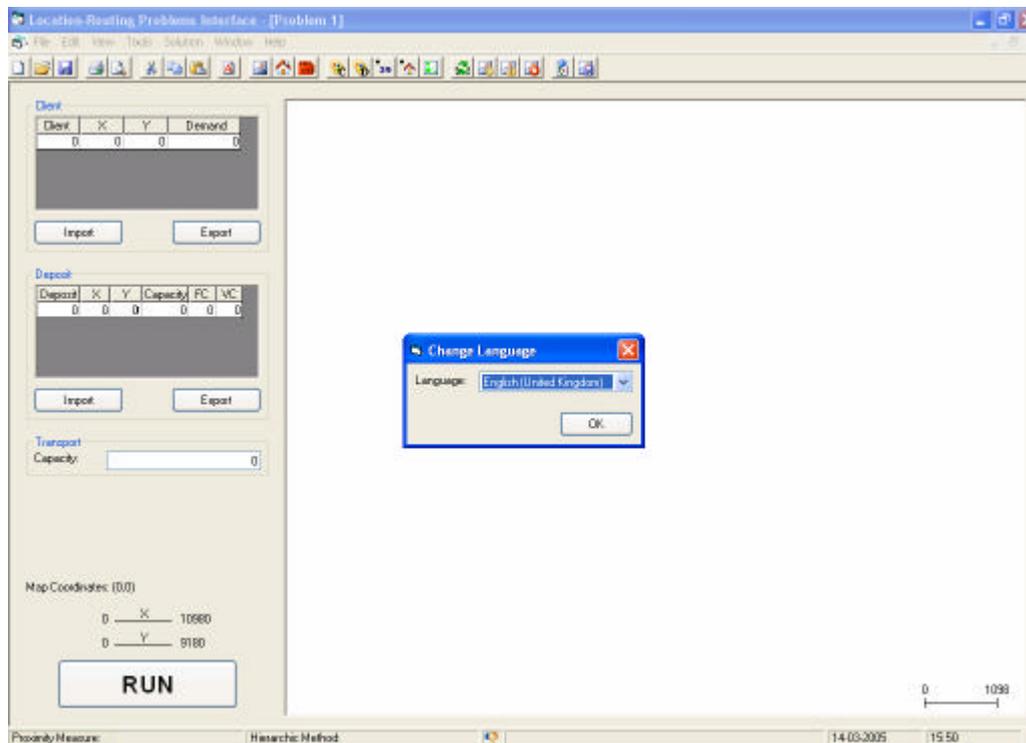


Figura 4.10: SAD com o idioma definido como Inglês (Reino Unido).

Por esse motivo foi acrescentada a funcionalidade de mudança de idioma que permite ao utilizador definir o idioma no qual pretende trabalhar. Por forma a facilitar a introdução de mais idiomas o método de introdução de novos idiomas é feito através da edição do ficheiro 'Language.txt', bastando para esse efeito editar (ou criar) os textos existentes, obedecendo à formatação existente.

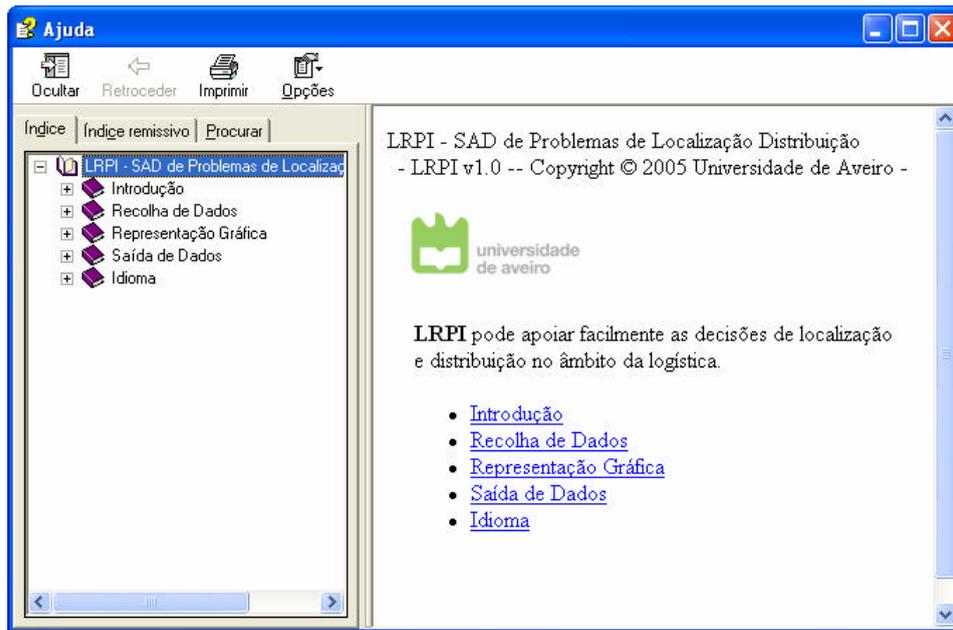


Figura 4.11: Ficheiro de ajuda da aplicação.

Outra das características que foi introduzida foi o ficheiro de ajuda do tipo 'html', tendo as opções de índice e índice remissivo; esta funcionalidade constitui uma ferramenta essencial e indispensável em todas as aplicações dos dias de hoje.

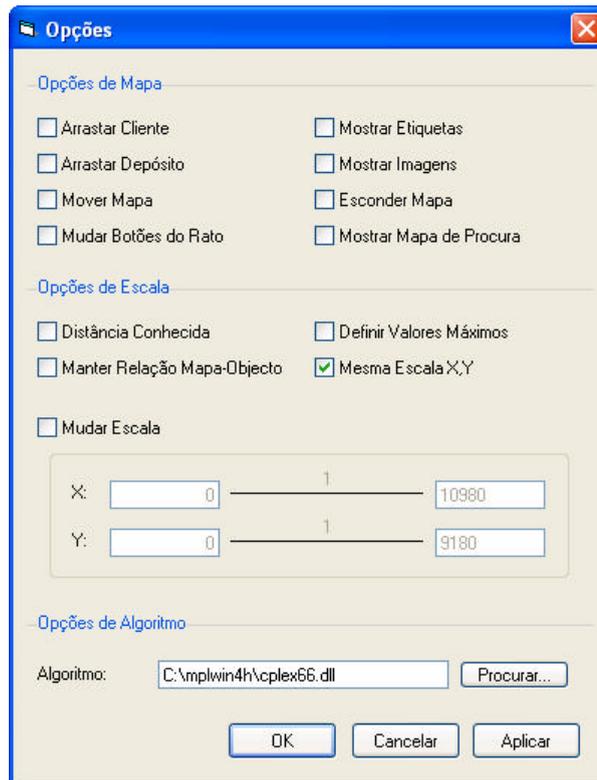


Figura 4.12: Janela de opções do SAD.

Na Figura 4.12 é possível visualizar algumas das funcionalidades disponibilizadas na aplicação através da janela de opções. Entre essas funcionalidades existe a hipótese de definir a escala de visualização, definindo o mínimo e o máximo de visualização para as duas dimensões.

Outra funcionalidade prende-se com a hipótese de definir o “caminho” do algoritmo. Como já foi referido, este SAD permite a integração de outros algoritmos de resolução. Para esse efeito é necessário definir o caminho do algoritmo na janela de opções.

4.3 – Algoritmo de resolução

Como já foi referido anteriormente, para que o SAD tenha interesse, é necessário que se consigam obter boas soluções para uma gama razoável de diferentes problemas. No entanto, visto que o PLDC é NP-completo, não se torna fácil a obtenção de algoritmos que consigam resolver este problema de forma exacta. Pode-se mesmo dizer que é pouco provável que venham a existir algoritmos que resolvam problemas de grande dimensão em tempo aceitável.

Por esse motivo a solução para este problema passa por descobrir algoritmos heurísticos que permitam obter boas soluções aproximadas em tempo razoável

Barreto (2004) considera mesmo que, apesar deste inconveniente, o recurso a algoritmos heurísticos acaba por apresentar algumas vantagens. O autor apresenta como principais vantagens: poder produzir mais do que uma solução, permitindo ao utilizador uma flexibilidade de escolha da melhor solução (em função dos seus objectivos); permitir obter boas soluções em tempo aceitável; obter formulações que são fáceis de entender, modificar e implementar; e ainda permitir resolver problemas de muito maior dimensão. Por este motivo, a maior parte das publicações sobre PLD propõe métodos de resolução aproximada.

Os primeiros métodos a serem propostos foram os métodos de transformação cuja característica principal é a resolução de PLD como sendo problemas de Localização-Afectação (PLA) ou como Problemas de Rotas de Veículos (PRV).

No que diz respeito ao primeiro método referido, procedia-se à redução dos clientes da mesma rota num único cliente, sendo posteriormente resolvido o PLA considerando somente esses clientes (que representavam a rota). No segundo método o PRV é resolvido para todas as possíveis combinações de CA, sendo posteriormente escolhida a opção com um custo menor.

De seguida, surgiram os métodos sequenciais que recorrem à resolução sequencial dos dois problemas que estão na origem dos PLD (os PLA e PRV).

Os métodos iterativos, por sua vez, surgiram da aplicação iterativa dos métodos sequenciais.

Por último, Nagy e Salhi (1996b) consideram os PLD como problemas de localização em que se inclui informação sobre as rotas dos veículos. Desta forma, os autores consideram os PRV como subordinados aos PLA, conduzindo a uma nova abordagem dos PLD, designados por métodos encaixados.

Na Figura 4.13 é apresentada uma classificação dos métodos heurísticos para resolução de PLD, tendo por base a proposta de Nagy e Salhi (1996a). Nesta classificação Barreto acrescenta os métodos transformados e, ao nível dos métodos sequenciais e iterativos, contempla a possibilidade de ser distribuição-primeiro, localização-depois.

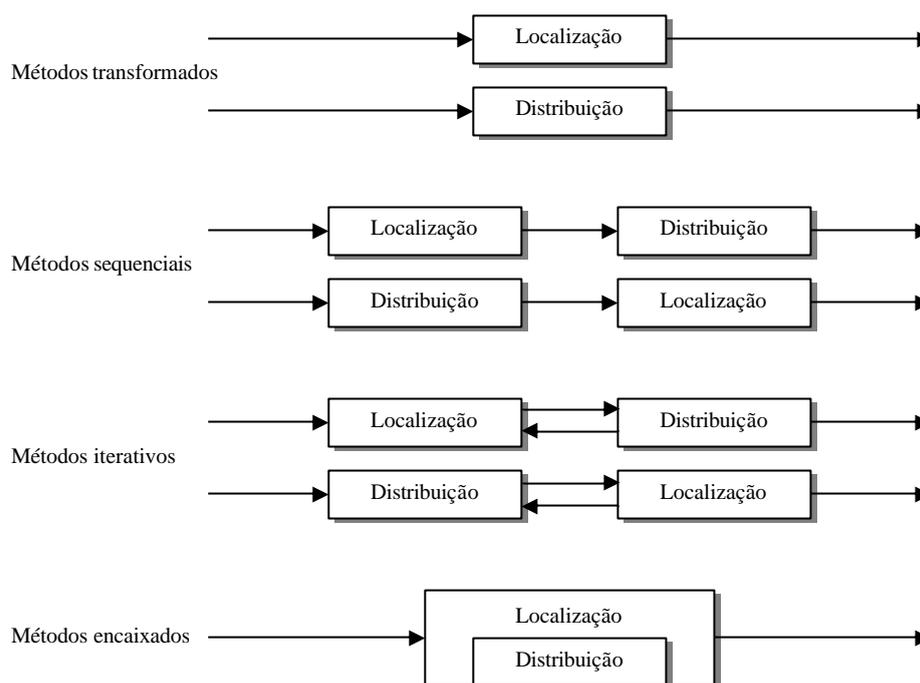


Figura 4.13: Classificação dos métodos heurísticos para a resolução do PLD
(adaptado de Barreto, 2004, p. 154).

Relativamente a estes métodos de resolução, pode-se ainda recorrer a procedimentos de melhoramento. Entre os possíveis procedimentos contam-se métodos de pesquisa local ou meta-heurísticas que consigam alargar a zona de pesquisa.

Por forma a se desenvolver um SAD, teria que se recorrer a uma heurística que, ainda que não muito específica, pudesse abranger o maior número de situações possíveis, com um conjunto de boas soluções.

Devido aos bons resultados apresentados (GAP médio e mediana de 4.81% e 3.13% respectivamente), a que melhor se parece enquadrar nestas características é a apresentada por Barreto (2004) para PLDC. Esta heurística trata-se de um algoritmo simples, com alguns passos de resolução exacta e que se baseia na Análise de Grupos. Relativamente à sua classificação trata-se de um método sequencial do tipo distribuição? localização. Apesar de ter sido adoptada esta heurística, a estrutura e desenho do programa permite a introdução e utilização de outras aproximações à resolução deste tipo de problemas.

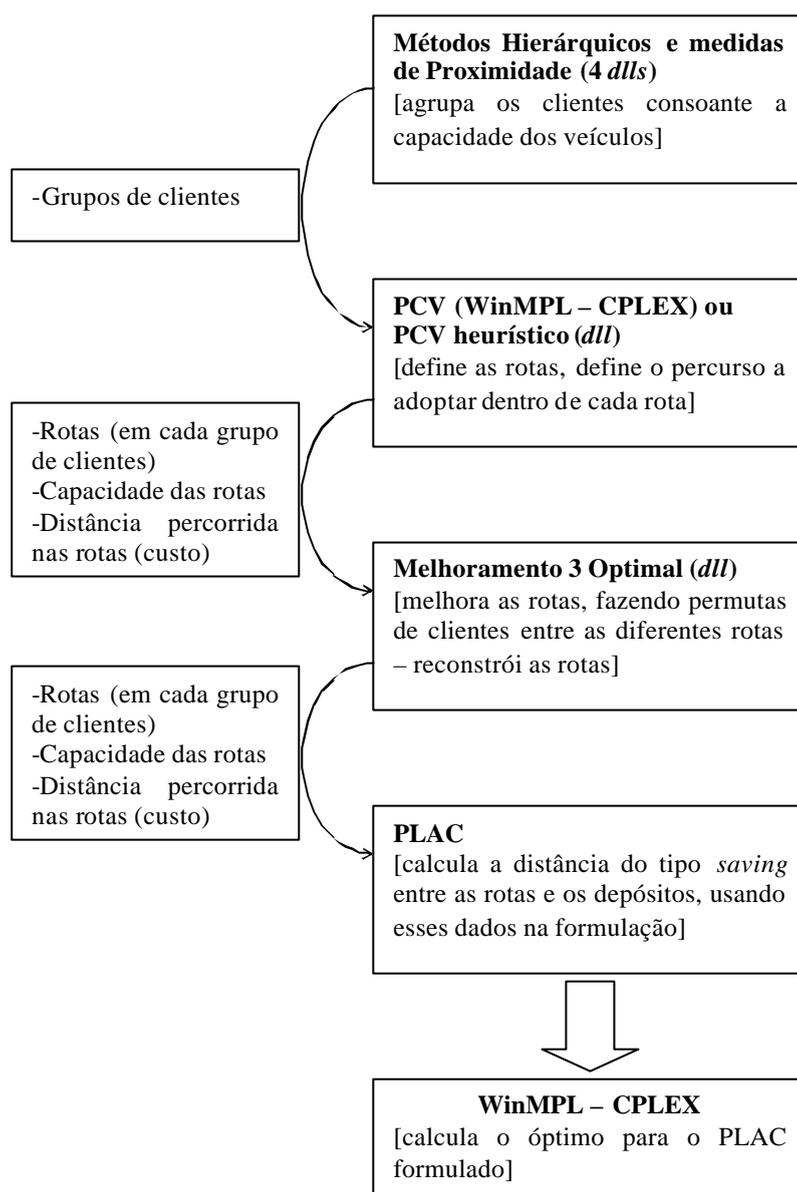


Figura 4.14: Esquema representativo dos passos do algoritmo, assim como os dados de entrada e saída de cada uma das diferentes fases.

A heurística é composta por quatro passos principais:

- ? **passo 1:** construir grupos de clientes com base na capacidade dos veículos;
- ? **passo 2:** determinar a rota de distribuição dentro de cada grupo de clientes;
- ? **passo 3:** melhorar as rotas;
- ? **passo 4:** localizar os CA e afectar-lhes as rotas.

Na Figura 4.14 é apresentado um esquema representado dos diferentes passos da heurística, com os dados de entrada e saída para cada um dos passos. Nas secções que se seguem irá ser feita uma explicação mais detalhada, assim como a formulação dos diferentes passos da heurística.

4.3.1 – Agrupamento dos clientes

O primeiro passo do algoritmo é a criação de grupos de clientes com base na capacidade dos veículos. Por forma a criar esse agrupamento é necessário que o utilizador escolha o método de agrupamento que pretende usar. No protótipo desenvolvido existem 20 métodos de agrupamento de clientes, sendo uma combinação de 6 medidas de proximidade com 4 métodos de agrupamento.

Medidas de Proximidade:

- ? Ligação Simples;
- ? Ligação Completa;
- ? Média de Grupo;
- ? Centróide;
- ? *Ward*;
- ? *Saving* (União de Rotas).

Métodos de Agrupamento:

- ? Hierárquico de uma fase (Hierárquico 1);
- ? Hierárquico de duas fases (Hierárquico 2);
- ? Não-Hierárquico de afectação directa (Não-Hierárquico 1);
- ? Não-Hierárquico de afectação sequencial (Não-Hierárquico 2).

No método Não-Hierárquico de afectação directa as medidas de proximidade ligação completa, média de grupo, centróide e *saving* reduzem-se à medida ligação simples.

Este agrupamento, no protótipo, é realizado pelas *dlls*: ‘DLLclusterH1.dll’; ‘DLLclusterH2.dll’; ‘DLLclusterNH1.dll’ e ‘DLLclusterNH2.dll’ (respectivamente para os métodos hierárquico 1, hierárquico 2, não-hierárquico 1 e não-hierárquico 2). Estas *dlls* fornecem à aplicação os dados referentes aos grupos dos clientes formados que corresponde ao primeiro passo da heurística.



Figura 4.15: Janela de escolha do método de agrupamento de clientes.

Barreto (2004) realiza uma avaliação completa dos métodos de agrupamento com as 6 medidas de proximidade. Uma vez que não é objectivo desta dissertação fazer a verificação dos resultados da heurística, apenas será feita, de seguida, uma breve explicação das medidas de proximidade e dos métodos de agrupamento adoptados.

Medidas de Proximidade

Em todos os métodos de agrupamento, a noção de proximidade entre dois grupos de elementos assume um papel extremamente importante. Todas as medidas têm como principal objectivo quantificar a proximidade entre dois grupos, com base no conceito de proximidade entre dois elementos (neste caso os elementos são os clientes no plano).

No que diz respeito a dados quantitativos, a medida mais comum para determinar a proximidade entre dois pontos no plano é a métrica euclidiana. Esta métrica determina a proximidade $d(I, J)$ entre os pontos I e J , de coordenadas (x_i, y_i) e (x_j, y_j) , como sendo a menor distância em linha recta entre os pontos dada por,

$$d(I, J) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

É com base neste conceito de proximidade entre dois elementos que Barreto (2004) propõe seis medidas de proximidade. Das medidas propostas, apenas a medida de proximidade do tipo *saving* provêm da área da Investigação Operacional, sendo que as restantes têm origem na literatura sobre Análise de Grupos (Anderberg, 1973, Jain e Dubes, 1988, Kaufman e Rousseeum, 1990 e Everitt, 1993).

A Tabela 4.2 mostra uma representação gráfica e analítica das diferentes medidas de proximidade adoptadas nesta heurística. Estas medidas são aplicadas entre dois grupos de pontos A e B, sendo que cada elemento dos conjuntos é constituído por um par de coordenadas (representação no plano). Os elementos *I* e *J* dos conjuntos são constituídos respectivamente pelas coordenadas (x_i, y_i) e (x_j, y_j) .

Relativamente às medidas de proximidade Centróide e Ward, estas são definidas a partir do conhecimento do centro de gravidade de cada grupo (centróide). Os centros de gravidade são designados por m_A e m_B , sendo obtidos da seguinte forma (para o grupo A):

$$m_A = \left(\frac{\sum_{i \in A} x_i}{|A|}, \frac{\sum_{i \in A} y_i}{|A|} \right).$$

A medida de proximidade Ward é uma medida que indica o desvio dos diferentes elementos do grupo relativamente ao centro de gravidade. Esta difere da Centróide na medida em que na sua determinação faz-se referência à soma do erro quadrático de um grupo. Kaufman *et al.* (1990) fazem um estudo aprofundado relativamente ao desenvolvimento desta medida de proximidade.

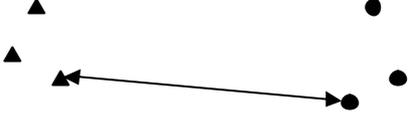
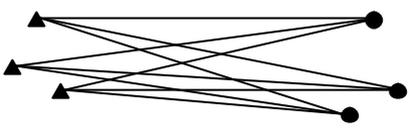
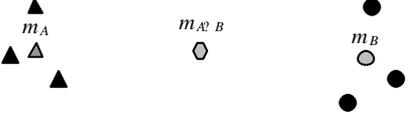
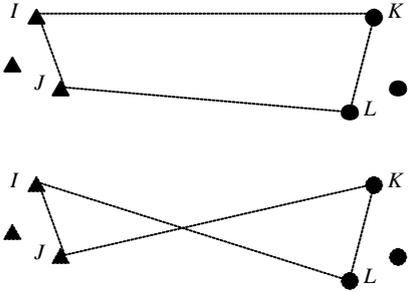
Relativamente à função de proximidade do tipo *saving*, apresentada por Clark e Wright (1964), para avaliar a proximidade entre duas rotas com um mesmo CA, Barreto (2004) opta por incluir esta medida visto permitir obter excelentes percursos do Caixeiro Viajante, tornando-se por isso apropriada na construção de grupos para a obtenção de boas rotas.

A medida do tipo *saving* pode ser generalizada de forma a permitir o cálculo da proximidade entre dois grupos de pontos A e B (Tabela 4.2). Esta medida parte do princípio que, em cada grupo, foi formada uma rota e tenta quantificar a poupança obtida pela união das duas rotas. A medida *saving*, em que os pontos *I* e *J* pertencem ao grupo A e os pontos *K* e *L* ao grupo B, é obtida por,

$$S = d(I, J) + d(K, L) - d(I, K) - d(J, L).$$

Barreto (2004) justifica a utilização destas seis medidas de proximidade pelo facto de não ser clara a superioridade de uma medida de proximidade relativamente a outra. O autor apresenta esta conclusão tendo por base vários estudos efectuados, por diversos autores, às diferentes medidas.

Tabela 4.2: Representação gráfica e analítica das medidas de proximidade entre grupos
(adaptado de Barreto, 2004, p. 163).

<p>Grupo A Grupo B</p> 	<p>Ligação Simples</p> $d(A, B) = \min_{\substack{I \in A \\ J \in B}} d(I, J)$
	<p>Ligação Completa</p> $d(A, B) = \max_{\substack{I \in A \\ J \in B}} d(I, J)$
	<p>Média de Grupo</p> $d(A, B) = \frac{\sum_{I \in A, J \in B} d(I, J)}{ A B }$
	<p>Centróide</p> $d(A, B) = d(m_A, m_B)$
	<p>Ward</p> $d(A, B) = \frac{ A B }{ A + B } d(m_A, m_B)$
	<p>Saving</p> $d(A, B) = \min_{\substack{I, J \in A \\ K, L \in B}} \{ \min \{ d(I, K) + d(J, L) - d(I, J) - d(K, L) \} \}$

Nesses estudos são apresentados resultados, por vezes contraditórios, em que não se consegue provar a superioridade de uma medida, relativamente a outra, para todas as aplicações possíveis. Esta conclusão vem de encontro à apresentada por Edelbrock e McLaughlin (1980) que admitem que para cada caso deve ser escolhida cuidadosamente uma determinada medida e só após terem sido efectuados testes com as restantes se pode chegar a conclusões definitivas sobre a medida adoptada.

Métodos de Agrupamento

Como já foi referido, não existe um método de agrupamento que se possa superiorizar (em termos de resultados) relativamente aos restantes, para todas as aplicações. Apesar de este factor poder constituir um obstáculo para o investigador, do ponto de vista do decisor, esta situação acaba por se revelar vantajosa. Nem sempre a melhor solução do ponto de vista matemático é a solução que mais se adequa às necessidades do decisor. Por vezes é mais importante para o decisor ter um conjunto de boas soluções do que apenas uma única solução óptima. Esta preferência resulta do facto da decisão, muitas vezes, estar condicionada por outros factores ou motivações que não só o custo total.

Por este motivo, e para garantir que se obtém a melhor solução de agrupamento possível, Barreto (2004) propõe quatro métodos de agrupamento com vista à realização do primeiro passo da heurística. Estes métodos de agrupamento são baseados na teoria da Análise de Grupos, sendo os dois primeiros hierárquicos e os restantes dois não-hierárquicos :

- ? método hierárquico de uma fase;
- ? método hierárquico de duas fases;
- ? método não-hierárquico de afectação directa;
- ? método não-hierárquico de afectação sequencial.

No que diz respeito aos métodos hierárquicos de agrupamento existem em duas grandes classes: os métodos aglomerativos que vão sucessivamente juntando grupos mais pequenos e os métodos divisivos que actuam no sentido contrário, desagregando grupos maiores em mais pequenos. Nesta heurística são usados os métodos hierárquicos aglomerativos. Estes métodos obedecem a um procedimento aglomerativo que consiste na união iterativa dos grupos mais próximos. Inicialmente são formados grupos com um só cliente para depois, em cada iteração, serem unidos os dois grupos mais próximos. Caso não seja definido um critério de paragem, o processo termina quando existir um só grupo com todos os clientes.

No caso dos PLDC, onde os grupos de clientes que pertencem à mesma rota têm capacidade máxima, não é admissível que os grupos sejam consecutivamente unidos uns aos outros. Por esse motivo, o limite de capacidade actuará como critério de paragem natural, permitindo a união dos grupos mais próximos somente no caso de o grupo resultante não exceder o limite de capacidade.

De seguida irão ser mostrados os algoritmos usados nos métodos hierárquicos de uma e de duas fases.

Algoritmo 1 *Método Hierárquico de Uma Fase*

Dados:

*Coordenadas de $N = \{1, \dots, n\}$ clientes no plano com encomenda $e_i : i = 1, \dots, n$.
 $w =$ capacidade dos veículos.*

Resultados:

$G = \{G_1, \dots, G_r : \text{Cap}(G_l) \leq w, l = 1, \dots, r\}$ grupos de clientes com limite de capacidade.

Passo 1: Inicialização

- a) Construir n grupos com um único cliente $G = \{G_i : G_i = \{i\}, i \in N\}$.*
- b) Determinar a matriz de proximidade (Prox) entre os grupos.*

Passo 2: Iteração

- a) Seja $\text{Prox}[i,j]$ a menor entrada da matriz Prox.*
- b) Se $\text{Prox}[i,j] = ?$ então terminar.*
- c) Se $\text{Cap}(G_i) + \text{Cap}(G_j) \leq w$ então*
 - c 1) unir os grupos G_i e G_j ,*
 - c 2) actualizar G e Prox,*
 - c 3) voltar a a).*
- d) Se $\text{Cap}(G_i) + \text{Cap}(G_j) > w$ então*
 - d 1) fazer $\text{Prox}[i,j] = ?$, evitando a escolha futura dos grupos G_i e G_j ,*
 - d 2) voltar à alínea a).*

A este método de agrupamento podem ser adaptadas todas as medidas de proximidade ilustradas na Tabela 4.2. Para esse efeito terá que se ajustar o cálculo inicial da matriz de proximidade *Prox* e ser feita a sua actualização na parte iterativa.

Relativamente ao método hierárquico de duas fases, numa primeira fase é aplicado o método hierárquico sem restrições de capacidade. Este procedimento faz com que o algoritmo construa livremente um determinado número de grupos. Uma vez que se conhecem as encomendas dos clientes (e_i) e a capacidade máxima de cada grupo (w) (que corresponde à capacidade dos veículos) pode-se determinar o número mínimo de grupos (r) da seguinte forma:

$$r = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{w} \right\rceil$$

Após a obtenção do número mínimo de grupos (r) é aplicado o método de agrupamento hierárquico, formando livremente r grupos. Nesta fase o critério de paragem não é a capacidade limitada mas antes o número de grupos a formar. A ausência de restrição relativa ao limite de capacidade conduz à formação de grupos que, muito provavelmente, irão exceder a capacidade máxima.

De seguida avança-se para a segunda fase em que são repostos os limites de capacidade em cada grupo. Para esse efeito, o algoritmo executa um procedimento que faz a transferência de clientes, dos grupos em que o limite da capacidade é excedido, para grupos que os possam receber sem exceder a capacidade. Este procedimento também garante que os clientes são transferidos somente para os grupos próximos (usando uma medida de proximidade proposta por Barreto, 2004), evitando que se percam as características e potencialidades do método de agrupamento usado na primeira fase.

Algoritmo 2 *Método Hierárquico de Duas Fases*

Dados:

Coordenadas de $N = \{1, \dots, n\}$, clientes no plano com encomenda $e_i : i = 1, \dots, n$.

$w =$ capacidade dos veículos.

Resultados:

$G = \{G_l : Cap(G_l) \leq w, l = 1, \dots, r\}$ grupos de clientes com limite de capacidade.

Passo 1: Inicialização

a) Determinar o número mínimo de grupos, $r = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{w}$.

b) Seja $H = \{G_i : G_i = \{i\}, i \in N\}$.

Passo 2: Iteração

a) Construir r grupos, $G = \{G_1, \dots, G_r\}$, por aplicação de um algoritmo hierárquico de agrupamento sobre H .

b) Se os grupos cumprem o limite de capacidade, terminar.

c) Seja $H = \{G_1, \dots, G_t\}$ o conjunto dos grupos de clientes com excesso de capacidade.

d) Seja $\alpha_{prox}(j) = \min_{i \in H} \alpha_{prox}(i)$.

e) Se $\alpha_{prox}(j)$ existe **então**

e 1) transferir o cliente j ,

e 2) actualizar a matriz de profundidade entre todos os clientes e os dois grupos alterados,

e 3) voltar a b).

f) Se $\alpha_{prox}(j)$ não existe **então** fazer $r = t + 1$ e voltar a a).

Sendo o coeficiente de proximidade ($\alpha_{prox}(i)$) definido por,

$$\alpha_{prox}(i) = \frac{\min_{G_j \in G \setminus G_t} \text{PesoExt}(i, G_j)}{\text{PesoInt}(i, G_t)},$$

para o peso interno, como sendo a medida da proximidade entre o cliente i e o grupo a que pertence, definido por,

$$\text{PesoInt}(i, G_t) = \text{prox}(i, G_t \setminus \{i\}),$$

e o peso externo, como a medida da proximidade entre o cliente i e o Grupo G_m , definido da seguinte forma:

$$\text{PesoExt}(i, G_m) = \text{prox}(i, G_m).$$

Este algoritmo transfere sempre o cliente com menor coeficiente de proximidade, não efectuando qualquer juízo de avaliação sobre o valor do coeficiente. Apesar de correr o risco de

transferir clientes para grupos muito afastados, só é criado um novo grupo se não for possível cumprir os limites de capacidade com o número de grupos existente, conduzindo ao estabelecimento do número mínimo de grupos, uma condição indispensável à obtenção de boas soluções do PLDC.

Enquanto que nos métodos hierárquicos se parte de um conjunto de grupos com um único elemento e se caminha, por um processo de sucessivas iterações, para a construção de um só grupo, os métodos não hierárquicos são desenhados para construir r grupos, em que r é conhecido *à priori* ou é determinado como parte do método. Um método de agrupamento não hierárquico convergente pode ser implementado através da seguinte sequência de passos:

- ? Formar r grupos, cada um com um cliente fonte. Designar por clientes livres os que ainda não foram afectados a qualquer grupo;
- ? Afectar cada cliente livre ao grupo mais próximo.

Embora estes dois passos sintetizem as etapas principais dos métodos não hierárquicos, há que ter em conta, desde logo, que a necessidade de construir grupos com capacidade limitada condicionará sempre a deslocação de elementos entre grupos.

No método não hierárquico de afectação directa cada vértice livre é afectado directamente ao grupo cujo vértice fonte se encontra mais próximo, daí a sua designação.

Algoritmo 3 *Não Hierárquico de Afectação Directa*

Dados:

*Coordenadas de $N = \{1, \dots, n\}$, clientes no plano com encomenda $e_i : i = 1, \dots, n$.
 $w =$ capacidade dos veículos.*

Resultados:

$G = \{G_l : Cap(G_l) \leq w, l = 1, \dots, r\}$ grupos de clientes com limite de capacidade.

Passo 1: Inicialização

- a) Seja $H = N$ o conjunto dos clientes livres (ainda não afectados).*
- b) Seja $G = ?$.*

Passo 2: Iteração

- a) Determinar o número mínimo de grupos em H , $r = \lceil \frac{|H|}{w} \rceil$.
- b) Formar r grupos $F = \{G_1, \dots, G_r\}$ em H , cada um com um elemento (cliente fonte).
- c) $H = H - F$.
- d) Afectar cada vértice livre ao grupo cujo cliente fonte se encontra mais próximo, desde que não seja ultrapassada a capacidade do grupo. Actualizar F e H .
- e) Fazer $G = G \cup F$.
- f) Se $H = \emptyset$ terminar, caso contrário voltar a a).

No método anterior, a responsabilidade de captação de clientes para o grupo é atribuída por inteiro ao seu cliente fonte. No método não hierárquico de afectação sequencial, os clientes livres são afectados ao grupo mais próximo, centrando por sua vez a responsabilidade de atracção de novos clientes em todo o grupo (em vez de um único cliente). Por causa desta diferença é necessário recalcular, em cada iteração, a proximidade entre os clientes livres e os grupos entretanto alterados.

Algoritmo 4 Não Hierárquico de Afectação Sequencial

Dados:

Coordenadas de $N = \{1, \dots, n\}$, clientes no plano com encomenda $e_i : i = 1, \dots, n$.
 $w =$ capacidade dos veículos.

Resultados:

$G = \{G_l : \text{Cap}(G_l) \leq w, l = 1, \dots, r\}$ grupos de clientes com limite de capacidade.

Passo 1: Inicialização

- a) Seja $H = N$ o conjunto dos clientes livres (ainda não afectados).
- b) Seja $G = \emptyset$.

Passo 2: Iteração

- a) Determinar o número mínimo de grupos em H , $r = \lceil \frac{|H|}{w} \rceil$.

- b) Formar r grupos $F = \{G_1, \dots, G_r\}$ em H , cada um com um elemento.
- c) $H = H - F$.
- d) Afectar cada vértice livre ao grupo mais próximo, desde que não seja ultrapassada a capacidade do grupo. Actualizar F e H .
- e) Fazer $G = G \cup F$.
- f) Se $H = \emptyset$ terminar, caso contrário voltar a a).

Este passo da heurística (com os diferentes métodos de agrupamento e medidas de proximidade) permite fazer o agrupamento dos clientes, que serão os dados de entrada para o passo seguinte da heurística, que será explanada na secção que se segue.

4.3.2 – Problema do caixeiro viajante

Após a obtenção dos grupos de clientes é feito o cálculo do Problema do Caixeiro Viajante (PCV) com o objectivo de se obter o percurso óptimo dentro de cada grupo obtido. Este passo tanto pode ser exacto como aproximado, dependendo da dimensão do problema.

Nesta fase da heurística, a aplicação “formula” o PCV e interage com o pacote de *software* de optimização (neste caso o CPLEX) com vista à obtenção da solução. Se é obtida a solução óptima, avança-se para o terceiro passo da heurística. Caso o CPLEX não consiga encontrar uma solução óptima (em tempo útil ou caso não seja possível calcular a formulação apresentada¹⁴) o sistema recorre a um algoritmo que permite calcular, através de uma heurística, uma solução aproximada para o PCV. Esse algoritmo está presente no protótipo através da *dll* ‘TSPaproximado.dll’. Este passo permite definir o percurso a adoptar dentro de cada grupo de clientes (que foi definido no passo anterior da heurística).

O PCV (Lawler, Lenstra, Rinnoy e Shmoys, 1985) é um dos problemas mais conhecidos e estudados da análise combinatória. O seu sucesso deve-se principalmente à facilidade de compreensão do modelo. No entanto, apesar de ser de fácil compreensão, a sua resolução é de extrema dificuldade, uma vez que se trata de um problema NP-completo. Por esse motivo não existem algoritmos eficientes na resolução destes problemas. De seguida irá ser feita uma breve introdução à definição e formulação matemática do PCV (Barreto, 2004).

Definição 1

Encontrar a rota de menor custo que permita a visita a todos os clientes de uma rede passando uma só vez por cada cliente é o objectivo a alcançar com a resolução do Problema do Caixeiro Viajante.

O PCV definido anteriormente pode ser formalizado matematicamente em programação linear binária considerando os dados N , c_{ij} e as variáveis x_{ij} tal como definidas de seguida. Considera-se em N a existência de, pelo menos, 3 elementos (clientes).

Definição das variáveis:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$, conjunto com n clientes no plano;

c_{ij} = custo associado à ligação entre os clientes $i, j \in N$;

x_{ij} = número de vezes que é usada a ligação entre os clientes $i, j \in N$.

Formulação matemática:

$$\text{Min } Z = \sum_{i,j \in N, i \neq j} c_{ij} x_{ij}$$

sujeito a:

$$\sum_{i \in N, i \neq g} x_{ig} = \sum_{j \in N, g \neq j} x_{gj} = 2 \quad , (g \in N) \tag{4.1}$$

$$\sum_{i,j \in S, i \neq j} x_{ij} = |S| \tag{4.2} \quad , (S \in N, 3 \leq |S| \leq \frac{n-1}{2})$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad , (i, j \in N, i < j) \tag{4.3}$$

A função objectivo representa o custo total do percurso do caixeiro viajante.

As restrições (4.1) têm por objectivo garantir que cada cliente é visitado exactamente uma vez (tendo em consideração as restrições (4.3)).

¹⁴ Por motivos de limitação do pacote de software CPLEX. A licença utilizada está limitada a 300 restrições e 300 variáveis.

As restrições (4.2) devem-se a Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954) e impedem a formação de sub-ciclos que não contenham todos os clientes. Nestas restrições considera-se apenas necessário confirmar a inexistência de sub-ciclos em sub-conjuntos S de N , tais que $3 \leq |S| \leq \frac{2n}{3}$.

As restrições (4.3) estabelecem o valor zero para as arestas que não pertencem à solução e o valor um no caso de fazerem parte da solução, trata-se por isso de garantir que as variáveis x_{ij} são binárias.

Em cada um dos grupos de clientes é resolvido o PCV, tal como foi formulado anteriormente, integrando as restrições (4.1), (4.3) e algumas das restrições (4.2) (inicialmente apenas serão introduzidas as restrições que eliminam sub-ciclos com 3 clientes), relaxando as restantes restrições de sub-ciclos. As restrições relaxadas serão depois introduzidas nas seguintes iterações à medida que forem sendo violadas.

Como já foi referido, caso não se consiga resolver o PCV, a aplicação recorre a um procedimento heurístico eficiente que se desenrola em duas fases, a primeira de construção e a segunda de melhoramento. Este algoritmo tem por base os estudos de Lawler *et al.* (1985) que confirmam este método sequencial de dois passos (construção de uma boa solução inicial e melhoramento dessa solução por um processo *3-optimal*) como uma excelente opção para a resolução do PCV.

O algoritmo seguinte especifica com maior detalhe como se desenvolve a resolução heurística do PCV.

Algoritmo 5 *Resolução Heurística do PCV*

Dados:

$G = \{1, \dots, n\}$ grupo de clientes no plano.

Resultados:

Uma solução admissível do PCV em G , representada por Rota.

Passo 1: *Inicialização*

Rota = ? , Livre = G .

Passo 2: *Construir uma solução admissível inicial*

- a) Escolher aleatoriamente um cliente $r \in G$.
- b) Seja $i \in Livre$ o cliente mais afastado de r .
- c) Fazer $Rota = Rota \cup \{i\}$. Inserção segundo um critério do tipo *saving*.
- d) Fazer $Livre = Livre - \{i\}$.
- e) Determinar o cliente $i \in Livre$ mais afastado de $Rota$.
- f) Se $Livre = \emptyset$ voltar a c).

Passo 3: Melhorar a solução por um processo de pesquisa local do tipo *3-optimal*

Após a obtenção da solução do PCV (ou do PCV heurístico) têm-se os clientes agrupados e com o percurso definido (obtido neste passo da heurística). O passo seguinte da heurística, que será apresentado na secção que se segue, consiste na realização da optimização das diferentes rotas, com recurso a um procedimento de melhoramento do tipo *3-optimal*.

4.3.3 – Melhoramento dos grupos de clientes

Após a determinação das rotas dentro de cada grupo, é usado um procedimento de melhoramento das rotas do tipo *3-optimal* (Branco e Coelho, 1990). Nesse procedimento são testadas todas as trocas possíveis, considerando-se dois arcos de uma rota e um arco de outra. Se houver melhoria no custo das rotas e a alteração não põe em causa o limite de capacidade, então efectua-se essa alteração. O processo termina quando não for possível encontrar mais trocas admissíveis e proveitosas.

A escolha de um processo de melhoramento das rotas, em vez de um processo de melhoramento posterior (após a obtenção da solução do PLDC) tem como justificação: a obtenção de uma melhoria da ordem dos 16,5% nos custos das rotas e de 25% na solução do PLDC (Barreto, Ferreira e Paixão, 2003); a possibilidade de uniformizar as rotas obtidas, corrigindo-se desta forma algumas soluções menos conseguidas no passo 1 (Barreto *et al.*, 2003); por último, pela dificuldade e complexidade na construção de um algoritmo de melhoramento da solução admissível do PLDC, em que estão envolvidos CA causando problemas na aplicação de processos de melhoramento, nomeadamente do tipo *3-optimal*.

Como já foi referido, a optimização realizada neste passo é feita com recurso a um algoritmo do tipo *3-optimal*. Este algoritmo está inserido na *dll* 'MelhoramentoRotas.dll'. Deste passo saem

para o seguinte as rotas, com a correspondente capacidade e custo (distância percorrida dentro de cada rota).

4.3.4 – Problema de localização – afectação com capacidade

Após a realização do terceiro passo da heurística, tem-se por fim as rotas que irão ser seguidas pelos veículos. Para se obter uma solução admissível do PLDC basta fazer a ligação entre as rotas e os CA. Para calcular a distância entre as rotas e os CA é usada uma função do tipo *saving* em que, para uma dada rota R_i , a distância (custo de afectação) para o CA k é obtida da seguinte forma:

$$C_{R_i k} = \min_{i, j \in R_i} \{d_{i, k} + d_{j, k} - d_{i, j}\}.$$

Após a obtenção da distância entre cada uma das rotas e os CA faz-se a contracção das rotas em clientes, aplicando-se de seguida o problema de Localização-Afectação com Capacidade (PLAC). Recorre-se a esta formulação para se obter a afectação de cada depósito a cada cliente (rota). De seguida é apresentada a formulação do PLAC, em que o cliente representa um grupo de clientes (ou rota) obtido nos passos anteriores.

Definição das variáveis:

$N = \{1, 2, \dots, n\}$, conjunto com n clientes no plano

$K = \{1, 2, \dots, k\}$, conjunto com k CA no plano

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, representativo das encomendas dos clientes (em unidades de carga)

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, representativo da capacidade dos CA (em unidades de carga)

c_{ik} = custo associado à ligação entre os clientes $i \in N$ e os CA $k \in K$

x_{ik} = número de vezes que é usada a ligação entre o cliente i e o CA k

f_k = custo associado à activação do potencial CA $k \in K$

$y_k = \begin{cases} 1 & \text{se é instalado o CA } k \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

Formulação matemática:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N, k \in K} c_{ik} x_{ik} + \sum_{k \in K} f_k y_k$$

sujeito a:

$$\sum_{k \in K} x_{ik} \leq 1 \quad , (i \in N) \quad (4.4)$$

$$\sum_{i \in N} e_i x_{ik} \leq u_k y_k \quad , (k \in K) \quad (4.5)$$

$$x_{ik} \in \{0, 1\} \quad , (i \in N, k \in K) \quad (4.6)$$

$$y_k \in \{0, 1\} \quad , (k \in K) \quad (4.7)$$

A função objectivo representa o custo total e resulta da soma dos custos de instalação dos CA com os custos da ligação entre os clientes e os CA a que serão afectados.

As restrições (4.4), em conjunto com as (4.6) impõem que cada cliente seja afectado a um só CA.

As restrições (4.5) garantem que apenas CA com clientes afectos serão abertos. Estas restrições fazem a ligação entre as variáveis de distribuição x_{ik} e as de localização y_k . Ao mesmo tempo, estas restrições garantem que a capacidade do CA instalado não é ultrapassada.

As restrições (4.6) e (4.7) garantem que as variáveis x_{ik} e y_k são binárias.

Após a afectação das rotas aos CA, obtém-se uma solução admissível do PLDC. Barreto (2004) refere ainda a possibilidade de se aplicarem outros processos de melhoramento da solução admissível do PLDC, no entanto não realiza qualquer teste a esta hipótese.

4.4 – Ilustração de um caso usando o sistema de apoio à decisão

Nesta secção será descrita a sequência específica de acções que o utilizador/decisor deve realizar para introduzir os dados na aplicação e obter a solução do problema introduzido. Para esta ilustração será utilizado um dos problemas da literatura dos PLD (Daskin, 1995), encontrando-se nos anexos os ficheiros com os respectivos dados.

Neste problema os clientes são as 150 maiores cidades europeias, existindo um conjunto de 10 potenciais depósitos situados nas 10 cidades com maior população. O objectivo do problema é satisfazer a procura dos clientes (a procura corresponde à população das cidades) sendo que se tem uma capacidade de carga dos veículos de 8 milhões de unidades de carga (uma unidade de carga corresponde a uma unidade de procura).

Introdução dos dados

Se os dados corresponderem a um novo problema, o utilizador deve seleccionar a opção **Novo** do menu **Ficheiro**.

Após a criação do novo problema o utilizador deve começar a inserir os dados do problema. Como foi referido anteriormente, existem várias formas de se introduzirem os dados na aplicação. Uma das hipóteses passaria por importar o mapa e seguidamente localizar dois pontos no mapa, definindo de seguida a distância entre eles (Figura 4.16).

No entanto, e uma vez que já se dispõe do conjunto de clientes e depósitos, guardados em ficheiros de outra aplicação, para se inserir esses dados foi usada a opção de importação (tanto de clientes como de depósitos) em que rapidamente se importam os dados referentes aos clientes, e respectiva procura, e aos depósitos, e respectiva oferta (Figura 4.17).

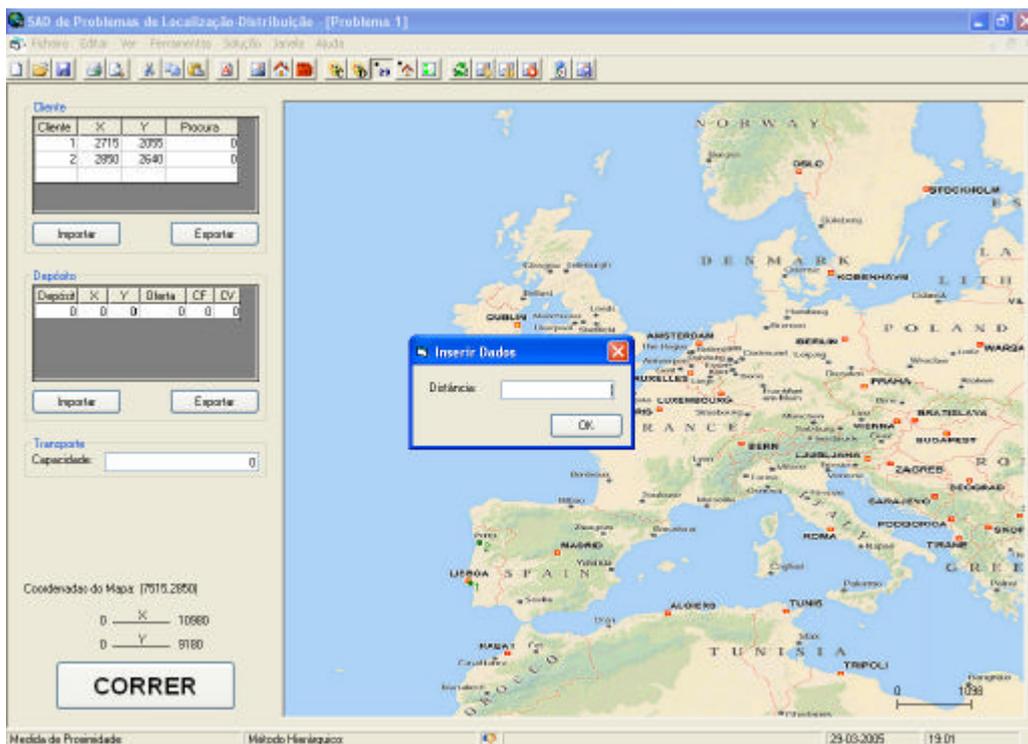


Figura 4.16: Definição da distância entre dois pontos no mapa apresentado.

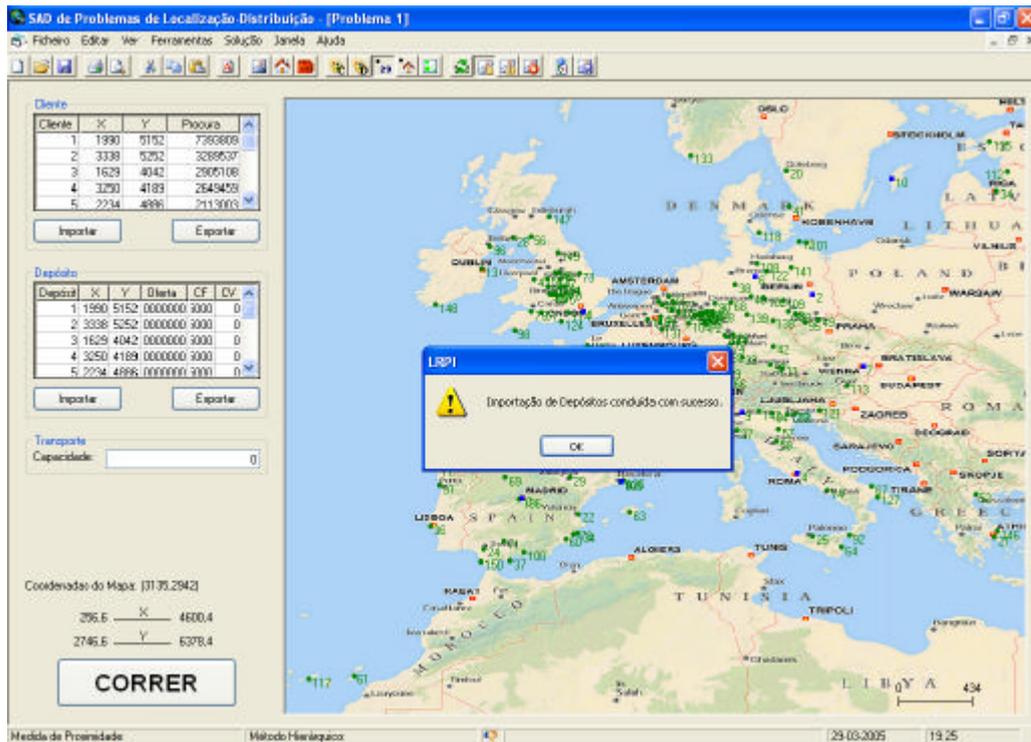


Figura 4.17: Importação dos dados referentes aos clientes e aos depósitos.

Após a obtenção dos dados dos clientes e dos depósitos obtemos um mapa que, por causa da grande quantidade de dados, fica algo denso e difícil de ler. Por forma a fornecer uma visão mais interessante do mapa é alterada a cor correspondente aos clientes e aos depósitos, activando-se de seguida a opção “ver mapa com base na procura” (Figura 4.18). Esta opção permite obter uma perspectiva da procura de cada cliente, notando-se desde logo, a cidade de Londres como a cidade com maior procura.

É também possível importar imagens de clientes e de depósitos através da barra de ferramentas, no entanto essa opção não será usada visto que já temos um mapa algo povoado.

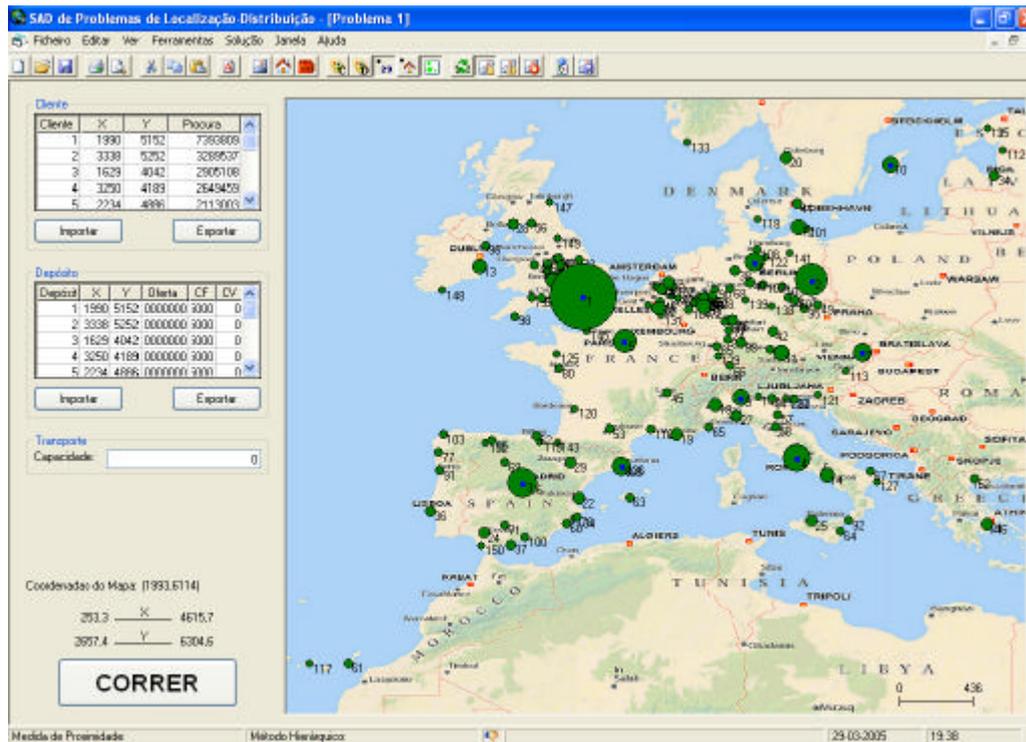


Figura 4.18: Vista do mapa com base na procura dos clientes.

Por último, é inserida a capacidade dos veículos no campo **Capacidade** dentro da caixa **Transporte** (visível na janela principal).

Cálculo e Visualização da Solução

Após a introdução dos dados procede-se ao cálculo da solução. Para se realizar o cálculo, o utilizador deverá carregar no botão **CORRER** em que aparecerá uma janela a pedir ao utilizador para inserir a medida de proximidade e método de agrupamento a ser usado na obtenção da solução. Em desenvolvimentos futuros será também possível escolher a opção **Todos**, em que a aplicação irá calcular os resultados para todos os métodos, apresentando de seguida o resultado ao utilizador, deixando-o escolher a solução que pretende visualizar.

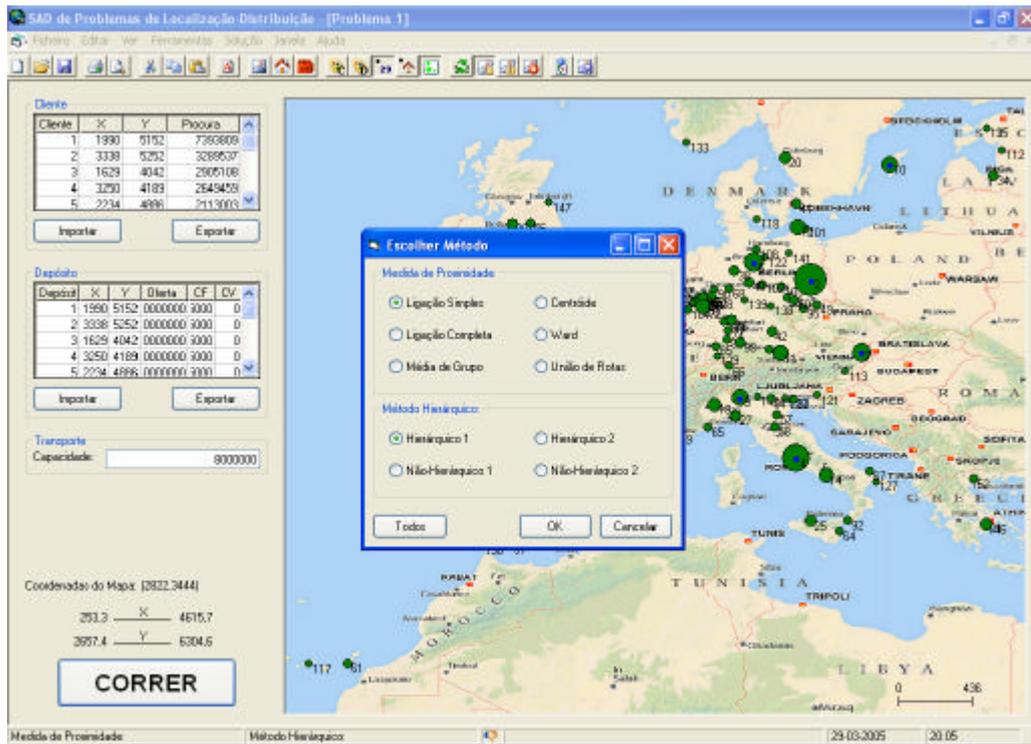


Figura 4.19: Janela de escolha do método de agrupamento e medida de proximidade.

Após a escolha do método de agrupamento a aplicação obtém a solução. O utilizador poderá facilmente visualizar qual o método de agrupamento e medida de proximidade usada, assim como se a solução encontrada é óptima ou não. Para esse efeito, basta o utilizador visualizar a barra de estado em que é mostrada essa informação (no caso da Figura 4.20 foi usado o método de agrupamento **Hierárquico 1** e a medida de proximidade **Ligação Simples**).

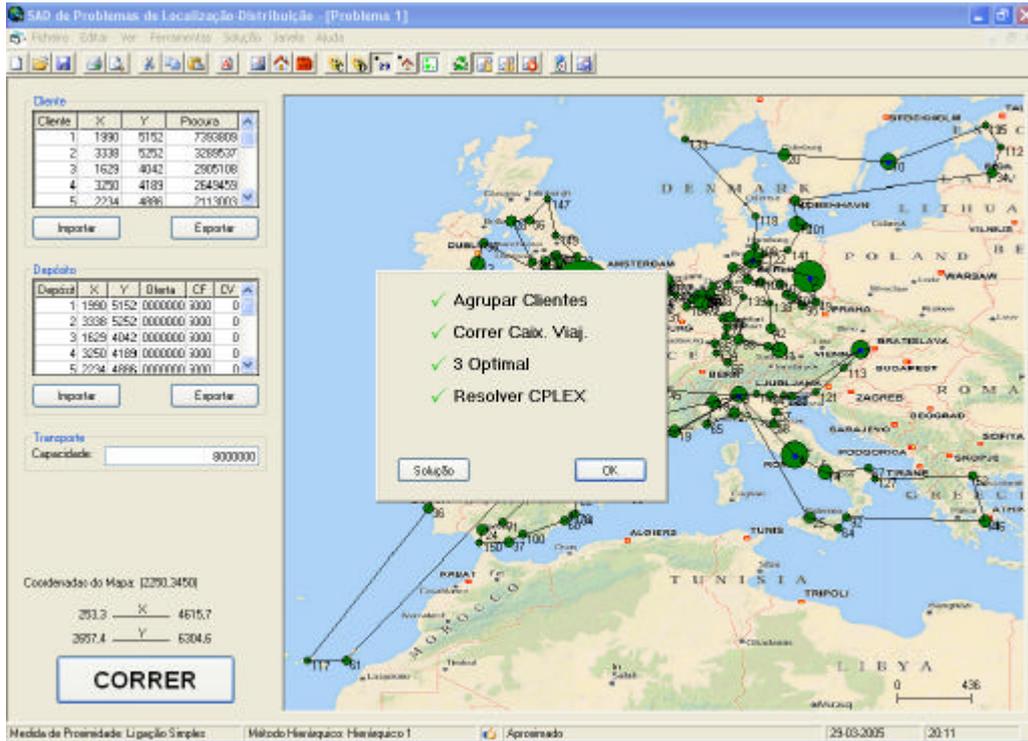


Figura 4.20: Aplicação com solução encontrada.

Para facilitar a visualização da solução encontrada foi usada a opção “esconder mapa” que permite visualizar apenas os objectos do mapa (Figura 4.21). Por forma a ver os dados da solução existe o menu **Solução** que fornece ao utilizador informação detalhada da solução (custo total, capacidade das rotas e percurso a seguir).

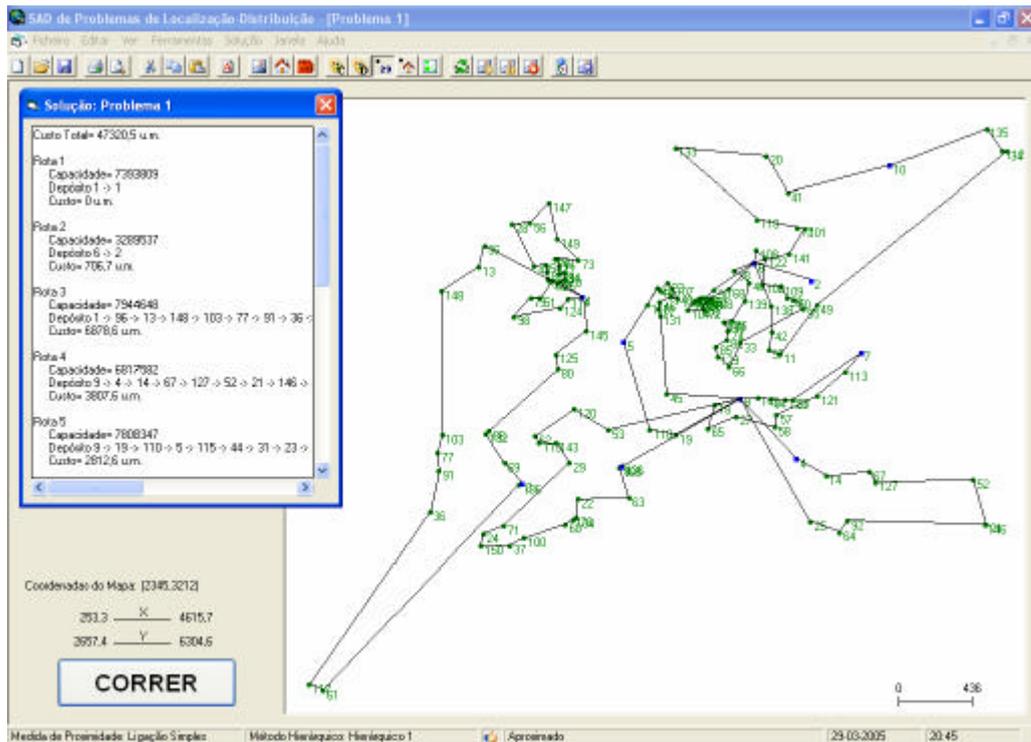


Figura 4.21: Visualização da solução encontrada.

Os resultados obtidos para o problema proposto são apresentados de seguida. Na solução os dados são separados por rotas, sendo que dentro de cada rota é mostrada informação da capacidade, do custo da rota e do percurso a seguir.

Na solução apresentada, o custo total é de 47.320,5 unidades monetárias, sendo que, por exemplo, para a rota 2 é usada uma capacidade de 3.289.537 unidades de carga com um custo de 706,7 unidades monetárias, que resulta do percurso Depósito 1 para o Cliente 2 e respectivo retorno.

Para exportar a solução obtida, o utilizador pode guardar a imagem do mapa para um ficheiro (ou parte do mapa – uma vez que pode livremente fazer *zoom* sobre uma determinada área, exportando apenas essa parcela) ou imprimir os dados da solução.

Convém ainda referir que a solução apresentada pela aplicação (obtida da heurística) fornece ligações directas, algo que, apesar de não ser realista, não difere muito do que se verifica na realidade. Esta situação deve-se ao facto de, com os actuais sistemas de transporte, para se determinar as distâncias entre duas cidades, pode-se considerar as distâncias euclidianas sem existir grande erro.

Custo Total= 47320,5 u.m.
Rota 1 Capacidade= 7393809 Depósito 1 -> 1 Custo= 0 u.m.
Rota 2 Capacidade= 3289537 Depósito 6 -> 2 Custo= 706,7 u.m.
Rota 3 Capacidade= 7944648 Depósito 1 -> 96 -> 13 -> 148 -> 103 -> 77 -> 91 -> 36 -> 117 -> 61 -> 136 -> 3 -> 69 -> 132 -> 86 -> 80 -> 125 -> 145 Custo= 6878,6 u.m.
Rota 4 Capacidade= 6817582 Depósito 9 -> 4 -> 14 -> 67 -> 127 -> 52 -> 21 -> 146 -> 92 -> 64 -> 25 Custo= 3807,6 u.m.
Rota 5 Capacidade= 7808347 Depósito 9 -> 19 -> 110 -> 5 -> 115 -> 44 -> 31 -> 23 -> 107 -> 130 -> 140 -> 46 -> 17 -> 131 -> 45 Custo= 2812,6 u.m.
Rota 6 Capacidade= 7824086 Depósito 6 -> 6 -> 38 -> 40 -> 139 -> 26 -> 89 -> 144 -> 74 -> 82 -> 85 -> 129 -> 66 -> 33 -> 95 -> 50 -> 99 -> 109 -> 102 -> 122 -> 108 Custo= 2078,2 u.m.
Rota 7 Capacidade= 6832036 Depósito 9 -> 9 -> 18 -> 65 -> 27 -> 58 -> 57 -> 121 -> 113 -> 7 -> 83 -> 123 -> 94 -> 142 Custo= 2235,2 u.m.
Rota 8 Capacidade= 7870364 Depósito 9 -> 126 -> 8 -> 105 -> 63 -> 22 -> 78 -> 134 -> 60 -> 100 -> 37 -> 150 -> 24 -> 71 -> 29 -> 143 -> 119 -> 62 -> 120 -> 53 Custo= 4374,5 u.m.
Rota 9 Capacidade= 7990279 Depósito 6 -> 138 -> 42 -> 97 -> 11 -> 49 -> 34 -> 112 -> 135 -> 10 -> 41 -> 20 -> 133 -> 118 -> 12 -> 101 -> 141 Custo= 5964,2 u.m.
Rota 10 Capacidade= 7860916 Depósito 1 -> 114 -> 124 -> 98 -> 79 -> 51 -> 15 -> 137 -> 93 -> 87 -> 54 -> 43 -> 28 -> 56 -> 147 -> 149 -> 73 -> 48 -> 76 -> 47 -> 111 -> 84 -> 70 -> 75 Custo= 2411,4 u.m.
Rota 11 Capacidade= 6336781 Depósito 6 -> 68 -> 32 -> 128 -> 59 -> 16 -> 72 -> 104 -> 88 -> 106 -> 35 -> 39 -> 116 -> 30 -> 81 -> 55 -> 90 Custo= 1051,5 u.m.

Figura 4.22: Dados da solução apresentada (rotas e custo total).

4.5 – Síntese

Neste capítulo apresentou-se o protótipo do Sistema de Apoio à Decisão que se encontra actualmente em desenvolvimento. Esse protótipo tem grandes preocupações com as questões de interacção com o utilizador, baseando-se numa heurística que possibilita a resolução de Problemas de Localização-Distribuição com Capacidade.

O SAD apresentado permite a introdução de dados e a obtenção e visualização de soluções baseando-se numa interface gráfica de utilizador extremamente intuitivo e que fornece um conjunto de boas soluções para este tipo de problemas. Na busca por soluções de desenho de um sistema logístico, este tipo de aplicações poderá representar, muitas vezes, uma mais valia importante no apoio ao decisor.

A utilização do sistema, bem como os principais aspectos da interface com o utilizador, foram ilustrados através de exemplos representativos dos tipos de estudos que poderão ser feitos com o apoio desta ferramenta.

Como grandes vantagens do SAD proposto contam-se as seguintes:

- ? a introdução e edição dos dados é feita de uma forma extremamente intuitiva;
- ? o ambiente gráfico apresentado torna a visualização e compreensão das soluções, por parte dos utilizadores, extremamente fácil;
- ? a possibilidade de importar e exportar grande quantidade de dados, facilitando a reutilização dos mesmos noutros problemas;
- ? a capacidade de se efectuar alterações, permite rapidamente obter uma nova solução;
- ? a facilidade e rapidez de obtenção de soluções, assim como a posterior exportação ou impressão das mesmas, torna a aplicação uma ferramenta de apoio interessante.

Após a descrição das funcionalidades principais do SAD foi feita uma descrição detalhada dos vários passos da heurística usada. Nessa descrição é também feita uma breve alusão aos factores que motivaram a escolha dessa heurística.

Por último, foi realizada uma aplicação do protótipo do SAD a um problema da literatura. Neste caso são exemplificados, através de ilustrações, todos os passos necessários à obtenção e visualização de soluções no SAD apresentado.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Capítulo 5 – Conclusões

5.1 – Comentário ao sistema de apoio à decisão proposto

5.2 – Limitações do estudo

5.3 – Desenvolvimento futuro

5.4 – Síntese

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES

5.1 – Comentário ao sistema de apoio à decisão proposto

A aplicação desenvolvida para este modelo de PLD cumpre os objectivos inicialmente definidos e constitui uma base de trabalho que poderá permitir vários desenvolvimentos futuros. A utilização do SAD proposto pode trazer benefícios incalculáveis, devido à sua capacidade de inserção e edição de dados e à capacidade de obtenção de soluções de um modo rápido e intuitivo.

O uso de SAD neste tipo de problemas pode trazer grandes vantagens para os decisores, na medida em que passam a dispor de uma ferramenta que permite efectuar um estudo rápido e com base científica sobre casos de localização e distribuição de um (ou vários) sistema(s) logístico(s). Outra das vantagens apresentadas prende-se com a facilidade de edição dos dados, possibilitando que o decisor possa rapidamente testar outras hipóteses para potenciais depósitos ou rotas de distribuição.

A principal preocupação subjacente ao desenvolvimento desta proposta de SAD é que a interface de utilizador seja de utilização fácil, intuitiva e ao mesmo tempo eficaz, apresentando boas soluções, por forma a que potenciais utilizadores consigam aprender a trabalhar no SAD e acreditem na sua eficácia aderindo mais facilmente à sua utilização.

5.2 – Limitações do estudo

De uma maneira geral, podem apontar-se como principais limitações ao estudo desenvolvido, os seguintes pontos:

- ? não foi possível realizar um estudo mais aprofundado junto de potenciais utilizadores. Esta dificuldade resulta, como já foi referido, da impossibilidade em conseguir um número razoável de potenciais utilizadores que pudessem servir de grupo de teste (amostra) para o estudo efectuado;
- ? não foi possível obter licenças do pacote de *software* CPLEX. Esta limitação decorre do elevado preço que comporta este tipo de licenças. Por forma a contornar este problema foi usada uma versão limitada a trezentas restrições e variáveis, não sendo possível, por isso, testar o protótipo desenvolvido com problemas de elevadas

dimensões. Esta limitação veio impossibilitar testes mais exaustivos em questões como a rapidez e a sustentabilidade da aplicação;

- ? o tempo de desenvolvimento do protótipo. Como foi referido anteriormente, o processo de desenvolvimento deste tipo de aplicações é um processo iterativo e constante. Ora estas condições não são compatíveis com os prazos de apresentação deste estudo; como tal, existe um conjunto de funcionalidades que, apesar de modeladas, não puderam ser incorporadas na versão do protótipo apresentada.
- ? não foram realizados muitos testes de usabilidade ao protótipo desenvolvido. Apesar de o desenvolvimento ter sido acompanhado por especialistas de ambas as temáticas (SAD e PLD), não foi possível (por limitação de tempo) realizar testes de usabilidade mais aprofundados.

Apesar das limitações apresentadas, o sistema de apoio à decisão apresenta um proposta de aproximação que poderá ser útil em futuros estudos.

5.3 – Desenvolvimento futuro

Como foi referido nas limitações do estudo, relativamente ao protótipo, existe um conjunto de funcionalidades que não foi possível implementar na versão apresentada (ainda que algumas já estejam modeladas). Entre essas funcionalidades encontram-se:

- ? fazer com que o programa corra o problema introduzido para todos os diferentes métodos de agrupamento e medidas de proximidade, apresentando de seguida um painel de controlo em que mostra os resultados do algoritmo para cada um das soluções obtidas. Este painel irá permitir que o utilizador possa visualizar e escolher os métodos e medidas que melhores resultados oferecem;
- ? integrar o protótipo com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitindo a obtenção de dados reais relativamente a informação demográfica, geográfica, procura, etc.;
- ? introduzir melhoramentos ao nível da interface gráfica, por forma a melhorar a interacção entre os utilizadores e o sistema;
- ? converter a linguagem de programação para VB .Net® da Microsoft. Por forma a obter uma melhor interface será feita a actualização da programação para o VB .Net®, que se trata de uma linguagem de programação totalmente orientada a objectos;

- ? possibilitar a utilização de outros algoritmos na resolução de Problemas de Localização-Distribuição com Capacidade (PLDC);
- ? permitir que o SAD consiga resolver outro tipo de problemas de localização-distribuição, assim como PLD com caminhos ou ainda casos mais específicos dos PLDC, como o PLAC e o PRV.

As funcionalidades enumeradas anteriormente serão incrementadas em futuras versões do protótipo.

Relativamente a desenvolvimentos futuros existe ainda a necessidade de elaborar testes mais aprofundados de usabilidade ao protótipo desenvolvido. Estes testes servirão posteriormente para melhorar a interface do protótipo apresentado.

5.4 – Síntese

Apesar de esta ser uma área que, do ponto de vista matemático, vai conhecendo alguns progressos convém também aplicar esses progressos nos casos reais do dia a dia. Tendo como último objectivo possibilitar a interpretação e conhecimento fáceis deste tipo de problemas procura-se nesta dissertação apresentar uma proposta viável e atendível para o desenvolvimento de SAD nesta área.

Com base na proposta do SAD é desenvolvido um protótipo com uma interface direccionada para um utilizador leigo nas questões da localização-distribuição.

No entanto, temos que ter sempre presente que o sistema de apoio à decisão propõe, mas não substitui o responsável pelas decisões. O sistema não tenta dar respostas, nem impõe uma sequência predefinida de análise. Antes, suporta as decisões semi-estruturadas onde partes da análise podem ser realizadas pelo computador, melhorando a introspecção do decisor nas decisões que irá tomar.

Referências Bibliográficas

1. ANDERBERG, M. R. (1973) *Cluster Analysis for Applications*. Academic Press, New York.
2. BARRETO, S. S. (2004) *Análise e Modelização de Problemas de Localização-Distribuição*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro.
3. BARRETO, S. S., FERREIRA, C. M. e PAIXÃO, J. P. (2003) Problemas de localização-distribuição: Uma revisão bibliográfica. *IV Congreso Galego de Estatística e Investigación de Operacións*, 93-100.
4. BERGER, R. T. (1997) *Location-Routing Models for Distribution System Design*. PhD thesis, Northwestern University, Evanston, Illinois.
5. BONCZEK, R. H., HOLSAPPLE, C. W. e WHINSTON, A. B. (1980) Future directions for developing Decision Support Systems. *Decision Sciences 11*, nº 4, 616-631.
6. BOOCH, G., RUMBAUGH, J. E. e JACOBSON, I. (1999) The Unified Modeling Language User Guide. *Journal of Database Management 10*, nº 4, 51-52.
7. BOOKBINDER, J. H. e REECE, K. E. (1988) Vehicle routing considerations in distribution system design. *European Journal of Operational Research 37*, 204-213.
8. BRANCO, I. M. e COELHO, J. D. (1990) The hamiltonian p-median problem. *European Journal of Operational Research 47*, 86-95.
9. CARROLL, J. M. (2001) *Human Computer Interaction – In the New Millennium*. ACM Press, New York.
10. CARVALHO, J. M. C. (1996) *Logística*. Edições Sílabo, Lda., Lisboa.
11. CLARK, G. e WRIGHT, J. (1964) Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research 12*, 568-581.
12. DANTZIG, G. B., FULKERSON, D. R. e JOHNSON, S. M. (1954) Solution of a large-scale traveling-salesman problem. *Operations Research 2*, 393-410.
13. DASKIN, M. S. (1995) *Network and Discrete Location*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
14. DIX, A., FINLAY, J., ABOWD, G. e BEALE, R. (1993) *Human-Computer Interaction*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

15. EDELBROCK, C. e MCLAUGHLIN, B. (1980) Hierarchical cluster analysis using intraclass correlations: A mixture model study. *Multivariate Behavioral Research* 15, 299-318.
16. EILON, S., WATSON-GANDY, C. D. T. e CHRISTOFIDES, N. (1971) *Distribution Management: Mathematical Modelling and Practical Analysis*. Charles Griffin and Company Limited, London.
17. EOM, S. B., LEE, S. M., SOMARAJAN, C. e KIM, E. B. (1997) Decision support systems applications – a bibliography (1988-1994). *OR Insight* 10, nº 2, 18-32.
18. EVANS, J. R. (1993) *Applied Production and Operations Management*. West Publishing Company, New York.
19. EVERITT, B. S. (1993) *Cluster Analysis*. Arnold, London.
20. FERREIRA, C. (1997) *Problemas de Localização e Distribuição Multicritério – Aproximações e estudos de alguns casos com implicações ambientais*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro.
21. GEPFERT, A. H. (1968) Business logistics for better performance. *Harvard Business Review* (November-December), 75-84.
22. GHIANI, G. e LAPORTE, G. (2001) Location-arc routing problems. *OPSEARCH* 38, nº 2, 151-159.
23. GOODCHILD, M. F. (1993) *Environmental Modeling with GIS, The State of GIS for Environmental Problem-Solving*. Oxford University Press, New York.
24. GORRY, G. A. e SCOTT-MORTON, M. S. (1971) A Framework for Management Information Systems. *Sloan Management Review* 13, nº 1, 55-70.
25. HARRISON, H. (1979) A planning system for facilities and resources in distribution networks. *Interfaces* 9, nº 2, 6-22.
26. HESKETT, J. L. (1977) Logistics: Essential to strategy. *Harvard Business Review* (November-December), 85-96.
27. HOUSE, R. G. e KARRENBAUER, J. J. (1982) Logistics system modelling. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management* 8, nº 4, 189-199.
28. JAIN, A. K. e DUBES, R. C. (1988) *Algorithms for Clustering Data*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

-
29. KAUFMAN, L. e ROUSSEUM, P. J. (1990) *Finding Groups in a Data: An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
 30. KEEN, P. G. (1980) Adaptive Design for Decision Support Systems. *Data Base 12*, nº 1 e 2, 15-25.
 31. KEEN, P. G. (1987) Decision Support Systems: The Next Decade. *Decision Support Systems 3*, 253-265.
 32. KEEN, P. G. e SCOTT-MORTON, M. S. (1978) *Decision Support Systems: an organizational perspective*. Reading, MA, Addison-Wesley.
 33. LAPORTE, G. (1988) Location-routing problems. In *Vehicle Routing: Methods and Studies*. Golden, B. L. e Assad, A. A., Elsevier Sciences Publishers B. V., 163-197.
 34. LAPORTE, G. e DEJAX, P. J. (1989) Dynamic location-routing problems. *Journal of the Operational Research Society 40*, nº 5, 471-482.
 35. LAPORTE, G., LOUVEAUX, F. e MERCURE, H. (1989) Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems. *European Journal of Operational Research 39*, 71-78.
 36. LAPORTE, G., NORBERT, Y. e PELLETIER, P. (1983) Hamilton location problems. *European Journal of Operational Research 12*, 82-89.
 37. LAWLER, E. L., LENSTRA, J. K., RINNOY KAN, A. H. G. e SHMOYS, D. B. (1985) *The Traveling Salesman Problem – A Guide Tour of Combinatorial Optimization*. John Wiley and Sons, New York.
 38. MADSEN, O. B. G. (1983) Methods for solving combined two level location-routing problems of realistic dimensions. *European Journal of Operational Research 12*, 295-301.
 39. MALCZEWSKI, J. (1997) *Spatial Decision Support Systems, NCGIA Core Curriculum in GIScience*. <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u127/u127.html>, posted October 6, 1998.
 40. MALCZEWSKI, J. (1999) *Gis and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, New York.
 41. MARKS, D. H. e STRICTER, R. (1971) Routing for public service vehicles. *Journal of the Urban Planning and Development Division 97*, 165-178.
 42. MAYHEW, D. J. (1992) *Principles and Guidelines in Software User Interface Design*. Prentice Hall, New Jersey.

43. MELO, A., SANTOS, B. S., FERREIRA, C. e PINTO, J. S. (1999) Software Application for Data Visualization and Interaction in a Location Routing Problem. *Revista do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro* 2, nº 4, 471-476.
44. MERCER, A. e RAND, G. (1977) A structure for distribution studies. *European Journal of Operational Research* 1, 161-168.
45. MIN, H., JAYARAMAN, V. e SRIVASTAVA, R. (1998) Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. *European Journal of Operational Research* 108, 1-15.
46. NAGY, G. e SALHI, S. (1996a) Nested heuristic methods for the location-routing problem. *Journal of the Operational Research Society* 47, 1166-1174.
47. NAGY, G. e SALHI, S. (1996b) A nested location-routing heuristic using route length estimation. *Studies in Location Analysis* 10, 109-127.
48. NAGY, G. e SALHI, S. (1998) The many-to-many location-routing problem. *Top – Sociedad Española de Estadística e Investigación Operativa* 6, nº 2, 261-275.
49. NAMBIAR, J. M., GELDERS, L. F. e VAN WASSENHOVE, L. N. (1981) A large scale location-allocation problem in the natural rubber industry. *European Journal of Operational Research* 6, 183-189.
50. NEUSCHEL, R. P. (1967) Physical distribution – forgotten frontier. *Harvard Business Review*, 125-134
51. OR, I. (1976) *Traveling Salesman-Type Combinatorial Problems and their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking*. PhD thesis, Northwestern University, Evanston, Illinois.
52. PERL, J. (1983) *A Unified Warehouse Location-Routing Analysis*. PhD thesis, Northwestern University, Evanston, Illinois.
53. PERL, J. e DASKIN, M. S. (1984) A unified warehouse location-routing methodology. *Journal of Business Logistics* 5, nº 1, 92-111.
54. PERL, J. e SIRISOPONSILP, S. (1988) Distribution networks: Facility location, transportation and inventory. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management* 18, nº 6, 18-26.

-
55. RAND, G. K. (1976) Methodological choices in depot location studies. *Operational Research Quarterly* 27, nº 1-ii, 241-249.
 56. SALHI, S. e RAND, G. K. (1989) The effect of ignoring routes when locating depots. *European Journal of Operational Research* 39, 150-156.
 57. SAMBOLA, M. A. (2003) *Models and Algorithms for Location-Routing and Related Problems*. Tese de Mestrado, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya.
 58. SERRA, D. (2003) Logistic costs in location models. Comunicação apresentada no *EWGLA 14, XIV Meeting of the European Working Group on Location Analysis*, Corfu, Grécia.
 59. SHAPIRO, R. D. (1984) Get leverage from logistics. *Harvard Business Review* (May-June), 119-126.
 60. SHARMAN, G. (1984) The rediscovery of logistics. *Harvard Business Review* (September-October), 71-79.
 61. SHNEIDERMAN, B. (1980) *Software psychology: Human factors in computer and information systems*. Cambridge, MA, Winthrop.
 62. SIMON, H. A. (1960) *The new science of management decision*. Harper & Row, New York.
 63. SPRAGUE, R. H. e CARLSON, E. D. (1982) *Building effective Decision Support Systems*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
 64. SPRAGUE, R. H. e WATSON, H. J. (1989) *Decision Support Systems – Putting Theory into Practise*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
 65. SPRAGUE, R. H. e WATSON, H. J. (1996) *Decision Support for Management*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
 66. SRIVASTAVA, R. (1993) Alternate solutions procedures for the location-routing problem. *OMEGA International Journal of Management Sciences* 21, nº 4, 497-506.
 67. SRIVASTAVA, R. e BENTON, W. C. (1990) The location-routing problem: Considerations in physical distribution system design. *Computers and Operations Research* 17, nº 5, 427-435.
 68. STEVENSON, W. J. (1999) *Production Operations Management*. Irwin / McGraw-Hill, Boston.
 69. SUSSAMS, J. E. (1969) *Industrial Logistics*. Gower Press, London.

70. TEIXEIRA, L. (2002) *Gestão de Informação Académica com Base na Web – um sistema de apoio a programas de pós-graduação*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro.
71. TEIXEIRA, L., FERREIRA C. e SANTOS, B. S. (in press, 2005) Uma Abordagem ao Processo de Desenvolvimento dos Sistemas de Informação: cuidados a ter ao longo do processo no caso dos SI's tradicionais e SI's distribuídos na Web. *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática 1*, nº 1.
72. THOMAS, J. (1997) Where the money is. *Distribution (July)*, 14-20.
73. TURBAN, E. e LIEBOWITZ, J. (1990) *Managing Expert Systems*. Idea Group Publishing, New York.
74. TUZUN, D. e BURKE, L. I. (1999) A two-phase tabu search approach to the location routing problem. *European Journal of Operational Research 116*, 87-99.
75. WEBB, M. (1968) Cost functions in the locations of depots for multiple-delivery journeys. *Operational Research Quarterly 19*, nº 3, 311-321.
76. WEINBERG, G. M. (1971) *The psychology of computer programming*. Van Nostrand Reinhold, New York.
77. WU, T.-H., LOW, C. e BAI, J.-W. (2002) Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems. *Computers and Operations Research 29*, 1393-1415.

Anexos

Anexo A – Ficheiro de dados dos clientes

Cliente	Abcissa	Ordenada	Encomenda
1	1990	5152	7393809
2	3338	5252	3289537
3	1629	4042	2905108
4	3250	4189	2649459
5	2234	4886	2113003
6	3000	5355	1688267
7	3637	4822	1543498
8	2217	4140	1497666
9	2919	4548	1302045
10	3807	5933	1239057
11	3158	4814	1161053
12	3257	5568	1096056
13	1375	5333	993279
14	3427	4085	992711
15	1809	5248	985858
16	2697	5095	966829
17	2435	5084	958816
18	2768	4508	898434
19	2537	4331	815086
20	3075	5991	787447
21	4372	3798	757441
22	1961	3948	741945
23	2489	5237	719518
24	1402	3740	704488
25	3336	3812	684792
26	2868	5012	645529
27	2893	4442	628840
28	1573	5587	609383
29	1911	4165	607018
30	2700	5147	589863
31	2448	5193	589077
32	2748	5151	588292
33	2919	4879	575426
34	4494	6017	574662
35	2679	5124	568314
36	1086	3872	558139
37	1558	3672	539294
38	2881	5308	528153
39	2675	5143	517661
40	2973	5240	516780
41	3201	5772	503710
42	3105	4945	486771
43	1701	5342	466629
44	2428	5208	444358
45	2483	4576	444085

(continua)

(continuação)

Cliente	Abcissa	Ordenada	Encomenda
46	2442	5122	444068
47	1852	5339	421807
48	1845	5381	420316
49	3374	5105	413617
50	3240	5135	409807
51	1740	5146	409310
52	4295	4064	407815
53	2145	4362	406192
54	1775	5348	394307
55	2720	5148	387603
56	1678	5595	380505
57	3134	4450	380250
58	3124	4378	375480
59	2718	5126	368589
60	1887	3798	366319
61	457	2810	365968
62	1707	4325	351115
63	2265	3957	350654
64	3508	3750	337834
65	2727	4370	334120
66	2854	4738	333447
67	3687	4112	331739
68	2853	5203	322016
69	1526	4165	319380
70	1887	5264	319081
71	1523	3788	316079
72	2710	5073	311761
73	1964	5375	309144
74	2847	4950	305918
75	1850	5242	295042
76	1825	5380	290384
77	1129	4222	287790
78	1952	3835	283571
79	1682	5148	279538
80	1843	4723	278840
81	2711	5151	278059
82	2840	4900	277487
83	3233	4543	272086
84	1882	5297	271387
85	2776	4858	270455
86	1433	4353	268286
87	1781	5301	266662
88	2642	5120	266426
89	2823	5008	266019
90	2762	5196	265514
91	1138	4115	263562
92	3555	3819	259033
93	1785	5259	258113
94	3099	4544	256108

(continua)

(continuação)

Cliente	Abcissa	Ordenada	Encomenda
95	3292	5083	256064
96	1407	5460	255118
97	3089	4836	252342
98	1584	5038	249899
99	3196	5148	245267
100	1641	3717	244899
101	3302	5561	243991
102	3051	5227	242390
103	1158	4333	241039
104	2609	5077	240251
105	2210	4135	238886
106	2655	5133	238207
107	2511	5210	232814
108	3012	5432	231702
109	3162	5213	229952
110	2387	4361	229368
111	1850	5292	227917
112	4466	6021	224423
113	3542	4708	223028
114	1902	5145	222675
115	2372	5104	222442
116	2686	5147	221902
117	375	2847	220744
118	3021	5616	219012
119	1733	4285	218385
120	1942	4484	216552
121	3377	4565	214511
122	3066	5387	213209
123	3187	4541	211498
124	1859	5091	211484
125	1832	4811	211033
126	2224	4145	209549
127	3724	4048	207753
128	2746	5137	205494
129	2785	4799	202977
130	2547	5144	201287
131	2445	5042	200997
132	1417	4335	200663
133	2534	6038	200550
134	1932	3827	199781
135	4376	6152	199196
136	1612	4032	198391
137	1792	5250	195932
138	3103	5099	195073
139	2948	5132	194646
140	2507	5157	193428
141	3210	5409	193319
142	3022	4555	192138
143	1835	4282	191939

(continua)

(continuação)

Cliente	Abcissa	Ordenada	Encomenda
144	2826	5000	190591
145	2012	4950	189687
146	4364	3794	189005
147	1790	5715	188302
148	1153	5190	187621
149	1840	5500	187241
150	1387	3668	186032

Anexo B – Ficheiro de dados dos depósitos

Depósito	Abcissa	Ordenada	Capacidade	Cust. Fixo	Cust. Var.
1	1990	5152	3000000	5000	0
2	3338	5252	3000000	5000	0
3	1629	4042	3000000	5000	0
4	3250	4189	3000000	5000	0
5	2234	4886	3000000	5000	0
6	3000	5355	3000000	5000	0
7	3637	4822	3000000	5000	0
8	2217	4140	3000000	5000	0
9	2919	4548	3000000	5000	0
10	3807	5933	3000000	5000	0